



**University of
Zurich**^{UZH}

Visualisierung von öffentlichen Ladestationen in mobilen Kartenapplikationen basierend auf ihrer Relevanz

GEO 511 Master's Thesis

Author

Sebastian Marti
17-705-914

Supervised by

Dr. Tumasch Reichenbacher
Dr. Karsten Pippig (karsten.pippig@swisstopo.ch)

Faculty representative

Prof. Dr. Sara Irina Fabrikant

30.04.2023

Department of Geography, University of Zurich

Abstract

Identifying suitable public charging stations on maps is becoming increasingly difficult as the number of public charging stations increases. A solution to this problem would be to visualize only relevant public charging stations and to display them according to their level of relevance. For this reason, the aim of this thesis is to provide a basis for the development of a mobile map application in which public charging stations are visualized based on their relevance. Since the relevance of public charging stations depends on the usage context, the thesis investigates how the relevance of public charging stations can be determined depending on the usage context. A survey is used to analyze the preferences of users of public charging stations and it is shown that the availability of a charging station is the most important criterion for the relevance of a charging station. Other important criteria that must be considered in order to determine relevance are the charging capacity of the charging station, the plug types offered at the charging station, the cost of charging, and the distance and travel time to the charging station. By combining these criteria in consideration of the usage context, a relevance score can be calculated for each charging station, which adapts to the users of the map application and their specific situation. Much of the context information needed to determine the criteria and calculate the relevance score can be collected using implicit methods, allowing the map application to adapt automatically to a wide range of context information. The calculation of the relevance also requires data on public charging stations, most importantly the real-time status of the charging station. To show how the implementation of the described method in a mobile map application could look like, a prototype is developed. The prototype should also serve to empirically test the effectiveness of the proposed method. If the prototype is successfully tested, the method described in this thesis can help to further promote the use of electric vehicles and thus make an important contribution to climate protection.

Das Identifizieren von geeigneten öffentlichen Ladestationen auf Karten wird mit der zunehmenden Anzahl an öffentlichen Ladestationen immer schwieriger. Eine Lösung für dieses Problem wäre, in einer Karte nur relevante öffentliche Ladestationen zu visualisieren und diese entsprechend dem Grad ihrer Relevanz darzustellen. Deshalb ist das Ziel dieser Arbeit, eine Grundlage für die Entwicklung einer mobilen Kartenapplikation zu schaffen, in welcher öffentliche Ladestationen basierend auf ihrer Relevanz visualisiert werden. Da die Relevanz öffentlicher Ladestationen vom Nutzungskontext abhängt, wird in der Arbeit untersucht, wie die Relevanz der öffentlichen Ladestationen abhängig des Nutzungskontexts bestimmt werden kann. Anhand einer Umfrage wird gezeigt, dass die Verfügbarkeit einer Ladestation das wichtigste Kriterium für die Relevanz einer Ladestation ist. Weitere wichtige Kriterien, die für die Bestimmung der Relevanz berücksichtigt werden müssen, sind die Ladeleistung der Ladestation, die an der Ladestation angebotenen Steckertypen, die Kosten für das Laden sowie die Distanz und Fahrdauer bis zur Ladestation. Durch die Kombination dieser Kriterien unter Berücksichtigung des Nutzungskontexts kann für jede Ladestation ein Relevanzwert berechnet werden, welcher sich an die Nutzenden der Kartenapplikation und ihre jeweilige Situation anpasst. Viele der Kontextinformationen, die für das Bestimmen der Kriterien und die Berechnung des Relevanzwerts benötigt werden, können mit impliziten Methoden erfasst werden, wodurch sich die Kartenapplikation an viele Kontextinformationen anpassen kann. Für die Berechnung der Relevanz werden zudem Daten zu den öffentlichen Ladestationen benötigt, allen voran der Echtzeitstatus der Ladestation. Um zu zeigen, wie die Umsetzung der beschriebenen Methode in einer mobilen Kartenapplikation aussehen könnte, wird ein Prototyp entwickelt. Dieser soll zudem dazu verwendet werden können, die Effektivität der vorgeschlagenen Methode empirisch zu testen. Sollte der Prototyp erfolgreich getestet werden, kann die in dieser Arbeit beschriebene Methode dazu beitragen, die Nutzung von Elektrofahrzeugen weiter zu fördern und somit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Keywords: Öffentliche Ladestationen, Relevanz, Adaptiv, Nutzungskontext, Kartenapplikation

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich den folgenden Personen meinen Dank aussprechen, die mich während meiner Masterarbeit unterstützt haben:

Dr. Tumasch Reichenbacher, für das Betreuen meiner Arbeit, die hilfreichen Ratschläge und die Beantwortung aller meiner Fragen.

Dr. Karsten Pippig, für die Einführung in das Thema sowie für die interessanten Informationen zur Next Generation Map.

Prof. Dr. Ross Purves und Donatella Zingaro, für das Lesen meines Konzepts und ihre hilfreichen Rückmeldungen und Inputs dazu.

Allen, die an der Befragung teilgenommen haben und ohne die diese Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen wäre.

Meiner Familie und meinen Freunden, für ihre Unterstützung während der gesamten Arbeit und ihr offenes Ohr für alle meine Gedanken und Ideen.

Inhalt

1 Einführung	1
1.1 Elektromobilität.....	1
1.2 Die Suche nach einer öffentlichen Ladestation.....	2
1.3 Ziel der Arbeit	4
1.4 Forschungsfragen	6
2 Forschungsstand	7
2.1 Elektromobilität und öffentliche Ladestationen	7
2.2 Adaptivität	9
2.2.1 Hintergrund	9
2.2.2 Adaptiv - Adaptierbar	10
2.2.3 Adaptive Kartenapplikationen.....	12
2.3 Kontext	14
2.3.1 Definition von Kontext	14
2.3.2 Kontext erfassen.....	15
2.3.3 Kontexte beim Laden an öffentlichen Ladestationen	16
2.4 Relevanz	16
2.4.1 Geographic Relevance.....	16
2.4.2 Relevanz von öffentlichen Ladestationen	19
2.5 Präferenzen bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation	20
2.5.1 Präferenzen und Bedürfnisse	20
2.5.2 Öffentliche Ladeinfrastruktur.....	20
3 Methoden	22
3.1 Einfluss der Kriterien auf die Relevanz bestimmen.....	22
3.1.1 Technische Umsetzung der Befragung.....	23
3.1.2 Aufbau der Befragung	24
3.1.3 Arten von Fragen	25
3.2 Relevanz der öffentlichen Ladestationen bestimmen	26
4 Resultate	28
4.1 Definieren der Kriterien.....	28
4.1.1 Situationen, in denen an öffentlichen Ladestationen geladen wird	28
4.1.2 Definition der Kriterien.....	29
4.1.3 Berücksichtigung des Nutzungskontexts.....	32
4.1.4 Hilfreiche Informationen und Funktionen.....	33
4.2 Umfrageergebnisse	34
4.2.1 Frageblock 1: Einführungsfragen.....	35
4.2.2 Frageblock 2: Informationen zu den öffentlichen Ladestationen	36
4.2.3 Frageblock 3: Unterstützende Funktionen in einer Kartenapplikation.....	39
4.2.4 Frageblock 4: Ranglisten.....	41
5 Diskussion	45
5.1 Diskussion der Umfrageergebnisse	45
5.1.1 Aussagekraft und Repräsentativität.....	45
5.1.2 Einführungsfragen	47
5.1.3 Präferenzen der Nutzenden von öffentlichen Ladestationen	47
5.1.4 Informationen zu den öffentlichen Ladestationen	49
5.1.5 Unterstützende Funktionen und Kartenwerkzeuge.....	50
5.1.6 Wichtigkeit der Kriterien, Informationen und Funktionen	51

5.1.7 Beantwortung der 1. Forschungsfrage.....	53
5.2 Verwendung der Kriterien.....	54
5.2.1 Verfügbarkeit.....	54
5.2.2 Kosten (inkl. Startgebühr)	56
5.2.3 Steckertyp.....	58
5.2.4 Ladeleistung	59
5.2.5 Distanz und Fahrdauer	59
5.2.6 Weitere Kriterien.....	62
5.3 Berechnung der Relevanz.....	62
5.3.1 Anpassen der Gewichtung an den Nutzungskontext	62
5.3.2 Festlegen der Gewichtung.....	63
5.3.3 Alternative Ladeprofile verwenden.....	65
5.3.4 Berechnen des Relevanzwerts	66
5.3.5 Beantwortung der 2. Forschungsfrage.....	68
5.4 Benötigte Daten und weitere Voraussetzungen	68
5.4.1 Erforderliche Daten	68
5.4.2 Kontextinformationen erfassen	70
5.4.3 Voraussetzungen an das mobile Gerät	71
5.4.4 Die individuelle Berechnung der Relevanz.....	73
5.4.5 Beantwortung der 3. Forschungsfrage.....	73
6 Entwicklung eines Prototyps	75
6.1 Methode Prototyp.....	75
6.2 Resultate Prototyp.....	76
6.2.1 Aufbau	76
6.2.2 Berechnung der Relevanz.....	77
6.2.3 Funktionen und Einstellungsmöglichkeiten	79
6.2.4 Beispiel	83
6.3 Diskussion Prototyp.....	84
6.3.1 Vergleich mit anderen Kartenapplikationen	84
6.3.2 Limitationen und mögliche Ergänzungen.....	86
6.3.3 Beantwortung der 4. Forschungsfrage.....	87
7 Kritische Reflexion und weiterführende Forschung	89
8 Schlussfolgerung.....	90
9 Literatur	92
10 Anhang.....	105
10.1 Streuung der Umfrage.....	105
10.2 Umfragebogen.....	106
10.3 Resultate der Umfrage	111
10.3.1 Frageblock 1: Einführungsfragen.....	111
10.3.2 Frageblock 2: Informationen zu öffentlichen Ladestationen	114
10.3.3 Frageblock 3: Unterstützende Funktionen in einer Kartenapplikation.....	118
10.3.4 Frageblock 4: Ranglisten.....	122

Abbildungen

Abbildungen im Hauptteil

Abb. 1: Screenshot der Webseite "ich-tanke-strom.ch", auf welcher öffentliche Ladestationen visualisiert werden (ich-tanke-strom.ch, 18.11.2022).	2
Abb. 2: Karte der öffentlichen Ladestationen auf der Swisscharge-Webseite. Die Ladestationen werden abhängig ihres Status visualisiert (grün = verfügbar, blau = belegt, grau = deaktiviert) (map.swisscharge.ch, 24.04.2023).	3
Abb. 3: Übersicht über die verschiedenen Arten von Elektroautos (BEV Rex fehlt) (Gaton, 2018).	7
Abb. 4: Übersicht über die verbreitetsten Steckertypen in Europa (Neißendorfer, 2021).	8
Abb. 5: Einige Eigenschaften von öffentlichen Ladestationen, wie sie auf der Webseite "ich-tanke-strom.ch" angezeigt werden können (ich-tanke-strom.ch, 07.01.2023).	9
Abb. 6: Die Adaptivität – Adaptierbarkeit Dichotomie (Reichenbacher, 2008).	11
Abb. 7: Charakteristiken von adaptiven und adaptierbaren Applikationen. Übernommen von Raubal & Panov (2009), welche die Tabelle auf Grundlage von Fischer (1993) erstellt haben.	12
Abb. 8: Screenshot von der IoE mobile application mit dem berechneten Weg zu einer Ladestation (Bedogni, Bononi, D'Elia, Felice, Rondelli, et al., 2014).	13
Abb. 9: Verwendete Likert-Skala für die Frageblöcke 2 und 3 (Screenshot vom Umfragebogen).	25
Abb. 10: Schema zum Vorgehen um die Relevanz der öffentlichen Ladestationen zu bestimmen.	27
Abb. 11: Boxplots zu den Bewertungen, wie hilfreich bestimmte Informationen zu den öffentlichen Ladestationen bei der Suche nach einer geeigneten Ladestation in einer Kartenapplikation sind.	36
Abb. 12: Verteilungen der Bewertungen für alle Informationen (Kategorie 0 = "Überhaupt nicht hilfreich", Kategorie 5 = "Sehr hilfreich").	37
Abb. 13: Anteil positiver Antworten bei der Bewertung wie hilfreich bestimmte Informationen zu den öffentlichen Ladestationen in einer Kartenapplikation sind, wenn nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation gesucht wird.	38
Abb. 14: Boxplots zu den Bewertungen, wie hilfreich bestimmte Funktionen in einer Kartenapplikation für die Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation sind.	39
Abb. 15: Anteil positiver Antworten bei der Bewertung wie hilfreich bestimmte Funktionen in einer Kartenapplikation für die Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation sind.	40
Abb. 16: Verteilungen der Bewertungen in der Likert-Skala für die möglichen Funktionen in Kartenapplikationen.	40
Abb. 17: Boxplots zur Einteilung der Kriterien in der Rangliste für das Laden an einer öffentlichen Ladestation in der Stadt (Rang 1 = am wichtigsten, Rang 9 = am wenigsten wichtig).	42
Abb. 18: Boxplots zur Einteilung der Kriterien in der Rangliste für das Laden an einer öffentlichen Ladestation auf dem Land (Rang 1 = am wichtigsten, Rang 9 = am wenigsten wichtig).	43
Abb. 19: Boxplots zur Einteilung der Kriterien in der Rangliste für das Laden an einer öffentlichen Ladestation auf der Autobahn (Rang 1 = am wichtigsten, Rang 9 = am wenigsten wichtig).	44
Abb. 20: Schematische Darstellung für die Berechnung der Gesamtkosten für das Laden an einer öffentlichen Ladestation.	57
Abb. 21: Beispiel für mehrere öffentliche Ladestationen am selben Ort, welche durch nur ein Symbol dargestellt werden (Screenshot von ich-tanke-strom-ch, 29.04.2023).	67
Abb. 22: Schematische Darstellung des Vorgehens zur Bestimmung des Relevanzwertes bei Verwendung der Standardgewichtung (eigene Darstellung).	67
Abb. 23: Schematische Darstellung für was die benötigten Daten und Kontextinformationen verwendet werden (Eigene Darstellung).	72
Abb. 24: Prototyp mit der Karte zu den öffentlichen Ladestationen (links) und diversen Einstellungsoptionen (rechts).	77
Abb. 25: Verschiedene Ladeprofile und Option zum Erstellen eines neuen Ladeprofiles. Oben rechts der Knopf zum Anzeigen der Übersicht mit den Gewichtungen der einzelnen Faktoren.	80
Abb. 26: Oben: Möglichkeit, die Visualisierung der Relevanz der Ladestationen zu deaktivieren. Darunter: Filtermöglichkeiten zum Filtern der Ladestationen.	81

Abb. 27: Informationen zu einer öffentlichen Ladestation, welche beim Klick auf eine Ladestation erscheinen. Links der Relevanzwert der Ladestation (5.9), rechts weitere Informationen zur Ladestation.	82
Abb. 28: Informationen zu einer öffentlichen Ladestation, welche beim Klick auf eine Ladestation erscheinen. Da mehrere potentielle Lademöglichkeiten vorhanden sind, wird zuoberst die relevanteste Lademöglichkeit an dieser Ladestation angezeigt (Relevanzwert von 4.3).	82
Abb. 29: Relevante Ladestationen beim En-Route Charging von Basel nach Bern.	84
Abb. 30: Vergleich der Darstellung von öffentlichen Ladestationen, wenn nach einer Ladestation auf dem Weg von Basel nach Bern gesucht wird. (ich-tanke-strom.ch, MOVE-App, Karte aus Prototyp).	85
Abb. 31: Vergleich der Darstellung von öffentlichen Ladestationen, wenn in der Nähe der aktuellen Position geladen werden soll ("Chargemap" App, "MOVE" App, Karte aus Prototyp).	86

Abbildungen im Anhang

Abb. 32: Begrüssungstext und Einverständniserklärung der in der Umfrage.	106
Abb. 33: Einführungsfragen in der Umfrage.	106
Abb. 34: Frage danach, wie hilfreich bestimmte Informationen bei der Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation in einer mobilen Kartenapplikation sind.	107
Abb. 35: Frage danach, wie hilfreich bestimmte Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation bei der Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation sind.	107
Abb. 36: Ranglistenaufgabe zu der Wichtigkeit der verschiedenen Kriterien, wenn in der Stadt geladen werden soll.	108
Abb. 37: Ranglistenaufgabe zu der Wichtigkeit der verschiedenen Kriterien, wenn auf dem Land geladen werden soll.	109
Abb. 38: Ranglistenaufgabe zu der Wichtigkeit der verschiedenen Kriterien, wenn auf der Autobahn geladen werden soll.	109
Abb. 39: Fragen zum Erheben von demographischen Daten.	110
Abb. 40: Verteilung des Alters der Teilnehmenden der Umfrage.	111
Abb. 41: Häufigkeit der Nutzung von öffentlichen Ladestationen unter den Teilnehmenden der Umfrage.	111
Abb. 42: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) bei der Frage, wie häufig öffentliche Ladestationen im Durchschnitt genutzt werden.	112
Abb. 43: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) bei der Frage, wie häufig öffentliche Ladestationen im Durchschnitt genutzt werden.	112
Abb. 44: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien bei der Frage, wie häufig öffentliche Ladestationen im Durchschnitt genutzt werden.	113
Abb. 45: Rangkorrelationsanalyse nach Spearman für das Alter und die Antworten bei der Frage, wie häufig öffentliche Ladestationen im Durchschnitt genutzt werden.	113
Abb. 46: Übersicht über die Verteilung der Antworten bei der Frage, welche Methoden zur Suche nach einer geeigneten Ladestation verwendet werden.	113
Abb. 47: Abb. 50: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) für die Informationen zu den öffentlichen Ladestationen, Teststatistik.	114
Abb. 48: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) für die Informationen zu den öffentlichen Ladestationen.	114
Abb. 49: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Informationen zu den öffentlichen Ladestationen.	115
Abb. 50: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Informationen zu den öffentlichen Ladestationen, Teststatistik.	115
Abb. 51: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Informationen zu den öffentlichen Ladestationen.	116
Abb. 52: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Informationen zu den öffentlichen Ladestationen, Teststatistik.	116
Abb. 53: Rangkorrelationsanalyse nach Spearman für das Alter und die Bewertung der Informationen.	117
Abb. 54: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) für die unterstützenden Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation.	118

Abb. 55: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz und den anderen Ländern für die unterstützenden Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation, Teststatistik.	118
Abb. 56: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die unterstützenden Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation.	119
Abb. 57: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern und Frauen für die unterstützenden Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation, Teststatistik.	119
Abb. 58: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die unterstützenden Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation.	120
Abb. 59: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die unterstützenden Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation, Teststatistik.	120
Abb. 60: Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) für die Bewertung der Funktion "Navigationssystem".	121
Abb. 61: Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) für die Bewertung der Funktion "Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen".	121
Abb. 62: Rangkorrelationsanalyse nach Spearman für das Alter und die Bewertung der Funktionen.	121
Abb. 63: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt.	122
Abb. 64: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz und den anderen Ländern für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt, Teststatistik.	122
Abb. 65: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt.	123
Abb. 66: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt, Teststatistik.	123
Abb. 67: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt.	124
Abb. 68: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt, Teststatistik.	124
Abb. 69: Rangkorrelationsanalyse nach Spearman für das Alter und die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt.	125
Abb. 70: Verteilung der Bewertungen für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt.	126
Abb. 71: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land.	127
Abb. 72: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz und den anderen Ländern für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land, Teststatistik.	127
Abb. 73: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land.	128
Abb. 74: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land, Teststatistik.	128
Abb. 75: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land.	129
Abb. 76: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land, Teststatistik.	129
Abb. 77: Rangkorrelationsanalyse nach Spearman für das Alter und die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land.	130
Abb. 78: Verteilung der Bewertungen für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land.	131
Abb. 79: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn.	132
Abb. 80: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz und den anderen Ländern für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn, Teststatistik.	132
Abb. 81: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn.	133
Abb. 82: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn, Teststatistik.	133
Abb. 83: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn.	134

<i>Abb. 84: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn, Teststatistik.</i>	<i>134</i>
<i>Abb. 85: Rangkorrelationsanalyse nach Spearman für das Alter und die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn.</i>	<i>135</i>
<i>Abb. 86: Verteilung der Bewertungen für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn.</i>	<i>136</i>
<i>Abb. 87: Friedman-Test für das Kriterium "Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)".</i>	<i>137</i>
<i>Abb. 88: Friedman-Test und post-hoc Dunn-Bonferroni-Tests für das Kriterium "Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein".</i>	<i>137</i>
<i>Abb. 89: Friedman-Test für das Kriterium "Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben".</i>	<i>137</i>
<i>Abb. 90: Friedman-Test und post-hoc Dunn-Bonferroni-Tests für das Kriterium "Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben".</i>	<i>138</i>
<i>Abb. 91: Friedman-Test und post-hoc Dunn-Bonferroni-Tests für das Kriterium "Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)".</i>	<i>138</i>
<i>Abb. 92: Friedman-Test und post-hoc Dunn-Bonferroni-Tests für das Kriterium "Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen".</i>	<i>138</i>
<i>Abb. 93: Friedman-Test für das Kriterium "Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte möglichst kurz sein".</i>	<i>139</i>
<i>Abb. 94: Friedman-Test für das Kriterium "Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehören".</i>	<i>139</i>
<i>Abb. 95: Friedman-Test für das Kriterium "Es sollte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation geben".</i>	<i>139</i>

Tabellen

Tabellen im Hauptteil

<i>Tab. 2: Die vier Kategorien von Kontext von (Griffin, White, et al., 2017).</i>	15
<i>Tab. 3: Übersicht über die fünf Frageblöcke der Umfrage.</i>	25
<i>Tab. 5: Übersicht welche Kriterien, Informationen und Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation mit Fokus auf der Relevanz der Ladestationen vorhanden sein müssen und welche zusätzlich noch integriert werden könnten.</i>	53
<i>Tab. 6: Übersicht über die verschiedenen Möglichkeiten zur Beurteilung der Zugänglichkeit.</i>	55
<i>Tab. 7: Relative Wichtigkeit der Kriterien abhängig der unterschiedlichen Kontexte. Die Zahl entspricht dem Medianrang in der Befragung. Beim Laden auf der Autobahn wird anstelle der Distanz der Umweg verwendet, weshalb das Kriterium "Distanz" einen Wert von 5 erhält (Medianrang in der Umfrage für Distanz war 4).</i>	64
<i>Tab. 8: Verschiedene Gewichtungen der Kriterien für eine Gewichtungsskala von 1-5.</i>	65

Tabellen im Anhang

<i>Tab. 9: Übersicht über alle Online-Foren und Soziale Medien, in denen der Einladungstext zur Umfrage geteilt wurde. Zahlen für Anzahl Mitglieder und Anzahl Aufrufe des Posts sind Stand 24.10.2022.</i>	105
---	-----

Abkürzungen

BEV	Battery Electric Vehicle
GR	Geographic Relevance
LBS	Location-Based Services
PEV	Plug-in Electric Vehicle
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
POI	Point of Interest
SoC	State of Charge
TOU	Time Of Use

1 Einführung

1.1 Elektromobilität

Die Elektrifizierung des Verkehrssektors ist entscheidend für die Verringerung der CO₂-Emissionen und das Erreichen der Umweltziele im Verkehrssektor (Anderson et al., 2018; Jensen et al., 2021), denn Elektrofahrzeuge haben das Potential, den Ausstoss von Treibhausgasen zu reduzieren (Ajanovic & Glatt, 2020). Aus diesem Grund hat die EU beschlossen, ab 2035 keine Verbrennerfahrzeuge (ausgenommen E-Fuels) mehr zuzulassen, und auch in der Schweiz ist es ein wichtiges Ziel, die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor durch den Umstieg auf Elektrofahrzeuge zu reduzieren (dpa, 2023; Schmutz, 2022). In der vom Schweizerischen Bundesrat im Januar 2021 verabschiedeten Klimastrategie ist deshalb die Zielsetzung enthalten, dass der Landverkehr im Jahr 2050 mit wenigen Ausnahmen keine Treibhausgasemissionen mehr verursacht (Schweizerischer Bundesrat, 2021, S. 36). Diese Emissionsreduktion soll durch die *"weitgehende Elektrifizierung der Fahrzeugflotten"* erfolgen (Schweizerischer Bundesrat, 2021, S. 37), wobei Batteriefahrzeugen hierfür langfristig die wichtigste Rolle zuteilwird (Schweizerischer Bundesrat, 2021).

Das Potential von Elektrofahrzeugen gegenüber anderen Fahrzeugtypen wird auch von der Gesellschaft erkannt (Wick et al., 2021). In den letzten Jahren hat das Interesse an Elektrofahrzeugen stark zugenommen, was sich auch an der steigenden Anzahl neuzugelassener Elektrofahrzeuge in der Schweiz erkennen lässt. Im Jahr 2017 wurden lediglich 4'929 rein elektrische Personenwagen (Battery Electric Vehicles; BEVs) neu zugelassen (Bundesamt für Statistik, 2023). Fünf Jahre später, im Jahr 2022, waren es bereits 40'507 BEVs (Bundesamt für Statistik, 2023). Dies entspricht einem Anstieg der Neuzulassungen von über 800 % innerhalb von fünf Jahren und einem Anteil von 17.7 % aller im Jahr 2022 neu zugelassenen Personenwagen.

Dieser Umstieg von Verbrennerfahrzeugen zu Batteriefahrzeugen bringt einige Veränderungen mit sich, sowohl für die Fahrzeugnutzenden als auch für die Infrastruktur. Obwohl die Batteriekapazitäten heutzutage normalerweise für den täglichen Gebrauch ausreichen (Philipsen et al., 2016) und auch die Anzahl öffentlicher Ladestationen stetig wächst (Romang, 2021), ist *"Range Anxiety"* – die Sorge, dass das Elektrofahrzeug zu wenig Reichweite haben könnte – noch immer eines der grössten Hindernisse für einen umfassenden Umstieg auf Elektrofahrzeuge (Ashfaq et al., 2021; Bedogni, Bononi, D'Elia, Felice, Rondelli, et al., 2014; Noel et al., 2019; Savari et al., 2023). Einer der Hauptgründe für diese Reichweitenangst ist die Unsicherheit, ob rechtzeitig eine öffentliche Ladestation gefunden werden kann, um das Elektrofahrzeug bei einem tiefen Ladezustand während der Fahrt zu laden (Wang et al., 2021). Öffentliche Ladestationen können die Reichweitenangst verringern und sind deshalb ein wichtiger Faktor, um den Marktanteil von Elektrofahrzeugen zu erhöhen (Visaria et al., 2022). Zwar werden öffentliche Ladestationen im Vergleich zu den anderen Lademöglichkeiten weniger oft genutzt (Philipsen et al., 2016), doch insbesondere für Personen, die keine Möglichkeit haben, ihr Elektrofahrzeug zu Hause zu laden oder auf längeren Reisen, wo sie als *"safety-net"* dienen, sind öffentliche Ladestationen essentiell (Visaria et al., 2022).

1.2 Die Suche nach einer öffentlichen Ladestation

Im Gegensatz zu Tankstellen für Benzin und Diesel, bei denen die grössten Unterschiede die Treibstoffkosten und die angebotenen Treibstofftypen sind, können sich öffentliche Ladestationen abgesehen von den Ladekosten und den Ladesteckern auch in weiteren wichtigen Eigenschaften unterscheiden. Diese Unterschiede können einen grossen Einfluss auf den Ladevorgang haben und darüber entscheiden, ob überhaupt an einer Ladestation geladen werden kann (mehr dazu folgt in Kapitel 2.1). Deshalb ist es sinnvoll, die Eigenschaften der Ladestationen vor der Entscheidung für eine bestimmte Ladestation miteinander zu vergleichen. Auf diese Weise kann die Ladestation ausgewählt werden, die den Anforderungen und Bedürfnissen in der jeweiligen Situation am besten entspricht. Welche Ladestationen genau bevorzugt werden, basiert auf individuellen Präferenzen (Bae et al., 2022). Diese Präferenzen und Bedürfnisse können je nach Situation, in der ein Elektrofahrzeug geladen werden soll, variieren (Philipsen et al., 2018). Beispielsweise kann die Wahl einer Ladestation davon abhängen, wie viel Zeit für das Laden zur Verfügung steht. Um öffentliche Ladestationen zu finden, die den eigenen Bedürfnissen in einer bestimmten Situation entsprechen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Viele Ladenetzbetreiber stellen auf ihrer Webseite eine Karte zur Verfügung, auf der die öffentlichen Ladestationen dieses Ladenetzbetreibers und zum Teil auch öffentliche Ladestationen von Partnernetzwerken dargestellt werden. Auch auf anderen Webseiten lassen sich Karten von öffentlichen Ladestationen finden, zum Beispiel in Internetforen, wo alle Mitglieder Ladestationen erfassen können. Für die Schweiz bietet swisstopo in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Energie (BFE) eine Karte an, die unter "ich-tanke-strom.ch" aufrufbar ist (vgl. Abb. 1). Neben diesen Webseiten gibt es eine Vielzahl an Apps von Ladenetzbetreibern und weiteren Anbietern, in denen öffentliche Ladestationen in einer Karte visualisiert werden. Als Alternative zu den Webseiten und Apps kann bei einigen Elektrofahrzeugen auch über das integrierte Navigationssystem nach öffentlichen Ladestationen gesucht werden (Nordenbrock, 2021).



Abb. 1: Screenshot der Webseite "ich-tanke-strom.ch", auf welcher öffentliche Ladestationen visualisiert werden (ich-tanke-strom.ch, 18.11.2022).

Die stark steigende Anzahl an Elektrofahrzeugen führt zu einer Zunahme an öffentlichen Ladestationen. In der Schweiz gab es im März 2023 bereits 9'816 öffentliche Ladestationen an 4'423 Standorten (Bundesamt für Energie, 2023). Wie Hoekstra & Refa (2017) zeigen, wird die Zahl der öffentlichen Ladestationen mit grosser Wahrscheinlichkeit auch in Zukunft weiter steigen. Als Folge davon wird das Netz an öffentlichen Ladestationen immer dichter, was den Elektrofahrzeugbesitzenden mehr Möglichkeiten gibt, ihre Elektrofahrzeuge aufzuladen. Gleichzeitig werden auf Karten zu öffentlichen Ladestationen immer mehr Ladestationen dargestellt. Diese grosse Menge an Informationen kann zu einer hohen kognitiven Belastung führen (Ballatore & Bertolotto, 2015), wodurch es schwieriger wird, relevante Informationen zu erkennen (Swienty et al., 2008). Das Finden von geeigneten öffentlichen Ladestationen und das Vergleichen ihrer Eigenschaften wird dadurch erschwert und zunehmend zeitaufwändiger.

Eine Möglichkeit, den Informationsüberfluss zu reduzieren und die Relevanz der dargestellten Informationen zu erhöhen, besteht darin, die dargestellten Informationen an den Nutzer oder die Nutzerin sowie an den Nutzungskontext anzupassen (Ballatore & Bertolotto, 2015; Pombinho et al., 2012; Reichenbacher, 2008). Dadurch kann die Übersichtlichkeit (Ballatore & Bertolotto, 2015) und Bedienbarkeit (Reichenbacher, 2008) der Karte verbessert und kognitive Ressourcen geschont werden, insbesondere in mobilen oder kognitiv anspruchsvollen Situationen (Kiefer et al., 2017; Li et al., 2015; Mountain & MacFarlane, 2007; Raubal & Panov, 2009; Sarjakoski & Nivala, 2005). Eine geringere Anzahl von dargestellten Informationen kann zudem die Rechenressourcen des Geräts schonen, was gerade im mobilen Kontext wichtig sein kann (Li et al., 2015; Reichenbacher, 2008). Jedoch sind Karten heutzutage oft nicht speziell auf bestimmte Nutzungskontexte oder Nutzergruppen ausgerichtet, sondern eher allgemein gestaltet, um in vielen verschiedenen Situationen genutzt werden zu können (Bartling et al., 2022). Dies gilt auch für die meisten Karten zu den öffentlichen Ladestationen. Abgesehen davon, ob eine Ladestation zurzeit verfügbar ist oder nicht, werden in den meisten bestehenden Karten die Visualisierungen der öffentlichen Ladestationen nicht an den Nutzungskontext oder die Kartennutzenden angepasst (vgl. Abb. 2).

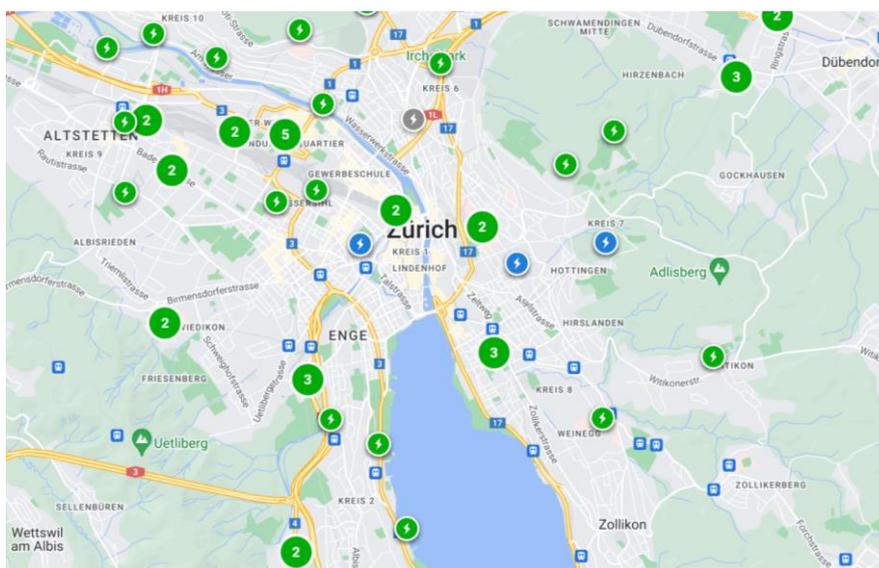


Abb. 2: Karte der öffentlichen Ladestationen auf der Swissscharge-Webseite. Die Ladestationen werden abhängig ihres Status visualisiert (grün = verfügbar, blau = belegt, grau = deaktiviert) (map.swissscharge.ch, 24.04.2023).

Eine Karte, die sich an den Nutzungskontext anpasst, nur relevante öffentliche Ladestationen anzeigt, und zusätzlich die Aufmerksamkeit der Nutzerinnen und Nutzer auf die relevantesten Ladestationen lenkt, würde somit die Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation erleichtern. Wie Bedogni, Bononi, D'Elia, Felice, Rondelli, et al. (2014) zeigen, kann eine Applikation, die die Suche nach einer geeigneten Ladestation unterstützt, auch die Bedenken hinsichtlich der Verfügbarkeit und Erreichbarkeit von öffentlichen Ladestationen reduzieren und dadurch die Reichweitenangst deutlich verringern. Eine Kartenanwendung, die sich an den Nutzungskontext anpasst und nur relevante Informationen anzeigt, hätte somit auch das Potential, den Übergang zu Elektrofahrzeugen zu fördern.

1.3 Ziel der Arbeit

Eine fortschrittliche Kartenanwendung, die wie oben beschrieben öffentliche Ladestationen abhängig vom Nutzungskontext und ihrer daraus resultierenden Relevanz visualisiert, existiert für die Schweiz bislang noch nicht. Deshalb soll diese Arbeit die Grundlagen dafür schaffen, um eine solche Applikation zu entwickeln. Die in dieser Arbeit beschriebene Methode soll die Entwicklung einer Kartenapplikation ermöglichen, die nur die im jeweiligen Nutzungskontext relevanten öffentlichen Ladestationen visualisiert und diese entsprechend dem Grad ihrer Relevanz in der Karte darstellt. Die Relevanz entspricht dabei dem Ausmass, in dem eine Ladestation die Bedürfnisse und Anforderungen einer Person erfüllt, die ihr Elektrofahrzeug laden möchte. Je relevanter eine Ladestation ist, desto besser ist sie für das Laden des Elektrofahrzeugs in der jeweiligen Situation geeignet. Mit einer solchen Kartenapplikation könnte der Informationsgehalt der Karte reduziert und das Identifizieren der relevantesten Ladestationen erleichtert werden. Auf diese Weise kann den Nutzerinnen und Nutzern der Kartenapplikation eine bessere Benutzererfahrung geboten werden. Zudem könnte das einfachere Finden von geeigneten öffentlichen Ladestationen den Übergang zu Elektrofahrzeugen fördern, indem die Reichweitenangst verringert wird (Bedogni, Bononi, D'Elia, Felice, Rondelli, et al., 2014).

Durch mobile Geräte ist die Informationsbeschaffung von überall aus möglich und kann zu dem Zeitpunkt stattfinden, an dem das Bedürfnis besteht, ein Elektrofahrzeug aufzuladen. Deshalb soll die in dieser Arbeit beschriebene Methode auf die Verwendung in einer mobilen Kartenapplikation ausgelegt sein. Es ist jedoch davon auszugehen, dass viele Erkenntnisse aus dieser Arbeit auch auf andere Arten von Kartenapplikationen angewendet werden können, beispielsweise für Karten auf Webseiten. Anstelle des Entwickelns einer neuen Kartenapplikation soll die beschriebene Methode auch in eine bestehende Kartenapplikation, wie beispielsweise die Swisstopo App, integriert werden können. In diesem Fall sollte die Suche nach öffentlichen Ladestationen aber als eigenständige Funktionalität innerhalb der Applikation implementiert werden, denn die beschriebene Methode soll nicht darauf ausgelegt sein, die öffentlichen Ladestationen nebenbei zusammen mit anderen Points of Interest (POIs) zu visualisieren.

Um die öffentlichen Ladestationen abhängig ihrer Relevanz zu visualisieren, soll zuerst herausgefunden werden, welche Kriterien einen starken Einfluss auf die Relevanz der öffentlichen Ladestationen haben. Zudem soll untersucht werden, wie gross der Einfluss dieser Kriterien im Verhältnis zueinander genau ist und wie er vom Kontext abhängt, in dem ein

Elektrofahrzeug an einer öffentlichen Ladestation geladen wird. Welche Funktionalitäten und welche Informationen zu den Ladestationen in einer mobilen Kartenapplikation vorhanden sein sollten, um die Suche nach einer geeigneten Ladestation weiter zu unterstützen, soll ebenfalls untersucht werden.

Sobald bekannt ist, welche Kriterien den grössten Einfluss auf die Relevanz öffentlicher Ladestationen haben und wie dieser vom Nutzungskontext abhängt, wird beschrieben, wie anhand dieser Erkenntnisse die genaue Relevanz einer öffentlichen Ladestation bestimmt werden kann. Damit die Relevanz abhängig vom Nutzungskontext bestimmt werden kann, muss eine Kartenapplikation diesen Kontext kennen. Deshalb soll in dieser Arbeit auch darauf eingegangen werden, wie die erforderlichen Kontextinformationen von der Kartenapplikation erfasst werden können. Des Weiteren soll erläutert werden, welche Voraussetzungen gegeben sein müssen und welche Daten erforderlich sind, um die Relevanz der öffentlichen Ladestationen zu bestimmen.

Um zu veranschaulichen, wie öffentliche Ladestationen abhängig vom Nutzungskontext und der daraus resultierenden Relevanz in einer Kartenapplikation visualisiert werden können, wird ein Prototyp entwickelt. Dieser soll als Grundlage für eine spätere Implementierung in eine Kartenapplikation dienen und einen Eindruck davon geben, wie der Informationsgehalt der Karte abhängig von der Relevanz der öffentlichen Ladestationen reduziert werden kann und wie die Aufmerksamkeit der Nutzenden auf die relevanten Ladestationen gelenkt werden kann. Zudem soll durch den Prototyp besser verstanden werden können, wie sich die Relevanz abhängig vom Nutzungskontext verändert. Um die Wirksamkeit der vorgeschlagenen Methode bei der Suche nach einer geeigneten Ladestation evaluieren zu können, soll der Prototyp darüber hinaus zu Testzwecken verwendet werden können.

Für die Schweiz existiert bislang keine mobile Kartenapplikation, in welcher die Ladestationen auf die oben beschriebene Art visualisiert werden. Daten zu den Ladestationen in der Schweiz sind jedoch vorhanden und werden vom Bundesamt für Energie zur Verfügung gestellt (Bundesamt für Energie, 2021). Dazu gehören auch Echtzeitdaten zum Status der Ladestation, also ob die Ladestation zurzeit verfügbar oder besetzt ist. Aus diesen Gründen wird der Prototyp mit Daten zu den öffentlichen Ladestationen in der Schweiz arbeiten. Die beschriebene Methode soll jedoch auch auf andere Länder anwendbar sein.

Die Arbeit ist folgendermassen strukturiert: Als nächstes werden die Forschungsfragen aufgestellt und gefolgt von einem Überblick über den Forschungsstand gegeben. Im Anschluss daran wird zuerst der Teil behandelt, in dem der Einfluss verschiedener Kriterien auf die Relevanz einer Ladestation untersucht wird und geprüft wird, wie dieser Einfluss vom Nutzungskontext abhängt. Dieser Teil beinhaltet Methodik, Resultate und Diskussion. Nachdem bekannt ist, wie die Relevanz der öffentlichen Ladestationen abhängig des Nutzungskontexts bestimmt werden kann, folgt als eigener Teil die Entwicklung des Prototyps, wiederum mit Methodik, Resultate und Diskussion. In der abschliessenden Schlussfolgerung werden die wichtigsten Erkenntnisse aus beiden Teilen zusammengefasst.

1.4 Forschungsfragen

Folgende Forschungsfragen sollen in dieser Arbeit beantwortet werden:

1. Welche Kriterien haben den grössten Einfluss auf die Relevanz einer öffentlichen Ladestation und wie hängt deren Einfluss auf die Relevanz vom Nutzungskontext ab?

H1.1: Die Verfügbarkeit einer Ladestation, die an einer Ladestation vorhandenen Steckertypen, die Distanz zur Ladestation und die Kosten für das Laden haben den grössten Einfluss auf die Relevanz einer öffentlichen Ladestation.

H1.2: Der Einfluss der Kriterien hängt davon ab, ob in der Stadt, auf dem Land oder auf der Autobahn geladen werden soll.

2. Wie kann die Relevanz der öffentlichen Ladestationen anhand der als wichtig identifizierten Kriterien und abhängig des Nutzungskontexts bestimmt werden?
3. Wie können die benötigten Kontextinformationen erfasst werden und welche Voraussetzungen an die Kartenapplikation und die Daten müssen gegeben sein, um die Relevanz der öffentlichen Ladestationen zu bestimmen?
4. Wie können die öffentlichen Ladestationen basierend auf ihrer Relevanz in einer mobilen Kartenapplikation visualisiert werden, um die Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation zu erleichtern?

2 Forschungsstand

2.1 Elektromobilität und öffentliche Ladestationen

Am häufigsten werden elektrische Fahrzeuge zu Hause aufgeladen, danach folgt das Laden bei der Arbeit und als Drittes das Laden an öffentlichen Ladestationen (Hardman et al., 2018). In der Schweiz finden laut TCS rund 20 % der Ladungen an öffentlichen Ladestationen statt (TCS, 2022). Elektrofahrzeuge, die an Ladestationen geladen werden können, werden als Plug-in Electric Vehicles (PEVs) bezeichnet oder auch "Steckerfahrzeuge" genannt (H. Schmidt, 2021). Zu den PEVs gehören Battery Electric Vehicles (BEVs), Battery Electric Vehicles mit Range Extender (BEV REx) und Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs) (Hardman et al., 2018). Daneben gibt es noch andere Arten von Elektrofahrzeugen, die aber nicht an öffentlichen Stromladestationen geladen werden können. Dabei handelt es sich um Hybrid Electric Vehicles (HEVs), die über den Verbrennungsmotor geladen werden, und Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEVs), die eigene Ladestationen benötigen (Ajanovic, 2015). Mit dem Begriff "Elektrofahrzeuge" sind in dieser Arbeit jeweils Plug-in Electric Vehicles (PEVs) gemeint.

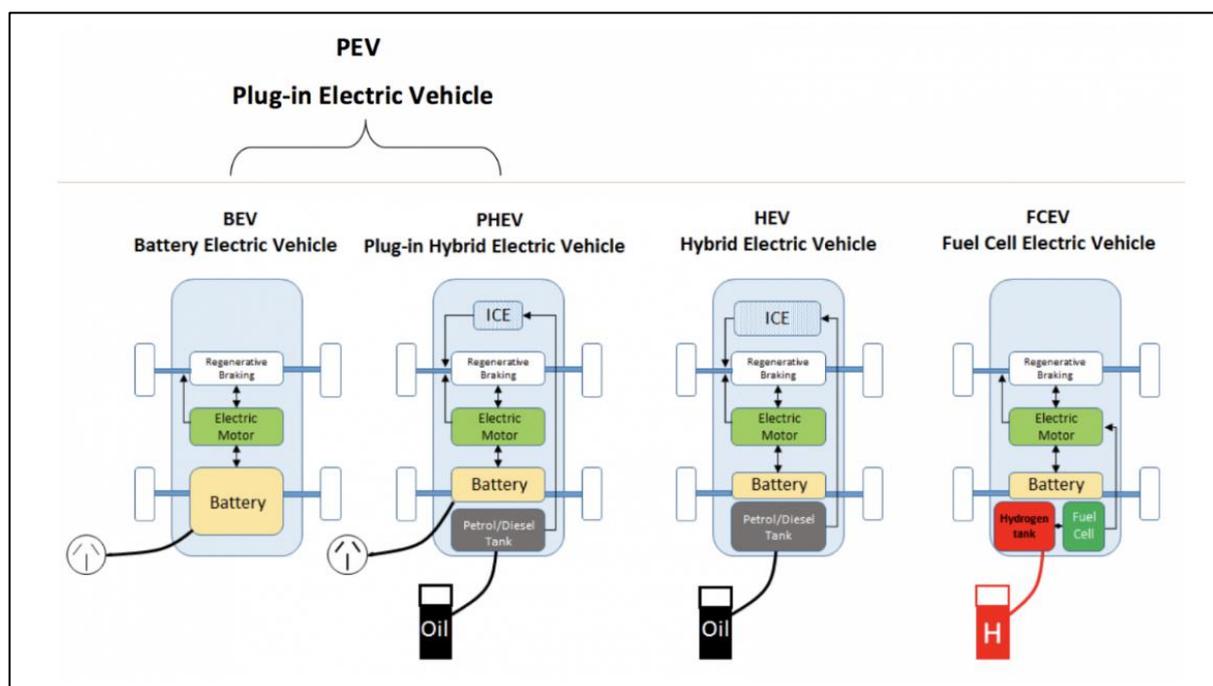


Abb. 3: Übersicht über die verschiedenen Arten von Elektroautos (BEV Rex fehlt) (Gaton, 2018).

Öffentliche Ladestationen haben eine Vielzahl von verschiedenen Eigenschaften, die von Ladestation zu Ladestation unterschiedlich sein können. Eine der wichtigsten Eigenschaften ist die Ladeleistung, welche grossen Einfluss auf die Ladedauer hat und häufig auf die typische Verweildauer des Elektrofahrzeugs am Standort abgestimmt ist (TCS, 2022). Am häufigsten werden in der Schweiz an öffentlichen Ladestationen Ladeleistungen zwischen 21 kW und 42 kW angeboten (Bundesamt für Energie, 2023). Die momentan höchsten Ladeleistungen, mit denen an öffentlichen Ladestationen geladen werden kann, liegen im Bereich von 350 kW (Jost, 2018). Sofern ein Elektrofahrzeug eine solch hohe Ladeleistung unterstützt, ermöglichen diese Ladestationen das Laden des Fahrzeugs innerhalb von wenigen Minuten (Jost, 2018).

Daneben gibt es viele öffentliche Ladestationen, an denen mit weniger als 10 kW geladen werden kann und ein vollständiger Ladevorgang mehrere Stunden dauern kann (Bundesamt für Energie, 2023). Die Batteriekapazität eines Elektrofahrzeugs legt fest, wie viele Kilowattstunden geladen werden können und ist deshalb der zweite wichtige Faktor, der die Ladedauer beeinflusst. Die Batteriekapazität kann je nach Fahrzeugmodell stark variieren. Bei PHEVs liegt sie meistens deutlich tiefer (oft um die 10 kWh) als bei BEVs (bis zu 100 kWh und mehr) (Markan & Nilsson, 2022).

Die an einer Ladestation vorhandenen Steckertypen können sich je nach Ladestation unterscheiden. Die Stecker müssen jedoch mit dem Elektrofahrzeug kompatibel sein, ansonsten ist das Laden des Fahrzeugs nicht möglich (Anthopoulos & Kolovou, 2021). Um die Kompatibilität zwischen den öffentlichen Ladestationen und Elektrofahrzeugen zu erhöhen, hat die EU in der Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates (2014) technische Vorgaben für öffentliche Ladestationen festgelegt. Dazu gehört die Anforderung, dass an jeder öffentlichen Wechselstrom-Ladestation mindestens ein Typ-2-Stecker und an jeder öffentlichen Gleichstrom-Ladestation mindestens ein CCS-Stecker vorhanden sein muss. Der Schweizerische Bundesrat (2017) schreibt in seinem Bericht in Erfüllung des Postulats 14.3997, dass sich die Schweiz ebenfalls an diesen technischen Vorgaben orientiert. Die Verteilung der Steckertypen in der Schweiz bestätigt dies. Gemäss den Angaben des Bundesamtes für Energie (Bundesamt für Energie, 2023) stellte der Typ-2-Stecker im April 2023 mit einem Anteil von 64 % an allen Steckern den am weitesten verbreiteten Steckertyp an öffentlichen Ladestationen in der Schweiz dar.

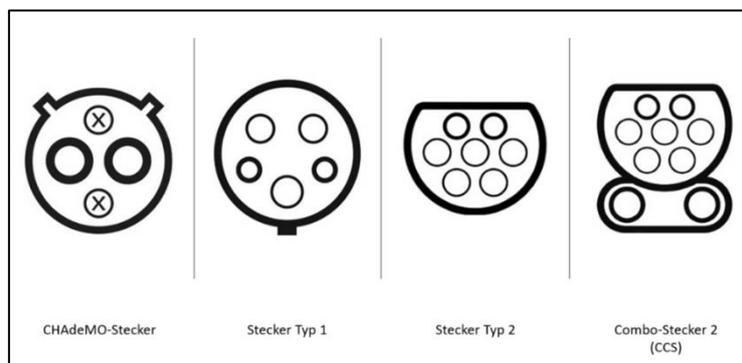


Abb. 4: Übersicht über die verbreitetsten Steckertypen in Europa (Neißendorfer, 2021).

Neben der Ladeleistung und dem Ladestecker gibt es auch verschiedene Ladenetzbetreiber. Diese agieren als Betreiber von öffentlichen Ladestationen und bieten häufig Abonnements für ihr Ladenetzwerk an. Durch Abschliessen eines solchen Abonnements kann von besseren Konditionen beim Laden an Ladestationen dieses Ladenetzbetreibers profitiert werden (Hardinghaus et al., 2016). Wurde kein Abonnement beim Ladenetzbetreiber einer Ladestation abgeschlossen, können zusätzliche Gebühren für die Nutzung dieser Ladestation anfallen, die mit Roaming-Gebühren bei Mobiltelefonabonnements vergleichbar sind (Linnemann & Nagel, 2020; Visaria et al., 2022).

Zu den oben beschriebenen Eigenschaften kommen noch viele weitere Aspekte hinzu, die sich von Ladestation zu Ladestation unterscheiden können. Beispielsweise die Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation, die Kosten für das Laden an der Ladestation oder die

möglichen Authentifizierungsmethoden an der Ladestation. Die grosse Anzahl an unterschiedlichen öffentlichen Ladestationen ist insbesondere auf die Ausrichtung der Ladestationen auf die verschiedenen Verweildauern der Fahrzeuge und die Bedürfnisse der Fahrer am jeweiligen Standort zurückzuführen (Luo et al., 2018).

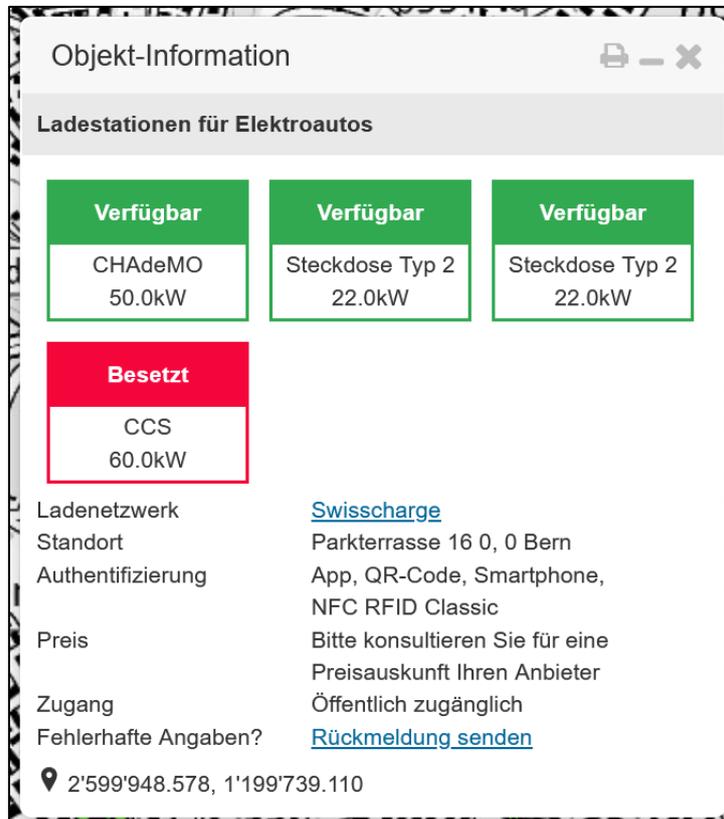


Abb. 5: Einige Eigenschaften von öffentlichen Ladestationen, wie sie auf der Webseite "ich-tanke-strom.ch" angezeigt werden können (ich-tanke-strom.ch, 07.01.2023).

2.2 Adaptivität

2.2.1 Hintergrund

Kartenanwendungen, die die Visualisierung der geographischen Informationen und damit verbundener Teile des Visualisierungsprozesses an einen bestimmten Nutzungskontext anpassen, werden als adaptive Kartenanwendungen bezeichnet (Reichenbacher, 2008; Ricker & Roth, 2018). Die Anpassung kann beispielsweise die Benutzeroberfläche, den Informationsgehalt oder die Kodierung der Informationen betreffen (Reichenbacher, 2008).

Eine Visualisierung dynamisch anzupassen wurde erst durch die digitale Visualisierung von Geoinformationen auf Geräten wie Smartphones möglich, da für das Anpassen einer Visualisierung eine Art der Visualisierung erforderlich ist, die flexibel anpassbar ist (Chou et al., 2018; Reichenbacher, 2008). Inzwischen sind mobile Geräte wie Smartphones und Tablets allgegenwärtig und mobile Kartenapplikationen werden von den meisten Menschen als primäre Quelle für geographische Informationen und für die Navigation, die räumliche Entscheidungsfindung und die Problemlösung genutzt (Zingaro & Reichenbacher, 2022). Da mobile Nutzerinnen und

Nutzer oft Entscheidungen in einem sich stetig verändernden Kontext treffen müssen (Abowd et al., 1999), dabei durch eine kleine Bildschirmgröße eingeschränkt werden (Findlater & McGrenere, 2008) und nur begrenzte kognitive Ressourcen zur Verfügung haben (Baus et al., 2002), ist das Adaptieren auf diesen mobilen Geräten besonders nützlich (Kiefer et al., 2017). Die Vorteile des Adaptierens an einen bestimmten Kontext wurden bereits in der Einführung erwähnt. Kurz zusammengefasst, wird die Karte dadurch übersichtlicher und die Relevanz der dargestellten Informationen kann erhöht werden (Ballatore & Bertolotto, 2015; Reichenbacher, 2008). Dadurch sinkt die kognitive Belastung, was dazu beiträgt, dass Aufgaben schneller und einfacher erledigt werden können (Ballatore & Bertolotto, 2015).

Ein verwandtes Konzept sind Location-Based Services (LBS). LBS sind Informationsdienste, die Karten und Informationen basierend auf der Position des Nutzers oder der Nutzerin anpassen und häufig mit GPS arbeiten, wenn sie für die Nutzung ausserhalb von Gebäuden gedacht sind (L. Meng, 2005; D. Zhang et al., 2009). Für LBS gibt es diverse Anwendungszwecke (Huang et al., 2018) und sie haben sich in den letzten Jahren stark verbreitet (Griffin, Robinson, et al., 2017). Jedoch fokussieren sich LBS meistens nur auf die Position der Nutzenden und verwenden häufig zu einfache räumliche Konzepte (Reichenbacher 2009a; Reichenbacher et al., 2016). Nutzerinnen und Nutzer von mobilen Karten können sich in vielen verschiedenen Eigenschaften und in ihren Hintergründen unterscheiden und die physischen und kognitiven Möglichkeiten sowie die Persönlichkeiten, Bedürfnisse und Anforderungen an die Karte können von Person zu Person variieren (Nivala & Sarjakoski, 2007). Um die Nutzerinnen und Nutzer effektiv bei ihren Aufgaben zu unterstützen, sollten LBS daher die Informationen nicht nur an die Position der Nutzenden, sondern auch an weitere Kontextinformationen anpassen (Huang et al., 2018; Raper et al., 2007; D. Zhang et al., 2009).

Bei adaptiven Visualisierungen ist das der Fall, denn hier werden weitere Kontextinformationen wie individuelle Unterschiede zwischen den Nutzenden, Umweltinformationen und die Aktivität des Nutzers oder der Nutzerin berücksichtigt (Griffin, White, et al., 2017; Ricker & Roth, 2018). Dadurch lässt sich die Karte an verschiedene Nutzungskontexte anpassen, zum Beispiel durch die Vergrößerung von Symbolen für Menschen mit eingeschränktem Sehvermögen oder durch Anpassung des Farbschemas an kulturelle Konventionen (Bartling et al., 2022). Auch die vom Nutzer oder der Nutzerin benötigten geographischen Informationen hängen von dem durch die Kontextinformationen beschriebenen Nutzungskontext ab und können sich je nach Nutzungssituation und Aktivität unterscheiden (Nivala & Sarjakoski, 2007). Aus diesem Grund sollten, sofern möglich, nur Informationen dargestellt werden, die für die jeweilige Aktivität relevant sind und den Bedürfnissen der Nutzenden entsprechen (Nivala & Sarjakoski, 2007). Der Inhalt der daraus resultierenden Visualisierung ist dann für die Nutzenden von höherer Relevanz, was zu einer gesteigerten Brauchbarkeit der Kartenanwendung führen kann (Reichenbacher, 2009b).

2.2.2 Adaptiv - Adaptierbar

Bei Anwendungen, die sich dem Nutzungskontext anpassen, unterscheidet man zwischen adaptiven Visualisierungen und adaptierbaren Visualisierungen (Raubal & Panov, 2009; Reichenbacher, 2008). Adaptive Visualisierungen passen die Visualisierung automatisch abhängig vom Nutzungskontext an die Bedürfnisse der Nutzenden an (Chou et al., 2018; Sarjakoski & Sarjakoski, 2008). Die Visualisierung wird dynamisch an die jeweilige Aufgabe

angepasst, ohne dass eine manuelle Anpassung durch den Nutzer oder die Nutzerin erforderlich ist (Richter et al., 2010; Zipf & Jöst, 2006). Ein adaptives System basiert somit auf dem Wissen über die Kontextinformationen (Sarjakoski & Sarjakoski, 2008).

Adaptierbare Visualisierungen bieten den Nutzenden hingegen die Möglichkeit, verschiedene Eigenschaften der Visualisierung entsprechend ihren Bedürfnissen anzupassen (Chou et al., 2018). Dadurch, dass die Nutzenden hier die Adaptation selbst initiieren können, erhalten sie Kontrolle über die Anpassung der Visualisierung (Sarjakoski & Sarjakoski, 2008; Richter et al., 2010).

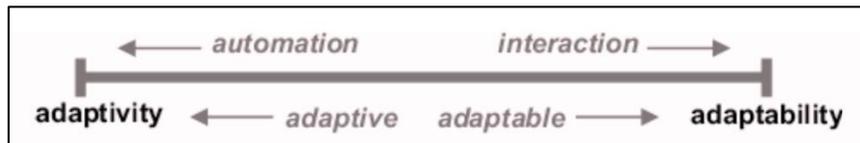


Abb. 6: Die Adaptivität – Adaptierbarkeit Dichotomie (Reichenbacher, 2008).

Ein System kann aus adaptiven und adaptierbaren Elementen bestehen, die unterschiedlich stark vertreten sind (Zipf & Jöst, 2006). Adaptive Elemente sind dann nützlich, wenn die Anzahl der Nutzerinteraktionen zu gross wird, um sie manuell durchzuführen, oder wenn die Nutzenden nicht dazu in der Lage sind, die Änderungen selbst vorzunehmen (Bartling et al., 2022). Laut Huang & Gao (2018) sollten Änderungen, wenn möglich, adaptiv erfolgen, da die Nutzenden der Anwendung oft in verschiedene Aufgaben involviert sind und gerade auf mobilen Geräten die Interaktionsmöglichkeiten durch die kleine Bildschirmgröße zusätzlich beschränkt werden. Adaptive Interfaces können zwar nützlich sein, sie müssen jedoch vorsichtig implementiert werden, um einen Verlust von Kontrolle, Transparenz (Nutzende verstehen, wie das System funktioniert) und Vorhersehbarkeit (Nutzende können den Output eines bestimmten Inputs voraussagen) zu vermeiden (Gajos et al., 2008; Höök, 2000; Kiefer et al., 2017). Insbesondere bei fortschrittlicheren Adaptationen ist es wichtig, dass der Nutzer oder die Nutzerin Kontrolle über das System hat und die Adaptation transparent und vorhersagbar ist (Kiefer et al., 2017). Weiter kann eine unzureichende Implementierung der Adaptivität oder mangelnde Transparenz für die Nutzenden kontraproduktiv sein und auf Ablehnung stossen (Bartling et al., 2022; Kiefer et al., 2017). Die Adaptivität kann dann mehr irritieren und schaden als nützen (Mac Aoidh et al., 2009). Auch falsche Interpretationen des Nutzungskontexts durch die Applikation können für die Nutzenden sehr frustrierend sein (Nivala & Sarjakoski, 2003). Die dadurch bei den Kartennutzenden hervorgerufene Frustration kann die Motivation sinken lassen, die Kartenanwendung weiterhin zu nutzen (Bartling et al., 2022; Gottwald et al., 2016; Y. Meng & Malczewski, 2010).

Hier liegt der Vorteil von adaptierbaren Elementen, durch welche den Nutzenden eine bessere Kontrolle gegeben werden kann. Mac Aoidh et al. (2009) schlagen zum Beispiel vor, den Nutzenden die Möglichkeit zu geben, statt der automatisch angepassten Darstellung eine Standarddarstellung verwenden zu können, die nicht an den Nutzer oder die Nutzerin angepasst ist. Falls die personalisierte Adaptation zu ungenau ist, kann auf diese Weise auf die Standarddarstellung gewechselt werden. Zusätzlich dazu oder als Alternative kann den Nutzenden auch die Möglichkeit geboten werden, die ungewünschte Adaptivität ganz zu deaktivieren (Reichenbacher, 2003). Adaptierbare Elemente können jedoch für mobile und spontane

Interaktionen, bei denen das Vornehmen von Anpassungen zu zeitaufwändig ist, unattraktiv sein (Kiefer et al., 2017).

	Adaptive	Adaptable
Definition	dynamic adaptation by the service to current task and user	user changes functionality of the service
Strengths	little (or no) effort by the user	user is in control
Weaknesses	loss of control	user must do substantial work

Abb. 7: Charakteristiken von adaptiven und adaptierbaren Applikationen. Übernommen von Raubal & Panov (2009), welche die Tabelle auf Grundlage von Fischer (1993) erstellt haben.

2.2.3 Adaptive Kartenapplikationen

In der Forschung wurden bereits diverse adaptive Kartenapplikationen für die mobile Nutzung in verschiedenen Bereichen beschrieben und entwickelt. Beispielsweise beschreiben Nivala & Sarjakoski (2007) den "GiMoDig"-Service, welcher abhängig von verschiedenen Kontextfaktoren wie der Aktivität und der Identität (Sprache und Alter) der Nutzenden oder der Zeit (Jahreszeit und Tageszeit) adaptiert wird. Weitere Beispiele für Applikationen, deren Karten und/oder Interfaces sich an verschiedene Kontexte adaptieren, werden von Sarjakoski & Sarjakoski (2008) vorgestellt. Sie nennen verschiedene adaptive Applikationen für Touristen wie "GUIDE", "Deep Map", oder "CRUMPET", oder adaptive Navigationsapplikationen für Auto- und Fahrradfahrende wie zum Beispiel "TomTom Go", welche neben der Position auch die Zeit berücksichtigt. Casillo et al. (2017) entwickelten die "SmartApp Salerno", eine adaptive, kontextsensitive Applikation, um Touristen beim Erkunden einer Stadt basierend auf ihren Interessen und ihrer Position zu leiten. Eine weitere Applikation für Touristen beschreiben Anacleto et al. (2014). Basierend auf den Präferenzen der Touristen und weiteren Kontextinformationen gibt der von ihnen vorgestellte mobile Empfehlungsdienst "PSIS Mobile" Empfehlungen über POIs ab, die bei der Erkundung eines Orts besichtigt werden könnten. Weitere Beispiele sind ein von Feng & Liu (2015) präsentiertes adaptives Interface-Modell für mobile LBS, oder das kontextsensitive System "mPASS", welches Daten über die Umwelt und aus weiteren Quellen sammelt und den Nutzenden personalisierte Karten bietet, indem die vorgeschlagenen Routen an die Bedürfnisse, Einschränkungen und Präferenzen der Nutzenden angepasst werden (Mirri et al., 2014).

Zur Entwicklung von adaptiven Kartenapplikationen, die darauf abzielen, die Suche nach geeigneten öffentlichen Ladestationen zu erleichtern, gibt es bislang nur wenig Literatur. Zudem fokussieren sich die bisher beschriebenen Applikationen nicht explizit auf das Adaptieren an unterschiedliche Nutzungskontexte oder auf die Visualisierung der Ladestationen abhängig ihrer Relevanz. Trotzdem lassen sie sich als adaptiv bezeichnen, da sie verschiedene Kontextfaktoren berücksichtigen und sich diesen anpassen. Eine dieser mobilen Kartenapplikationen ist die "IoE mobile application" und wurde von Bedogni, Bononi, D'Elia, Felice, Rondelli, et al. (2014) entwickelt (vgl. Abb. 8). Um die Visualisierung anzupassen, verwendet diese Applikation die Distanz der öffentlichen Ladestationen zur Position der Nutzenden, die Präferenzen der Nutzenden und weitere Faktoren. Beim Testen der Applikation konnte festgestellt werden, dass die Bedenken bezüglich der Verfügbarkeit von Ladestationen deutlich verringert werden konnten (Bedogni, Bononi, D'Elia, Felice, Rondelli, et al., 2014). Masuch et al. (2011) entwickelten ein mobiles EV-Management-System, welches öffentliche Ladestationen

vorschlägt, abhängig von der geplanten Route und den festgelegten Präferenzen. Ihre Applikation berücksichtigt dabei auch Kalendereinträge, berechnet basierend darauf die bevorstehenden Routen, die die Nutzenden der Applikation voraussichtlich fahren werden, und schlägt für diese Route geeignete öffentliche Ladestationen vor. Eine weitere mobile Kartenapplikation, die verschiedene Kontextinformationen berücksichtigt, ist die "V2Anything App" (Ferreira et al., 2014). Diese App berechnet, wie weit mit der vorhandenen Batteriekapazität noch gefahren werden kann und zeigt diese Reichweite den Nutzenden auf einer Karte an. Falls auf der Karte eine öffentliche Ladestation ausserhalb dieser Reichweite ausgewählt wird, zeigt die App eine Warnung an, dass diese Ladestation nicht mehr erreicht werden kann. Auf diese Weise werden die Nutzenden davor bewahrt, eine öffentliche Ladestation anzusteuern, für die ihre Restreichweite nicht ausreichend ist. Ebenfalls eine Applikation, welche die Distanz berechnet, die noch gefahren werden kann, und basierend darauf mögliche öffentliche Ladestationen vorschlägt, an denen geladen werden sollte, stellen Bedogni, Bononi, D'Elia, Felice, di Nicola, et al. (2014) vor. Ein Echtzeit-Empfehlungsdienst für öffentliche Ladestationen, der auf das Laden von Elektro-Taxis ausgelegt ist, wurde von Tian et al. (2016) entwickelt. Das System empfiehlt den Taxifahrenden jeweils die Ladestation, an welcher der gesamte Ladevorgang inklusive Fahrdauer zur Ladestation am schnellsten abgeschlossen werden kann und berücksichtigt dabei die Position des Taxis, das Verhalten der anderen Taxis sowie den Status der Ladestationen. Neben den Applikationen, welche in einem wissenschaftlichen Kontext entwickelt wurden, gibt es viele weitere Kartenapplikationen, welche die öffentlichen Ladestationen visualisieren, beispielsweise Apps von Ladenetzbetreibern. Einige Beispiele für solche Applikationen werden von Stillwater et al. (2013) aufgezählt.

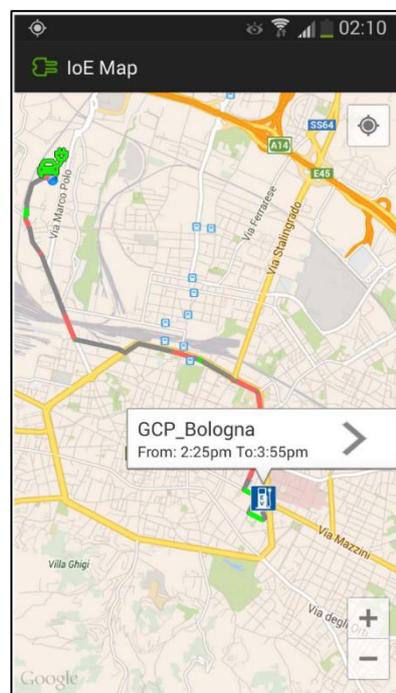


Abb. 8: Screenshot von der IoE mobile application mit dem berechneten Weg zu einer Ladestation (Bedogni, Bononi, D'Elia, Felice, Rondelli, et al., 2014).

Die meisten der zuvor genannten Applikationen haben einen sehr spezifischen Anwendungszweck. Beispielsweise das Bestimmen von öffentlichen Ladestationen innerhalb der Restreichweite oder das Berechnen des kürzesten Wegs zum Zielort mit einem Zwischenstopp bei einer Ladestation. Das Ermitteln von Faktoren, welche abhängig von Nutzungskontext einen Einfluss auf die Relevanz der öffentlichen Ladestationen haben, wird jedoch für keine der genannten Applikationen durchgeführt. Oft werden einfache Annahmen über die Präferenzen der Nutzenden getroffen und in die Applikation integriert, wobei nur wenige Präferenzen überhaupt erst in Betracht gezogen werden. Eine umfassende Bestimmung der Relevanz, die alle Faktoren berücksichtigt, die die Relevanz beeinflussen können, findet bei keiner der beschriebenen Applikationen statt.

2.3 Kontext

Wie bereits mehrfach erwähnt, handelt es sich bei einer adaptiven Kartenanwendung um eine Kartenanwendung, die sich an den Nutzungskontext anpasst. In diesem Kapitel wird erläutert, was genau ein Nutzungskontext ist und wie er erfasst werden kann.

2.3.1 Definition von Kontext

Applikationen mit der Fähigkeit, den Kontext einer Situation zu erfassen und zu verstehen und ihr Verhalten auf eine von den Nutzenden bevorzugte Art daran zu adaptieren, werden als kontextsensitive Applikationen bezeichnet (D. Zhang et al., 2009). Kontext selbst wird in diesem Zusammenhang häufig definiert als *"any information that can be used to characterize the situation of an entity. An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and applications themselves"* (Abowd et al., 1999, S. 304). Bei vielen kontextsensitiven Applikationen (z. B. in vielen LBS) wird nur die Position der Nutzenden als Kontextinformation verwendet. Die Position alleine reicht jedoch nicht aus, um den mobilen Nutzungskontext vollständig zu erfassen (Grifoni et al., 2018).

Sagl et al. (2015) unterscheiden zwischen externem und internem Kontext. Der externe Kontext beschreibt Informationen über die physische Umgebung, während der interne Kontext die menschlichen kognitiven Faktoren beschreibt (Bartling et al., 2022). Kontext kann auch in verschiedene Kategorien eingeteilt werden, wobei es verschiedene Möglichkeiten gibt, wie dies getan werden kann (D. Zhang et al., 2009; Bartling et al., 2021). Zum Beispiel teilen Griffin, White, et al. (2017) die Kontextinformationen basierend auf der Interaktion von 4 Komponenten in vier Kategorien ein (vgl. Tab. 2). Andere Kategorisierungen von Kontext werden beispielsweise von Nivala & Sarjakoski (2003), Sarjakoski & Nivala (2005), D. Zhang et al. (2009) oder Bartling et al. (2022) vorgenommen oder beschrieben. Obwohl sich die Einteilungen ähneln, werden in manchen Fällen die breit gefassten Kategorien in präzisere Kategorien unterteilt oder neue Kategorien hinzugefügt. Zum Beispiel wird in einigen Kategorisierungen eine eigene Kategorie für die Zeit verwendet (Bartling et al., 2022; Sarjakoski & Nivala, 2005) oder Sarjakoski & Nivala (2005) fügen zusätzlich die Kategorie "Navigationsverlauf" hinzu, die zuvor besuchte Orte und Handlungen umfasst. Anstelle von der Einteilung in Kategorien beschreibt Reichenbacher (2008) für die Einteilung des mobilen Nutzungskontexts vier verschiedene Dimensionen: Informationsraum, physischer Raum, Systemraum und Nutzerraum. Der

Informationsraum umfasst die Informationen, die dem Nutzer oder der Nutzerin präsentiert werden. Die Position des Nutzers/der Nutzerin in Raum und Zeit sowie weitere Umweltfaktoren werden durch den physischen Raum beschrieben. Der Nutzerraum enthält die Charakteristiken der Nutzerin oder des Nutzers und die Aktivität, und der Systemraum deckt die technischen Eigenschaften des Systems ab.

Tab. 1: Die vier Kategorien von Kontext von (Griffin, White, et al., 2017).

Kategorie	Beschreibung
Nutzer/Nutzerin der Karte	<ul style="list-style-type: none"> • Individuelle Unterschiede und Möglichkeiten, kognitive Fähigkeiten, Emotionen • Beispiele: <ul style="list-style-type: none"> ○ Unterschiede im Lesen, Interpretieren und Benutzen der Karte ○ Unterschiede im Sehvermögen oder Farbsehschwächen ○ Unterschiede abhängig vom Alter oder Geschlecht
Umgebung, in der die Karte genutzt wird	<ul style="list-style-type: none"> • Physische Umwelt (z. B. Lichtverhältnisse, Temperatur, Wetterbedingungen, Geräuschstärke)
Aktivität	<ul style="list-style-type: none"> • Aus welchem Grund wird die Karte genutzt? • Wann wird die Aktivität ausgeführt? • Mit wem wird die Aktivität unternommen?
Karte	<ul style="list-style-type: none"> • Natur der Daten • Bildeigenschaften • Technik des mobilen Geräts

2.3.2 Kontext erfassen

Mit Nutzungskontext wird der Kontext bezeichnet, in dem die mobile Kartenapplikation verwendet wird, um geographische Informationen abzurufen. Damit die Karte an einen bestimmten Nutzungskontext angepasst werden kann, muss dieser bekannt sein (Bartling et al., 2022). Um den Nutzungskontext zu bestimmen, kann explizites oder implizites Feedback verwendet werden (Ballatore & Bertolotto, 2015; D. Zhang et al., 2009).

Explizites Feedback ist statisch und ändert sich häufig über einen längeren Zeitraum nicht (Mac Aoidh et al., 2009). Beim expliziten Feedback geben die Nutzenden der Applikation ihre Präferenzen direkt im System ein oder wählen eine Anpassung basierend auf ihren Bedürfnissen (z. B. Anpassung der Sprache) (Ballatore & Bertolotto, 2015; Mac Aoidh et al., 2009). Eine Methode, um explizites Feedback zu erfassen, ist, dass die Nutzenden ihre Präferenzen in einem Nutzerprofil spezifizieren und dieses anschliessend auf dem Gerät abgespeichert wird (D. Zhang et al., 2009).

Implizites Feedback hingegen bezieht sich auf Informationen, die indirekt, ohne dass sich die Nutzenden darum kümmern müssen, erfasst werden und aus denen die Präferenzen der Nutzenden abgeleitet werden können (Mac Aoidh et al., 2009). Zudem ist implizites Feedback dynamisch und kann sich deshalb häufig ändern (z. B. die Position) (Ballatore & Bertolotto, 2015). Wenn möglich, werden implizite Techniken für die Kontexterfassung bevorzugt, da sie

für die Nutzenden bei ihren Aktivitäten nicht störend sind (Mac Aoidh et al., 2009). Eine Möglichkeit, Kontextinformationen implizit zu erfassen, ist die Verwendung von Sensoren (Li et al., 2015). Ein typischer Sensor ist der GPS-Sensor, mit dem die Position bestimmt werden kann. Des Weiteren können auch virtuelle Sensoren (Informationen werden aus dem Gerätesystem ausgelesen, z. B. Kalendereinträge) oder logische Sensoren (Verknüpfung von physischen und virtuellen Sensorinformationen) verwendet werden (D. Zhang et al., 2009).

2.3.3 Kontexte beim Laden an öffentlichen Ladestationen

Literatur, welche explizit die verschiedenen Kontexte beschreibt, in denen nach einer öffentlichen Ladestation gesucht oder an einer öffentlichen Ladestation geladen wird, ist nicht vorhanden. Es gibt jedoch Studien, die verschiedene Aspekte des Ladeverhaltens genauer analysieren oder beschreiben, und deren Erkenntnisse dazu genutzt werden können, um die Kontexte beim Laden zu verstehen. Dadurch kann hauptsächlich auf die mit dem Ladevorgang verbundene Aktivität der Nutzenden geschlossen werden. Beispielsweise untersuchen Wolbertus et al. (2018a) die Faktoren, die Einfluss auf die Ladedauer an öffentlichen Ladestationen haben. Anhand der Ladezeiten identifizieren sie verschiedene Arten, wie Elektrofahrzeuge geladen werden. Diese sind "stop & charge" (Hauptziel ist das Laden des Fahrzeugs), "park & charge" (Hauptziel ist das Parken, Laden eher nebensächlich), "work & charge" (Laden während der Arbeit oder in der Nacht) und "home & charge" (Laden zu Hause, vor allem in der Nacht). Gerade bei Ladestationen mit einer Ladeleistung unter 11 kW ist das Ladeverhalten mehr auf das Parken als auf das Laden ausgerichtet, wobei das Auto häufig mehrere Stunden (z. B. über Nacht) auf dem Parkplatz stehen gelassen wird (Wolbertus et al., 2018a). Auch Robinson et al. (2013) analysieren verschiedene Ladeverhalten und stellen fest, dass es verschiedene Nutzertypen mit verschiedenen Ladeprofilen gibt. Ebenfalls Gründe für das Laden an öffentlichen Ladestationen, welche denen von Wolbertus et al. (2018a) ähneln, nennt Mayfield (2012).

2.4 Relevanz

Um die relevanten Informationen je nach Nutzungskontext zu visualisieren, muss die Relevanz der Informationen abhängig vom Nutzungskontext bestimmt werden. Das Bestimmen der Relevanz durch das alleinige Filtern von Informationen ist unzureichend, denn Relevanz wird vom Menschen in verschiedenen Graden oder Kategorien wahrgenommen (Cosijn & Ingwersen, 2000; Crease & Reichenbacher, 2011; Tang et al., 1999) und hat ein ordinales Messniveau (Swienty et al., 2008). Zudem ist Relevanz nie absolut, sondern wird immer in Bezug auf etwas gesehen (Swienty et al., 2008). In diesem Kapitel wird erläutert, was Relevanz im geographischen Kontext bedeutet und wie sie bestimmt werden kann.

2.4.1 Geographic Relevance

Um die Relevanz von physischen Objekten im geographischen Raum bestimmen zu können, wurde das Konzept der "Geographic Relevance" (GR) entwickelt (Raper, 2007; Reichenbacher et al., 2009). GR steht in Verbindung mit dem Bedürfnis nach geographischen Informationen (Raper, 2007) und einem räumlichen Problem, das es zu lösen gibt, einem Ziel, das erreicht werden soll, oder einer Aktivität, die unterstützt werden soll (Reichenbacher, 2009a). Die GR

beschreibt dabei die Relevanz einer geographischen Entität in einem bestimmten Nutzungskontext, wobei als "geographische Entität" einzelne physische Entitäten oder Objekte in der realen Welt bezeichnet werden (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Reichenbacher et al. (2009) definieren GR als Eigenschaft einer Entität im geographischen Raum oder ihrer Darstellung, die als Beziehung zwischen der Entität oder ihrer Darstellung und dem tatsächlichen Kontext der Verwendung der Darstellung ausgedrückt wird. GR ist somit das Ausmass, in dem Informationen in einer Darstellung des geografischen Raums entweder dem impliziten oder expliziten Informationsbedarf eines Nutzers oder einer Nutzerin entsprechen und in dem sie die Entscheidungsfindung oder Problemlösung unterstützen (Reichenbacher et al., 2009, S. 1).

De Sabbata (2010) nennt eine Reihe von Faktoren, welche in die Beziehung zwischen dem Kontext der Nutzerinnen und Nutzern einer Karte und einem geographischen Objekt in ihrer Umgebung involviert sind. Dazu gehören die Interessen und Position der Nutzenden, der Zeitplan, die Aktivität, das Wissen über die Umgebung, die Kategorie des geographischen Objekts sowie die Position, die Gültigkeit in Bezug auf die Zeit (time validity) und die Nutzbarkeit (affordance) des geographischen Objekts (De Sabbata, 2010). Um die geographische Relevanz eines Objekts im Hinblick auf einen bestimmten Nutzungskontext zu bewerten, müssen geeignete Relevanzkriterien verwendet werden, um diese Beziehung zwischen dem Nutzer oder der Nutzerin einer mobilen Kartenapplikation und dem geographischen Objekt zu analysieren (De Sabbata, 2010).

Basierend auf der Idee, dass geographische Entitäten nicht als unabhängige Entitäten bestehen, sondern in einem spezifischen geographischen Kontext existieren (Reichenbacher et al., 2009), hat De Sabbata (2010) die vier Kriterien "Hierarchy", "Cluster", "Co-Location" und "Association-Rule" beschrieben, die zur Bestimmung der geographischen Relevanz einer Entität verwendet werden können. Das Kriterium "Hierarchy" entspricht dabei dem Grad der Abweichung zwischen der Position des Nutzers/der Nutzerin und dem Standort der geographischen Entität innerhalb einer vordefinierten räumlichen Hierarchie (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Das Kriterium "Cluster" beschreibt den Grad der Zugehörigkeit einer Entität zu einem räumlichen Cluster von verwandten oder nicht-verwandten Entitäten. "Co-Location" ist das Ausmass, zu welchem eine Entität einem Muster folgt, bei dem sich in der Nähe der Entität sinnvolle andere Arten von Entitäten befinden (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Die Idee dahinter ist, dass, wenn andere Entitäten in der Nähe liegen, die im Zusammenhang mit der ersten Entität ebenfalls den Bedürfnissen des Nutzers/der Nutzerin entsprechen, dies die Relevanz der ersten Entität erhöht (z. B. Restaurant in der Nähe eines Kinos). Mit dem Kriterium "Association Rule" wird das Ausmass beschrieben, zu welchem eine geographische Entität eine Regel erfüllt, die für eine Gruppe von verwandten Entitäten als gemeinsam betrachtet werden kann (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Damit soll berücksichtigt werden, dass wenn bestimmte Attribute normalerweise mit einer Eigenschaft einer Entität einhergehen, Entitäten, bei denen diese Attribute nicht korrelieren, nicht von gleicher hoher Relevanz sind (z. B. Leistungen eines Hotels und dessen Preis). De Sabbata & Reichenbacher (2012) schlagen zudem das Kriterium "anchor-point proximity" vor, welches von ihnen definiert wird als das Ausmass, zu welchem sich eine Entität in räumlicher Nähe zu einem Ort befindet, der vom Benutzer oder der Benutzerin als "Anchor-Point" angesehen wird. Ein Anchor-Point ist ein dem Benutzer oder der Benutzerin vertrauter Ort, an dem er oder sie sich häufig aufhält (z. B. zu Hause, Arbeitsort). Das Kriterium basiert auf der Idee, dass

es komfortabler ist, zu einer Entität nahe einem Anchor-Point zu gelangen. Daher wird eine Entität in der Nähe eines Anchor-Points als relevanter angesehen, als eine gleichwertige Entität weiter entfernt von einem Anchor-Point.

Welchen Einfluss vier der fünf zuvor genannten geographischen Kriterien und weitere 11 Kriterien aus den Gebieten Information Retrieval (IR) und GIScience auf die GR haben, wurde von De Sabbata & Reichenbacher (2012) getestet. Dabei wurde festgestellt, dass "spatio-temporal proximity" und "coverage" (Ausmass, in dem die Bedürfnisse des Nutzers oder der Nutzerin durch die Möglichkeiten der Entität befriedigt werden) am höchsten bewertet wurden. Das Kriterium "spatio-temporal proximity" wird in GIScience häufig "accessibility" genannt und wird von De Sabbata & Reichenbacher (2012, S. 1499) definiert als das Ausmass, zu dem die Entität dem Nutzer oder der Nutzerin räumlich-zeitlich nahe ist und wie lange dieser Status ab dem Zeitpunkt, zu dem der Nutzer oder die Nutzerin an diesem Ort eintrifft, anhalten wird.

Ebenfalls hohe Bewertungen erhielten die Kriterien "currency" (das Ausmass, zu welchem die Informationen über eine Entität aktuell sind), "accuracy" (das Ausmass, zu welchem die Informationen über eine Entität genau und korrekt sind) und "anchor-point proximity". Nicht ganz so hoch, aber dennoch als wichtig bewertet wurden die geographischen Kriterien "co-location", "hierarchy", "cluster" und "directionality".

Das geographische Kriterium "directionality" beschreibt das Ausmass, in dem eine Entität in derselben Richtung liegt, in die sich der Nutzer oder die Nutzerin fortbewegt, oder die Länge des Umwegs, die erforderlich ist, um den Ort der Entität in den geplanten Weg miteinzubeziehen (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Demzufolge ist eine Voraussetzung für das Kriterium "directionality", dass das System Wissen über die Fortbewegungsrichtung des Benutzers oder der Benutzerin und seinen/ihren künftigen Weg hat. Ein ähnliches Konzept wurde von Mountain & MacFarlane (2007) als "temporal proximity" vorgestellt und basiert auf der Annahme, dass Nutzende interessierter an Entitäten sind, die sie entlang ihres Weges noch antreffen werden, als an Entitäten, die sie bereits passiert haben. Aufgrund der hohen Wichtigkeit der geographischen Kriterien konnten De Sabbata & Reichenbacher (2012) zeigen, dass sich GR von der Relevanz in IR unterscheidet.

Anhand ihrer Wichtigkeit für die GR können drei Arten von Kriterien unterschieden werden. Die "fundamentalen" Kriterien, zu welchen "Topicality" und "spatio-temporal proximity" gehören, beurteilen grundlegend, ob eine Entität in einem bestimmten Kontext relevant ist oder nicht (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). "Topicality" ist wichtig, da Entitäten nur relevant für eine Aktivität sind, wenn sie auch semantisch relevant sind (Reichenbacher et al., 2016). Kriterien, die festlegen, wie relevant eine realistische Option ist, gehören zu den "primären" Kriterien. Zu dieser Art von Kriterien gehören "directionality", "co-location", "cluster" und "hierarchy". Die dritte Art wird als "sekundäre" Kriterien bezeichnet und besteht aus Kriterien, die zur Unterscheidung zwischen zwei ähnlichen Entitäten beitragen können, aber selbst nicht ausreichend einflussreich sind, um bei unterschiedlich relevanten Entitäten einen Unterschied auszumachen (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Wie wichtig die sekundären Kriterien für die Relevanz einer Entität sind, hängt vom Kontext und/oder von persönlichen Präferenzen ab. Neben den drei Arten von Kategorien kann auch zwischen dynamischen und statischen Kriterien unterschieden werden. Dynamische Kriterien ändern sich häufig, und die Relevanz muss für jede Situation neu berechnet werden, während statische Kriterien über einen

längeren Zeitraum unverändert bleiben und die Relevanz nur einmal berechnet werden muss (De Sabbata & Reichenbacher, 2012).

2.4.2 Relevanz von öffentlichen Ladestationen

Öffentliche Ladestationen haben nicht nur geographische Eigenschaften, sondern auch eine Reihe an technischen Spezifikationen, welche ebenfalls einen Einfluss auf die Relevanz einer Ladestation in einem bestimmten Kontext haben können. Demnach kann die Relevanz einer öffentlichen Ladestation nicht nur anhand der GR bestimmt werden, sondern es müssen noch weitere Faktoren in Betracht gezogen werden. Beispiele für Faktoren, die die Wahl einer öffentlichen Ladestation und somit auch die Relevanz der öffentlichen Ladestationen beeinflussen, werden von Yaqub & Heidary (2020) oder Hu et al. (2019) aufgezählt. Zu den von ihnen genannten Faktoren gehören die Position des Elektrofahrzeugs, der Status der öffentlichen Ladestation (frei, besetzt, ausser Betrieb), die Stabilität des Stromnetzes und die Qualität des Stroms, die Ladeleistung, die Erfahrungen mit der Ladestation (bewertet von anderen Nutzenden), die Sicherheit in der Gegend, die Ladekosten, die Restreichweite, die Distanz der Ladestation zur nächsten Ladestation, die Verweildauer und der Verweilort. Diese Kriterien beziehen sich sowohl auf technische Eigenschaften des Elektrofahrzeugs oder der Ladestation als auch auf geographische Kriterien, welche von der GR abgedeckt werden.

Eine Kategorisierung der Faktoren, welche einen Einfluss auf das Ladeverhalten und die Relevanz der Ladestationen haben können, geben Guo et al. (2022). Sie beschreiben die folgenden vier Kategorien von Faktoren, welche eng miteinander verknüpft sind:

- Charakteristiken des Fahrers oder der Fahrerin
 - Z. B. Demographische Faktoren, Reichweitenangst etc.
- Charakteristiken des Elektrofahrzeugs
 - Z. B. kompatible Steckertypen, Batterieladezustand etc.
- Eigenschaften der öffentlichen Ladestation
 - Z. B. Kosten, Ladeleistung, Steckertypen etc.
- Räumliche und zeitliche Faktoren
 - Z. B. Wetterverhältnisse, Distanz

In der Forschung zu den optimalen Standorten für neue öffentliche Ladestationen werden häufig die Faktoren untersucht, welche die Nachfrage nach öffentlichen Ladestationen an einem bestimmten Standort beeinflussen. Diese Faktoren werden in erster Linie dazu genutzt, die Eignung eines Standorts für eine öffentliche Ladestation zu beurteilen, können aber auch für die Bestimmung der Relevanz einer öffentlichen Ladestation im Allgemeinen berücksichtigt werden. Zu diesen Faktoren gehören unter anderem die Zuverlässigkeit, die Möglichkeit, während des Ladevorgangs in der Nähe der Ladestation andere Aktivitäten auszuführen (z. B. Einkaufen, Restaurantbesuch etc.) oder die Zugänglichkeit des Standorts (z. B. Öffnungszeiten, öffentlicher Ort) (Adenaw & Krapf, 2022).

2.5 Präferenzen bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation

Die Nutzenden einer mobilen Kartenapplikation können unterschiedliche Präferenzen und Bedürfnisse haben. Diese Präferenzen und Bedürfnisse haben einen grossen Einfluss darauf, welche öffentlichen Ladestationen für den Nutzer oder die Nutzerin in einem bestimmten Kontext relevant sind (Bae et al., 2022). Daher ist es entscheidend, die Präferenzen und Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer in verschiedenen Kontexten zu identifizieren, um eine kontext-sensitive mobile Applikation zu entwickeln (D. Zhang et al., 2009).

2.5.1 Präferenzen und Bedürfnisse

Es gibt verschiedene Bereiche, in denen Forschung zu den Präferenzen und Bedürfnissen der Nutzenden von Elektrofahrzeugen durchgeführt wird. Studien, die sich explizit mit den Präferenzen bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation auseinandersetzen, gibt es jedoch nur sehr wenige. Eine Studie, die sich damit beschäftigt, liefern Globisch et al. (2019), die die Attraktivität von öffentlichen Ladestationen und welche Eigenschaften der Ladestation die Attraktivität beeinflussen, untersuchen. Sie stellen fest, dass die Mehrheit der Befragten nicht gewillt ist, eine Startgebühr für das Starten des Ladevorgangs zu bezahlen und dass die Ladedauer in der Stadt und entlang der Autobahn einen starken Einfluss auf die Bewertung der Ladestation hat. Dafür verwenden sie Umfragedaten von 1003 deutschen Autofahrenden, von denen jedoch nur 1.5 Prozent ein Elektrofahrzeug besitzen. Eine weitere Studie, die die Präferenzen bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation untersucht, wurde von Philipsen et al. (2016) durchgeführt. Diese Studie konzentriert sich – wie viele andere Studien auch – auf den Standort der Ladestation. In besagter Studie wurde eine Umfrage durchgeführt und anschliessend die Daten der 252 Teilnehmenden ausgewertet. Philipsen et al. (2016) zeigen, dass nicht davon ausgegangen werden kann, dass Nutzende von öffentlichen Ladestationen Wartezeiten akzeptieren, um an einer Ladestation laden zu können. Weiter stellen sie fest, dass Dual-Use, Zuverlässigkeit und Zugänglichkeit sehr wichtige Evaluationskriterien für eine Ladestation sind. Philipsen et al. (2015) identifizieren die bevorzugten Standorte für Schnellladestationen in einer Stadt und untersuchen, wie diese Standorte bewertet werden. Sie leiten daraus acht Hauptevaluationskriterien für den Standort und die Realisierung von Schnellladestationen ab. Auch Sun et al. (2016) beschäftigen sich mit Schnellladestationen und nutzen Daten von Elektroautonutzenden, um die Länge des Umweges zu berechnen, der in Kauf genommen wird, um an einer Schnellladestation zu laden. Gutjar & Kowald (2023) führten ein "stated-preference"-Experiment mit 450 Teilnehmenden durch, um die Präferenzen für verschiedene Konfigurationen von öffentlichen Ladestationen in Deutschland zu erfassen. Sie stellen fest, dass bei öffentlichen Ladestationen eine harmonisierte Lösung für die Authentifizierung, die Zahlungsmethoden und die Preisgestaltung notwendig ist, da die derzeitigen Ladestationen heterogen sind und somit Herausforderungen für Nutzende von Elektrofahrzeugen schaffen (Gutjar & Kowald, 2023).

2.5.2 Öffentliche Ladeinfrastruktur

Da die öffentliche Ladeinfrastruktur ein wichtiger Faktor für den Erfolg von Elektrofahrzeugen ist, gibt es dazu bereits viele Studien (Anderson et al., 2018). Diese beschäftigen sich allerdings nicht alle mit den Präferenzen bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation, sondern es steht häufig der Standort der öffentlichen Ladestation im Fokus. Ein häufiges Ziel in den Studien ist

das Planen von Strategien zum Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur (Anderson et al., 2018), das Bestimmen von Eigenschaften, die einen optimalen Standort für eine öffentliche Ladestation ausmachen und das Nennen von Massnahmen und Gesetzesvorschlägen. Beispiele für Studien, die sich mit den Präferenzen bezüglich des Standortes von öffentlichen Ladestationen beschäftigen, liefern Almaghrebi et al. (2019), Anderson et al. (2018), Bae et al. (2022), Hidalgo et al. (2016) oder Philipsen et al. (2018). Letztere zeigen, dass das Ladeverhalten einen grossen Einfluss darauf hat, wo Ladestationen gebaut werden sollen. Wie stark die Präferenzen der Nutzenden in solchen Studien, die den Fokus auf dem Standort der öffentlichen Ladestationen haben, berücksichtigt werden, unterscheidet sich jedoch stark. Song et al. (2015) gehen beispielsweise davon aus, dass immer die nächstgelegene Ladestation gewählt wird und berücksichtigen keine weiteren Kriterien ausser der Distanz zur Ladestation.

In vielen Studien, die sich nicht nur auf öffentliche Ladestationen beschränken, sondern auch weitere Ladestationen wie private Ladestationen zu Hause berücksichtigen, werden ebenfalls Präferenzen in Bezug auf das Laden von Elektrofahrzeugen untersucht. Visaria et al. (2022) führen einen Literatur-Review über Studien zum Ladeverhalten von Elektrofahrzeugen durch und analysieren semi-strukturierte Interviews mit dänischen Elektrofahrzeugnutzenden. Sie beschreiben abschliessend die Faktoren, die die Entscheidung für das Laden eines Elektrofahrzeugs beeinflussen, und berechnen die "Willingness to Pay" (Bereitschaft zu zahlen) für verschiedene Eigenschaften der Ladestationen. Laut Visaria et al. (2022) ist ein Vergleich ihrer Ergebnisse mit anderen Studien nicht möglich, da es nur wenig Literatur gibt, die die Präferenzen quantifiziert. Ebenfalls ein Literatur Review zu Studien, welche sich mit den Präferenzen bezüglich der Ladeinfrastruktur im Allgemeinen beschäftigen, führen Hardman et al. (2018) durch. Weitere Studien, die sich mit den Präferenzen und Kriterien beim Laden von Elektrofahrzeugen im Allgemeinen beschäftigen, sind Wolff & Madlener (2019), Jabeen et al. (2013), Wang et al. (2021) und Xu et al. (2017).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es zwar einige Studien gibt, die die Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzerinnen und Nutzer von öffentlichen Ladestationen untersuchen, jedoch beschränken sich diese oft auf nur wenige einzelne Präferenzen. Der Zusammenhang dieser Präferenzen mit dem Kontext, in dem geladen wird, wird meistens nicht ausführlich analysiert.

3 Methoden

3.1 Einfluss der Kriterien auf die Relevanz bestimmen

Als Erstes sollen Kriterien definiert und beschrieben werden, von welchen, aufgrund bestehender Literatur, davon ausgegangen werden kann, dass sie einen grossen Einfluss auf die Relevanz der öffentlichen Ladestationen haben. Danach soll der Einfluss dieser Kriterien auf die Relevanz einer öffentlichen Ladestation abhängig vom Nutzungskontext beurteilt werden. Ziel ist es, herauszufinden, welche Kriterien für das Bestimmen der Relevanz am wichtigsten sind, wie wichtig die Kriterien im Verhältnis zueinander sind und wie ihr Einfluss auf die Relevanz vom Nutzungskontext abhängt. Dafür ist es entscheidend zu verstehen, welche Bedürfnisse und Präferenzen die Nutzerinnen und Nutzer von öffentlichen Ladestationen je nach Nutzungskontext haben, denn die relevantesten Ladestationen sind jeweils die, welche diese Bedürfnisse am besten erfüllen.

Die meisten bestehenden Studien zum Ladeverhalten oder zu den Präferenzen bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation beschränken sich auf einzelne Präferenzen oder den optimalen Standort für neue Ladestationen. Die Faktoren, die eine Ladestation in einem bestimmten Nutzungskontext relevant machen, werden häufig nicht untersucht. Zudem sind einige der Studien etwas älter und können aufgrund des starken Ausbaus der öffentlichen Ladeinfrastruktur in den vergangenen Jahren möglicherweise nur begrenzt dazu verwendet werden, die aktuellen Präferenzen der Nutzenden abzubilden. Hinzu kommt, dass der technische Fortschritt bei Elektrofahrzeugen in den letzten Jahren zu einer grösseren Batteriereichweite geführt hat, was sich auf die Wahl der Ladestation auswirken könnte (Hardman et al., 2018). Zudem wurden in den Studien häufig auch viele Personen befragt, welche kein Elektrofahrzeug besitzen oder keine Erfahrung mit öffentlichen Ladestationen haben. Wie bereits gezeigt wurde, können sich die Antworten dieser Personen von Antworten von Personen mit Erfahrung mit öffentlichen Ladestationen unterscheiden (Philipsen et al., 2016). Daher ist die bestehende Forschung nicht ausreichend, um die Präferenzen und Bedürfnisse der Nutzenden von öffentlichen Ladestationen zu analysieren. Aus diesem Grund wird für diese Arbeit zusätzlich eine Befragung durchgeführt. Diese soll die Präferenzen bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation erforschen und auf diese Weise die Wichtigkeit der einzelnen Kriterien bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation bestimmen.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, die Identifikation relevanter öffentlicher Ladestationen in mobilen Kartenapplikationen zu erleichtern. Dafür ist neben einer Informationsreduktion und der Lenkung der Aufmerksamkeit auf relevante Informationen auch wichtig, dass die Nutzenden der Kartenapplikation anhand der vorhandenen Informationen die verschiedenen Eigenschaften der Ladestationen erkennen können. Auf diese Weise können sie besser nachvollziehen, warum eine bestimmte Ladestation von der Kartenapplikation eine bestimmte Relevanz zugewiesen bekommt. Durch die Befragung soll deshalb auch herausgefunden werden, welche Informationen für die Identifizierung einer geeigneten Ladestation von Nutzen sind und folglich in der Kartenapplikation vorhanden sein sollten. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse können zudem verwendet werden, um den Einfluss einzelner Kriterien auf die Relevanz einer Ladestation besser beurteilen zu können. Weiter wird mit der

Befragung untersucht, welche Funktionen oder Kartenwerkzeuge hilfreich sind, um eine geeignete Ladestation ausfindig zu machen. Diese Funktionen können später ebenfalls in eine Kartenapplikation integriert werden, um die Nutzerinnen und Nutzer der Applikation noch besser zu unterstützen.

In den folgenden Kapiteln werden die technische Umsetzung der Befragung, der konkrete Aufbau der Befragung sowie die verwendeten Fragearten genauer beschrieben.

3.1.1 Technische Umsetzung der Befragung

Die Umfrage soll Meinungen und Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer von öffentlichen Ladestationen repräsentieren. Deshalb besteht die Zielgruppe der Umfrage aus Personen, die bereits Erfahrung im Umgang mit öffentlichen Ladestationen gesammelt haben. Dies schliesst Personen mit ein, die zwar selbst kein Elektrofahrzeug besitzen, jedoch bereits einmal an einer öffentlichen Ladestation ein Fahrzeug aufgeladen haben. Da die Arbeit auf die Entwicklung einer Kartenapplikation für die Schweiz ausgerichtet ist, wird die Befragung in Deutsch durchgeführt. Die Ladeinfrastruktur in der Schweiz und den anderen deutschsprachigen Ländern ist gut vergleichbar, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass sich die Antworten von Teilnehmenden aus anderen Ländern nicht stark von den Antworten von Teilnehmenden aus der Schweiz unterscheiden werden. Um dies später überprüfen zu können, wird in der Umfrage das Herkunftsland der Teilnehmenden erfasst.

Die Umfrage wird mit der Online-Umfragesoftware "LimeSurvey UZH" erstellt und demzufolge online durchgeführt. Diese Umfragesoftware bietet viele Möglichkeiten für das Erstellen von Umfragen und das anschliessende Exportieren der Antworten. LimeSurvey wurde bereits in einer Vielzahl an Studien in diversen Fachgebieten verwendet (vgl. z. B. Khan et al., 2022; Márquez-Artavia et al., 2022; Nakano et al., 2019; Pepouna, 2016; Siegle et al., 2020). Online-Befragungen bieten zudem Vorteile wie eine effiziente Datenerhebung und -auswertung, die Möglichkeit, in kurzer Zeit eine grosse Anzahl an Personen zu erreichen und geringe Kosten (Heiervang & Goodman, 2011; Küpper, 2020; Thielsch & Weltzin, 2013). Die Teilnehmenden können bei Online-Befragungen selbst entscheiden, wann und wo sie die Umfrage ausfüllen möchten und den Fragebogen, falls gewünscht, unterbrechen (Bouncken, 2020). Zudem sind die Antworten anonym, was potentiellen Interviewer-Bias minimiert und zu einer hohen Akzeptanz bei den Befragten führt (Chang & Krosnick, 2009; Potthoff & Eller, 2000; Thielsch & Weltzin, 2013). Darüber hinaus ermöglichen Online-Umfragen die Verwendung verschiedener Frageformate wie Ranglisten, Drag-and-Drop-Aufgaben oder Drop-Down-Menüs und auch die Reihenfolge der Fragen und/oder Antwortmöglichkeiten kann automatisch variiert werden (Bandilla, 2015; Döring & Bortz, 2016).

Die Teilnehmenden werden passiv mittels River-Sampling rekrutiert, indem eine Einladung zur Umfrage mit einem Link zum Umfragebogen auf sozialen Medien und in Online-Foren zur Elektromobilität geteilt wird (Sarker et al., 2020). Eine Übersicht, wo die Umfrage überall gepostet wird, befindet sich im Anhang (S. 105, Tab. 9). Soziale Medien und Online-Foren wurden bereits in diversen Studien genutzt, um Umfrageteilnehmende zu rekrutieren, auch im Zusammenhang mit Elektromobilität und/oder öffentlichen Ladestationen. Beispiele sind Philipsen et al. (2018), Pevec et al. (2019), Garrido-Hernansaiz (2022), Iannelli et al. (2018), Bethel et al. (2021) oder Purewal et al. (2021).

Auf besondere Anreize für das Ausfüllen der Umfrage wie zum Beispiel eine Verlosung oder eine feste Bezahlung wird verzichtet. Diese könnten einen negativen Effekt auf die Datenqualität haben, da Teilnehmende möglicherweise weniger sorgfältig antworten oder versuchen, ihre Gewinnchancen zu erhöhen, indem sie die Umfrage mehrmals ausfüllen (Ilieva et al., 2002).

3.1.2 Aufbau der Befragung

Die Startseite des Umfragebogens beinhaltet eine Einverständniserklärung und eine kurze Erklärung des Themas. Es wird beschrieben, welches Ziel mit der Umfrage verfolgt wird, an wen sie sich richtet und es werden die ungefähre Dauer der Umfrage sowie Kontaktmöglichkeiten genannt. Darüber hinaus wird darauf hingewiesen, dass die Umfrage jederzeit abgebrochen werden kann und die Daten anonym behandelt werden. Der vollständige Umfragebogen ist im Anhang ab Seite 106 (Abb. 32 - 39) zu finden.

Die Umfrage ist in fünf Frageblöcke unterteilt. Sie beginnt mit Fragen dazu, ob die Teilnehmenden ein Elektrofahrzeug besitzen und ob sie bereits an öffentlichen Ladestationen geladen haben. Falls letzteres zutrifft, werden die Teilnehmenden gefragt, wie oft sie durchschnittlich an öffentlichen Ladestationen laden. Anschliessend werden die weiteren vier Frageblöcke abgefragt. Das Ziel des zweiten Frageblocks ist es, zu bestimmen, welche Informationen zu den Ladestationen in einer mobilen Kartenapplikation verfügbar sein sollen. Die Befragten sollen in diesem Frageblock beurteilen, wie wichtig ihnen persönlich bestimmte Informationen zu den Ladestationen sind, wenn sie nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation suchen. Mit dem dritten Frageblock soll herausgefunden werden, welche Funktionen von den Teilnehmenden bei der Suche nach einer geeigneten Ladestation in einer mobilen Kartenapplikation als hilfreich erachtet werden. Beispiele für solche Funktionen sind Filterfunktionen, mit denen nach bestimmten Eigenschaften der Ladestationen gefiltert werden kann, das Festlegen der maximalen Distanz zu einer Ladestation oder eine Navigationsfunktion, um zu einer Ladestation zu navigieren. Grundlegende Kartenwerkzeuge, welche bereits in vielen typischen Kartenapplikationen vorhanden sind, werden in der Umfrage nicht berücksichtigt. Dabei handelt es sich um Funktionen wie Hinein- und Hinauszoomen, das Verschieben und Rotieren der Karte, das Anzeigen der eigenen Position (via GPS), das Wechseln der Hintergrundkarte oder die Suche nach einer Adresse.

Die Ergebnisse der Umfrage sollen hauptsächlich dazu dienen, um die Relevanz einer öffentlichen Ladestation je nach Nutzungskontext bestimmen zu können. Dazu wird im vierten Frageblock ermittelt, welche Präferenzen die Teilnehmenden in Bezug auf öffentliche Ladestationen haben. Hierzu werden die Kriterien verwendet, von welchen davon ausgegangen wird, dass sie einen grossen Einfluss auf die Relevanz der öffentlichen Ladestationen haben. Ziel des Frageblocks ist es, herauszufinden, wie wichtig diese Kriterien bei der Wahl der öffentlichen Ladestation in verschiedenen Kontexten sind.

Als Letztes werden im fünften Frageblock demographische Daten erhoben. Philipsen et al. (2016) zeigen, dass das Geschlecht, das Alter und die Erfahrung mit Elektrofahrzeugen einen Einfluss auf die Bedürfnisse der Nutzenden von öffentlichen Ladestationen und den bevorzugten Standort für eine öffentliche Ladestation haben können. Die Erfahrung der Teilnehmenden mit Elektrofahrzeugen kann anhand der Antworten im ersten Frageblock bestimmt werden.

Das Geschlecht und das Alter werden durch die demographischen Fragen erhoben. Zudem wird nach dem Herkunftsland der Teilnehmenden gefragt. Falls signifikante Unterschiede zwischen bestimmten Nutzergruppen existieren, kann die Visualisierung der Ladestationen später eventuell an diese angepasst werden. Zudem können die demographischen Angaben nach Abschluss der Umfrage auch dazu verwendet werden, um einen Eindruck von der Repräsentativität der Stichprobe zu erhalten.

Sobald die Teilnehmenden am Ende der Umfrage angelangt sind, wird ihnen für die Teilnahme gedankt und Kontaktangaben genannt, falls Interesse an den Ergebnissen der Umfrage besteht.

Tab. 2: Übersicht über die fünf Frageblöcke der Umfrage.

Frageblock	Beschreibung
1	Erfahrung mit öffentlichen Ladestationen
2	Nützlichkeit bestimmter <i>Informationen</i> bei der Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation in einer Kartenapplikation
3	Nützlichkeit bestimmter <i>Funktionen</i> bei der Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation in einer Kartenapplikation
4	Präferenzen bei der Wahl einer Ladestation abhängig des Nutzungskontexts (Wichtigkeit der Kriterien)
5	Demographische Angaben

3.1.3 Arten von Fragen

Um zu bewerten, wie hilfreich bestimmte Informationen zu den öffentlichen Ladestationen und mögliche Funktionen in Kartenapplikationen bei der Suche nach einer geeigneten Ladestation sind, werden in den Frageblöcken zwei und drei jeweils 6-Punkt Likert-Skalen verwendet. Likert-Skalen sind weit verbreitet in Umfragen und ermöglichen es den Teilnehmenden, die einzelnen Informationen und Funktionen jeweils in einer genau vorgegebenen Skala zu bewerten (Nemoto & Beglar, 2014). Die diskrete Skala ermöglicht das Einteilen der Antworten in klar festgelegte Kategorien und später das einfache Auswerten der Antworten (Nemoto & Beglar, 2014). Analog zu Philipsen et al. (2016) oder Globisch et al. (2019), welche ebenfalls Umfragen zu den Präferenzen bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation durchführten, wird bewusst darauf verzichtet, eine neutrale Antwortoption anzubieten. Die Teilnehmenden werden auf diese Weise dazu gezwungen, eine differenziertere Wahl zu treffen, was zu präziseren Antworten führen kann (Philipsen et al., 2016; Nemoto & Beglar, 2014). Die Likert-Skalen sind für beide Fragegruppen identisch und beinhalten von links nach rechts die folgenden Kategorien: "Überhaupt nicht hilfreich", "Nicht hilfreich", "Eher nicht hilfreich", "Eher hilfreich", "Hilfreich" und "Sehr hilfreich". Die Namen der Kategorien sind möglichst symmetrisch formuliert, so dass die Abstände zwischen den Kategorien von den Teilnehmenden als möglichst gleich empfunden werden.

Überhaupt nicht hilfreich	Nicht hilfreich	Eher nicht hilfreich	Eher hilfreich	Hilfreich	Sehr hilfreich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abb. 9: Verwendete Likert-Skala für die Frageblöcke 2 und 3 (Screenshot vom Umfragebogen).

Um im vierten Frageblock die Präferenzen der Teilnehmenden in Bezug auf öffentliche Ladestationen zu erfassen, sollen die Teilnehmenden die verschiedenen Kriterien nach ihrer Wichtigkeit ordnen. Dafür werden die Teilnehmenden gebeten, aus einer bestehenden Liste mit Kriterien per Drag-and-Drop eine Rangliste zu erstellen. Diese Methode eignet sich am besten zum Erheben von Ranglistendaten (Blasius, 2012). Das Kriterium, welches dem Teilnehmer oder der Teilnehmerin bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation am wichtigsten ist, soll in der resultierenden Rangliste zuoberst stehen. Kriterien, die von den Teilnehmenden als wichtiger bewertet werden, werden später bei der Bestimmung der Relevanz der öffentlichen Ladestationen stärker berücksichtigt als Kriterien, die als weniger wichtig bewertet wurden. Der Grund, warum hier Ranglisten und nicht Likert-Skalen verwendet werden, ist, dass auf diese Weise die Wichtigkeit der Kriterien im Vergleich zu anderen Kriterien besser untersucht werden kann. Im Gegensatz zu Likert-Skalen können bei Ranglisten nicht alle Kriterien denselben Modus erhalten (auf demselben Platz am häufigsten eingeteilt werden). Dies erleichtert den Vergleich der Wichtigkeit der Kriterien. Die Rangliste soll von den Teilnehmenden für unterschiedliche Nutzungskontexte erstellt werden. Dabei soll untersucht werden, wie sich der Ort des Ladens auf die Wichtigkeit der Kriterien auswirkt. Es ist anzunehmen, dass der Ort des Ladens Einfluss auf die Wichtigkeit der Kriterien hat, da er stark mit den verschiedenen Situationen, in denen ein Elektrofahrzeug geladen wird, zusammenhängt. Die Ranglisten sollen deshalb für die drei Szenarien "Laden in der Stadt", "Laden auf dem Land" und "Laden auf der Autobahn" erstellt werden.

3.2 Relevanz der öffentlichen Ladestationen bestimmen

Anhand der Wichtigkeit der einzelnen Kriterien, welche basierend auf den Ergebnissen der Umfrage bestimmt werden, wird festgelegt, welche Kriterien für die Berechnung der Relevanz zwingend erforderlich sind und welche einen geringeren Einfluss auf die Wahl der öffentlichen Ladestation haben und unterstützend berücksichtigt werden können. Die Wichtigkeit der möglichen Funktionen und Informationen, welche in einer Kartenapplikation hilfreich sein könnten, um geeignete Ladestationen zu identifizieren, wird ebenfalls beurteilt. Anschließend wird beschrieben, wie die Relevanz einer öffentlichen Ladestation anhand der Kriterien abhängig vom Nutzungskontext berechnet werden kann. Für jedes Kriterium soll ein Wert berechnet oder bestimmt werden, der anzeigt, wie gut dieses Kriterium von einer Ladestation erfüllt wird. Durch die Kombination der Kriterien kann dann für jede Ladestation eine Relevanz in Form eines Relevanzwerts berechnet werden, wobei die Berechnung dieses Relevanzwerts abhängig vom Nutzungskontext erfolgen soll. Es wird beschrieben, wie die dafür benötigten Kontextinformationen erfasst werden können, wobei sowohl implizite Methoden der Kontexterfassung als auch explizite Methoden in Betracht gezogen werden (vgl. Ballatore & Bertolotto, 2015). Weiter werden die Daten beschrieben, welche vorhanden sein müssen, damit die Kriterien und alle weiteren für das Beurteilen der Relevanz erforderlichen Elemente bestimmt und/oder berechnet werden können, und es werden technische Voraussetzungen genannt, die das mobile Gerät, auf dem die Applikation genutzt wird, erfüllen muss.

Das nachfolgende Schema zeigt die Vorgehensweise zur Bestimmung der Relevanz der öffentlichen Ladestationen.

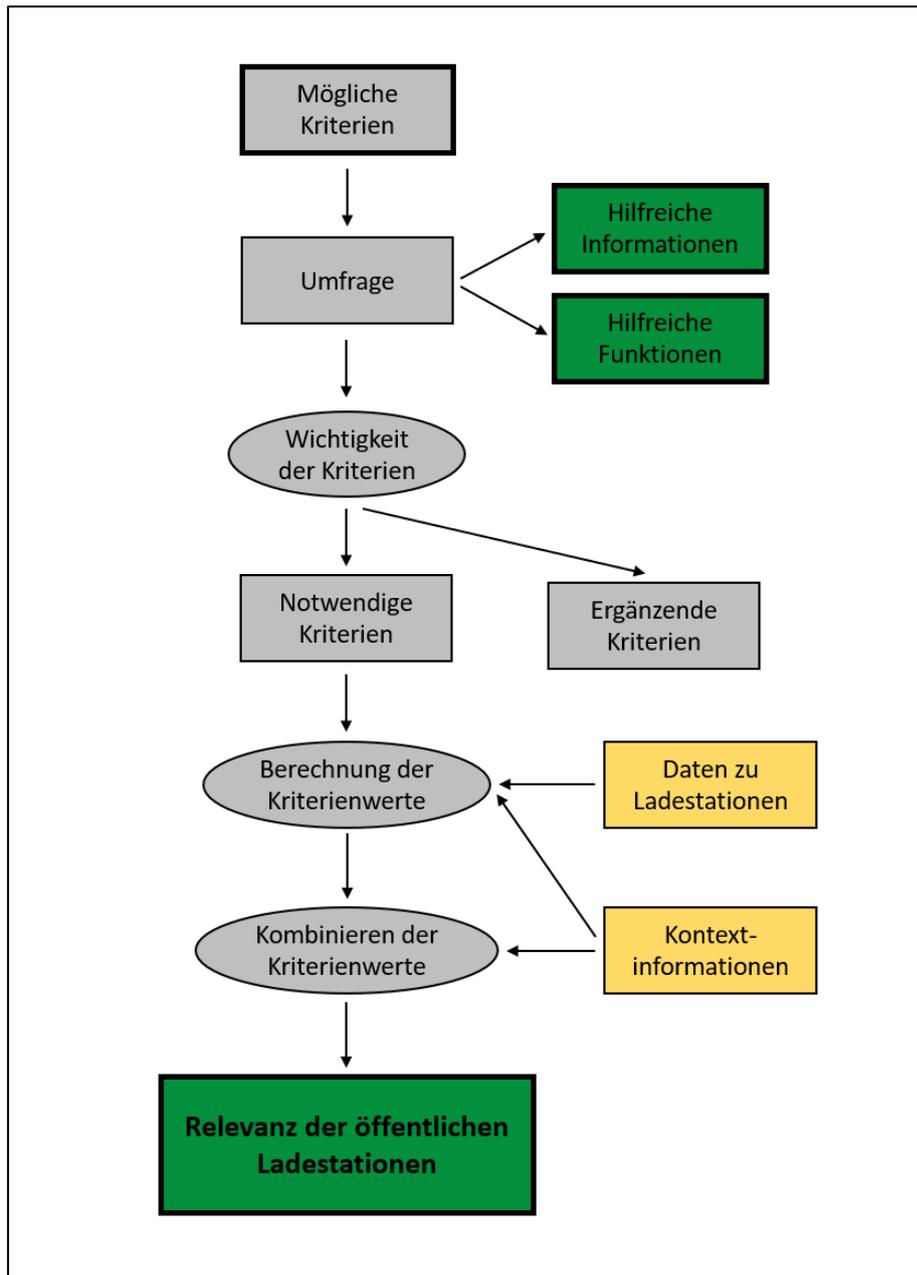


Abb. 10: Schema zum Vorgehen um die Relevanz der öffentlichen Ladestationen zu bestimmen.

4 Resultate

4.1 Definieren der Kriterien

Um zu verstehen, in welchen Situationen ein Elektrofahrzeug überhaupt geladen wird, werden zuerst die verschiedenen Ladesituationen analysiert. Dabei wird auf die Bedürfnisse der Nutzenden der öffentlichen Ladestationen eingegangen und wie diese von der Art des Ladens abhängen. Anschliessend werden die Kriterien definiert und beschrieben, von welchen davon ausgegangen werden kann, dass sie den grössten Einfluss auf die Relevanz einer öffentlichen Ladestation haben. Es wird auch begründet, weshalb der Einfluss dieser Kriterien als gross angenommen wird. Die Kriterien sind stark mit den Eigenschaften der öffentlichen Ladestationen verknüpft, da diese bestimmen, wie gut eine Ladestation die Bedürfnisse und Anforderungen einer Person in einem bestimmten Kontext erfüllen kann. Wie wichtig diese Kriterien bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation tatsächlich sind und welche davon die wichtigsten sind, wird anschliessend in der Umfrage geprüft.

4.1.1 Situationen, in denen an öffentlichen Ladestationen geladen wird

Es gibt verschiedene Situationen, in denen Elektrofahrzeuge an öffentlichen Ladestationen geladen werden. Wann und wo das Bedürfnis nach Informationen zu öffentlichen Ladestationen auftritt, hängt von der jeweiligen Situation ab, in der geladen wird. H. Zhang et al. (2016) unterscheiden grundsätzlich zwischen zwei Arten von Laden: dem Laden unterwegs, auch "Urgent-Charging" (H. Zhang et al., 2016) oder "En-Route Charging" (Guo et al., 2022) genannt und "Destination Charging", dem Laden am Zielort. Das Laden unterwegs erfolgt in der Regel aufgrund eines niedrigen SoC (State of Charge; dt. Ladezustand) des Elektrofahrzeugs, welcher nicht ausreicht, um die geplante Strecke zu Ende zu fahren (Guo et al., 2022; H. Zhang et al., 2016). In dieser Situation werden vor allem Ladestationen mit hoher Ladeleistung bevorzugt, um eine schnelle Weiterfahrt zu ermöglichen (P. Xu et al., 2022; H. Zhang et al., 2016). Solche Ladestationen mit einer Ladeleistung von über 50 kW werden als Schnellladestationen bezeichnet und befinden sich oft entlang von Autobahnen. Wie Wolbertus et al. (2018b) zeigen, wird jedoch nicht nur bei einem tiefen SoC an Schnellladestationen geladen, sondern in vielen Fällen auch dann, wenn der SoC noch über 50 % liegt. Ein möglicher Grund für dieses Verhalten könnte darin liegen, dass vorsorglich geladen wird, um Reichweitenangst zu vermeiden.

Beim Destination Charging wird das Elektrofahrzeug am Zielort, zum Beispiel bei einem Supermarkt, bei der Arbeit oder in einem Hotel aufgeladen (Schmidt et al., 2020). Hier steht das Erreichen des Zielorts und das Parken am Zielort unabhängig vom Ladezustand des Elektrofahrzeugs im Vordergrund (Schmidt et al., 2020). Da beim Destination Charging nicht die schnelle Weiterfahrt im Fokus steht, ist das Ladeverhalten an solchen Ladestationen oft komplexer (Wolbertus et al., 2018a). Zum Beispiel können Gründe für das Laden auch das einfache Finden von Parkplätzen oder das kostenlose Parkieren sein (Wolbertus et al., 2018b). Beim Laden am Zielort steht nicht die rasche Weiterfahrt im Fokus, sondern das Laden erfolgt hier vorausschauend für zukünftige Fahrten. Aus diesem Grund muss die Ladeleistung der Ladestation nicht so hoch sein und es werden deshalb häufig Ladestationen mit geringerer Ladeleistung bevorzugt. Da der Ladevorgang an solchen Ladestationen mehrere Stunden dauern kann und die Fahrenden die Ladestation typischerweise für 1 bis 3 Stunden verlassen, sind

hier Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation wichtiger (Mayfield, 2012). Ladestationen mit tieferen Ladeleistungen befinden sich deshalb häufig in der Nähe von Orten, an denen mögliche Aktivitäten durchgeführt werden können, die zur Wartezeit - respektive zur Dauer des Ladevorgangs - passen (Mayfield, 2012). Solche Orte sind beispielsweise Einkaufszentren, Sportstadien, Theater, Restaurants oder Museen. Wie Mayfield (2012) schreibt, ist ein dritter Grund für das Laden an öffentlichen Ladestationen, dass zu Hause keine Lademöglichkeiten zur Verfügung stehen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die öffentlichen Ladestationen entsprechend den Bedürfnissen der Nutzenden verteilt sind. Während der Fahrt werden vor allem Schnellladestationen genutzt, weshalb Schnellladestationen häufig entlang von Autobahnen zu finden sind. Wenn am Zielort geladen wird, werden häufig langsamere Ladestationen verwendet, bei denen während des Ladens anderen Aktivitäten nachgegangen werden kann. An typischen Zielorten sind deshalb vor allem langsamere Ladestationen zu finden. Generell wird es jedoch bevorzugt, am Ende der Fahrt zu laden, da dann die Wartezeit für andere Aktivitäten genutzt werden kann (Pan et al., 2020; Philipsen et al., 2016).

4.1.2 Definition der Kriterien

4.1.2.1 Die Verfügbarkeit der Ladestation

Die Verfügbarkeit einer Ladestation und die Möglichkeit, sie für das Laden des Elektrofahrzeugs nutzen zu können, sind entscheidend dafür, ob das Bedürfnis, das Elektrofahrzeug zu laden, von der Ladestation erfüllt werden kann. Wenn die Ladestation bereits von einem Fahrzeug verwendet wird, kann an ihr erst geladen werden, wenn die Ladestation vom anderen Fahrzeug freigegeben wird. Einige öffentliche Ladestationen können zudem nur zu bestimmten Zeiten genutzt werden. Die Wichtigkeit der Verfügbarkeit bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation wurde bereits von verschiedenen Studien belegt (Visaria et al., 2022; Philipsen et al., 2015; Philipsen et al., 2016). Ob mit einem Objekt bei Ankunft interagiert werden kann, wird durch das Kriterium "spatio-temporal proximity", auch "accessibility" genannt, beschrieben (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Wenn ein Objekt zu dem Zeitpunkt, an dem es benötigt wird, nicht verfügbar ist oder nicht lange genug verfügbar ist, um die gewünschte Aktivität auszuführen, wird es als irrelevant betrachtet (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Bezogen auf öffentliche Ladestationen bedeutet dies, dass Ladestationen, die bei Ankunft nicht verfügbar oder zugänglich sind oder nicht lange genug zugänglich sind, um die gewünschte Menge an Strom aufzuladen, für das Laden nicht infrage kommen und folglich irrelevant sind.

4.1.2.2 Die vorhandenen Steckertypen

Damit das Laden an einer öffentlichen Ladestation möglich ist, muss die Ladestation über mindestens einen Stecker verfügen, der mit dem Ladeanschluss des Fahrzeugs kompatibel ist (Hardman et al., 2018). Zudem hängt der Steckertyp mit der Ladeleistung zusammen, denn verschiedene Steckertypen ermöglichen unterschiedliche Ladeleistungen (Mouli et al., 2017; Raff et al., 2019). Daher bestimmen die an einer Ladestation vorhandenen Steckertypen, ob an dieser Ladestation geladen werden kann und mit welcher Ladeleistung an der Ladestation

ungefähr zu rechnen ist. Aus diesem Grund stellt der Steckertyp ein weiteres Kriterium dar, mit welchem die Relevanz einer öffentlichen Ladestation bestimmt werden kann.

4.1.2.3 Die Distanz zur Ladestation

Eine grössere Distanz verursacht in der Regel höhere monetäre Kosten, denn das Fahren verbraucht Strom, welche wieder aufgeladen und dementsprechend eingekauft werden muss. Somit besteht eine Verbindung zwischen der Distanz zur Ladestation und den Kosten, die die Nutzenden bereit sind zu bezahlen. Eng verknüpft mit der Distanz ist die Fahrzeit zur Ladestation, welche tendenziell mit zunehmender Distanz steigt. Eine grössere Distanz geht daher oft mit einer höheren Zeitinvestition einher, was je nach zur Verfügung stehender Zeit essentiell sein kann.

Damit eine öffentliche Ladestation erreichbar ist, muss die Restreichweite des Elektrofahrzeugs grösser sein als die Distanz zwischen dem Elektrofahrzeug und der Ladestation. Die Distanz zur Ladestation ist demnach entscheidend, ob eine Ladestation für das Laden überhaupt in Frage kommen kann oder nicht. Darüber hinaus hängt die Distanz, die vor dem Ladevorgang von der Fahrerin oder dem Fahrer noch gefahren werden möchte, von der Risikobereitschaft und der damit verbundenen Reichweitenangst ab.

Ein im geographischen Kontext häufig verwendetes Kriterium für die Distanz ist "spatial proximity", welches die Entfernung zu einem Objekt beschreibt (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Die damit verbundene Annahme ist, dass ein Objekt umso relevanter ist, je näher es ist (Mountain & MacFarlane, 2007). Demnach wäre eine öffentliche Ladestation relevanter, je näher sie ist. Ein weiteres Kriterium, welches mit der Distanz zusammenhängt, ist "directionality" (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Dieses Kriterium beschreibt das Ausmass, in dem eine Entität in derselben Richtung liegt, in die sich der Nutzer oder die Nutzerin fortbewegt, oder die Länge des Umwegs, die erforderlich ist, um den Ort der Entität in den geplanten Weg miteinzubeziehen. Insbesondere beim En-Route Charging kann dieses Kriterium gut angewendet werden, um den Umweg so kurz wie möglich zu halten.

4.1.2.4 Die Fahrdauer zur Ladestation

Durch die Berücksichtigung der Fahrdauer vom eigenen Standort bis zur Ladestation kann die Zeit, die eine Person gewillt ist, in die Fahrt zu investieren, oder auch die Zeit, die insgesamt zur Verfügung steht, in die Bewertung einer öffentlichen Ladestation miteinbezogen werden. Die zur Verfügung stehende Zeit stellt hier den limitierenden Faktor für die Fahrzeit dar. Es ist wichtig, die Fahrdauer klar von der Distanz zur Ladestation zu unterscheiden, da die Ladestation unabhängig von der Fahrdauer innerhalb der verbleibenden Restreichweite erreicht werden muss. Darüber hinaus führt eine längere Fahrdauer im Gegensatz zur Distanz nicht zwingend zu höheren Kosten beim Laden.

Analog zur "spatial proximity" für die Distanz gibt es mit der "temporal proximity" auch für die Fahrdauer ein Kriterium, welches im geographischen Kontext häufig verwendet wird. Dieses Kriterium besagt, dass Objekte, die innerhalb kürzerer Zeit erreicht werden können, relevanter sind als Objekte, zu denen mehr Zeit benötigt wird (Mountain & MacFarlane, 2007). Bei öffentlichen Ladestationen gibt es jedoch verschiedene Gründe, die gegen diese Annahme sprechen. Wenn beispielsweise eine schneller erreichbare Ladestation eine geringe

Ladeleistung aufweist, das Elektrofahrzeug jedoch innerhalb kurzer Zeit geladen werden muss, ist eine weniger schnell erreichbare Ladestation, die das Elektrofahrzeug aber viel schneller auflädt, relevanter.

4.1.2.5 Die Ladeleistung der Ladestation

Die Ladeleistung hat den grössten Einfluss darauf, wie lange das Laden des Elektrofahrzeugs dauert. Welche Ladeleistung bevorzugt wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab, beispielsweise von der zur Verfügung stehenden Zeit oder von individuellen Interessen wie dem Verknüpfen des Ladevorgangs mit einer anderen Aktivität. Bei längeren Reisen wird oft eine hohe Ladeleistung bevorzugt, um die Ladestopps so kurz wie möglich zu halten und eine rasche Weiterfahrt zu ermöglichen. Aus diesem Grund werden entlang von Autobahnen meistens Schnellladestationen genutzt (Philipsen et al., 2016). Es muss allerdings bedacht werden, dass es bei der Ladeleistung zwei limitierende Faktoren gibt: Zum einen die maximale Ladeleistung an der Ladestation und zum anderen die maximale Ladeleistung, die vom Elektrofahrzeug unterstützt wird. Die effektive Ladeleistung, mit der an einer Ladestation maximal geladen werden kann, wird durch den tieferen dieser beiden Faktoren festgelegt.

Zudem besteht eine Verbindung zwischen der Ladeleistung und den Kosten für das Laden, denn die Ladeleistung an einer öffentlichen Ladestation korreliert in der Regel mit den Kosten für das Laden an der Ladestation. Im Durchschnitt kostet das Laden an einer Ladestation mehr, wenn die Ladeleistung der Ladestation hoch ist und dadurch das Fahrzeug schneller geladen werden kann (Wattenhofer, 2019).

4.1.2.6 Die Kosten für das Laden inklusive Startgebühr

Die Kosten für das Laden an öffentlichen Ladestationen sind viel komplexer zusammengesetzt als die Kosten beim Betanken von Verbrennerfahrzeugen und können sich von Ladestation zu Ladestation stark unterscheiden (Visaria et al., 2022). Neben den Kosten pro Kilowattstunde, die geladen werden, wird an einigen Ladestationen auch die Zeit, die das Elektrofahrzeug mit der Ladestation verbunden ist, in Rechnung gestellt oder es muss eine Gebühr für das Starten des Ladevorgangs bezahlt werden (Hardman et al., 2018). Laut Globisch et al. (2019) ist insbesondere die Startgebühr ein Faktor, der viele Personen stört und Einfluss auf die Entscheidung hat, ob an der Ladestation geladen wird. Wie sie in ihrer Studie zeigen, sind viele Personen nicht gewillt, für die Nutzung einer Ladestation eine solche Startgebühr zu bezahlen. Aufgrund der grossen Wichtigkeit der Startgebühr wird sie später in der Umfrage neben den Kosten zusätzlich noch als separates Kriterium geführt. Ebenfalls zur Komplexität der Kostenstruktur tragen dynamische Preissysteme bei, die dazu dienen, Überlastungen während Stosszeiten zu vermeiden (Subramanian & Das, 2019). Die Höhe der Kosten für das Laden an öffentlichen Ladestationen wird von mehreren Faktoren beeinflusst, darunter der Standort und die Ladeleistung der Ladestation. Falls ein Abonnement bei einem Ladenetzbetreiber abgeschlossen wurde, hat dies ebenfalls starke Auswirkungen auf die Ladekosten (Wattenhofer, 2019). Letztendlich bestimmen die individuellen Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzerinnen und Nutzer, welche Kosten sie bereit sind, für das Laden zu bezahlen.

4.1.2.7 Die Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation

Um die Zeit während des Ladevorgangs sinnvoll zu nutzen, sind Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation relevant, insbesondere bei Ladestationen, an denen der Ladevorgang länger dauert oder beim Destination Charging (Pan et al., 2020; Philipsen et al., 2015). Zu den Beschäftigungsmöglichkeiten gehören beispielsweise Einkaufszentren, Theater, Restaurants, Museen oder Sportstadien (Mayfield, 2012). Laut Philipsen et al. (2016) ist Dual-Use für viele Personen ein sehr wichtiges Kriterium beim Bewerten einer Ladestation und kann somit eine Anforderung an eine öffentliche Ladestation darstellen.

4.1.2.8 Das Ladenetzwerk

Ladestationen gehören zu Ladenetzwerken, welche von Ladenetzbetreibern betrieben werden. Ein Abonnement bei einem Ladenetzbetreiber ermöglicht vergünstigtes Laden im Ladenetzwerk des Ladenetzbetreibers und zum Teil auch in Partnernetzwerken (Hardinghaus et al., 2016). Wird eine Ladestation eines anderen Ladenetzanbieters verwendet, die nicht Teil eines Partnernetzwerks ist, fallen meistens zusätzliche Gebühren für die Fremdnutzung an, die mit den Roaming-Gebühren bei Mobiltelefonabonnements vergleichbar sind (Linnemann & Nagel, 2020; Visaria et al., 2022). Ein abgeschlossenes Abonnement wirkt sich demnach auf die Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzenden von öffentlichen Ladestationen aus, da die Kosten dadurch noch mehr vom Ladenetzwerk abhängen und das Ladenetzwerk deshalb an Bedeutung gewinnt.

4.1.2.9 Weitere mögliche Kriterien

Neben den oben definierten Kriterien gibt es noch viele weitere Faktoren, welche die Relevanz einer Ladestation beeinflussen könnten. Es ist jedoch unmöglich, alle Faktoren zu berücksichtigen, die Einfluss auf die Relevanz haben oder haben könnten. Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit nur die oben beschriebenen acht Kriterien verwendet, denn es ist davon auszugehen, dass diese den grössten Einfluss auf die Wahl einer öffentlichen Ladestation haben. Faktoren mit einem geringeren Einfluss auf die Relevanz von öffentlichen Ladestationen sind beispielsweise die Anbindung an den öffentlichen Verkehr, die Sicherheit des Fahrzeugs, ob die Ladestation überdacht ist oder wie vertraut einem der Ort der Ladestation ist (Philipsen et al., 2016). Der Grundgedanke des letztgenannten Faktors ähnelt stark dem des Kriteriums "Anchor-Point Proximity" aus der GR (vgl. Kapitel 2.4.1, De Sabbata & Reichenbacher, 2012).

4.1.3 Berücksichtigung des Nutzungskontexts

Um zu bestimmen, wie stark die acht beschriebenen Kriterien die Relevanz der öffentlichen Ladestationen beeinflussen und wie der Einfluss vom Kontext, in dem geladen wird, wird eine Befragung durchgeführt. Anhand der Umfrageergebnisse soll später die genaue Gewichtung der einzelnen Kriterien bei der Berechnung der Relevanz abhängig vom Nutzungskontext festgelegt werden.

Da der Einfluss der Kriterien auf die Relevanz nicht für alle möglichen Nutzungskontexte bestimmt werden kann, beschränkt sich die Umfrage auf drei spezifische Szenarien, in denen ein Elektrofahrzeug an öffentlichen Ladestationen aufgeladen wird. Die grösste Auswirkung auf die Bedürfnisse und Anforderungen hat wohl die Art des Ladens, also ob es sich beim Laden

um Destination Charging oder En-Route Charging handelt (vgl. Kapitel 4.1.1). Welche Art des Ladens durchgeführt wird, hängt von den Präferenzen und Bedürfnissen der Nutzenden und den Eigenschaften des Elektrofahrzeugs ab. En-Route Charging wird meistens während längerer Reisen auf der Autobahn durchgeführt (Globisch et al., 2019; Jochem et al., 2019; Kim et al., 2013; Malik & Lehtonen, 2016; Philipsen et al., 2016). Destination Charging hingegen findet meistens an Orten statt, an denen während des Ladens andere Aktivitäten ausgeübt werden können (Anderson et al., 2018; Mayfield, 2012; Niels et al., 2019; M. Schmidt et al., 2020). Diese Orte befinden sich meistens in Städten oder auf dem Land, jedoch nicht auf der Autobahn. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass sich die Präferenzen und Bedürfnisse unterscheiden, abhängig davon, ob das Elektrofahrzeug auf der Autobahn, in der Stadt oder auf dem Land geladen werden soll. Aus diesem Grund wird in der Befragung untersucht, wie sich diese drei Szenarien ("Laden in der Stadt", "Laden auf dem Land" und "Laden entlang der Autobahn") auf die Wichtigkeit der Kriterien bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation auswirken. Wenn Unterschiede in der Wichtigkeit der Kriterien je nach Szenario festgestellt werden können, können diese Unterschiede in der mobilen Kartenapplikation dazu genutzt werden, um die Berechnung der Relevanz an den jeweiligen Nutzungskontext anzupassen. Da eine mobile Applikation selbstständig feststellen kann, ob sich der Nutzer oder die Nutzerin auf der Autobahn, in einer Stadt oder auf dem Land befindet, könnte diese Anpassung in der mobilen Applikation automatisch erfolgen, ohne dass die Nutzenden mit der Kartenapplikation interagieren müssen.

4.1.4 Hilfreiche Informationen und Funktionen

Um herauszufinden, welche Informationen und Kartenfunktionen oder Kartenwerkzeuge beim Identifizieren von relevanten Ladestationen hilfreich sind, werden diese ebenfalls Teil der Befragung sein. Basierend auf den oben definierten Kriterien werden Informationen und Funktionen festgelegt, die Teil der Umfrage sein sollen. Zusätzlich werden noch weitere mögliche Informationen und Funktionen ergänzt.

Folgende Informationen sollen in der Umfrage von den Teilnehmenden bewertet werden:

- Adresse der Ladestation
- An der Ladestation vorhandene Steckertypen
- Authentifizierungsmöglichkeiten
- Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation
- Bewertung der Ladestation (durch andere Nutzende)
- Entfernung zwischen Ladestation und eigener Position (Distanz)
- Fahrzeit zur Ladestation
- Foto der Ladestation
- Kontaktangaben des Stationsbetreibers
- Kosten für das Laden
- Ladeleistung der einzelnen Stecker
- Ladenetzwerk der Ladestation
- Ladestation mit Buchse oder Kabel (Information, ob die Ladestation nur eine Buchse hat, das Ladekabel muss dann selbst mitgebracht werden, oder ob ein Kabel vorhanden ist)

- Öffnungszeiten der Ladestation
- Verfügbarkeit der Ladestation

Folgende Funktionen und Kartenwerkzeuge sollen in der Umfrage von den Teilnehmenden bewertet werden:

- Einzelne Stationen markieren/zu Favoriten hinzufügen
- Filtermöglichkeiten für Eigenschaften der Ladestation
- Maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen
- Maximale Entfernung der angezeigten Ladestation zum eigenen Standort festlegen (vgl. "spatial proximity" Filter von Mountain & MacFarlane (2007))
- Minimale Ladeleistung der angezeigten Ladestationen festlegen
- Navigationsfunktion
- Nur kompatible Ladestationen anzeigen (Die Fahrzeugspezifikationen werden hinterlegt)
- Reise planen (mit Zwischenstopps)

4.2 Umfrageergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Umfrage vorgestellt. Der gesamte Umfragebogen, alle statistischen Berechnungen sowie weitere Grafiken sind im Anhang ab Seite 105 zu finden¹. Für die statistischen Tests wurde jeweils ein Signifikanzniveau von 0.05 verwendet.

Die Umfrage wurde zwischen dem 26.09.2022 und dem 23.10.2022 durchgeführt. In diesem Zeitraum haben insgesamt 348 Personen die Umfrage vollständig und korrekt ausgefüllt. Von diesen gaben 333 Personen (95.68 %) an, dass sie ein Elektrofahrzeug besitzen und 338 (97.13 %), dass sie bereits schon ein Elektrofahrzeug an einer öffentlichen Ladestation geladen haben. 299 (85.92 %) Antworten stammen von Männern, 42 Antworten (12.07 %) von Frauen und 7 Personen (2.01 %) machten keine Angabe zum Geschlecht. Das Durchschnittsalter beträgt 51.13 Jahre (SD = 11.47 Jahre), wobei das Durchschnittsalter bei den Männern mit 51.85 Jahren (SD = 11.66 Jahre) etwas höher liegt als bei den Frauen (Durchschnittsalter = 46.74 Jahre, SD = 9.04 Jahre). Die sieben Personen, welche kein Geschlecht angegeben haben, weisen ein Durchschnittsalter von 46.57 Jahren (SD = 10.89 Jahre) auf. Das Medianalter über alle Teilnehmenden hinweg liegt bei 53 Jahren, wobei die jüngste Person 19 Jahre alt und die älteste Person 82 Jahre alt ist. Insgesamt nahmen 290 Personen aus Deutschland, 39 Personen aus der Schweiz, 17 Personen aus Österreich und 2 Personen aus anderen Ländern an der Umfrage teil.

Die Einladung zur Umfrage wurde an 20 Orten in Online-Foren und auf sozialen Medien geteilt. Bei den Online-Foren handelt es sich um Foren, in denen über Elektromobilität im Allgemeinen diskutiert wird, sowie um Foren, in denen über Hersteller von Elektrofahrzeugen diskutiert

¹ Um Zugang zu den vollständigen Antworten aller Teilnehmenden zu erhalten, kontaktieren Sie bitte Dr. Tumasch Reichenbacher (tumasch.reichenbacher@uzh.ch).

wird. Es ist nicht bekannt, über welche Plattform die Teilnehmenden auf die Umfrage aufmerksam wurden, und es ist möglich, dass der Link zur Umfrage an weitere Personen weitergeleitet wurde, die nicht in Online-Foren oder auf sozialen Medien aktiv sind. Eine Liste von allen Orten, an denen die Einladung zur Umfrage geteilt wurde, bietet die Tabelle 9 im Anhang auf Seite 105.

Um den Einfluss der demographischen Eigenschaften der Teilnehmenden auf die Antworten zu bestimmen, werden die Antworten auf die einzelnen Fragen jeweils auf Unterschiede abhängig des Geschlechts, der Herkunft der Teilnehmenden und des Alters untersucht. Da später der Prototyp auf die Nutzung in der Schweiz ausgerichtet sein wird, werden beim Herkunftsland hauptsächlich die Unterschiede zwischen den Antworten von den Teilnehmenden aus der Schweiz und den Teilnehmenden aus den anderen Ländern analysiert. Zudem sind Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus verschiedenen Ländern wichtig für die Beurteilung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Länder. Beim Alter wird zum einen untersucht, ob die Antworten (Bewertungen) mit dem Alter positiv oder negativ korrelieren. Zum anderen wird geprüft, ob sich die Antworten zwischen vier Alterskategorien (19-34, 35-50, 51-66, 67-82) signifikant unterscheiden.

4.2.1 Frageblock 1: Einführungsfragen

4.2.1.1 Erfahrung mit öffentlichen Ladestationen

Um die Erfahrung der Teilnehmenden im Umgang mit öffentlichen Ladestationen zu erfassen, wurden die Teilnehmenden danach gefragt, wie oft sie öffentliche Ladestationen im Durchschnitt nutzen. Die Antworten variierten stark. Zusammenfassend lässt sich jedoch sagen, dass mehr als 71 % der Befragten öffentliche Ladestationen mindestens einmal im Monat nutzen und fast 90 % mindestens einmal alle 2-3 Monate an einer öffentlichen Ladestation laden. Die am häufigsten gewählte Antwort war "Einmal alle 2 bis 3 Wochen" (22.19 %). Eine Übersicht zur Verteilung der Antworten kann im Anhang auf Seite 111 (Abb. 41) gefunden werden.

Bei der Verteilung der Antworten können mittels eines Mann-Whitney-U-Tests keine signifikanten Unterschiede zwischen Männern und Frauen festgestellt werden ($U = 5548.50$, $z = -0.913$, $p = 0.361$). Auch die Antworten der Teilnehmenden aus der Schweiz und die Antworten der Teilnehmenden aus den anderen Ländern unterscheiden sich nicht signifikant ($U = 5326.50$, $z = -0.892$, $p = 0.372$). Zwischen den Alterskategorien gibt es keine signifikanten Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test, $p = 0.556$). Auch konnte keine Korrelation mit dem Alter festgestellt werden (Spearman-Rangkorrelation, $p = 0.955$).

4.2.1.2 Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation

Als nächstes wählten die Teilnehmenden die Methoden aus, die sie nutzen, um nach geeigneten öffentlichen Ladestationen zu suchen. Sie konnten zwischen sechs vorgeschlagenen Methoden und der Antwortoption "Andere" wählen, wobei eine Mehrfachauswahl möglich war. Wie die Ergebnisse zeigen, nutzen die Teilnehmenden im Durchschnitt 2.40 Methoden, um nach geeigneten öffentlichen Ladestationen zu suchen. Lediglich 15-mal wurde die Antwortoption "Andere" genannt (4.31 % der Teilnehmenden). Demzufolge nutzen die meisten Teilnehmenden hauptsächlich eine oder mehrere der sechs in der Umfrage aufgeführten Methoden, um eine geeignete Ladestation zu suchen.

Unter diesen sechs Methoden scheint es zwei bevorzugte Varianten zu geben: Die Suche mit dem eingebauten Navigationssystem des Fahrzeugs (265-mal / von 76.15 % der Teilnehmenden genannt) und die Suche mit der App eines Ladenetzbetreibers (247-mal / von 70.98 % der Teilnehmenden genannt). Auch die Methoden "Andere App" (137-mal) und "Andere Websites" (127-mal) wurden häufig genannt.

4.2.2 Frageblock 2: Informationen zu den öffentlichen Ladestationen

4.2.2.1 Verteilung der Antworten

Das Antwortformat der in der Umfrage verwendeten Likert-Skalen ist nicht numerisch, sondern es handelt sich dabei um eine „*adjectival scale*“ (Streiner et al., 2014, S. 43), bei welcher Kategorienamen wie "Eher nicht hilfreich" oder "Sehr hilfreich" verwendet werden. Daher sind die Daten ordinalskaliert und werden mit nicht-parametrischen Tests wie dem Mann-Whitney-U-Test auf Unterschiede in der Verteilung der Antworten untersucht (Harpe, 2015). Aus demselben Grund wird jeweils auch auf die Berechnung des Mittelwerts verzichtet.

Im zweiten Frageblock wurde bewertet, wie hilfreich verschiedene Informationen zu öffentlichen Ladestationen bei der Suche nach einer geeigneten Ladestation in einer Kartenapplikation sind. Für die Auswertung der Antworten werden die ordinalskalierten Antwortoptionen in Zahlen umgewandelt ("Überhaupt nicht hilfreich" = 0, "Nicht hilfreich" = 1, "Eher nicht hilfreich" = 2, "Eher hilfreich" = 3, "Hilfreich" = 4, "Sehr hilfreich" = 5).

Die Ergebnisse zeigen, dass alle Informationen dazu tendieren, hilfreich zu sein (vgl. Abb. 11). Der Median und der Modus der Antworten liegen bei allen Informationen zwischen 3 ("Eher hilfreich") und 5 ("Sehr hilfreich") und damit auf der positiven (rechten) Seite der Likert-Skala. Sechs der fünfzehn Informationen haben einen Median von 5 und wurden somit von mindestens der Hälfte aller Teilnehmenden als "Sehr hilfreich" beurteilt. Es handelt sich dabei um die Verfügbarkeit der Ladestation, die Öffnungszeiten der Ladestation, die Ladeleistung der einzelnen Stecker, die Kosten für das Laden, die Adresse der Ladestation, die an der Ladestation vorhandene Steckertypen, das Ladernetzwerk, die Entfernung zwischen dem eigenen Standort und der Ladestation, die Fahrzeit vom eigenen Standort bis zur Ladestation, das Foto der Ladestation, die Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation, die Bewertung der Station, die Kontaktangaben des Stationsbetreibers und die Ladestation mit Buchse oder Kabel.

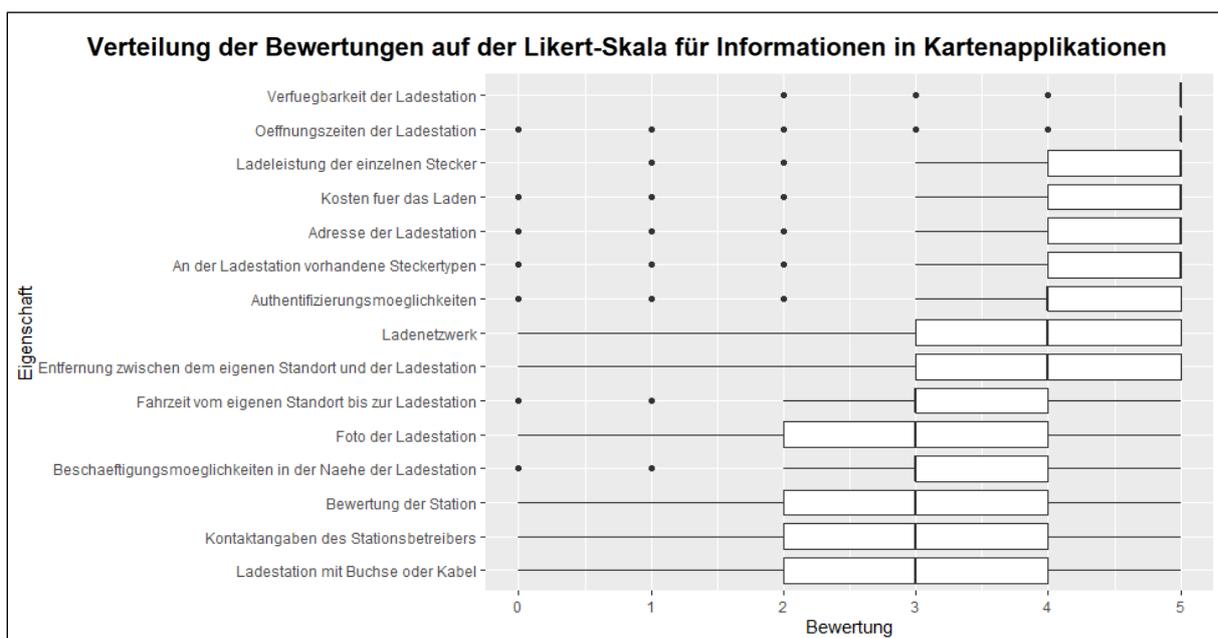


Abb. 11: Boxplots zu den Bewertungen, wie hilfreich bestimmte Informationen zu den öffentlichen Ladestationen bei der Suche nach einer geeigneten Ladestation in einer Kartenapplikation sind.

einzelnen Stecker, die Kosten für das Laden, die Adresse der Ladestation und die an der Ladestation vorhandenen Steckertypen. Drei Informationen haben einen Median von 4 ("Hilfreich"), dies sind die Authentifizierungsmöglichkeiten, das Ladenetzwerk und die Entfernung zwischen dem eigenen Standort und der Ladestation. Die restlichen sechs Informationen haben einen Median von 3 ("Eher hilfreich"). Bei zwei der fünfzehn Informationen unterscheidet sich der Modus vom Median: Bei den Authentifizierungsmöglichkeiten liegt der Modus bei 5 (Median bei 4), und bei der Entfernung zwischen dem eigenen Standort und der Ladestation ist der Modus 3 und der Median 4.

Die Verteilung der Antworten ist in den meisten Fällen unimodal, links-schief oder symmetrisch und mit einem deutlich erkennbaren Modus. Bimodale Verteilungen sind nicht vorhanden. Eine Übersicht über die Verteilungen der Antworten bietet die nachfolgende Abbildung (Abb. 12).

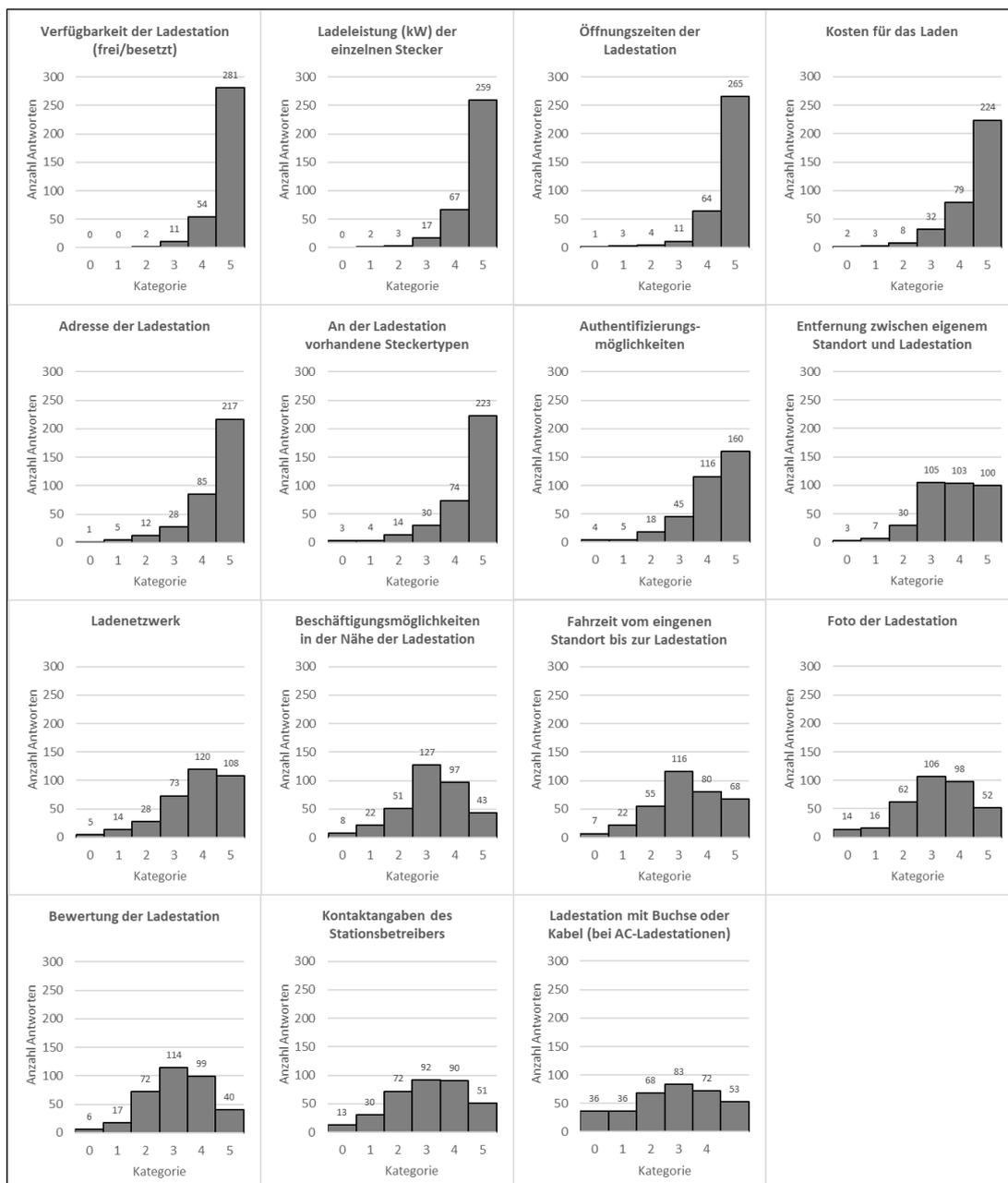


Abb. 12: Verteilungen der Bewertungen für alle Informationen (Kategorie 0 = "Überhaupt nicht hilfreich", Kategorie 5 = "Sehr hilfreich").

Das Verhältnis der Anzahl Antworten für die drei Kategorien "Sehr hilfreich", "Hilfreich" und "Eher hilfreich" zur Gesamtzahl der Antworten gibt an, wie viele Prozent der Teilnehmenden eine Information als hilfreich (positiv) bewertet haben (vgl. Abb. 13). Der höchste Wert erzielt hier die Information zur Verfügbarkeit der Ladestation, mit insgesamt 99.42 % der Antworten in den Kategorien "Sehr hilfreich", "Hilfreich" und "Eher hilfreich", wobei alleine 80.75 % der Antworten in die Kategorie "Sehr hilfreich" fallen. Die geringste Anzahl an Antworten in diesen Kategorien hatte die Information, ob die Ladestation eine Buchse oder ein Kabel hat. Mit 59.77 % der Antworten haben dennoch mehr als die Hälfte der Teilnehmenden diese Information positiv bewertet.

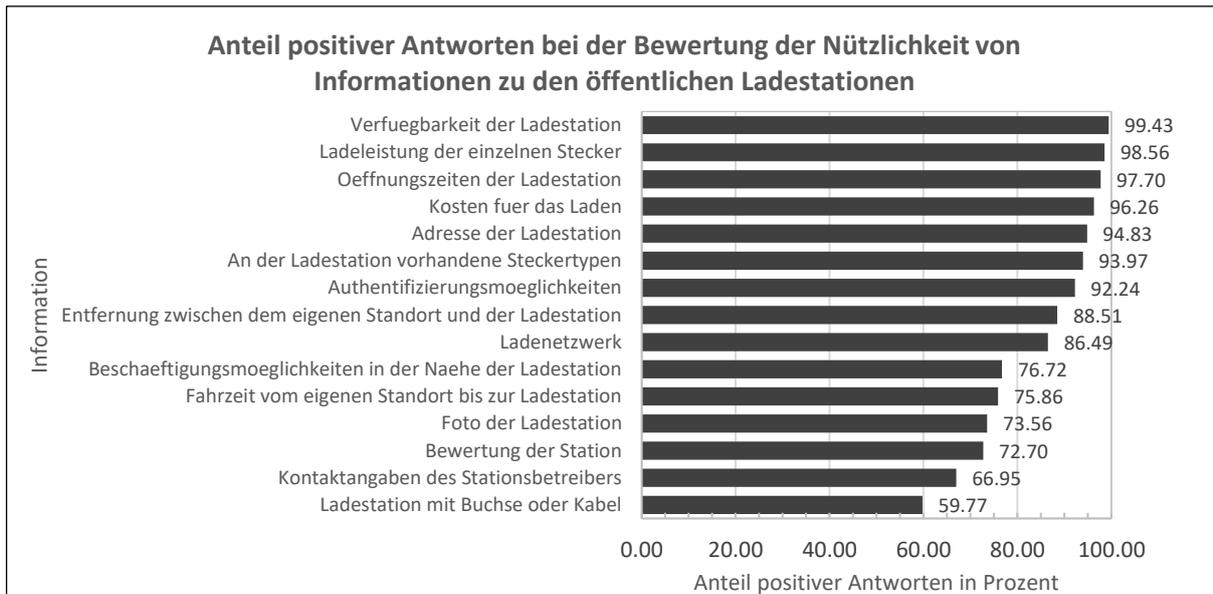


Abb. 13: Anteil positiver Antworten bei der Bewertung wie hilfreich bestimmte Informationen zu den öffentlichen Ladestationen in einer Kartenapplikation sind, wenn nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation gesucht wird.

4.2.2.2 Vergleich demographische Eigenschaften

Vergleicht man die Antworten der Teilnehmenden aus der Schweiz mit denen anderer Teilnehmenden, lassen sich bei den meisten Informationen keine signifikanten Unterschiede feststellen. Lediglich bei der "Adresse der Ladestation" kann ein signifikanter Unterschied in der Bewertung festgestellt werden ($U = 4886.50$, $z = -2.233$, $p = 0.026$, $r = 0.12$). Die Teilnehmenden aus der Schweiz bewerteten diese Information tendenziell als hilfreicher (mittlerer Rang von 203.71 im Vergleich zu 170.81). Die Effektstärke nach Cohen (1992) ist mit $r = 0.12$ schwach.

Signifikante Unterschiede gibt es auch zwischen Frauen und Männern. Frauen bewerteten sechs der fünfzehn Kategorien als hilfreicher als Männer. Die sechs unterschiedlich bewerteten Kategorien sind: "Ladestation mit Buchse oder Kabel" ($U = 4480.00$, $z = -3.063$, $p = 0.002$, $r = 0.17$), "Entfernung zwischen dem eigenen Standort und der Ladestation" ($U = 4765.50$, $z = -2.637$, $p = 0.008$, $r = 0.14$), "Fahrzeit vom eigenen Standort bis zur Ladestation" ($U = 4703.00$, $z = -2.718$, $p = 0.007$, $r = 0.15$), "Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation" ($U = 3671.00$, $z = -4.538$, $p < 0.001$, $r = 0.25$), "Foto der Ladestation" ($U = 4946.50$, $z = -2.299$, $p = 0.022$, $r = 0.12$) und "Kontaktangaben des Stationsbetreibers" ($U = 4095.00$, $z = -3.742$, $p < 0.001$, $r = 0.20$). Die Effektstärken liegen bei den sechs Informationen zwischen $r = 0.12$ und $r = 0.25$ und sind somit jeweils als schwach zu bewerten (Cohen,

1992). Über alle Informationen hinweg weisen die Antworten der Teilnehmerinnen nie tiefere Mediane und Modi auf als die Antworten der Teilnehmer. Dies zeigt, dass Frauen generell höhere Bewertungen abgegeben haben als Männer. Insgesamt sind die Bewertungen jedoch bei beiden Geschlechtern sehr hoch.

Zwischen den Alterskategorien konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Allerdings gibt es eine signifikante Korrelation des Alters mit den Informationen "Fahrzeit vom eigenen Standort bis zur Ladestation" ($r_s = 0.108$, $p = 0.044$, $n = 348$), "Foto der Ladestation" ($r_s = -0.150$, $p = 0.005$, $n = 348$) und "Kontaktangaben des Stationsbetreibers" ($r_s = 0.108$, $p = 0.043$, $n = 348$) (vgl. Anhang S. 117, Abb. 53). Dabei handelt es sich jeweils um schwache Effekte (Cohen, 1992).

4.2.3 Frageblock 3: Unterstützende Funktionen in einer Kartenapplikation

4.2.3.1 Verteilung der Antworten

In diesem Frageblock wurde danach gefragt, welche Funktionen bei der Suche nach einer geeigneten Ladestation in einer Kartenapplikation hilfreich sind. Es wurde dieselbe 6-Punkt Likert-Skala wie im Frageblock 2 verwendet. Wie schon bei Frageblock 2 befinden sich auch hier viele Antworten im rechten Teil der Likert-Skala, und der Modus und Median liegen für viele Funktionen ebenfalls bei 4 oder 5 (vgl. Abb. 14).

Insgesamt haben fünf der acht in der Umfrage enthaltenen Funktionen einen Modus von 5. Zwei davon haben auch einen Median von 5. Diese zwei Funktionen, bei denen mehr als die Hälfte aller Antworten in der höchstmöglichen Kategorie ("Sehr hilfreich") liegen, sind Filtermöglichkeiten für die Eigenschaften der Ladestationen und die Funktion, dass nur kompatible Ladestationen angezeigt werden. Die Funktion, die maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen zu können, weist den tiefsten Modus (=2) und auch den tiefsten Median (=2) auf.

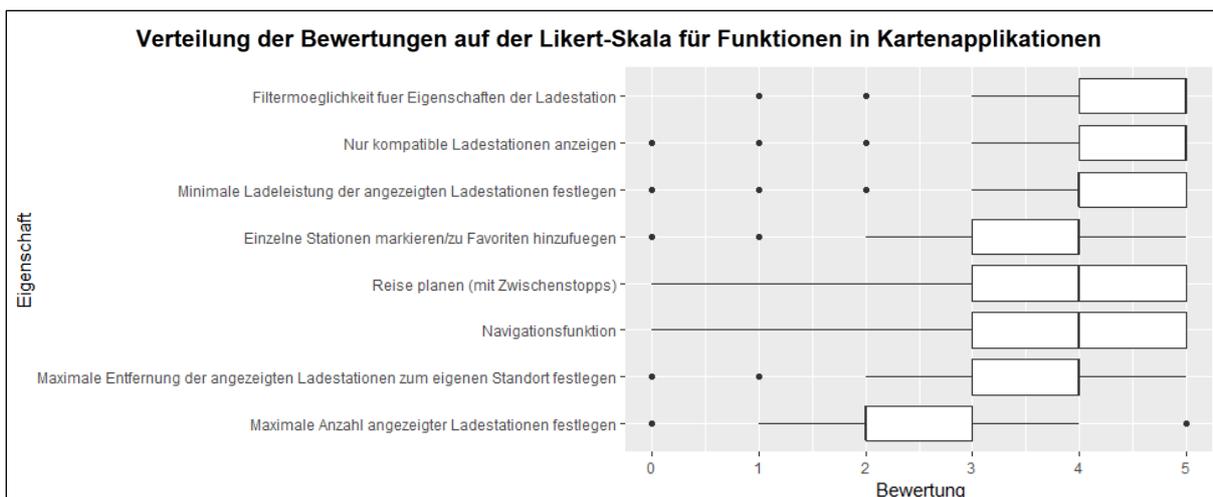


Abb. 14: Boxplots zu den Bewertungen, wie hilfreich bestimmte Funktionen in einer Kartenapplikation für die Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation sind.

Auch hier kann für jede Funktion der Anteil an positiven Antworten berechnet werden (vgl. Abb. 15). Über alle Funktionen hinweg erhielt die Funktion "Filtermöglichkeit für Eigenschaften der Ladestation" (98.85 % der Antworten) am meisten Antworten in den Kategorien 3 bis

5, gefolgt von "Nur kompatible Ladestationen anzeigen" (96.55 %) und "Minimale Ladeleistung der angezeigten Ladestationen festlegen" (92.53 %). Am wenigsten Antworten aus diesen drei Kategorien erhielt die Funktion "Maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen". Nicht ganz die Hälfte aller Teilnehmenden hat für die Bewertung dieser Funktion eine Antwortoption aus der rechten Seite der Likert-Skala verwendet (48.56 %).

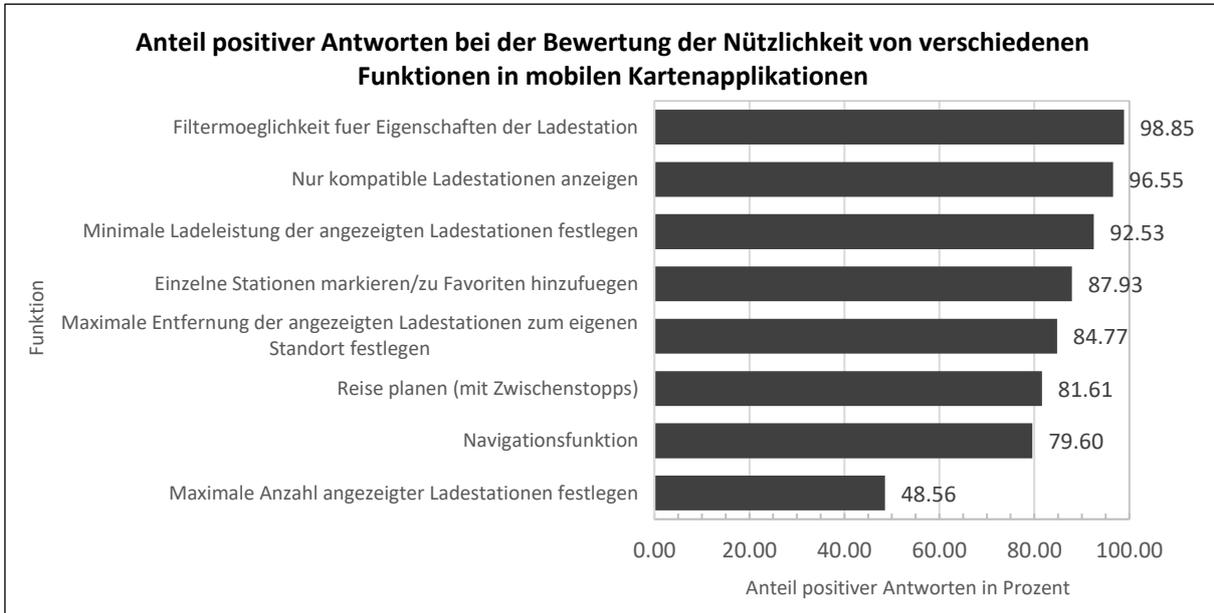


Abb. 15: Anteil positiver Antworten bei der Bewertung wie hilfreich bestimmte Funktionen in einer Kartenapplikation für die Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation sind.

Die Verteilungen der Antworten sind wie beim Frageblock 2 unimodal. Folglich lassen sich auch hier, wie zuvor bei der Bewertung der Informationen, keine stark ausgeprägten kontroversen Meinungen erkennen. Der Modus ist insbesondere bei den zwei am hilfreichsten bewerteten Funktionalitäten ("Filtermöglichkeit für Eigenschaften der Ladestation" und "Nur kompatible Ladestationen anzeigen") stark ausgeprägt (jeweils bei "Sehr hilfreich"). Wie

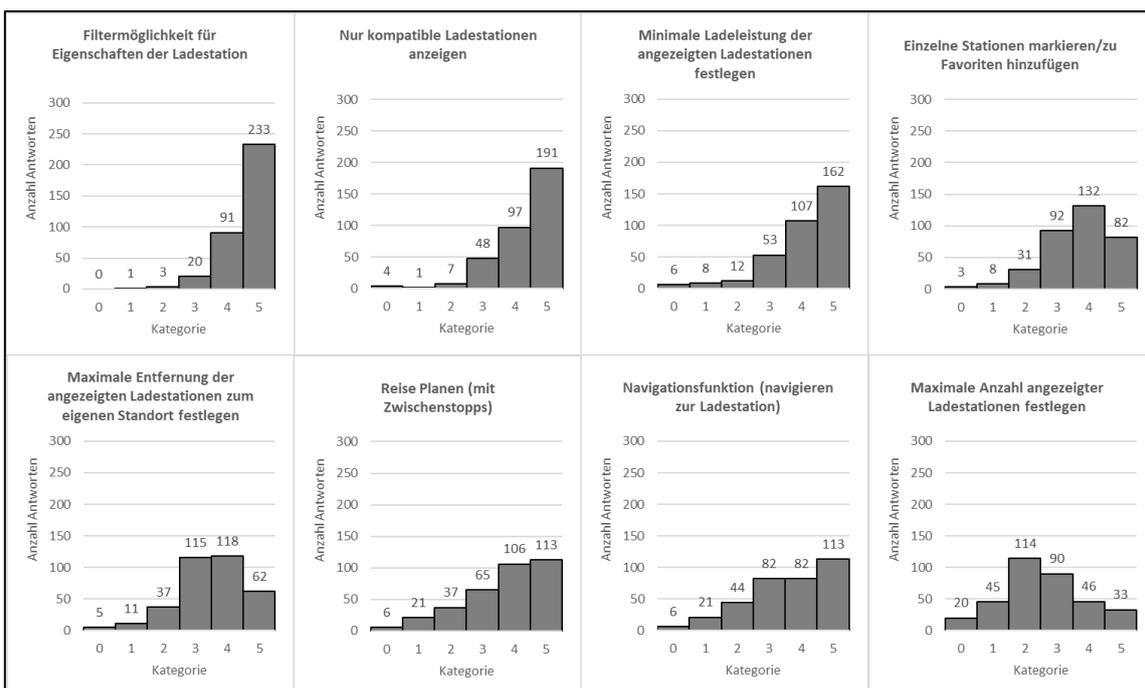


Abb. 16: Verteilungen der Bewertungen in der Likert-Skala für die möglichen Funktionen in Kartenapplikationen.

bereits erwähnt, bilden diese zwei Modi jeweils auch die Medianwerte, was bedeutet, dass mehr als die Hälfte der Antworten in diese Kategorie fallen.

4.2.3.2 Vergleich nach demographischen Eigenschaften

Bei den Bewertungen können keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf das Herkunftsland festgestellt werden, wenn die Antworten der Teilnehmenden aus der Schweiz mit denen der Teilnehmenden aus anderen Ländern verglichen werden (vgl. Anhang S. 118, Abb. 55). Signifikante Unterschiede gibt es jedoch zwischen den Geschlechtern. Diese betreffen die Bewertungen der "Navigationsfunktion" ($U = 4760.00$, $z = -2.624$, $p = 0.09$, $r = 0.14$) und der Funktion "Einzelne Stationen markieren/zu Favoriten hinzufügen" ($U = 4535.00$, $z = -3.050$, $p = 0.002$, $r = 0.17$). Männer haben diese zwei Funktionen tendenziell als weniger hilfreich bewertet als Frauen. Die Effektstärke entspricht bei beiden Funktionen einem schwachen Effekt (Cohen, 1992).

Für zwei Funktionen gibt es signifikante Unterschiede abhängig vom Alter der Teilnehmenden. Dies sind "Maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen" (Kruskal-Wallis-Test, $p = 0.041$) und "Navigationsfunktion" (Kruskal-Wallis-Test, $p = 0.004$). Bei der Navigationsfunktion unterscheidet sich die vierte Alterskategorie (von 67 bis 82 Jahre) signifikant von den anderen drei Alterskategorien. Bei der Funktionalität, die maximale Anzahl der angezeigten Ladestationen festlegen zu können, bestehen die signifikanten Unterschiede zwischen der Alterskategorie mit den jüngsten Teilnehmenden und den zwei Kategorien mit den älteren Teilnehmenden (Kategorien 3 und 4). Die Bewertung einiger Funktionen korreliert zudem signifikant mit dem Alter (vgl. Anhang S. 120, Abb. 59).

4.2.4 Frageblock 4: Ranglisten

Im vierten Frageblock ordneten die Teilnehmenden die möglichen Kriterien bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation nach ihrer Wichtigkeit. Die daraus resultierende Rangliste zeigt die Wichtigkeit der Kriterien im Verhältnis zu den anderen Kriterien. Die Rangliste wurde für die drei Situationen "Laden in der Stadt", "Laden auf dem Land" und "Laden auf der Autobahn" erstellt.

Die Ranglistendaten werden als ordinalskaliert betrachtet, da die Abstände zwischen den einzelnen Rängen nicht zwingend als gleich betrachtet werden müssen und sich die Wahrnehmung der Abstände von Person zu Person unterscheiden kann. Analog zum Vorgehen zuvor bei den Likert-Skalen wird deshalb auch hier jedem Rang eine Nummer zugewiesen. Mittelwerte werden jedoch nicht berechnet und es werden nur nicht-parametrische Methoden zur Auswertung genutzt. Anhand der Häufigkeit, wie oft ein Kriterium auf einem bestimmten Platz in der Rangliste eingeteilt wurde, wird für jedes Kriterium der Median und Modus berechnet.

4.2.4.1 Stadt

Für das Szenario "Laden in der Stadt" weist das Kriterium "Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)" mit einem Median von 2 den tiefsten Median aller Kriterien auf (vgl. Abb. 17). Das 0.75-Quantil liegt für dieses Kriterium beim 3. Rang. Somit haben mindestens drei Viertel der Teilnehmenden das Kriterium unter den ersten drei Plätzen platziert. Die beiden Kriterien, die am häufigsten auf den niedrigsten Rängen platziert wurden, waren "Die

Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehören" und "Es sollte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation geben". Diese zwei Kriterien haben beide einen Median von 7. Die Mediane der restlichen sechs Kriterien liegen zwischen 4 und 6. Der

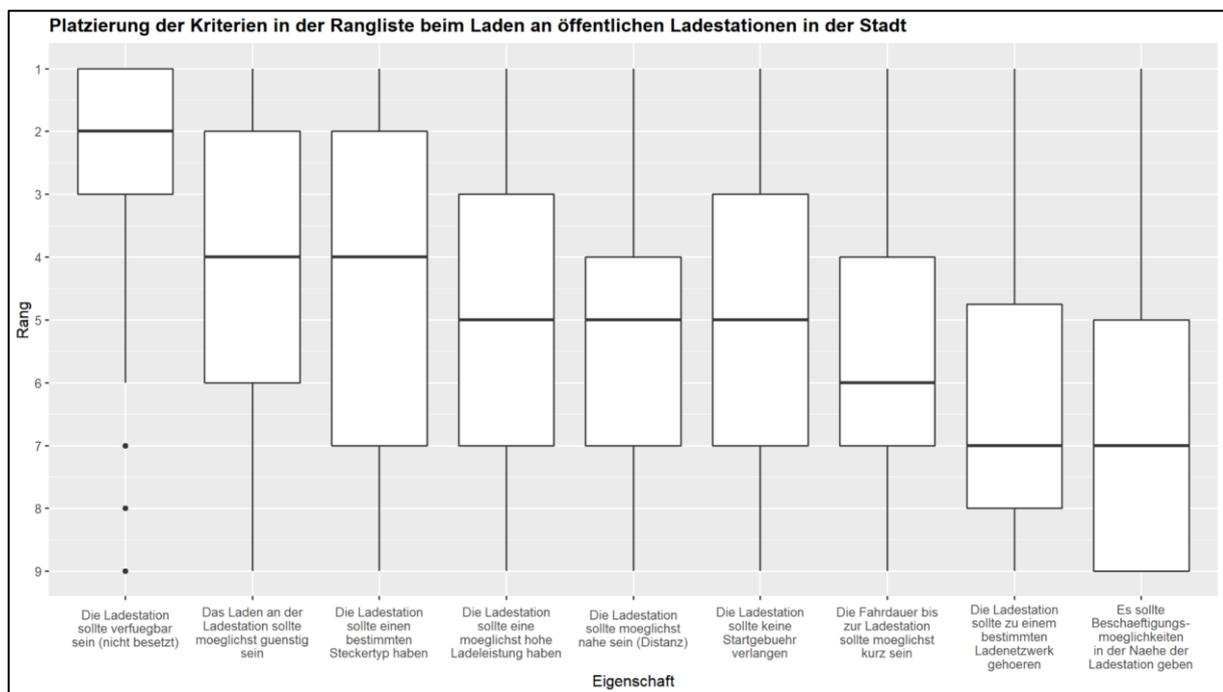


Abb. 17: Boxplots zur Einteilung der Kriterien in der Rangliste für das Laden an einer öffentlichen Ladestation in der Stadt (Rang 1 = am wichtigsten, Rang 9 = am wenigsten wichtig).

Modus liegt sowohl beim Kriterium zur Verfügbarkeit als auch beim Kriterium "Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben" bei 1. Bei den zwei Kriterien mit dem tiefsten Median liegt der Modus auf dem tiefstmöglichen Rang 9.

Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Befragten aus der Schweiz und denen aus anderen Ländern. Zwischen Frauen und Männern gibt es einen signifikanten Unterschied beim Kriterium "Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen" ($U = 4952.50$, $z = -2.233$, $p = 0.026$, $r = 0.12$). Am mittleren Rang des Mann-Whitney-U-Tests lässt sich erkennen, dass dieses Kriterium von den Teilnehmerinnen tendenziell auf einem besseren Platz in der Rangliste platziert wurde. Zwischen den Alterskategorien gibt es keine signifikanten Unterschiede und es konnte für kein Kriterium eine signifikante Korrelation mit dem Alter festgestellt werden.

4.2.4.2 Land

Beim Laden auf dem Land hat ebenfalls das Kriterium "Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)" den tiefsten Median (= 2). Die beiden Kriterien mit dem höchsten Median (= 7) sind dieselben wie in der Rangliste für das Laden in der Stadt. Es gibt jedoch drei Kriterien, bei denen sich der Median im Vergleich zum Laden in der Stadt ändert. Dies sind "Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein" (Median von 4 zu 5), "Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben" (Median von 5 zu 4) und "Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen" (Median von 5 zu 6).

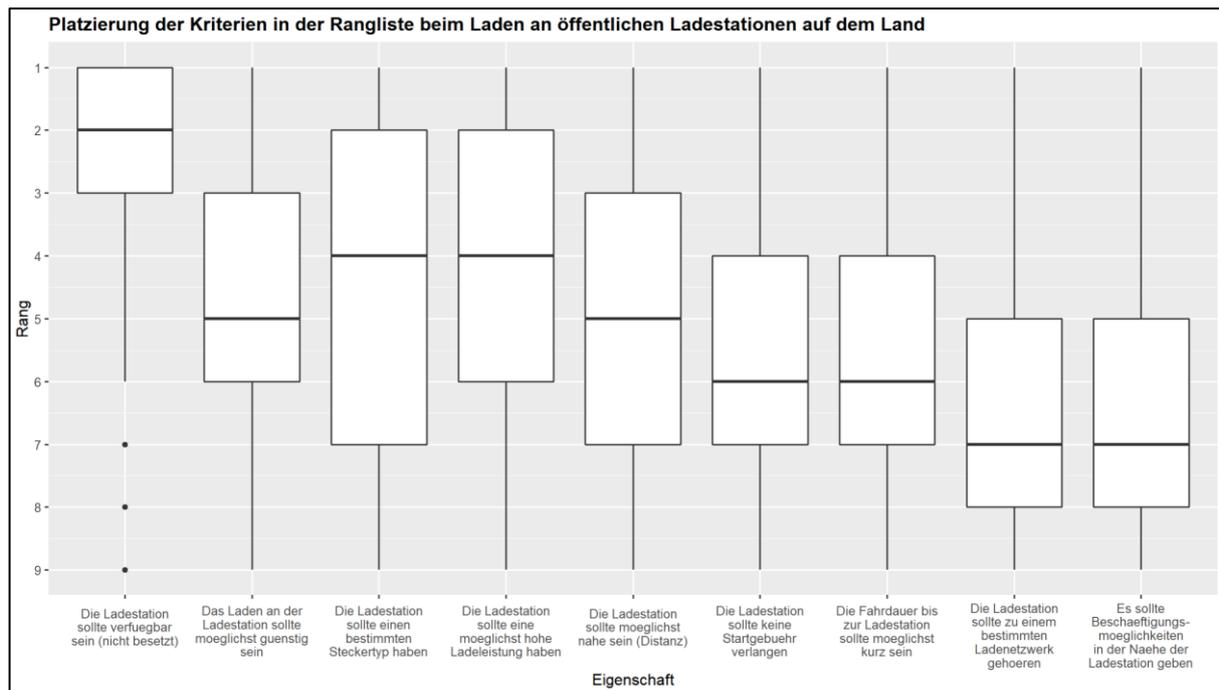


Abb. 18: Boxplots zur Einteilung der Kriterien in der Rangliste für das Laden an einer öffentlichen Ladestation auf dem Land (Rang 1 = am wichtigsten, Rang 9 = am wenigsten wichtig).

Teilnehmende aus der Schweiz haben das Kriterium "Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben" signifikant anders bewertet als die anderen Teilnehmenden ($U = 4730.00$, $z = -2.207$, $p = 0.027$, $r = 0.12$), wobei das Kriterium von ihnen tendenziell auf einem besseren Rang platziert wurde. Bei drei Kriterien können zwischen Männern und Frauen signifikante Unterschiede festgestellt werden. Dies betrifft "Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben" ($U = 4995.500$, $z = -2.163$, $p = 0.031$, $r = 0.12$), "Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben" ($U = 5036.500$, $z = -2.094$, $p = 0.036$, $r = 0.11$) und "Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen" ($U = 4518.50$, $z = -2.966$, $p = 0.003$, $r = 0.16$). Die Effektstärke ist bei allen drei Kriterien schwach (Cohen, 1992). Zwischen den Alterskategorien gibt es keine signifikanten Unterschiede bei der Bewertung der Kriterien. Es wurde jedoch eine signifikante positive Korrelation zwischen dem Alter und der Ladeleistung festgestellt.

4.2.4.3 Autobahn

Wie bei den ersten beiden Szenarien hat auch beim Laden auf der Autobahn die Verfügbarkeit einen Median von 2. Ebenfalls einen Median von 2 hat in diesem Szenario das Kriterium "Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben". Bei den restlichen sieben Kriterien liegt der Median jeweils zwischen 5 und 7, wobei die Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation, wie schon bei den zwei anderen Szenarien, das Kriterium mit dem tiefsten Median (= 7) darstellen (vgl. Abb. 19).

Bei zwei Kriterien gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen Frauen und Männern. Diese sind "Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben" ($U = 4837.50$, $z = -2.427$, $p = 0.015$, $r = 0.13$) und "Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen" ($U = 4150.00$, $z = -3.590$, $p < 0.001$, $r = 0.19$). Das erstgenannte Kriterium wurde von den Männern tendenziell als wichtiger befunden, letztgenanntes von den Frauen. Die Effektstärke ist bei beiden Unterschieden schwach (Cohen, 1992). Es gibt keine signifikanten Unterschiede

zwischen den Bewertungen der Teilnehmenden aus der Schweiz und den Bewertungen der anderen Teilnehmenden. Ebenfalls gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Alterskategorien und bei keinem Kriterium korrelieren die Bewertungen mit dem Alter.

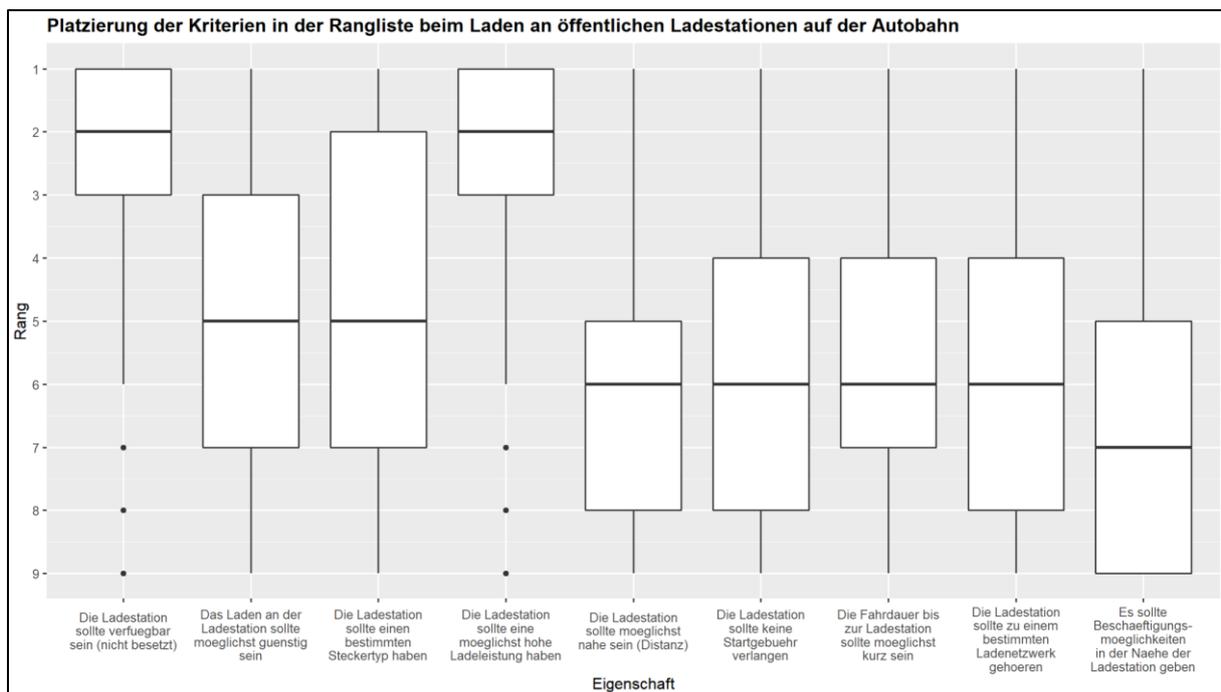


Abb. 19: Boxplots zur Einteilung der Kriterien in der Rangliste für das Laden an einer öffentlichen Ladestation auf der Autobahn (Rang 1 = am wichtigsten, Rang 9 = am wenigsten wichtig).

4.2.4.4 Unterschiede Stadt-Land-Autobahn

Bei vier der neun Kriterien unterscheiden sich die Antworten signifikant abhängig davon, wo das Elektrofahrzeug aufgeladen werden soll. Dies betrifft "Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein" (Friedman-Test, Chi-Quadrat(2) = 29.127, $p < 0.001$, $n = 248$), "Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben" (Friedman-Test, Chi-Quadrat(2) = 152.538, $p < 0.001$, $n = 248$), "Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)" (Friedman-Test, Chi-Quadrat(2) = 16.347, $p < 0.001$, $n = 248$) und "Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen" (Friedman-Test, Chi-Quadrat(2) = 8.642, $p = 0.013$, $n = 248$). Anhand von Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) lässt sich feststellen, zwischen welchen Antwortgruppen signifikante Unterschiede bestehen. Diese sind:

- Stadt-Land ($z = -0.345$, $p_{\text{angepasst}} = 0.000$) und Stadt-Autobahn ($z = -0.297$, $p_{\text{angepasst}} = 0.000$) für "Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein"
- Stadt-Land ($z = 0.293$, $p_{\text{angepasst}} = 0.000$), Stadt-Autobahn ($z = 0.841$, $p_{\text{angepasst}} = 0.000$), Land-Autobahn ($z = 0.293$, $p_{\text{angepasst}} = 0.000$) für "Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben"
- Stadt-Autobahn ($z = -0.213$, $p_{\text{angepasst}} = 0.015$), Land-Autobahn ($z = -0.270$, $p_{\text{angepasst}} = 0.001$) für "Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)"
- Stadt-Autobahn ($z = -0.205$, $p_{\text{angepasst}} = 0.020$) für "Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen"

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Umfrageergebnisse

5.1.1 Aussagekraft und Repräsentativität

Die Datengrundlage zur Gesamtpopulation der Nutzenden von öffentlichen Ladestationen in der Schweiz und anderen deutschsprachigen Ländern ist stark begrenzt, insbesondere was demographische Faktoren wie das Alter oder das Geschlechterverhältnis betrifft. Um die Repräsentativität der Umfrage zu beurteilen, wird deshalb auf Daten zu den Besitzenden von Elektrofahrzeugen zurückgegriffen. Das Durchschnittsalter der Elektrofahrzeugbesitzenden in der Schweiz beträgt laut Plananska (2020) 52.1 Jahre bei den BEVs und 57.2 Jahre bei den PHEVs. Etwas darunter, bei 51 Jahren, liegt das Durchschnittsalter der 3'111 Befragten in einer Befragung des Deutschen Instituts für Verkehrsforschung (Frenzel et al., 2015). Weitere Studien zur Elektromobilität weisen einen ähnlichen Altersdurchschnitt bei den Teilnehmenden auf, beispielsweise 50 Jahre in der Studie von Visaria et al. (2022). Diese Werte liegen nahe beim Durchschnittsalter der Teilnehmenden der in dieser Arbeit durchgeführten Umfrage, welches 51.13 Jahre beträgt. Zudem sind alle Alterskategorien unter den Teilnehmenden vertreten und auch ältere Menschen konnten gut erreicht werden (9.77 % der Teilnehmenden waren 65 Jahre alt oder älter).

Unter den Teilnehmenden an der Umfrage sind Männer mit 87.68 % aller Antworten deutlich stärker vertreten als Frauen mit 12.32 % (ohne Berücksichtigung der Personen ohne Geschlechtsangabe). Um genau zu beurteilen, wie repräsentativ dieser Frauenanteil ist, müsste das genaue Geschlechterverhältnis der Nutzenden von öffentlichen Ladestationen bekannt sein. Für die deutschsprachigen Länder gibt es dazu allerdings keine spezifischen Daten. Eine Studie, in der das Geschlechterverhältnis der Nutzenden von öffentlichen Ladestationen in Huilongguan (Peking), China untersucht wurde, ergab, dass nur 17 % der Nutzenden der untersuchten Ladestationen weiblich sind (Liu et al., 2020). Ob diese Ergebnisse auf andere Länder wie die Schweiz oder Deutschland übertragbar sind, ist jedoch unklar. Für einen eher tiefen Frauenanteil bei den Nutzenden von öffentlichen Ladestationen spricht auch, dass Männer häufiger Elektrofahrzeuge nutzen und täglich längere Distanzen zurücklegen als Frauen (Sovacool et al., 2019). Diese Erkenntnis wird durch Forschung zum allgemeinen Mobilitätsverhalten bestätigt, in der bereits gezeigt wurde, dass Frauen und Männer ein unterschiedliches Mobilitätsverhalten aufweisen und Frauen tendenziell kürzere Strecken zurücklegen als Männer (Gruber et al., 2021). Da besonders bei längeren Strecken öffentliche Ladestationen eine wichtige Rolle spielen (Funke et al., 2019), deutet dies darauf hin, dass Männer tendenziell häufiger an öffentlichen Ladestationen laden als Frauen.

Der tiefe Frauenanteil bei der Umfrage könnte aber auch aufgrund einer schlechteren Erreichbarkeit von Frauen über die gewählten Online-Plattformen oder ein geringeres Interesse an der Teilnahme an der Umfrage zustande gekommen sein. Allerdings fiel auch in vielen anderen Studien zum Thema Elektromobilität der Frauenanteil vergleichsweise niedrig aus, selbst wenn andere Rekrutierungsmethoden als Online-Foren und soziale Medien zum Einsatz kamen. Zum Beispiel lag der Frauenanteil bei Philipsen et al. (2016) bei 27.0 %, bei Visaria et al.

(2022) bei 12 %, bei Chakraborty et al. (2019) bei 21.93 %, bei Pauli et al. (2015) bei 15 % oder bei Scherrer et al. (2019) bei 10 %. Ein weiteres Beispiel ist die Studie von Philipsen et al. (2018). In der von ihnen durchgeführten Umfrage nahmen sowohl Besitzer und Besitzerinnen von Elektrofahrzeugen als auch Besitzer und Besitzerinnen von Verbrennerfahrzeugen teil. Der Frauenanteil für die Verbrennerfahrzeuge lag bei 50.4 %, wohingegen er bei den Elektrofahrzeugbesitzenden bei lediglich 15.8 % lag.

Obwohl einiges darauf hindeutet, dass prozentual mehr Männer an öffentlichen Ladestationen laden als Frauen, kann das Geschlechterverhältnis nicht genau bestimmt werden. Da aber die meisten Studien einen grösseren Frauenanteil aufwiesen als die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Umfrage, ist der Frauenanteil in der Umfrage wohl etwas tiefer als in der Grundgesamtheit. Dies könnte Auswirkungen auf die Repräsentativität der Umfrage haben.

Signifikante Unterschiede abhängig des Herkunftslandes gibt es nur sehr wenige. Das liegt wohl daran, dass die Ladeinfrastruktur in Europa und insbesondere in den deutschsprachigen Ländern sehr ähnlich ist. In der EU gibt es Richtlinien zu den technischen Standards der öffentlichen Ladestationen (vgl. Europäisches Parlament und Rat, 2014), an denen sich auch die Schweiz orientiert (Schweizerischer Bundesrat, 2017). Deshalb sind die technischen Eigenschaften der öffentlichen Ladestationen länderübergreifend vergleichbar. Auch die Anzahl der Neuzulassungen von Elektroautos in Prozent liegt in der Schweiz und Deutschland auf einem ähnlichen Niveau (Swiss eMobility, 2022), und die Prognose für die Entwicklung der Elektrofahrzeug-Adaption ist ebenfalls sehr ähnlich (Ruoso & Ribeiro, 2022). Zudem zeigten Reuter & Loock (2017), dass die Ansichten und Interessen bezüglich Elektromobilität von Personen aus der Schweiz und aus anderen deutschsprachigen und europäischen Ländern in verschiedenen Bereichen sehr ähnlich sind. Aus diesen Gründen sind die Antworten in der Umfrage länderübergreifend sehr ähnlich, und die Umfrageergebnisse können wohl auf die einzelnen Länder der Teilnehmenden übertragen werden. Ob die Resultate auf andere Länder ausserhalb der Zielgruppe der Umfrage oder auf Länder mit einer anderen Ladeinfrastruktur übertragbar sind, kann nicht mit Sicherheit beantwortet werden.

Da die genaue Grösse der Zielgruppe unbekannt ist, kann die Fehlerspanne nur ungefähr bestimmt werden. Die Anzahl der PEVs in den deutschsprachigen Ländern kann hier als grobe Schätzung für die Grösse der Zielgruppe verwendet werden. Stand Juli 2022 gibt es laut Hecht et al. (2022) insgesamt 1'440'574 PEVs in Deutschland, laut AustriaTech (2022) 139'351 PEVs in Österreich und laut Bundesamt für Statistik (2022) 113'446 PEVs in der Schweiz. Zusammen ergibt dies ungefähr 1.7 Millionen PEVs für diese deutschsprachigen Länder. Es gilt jedoch anzumerken, dass die Anzahl der Personen, die Erfahrung mit öffentlichen Ladestationen hat, vermutlich kleiner ist als diese Zahl. Trotzdem kann sie dazu verwendet werden, die Fehlerspanne grob zu schätzen. Bei einer Stichprobe von 348 Antworten und einem Konfidenzniveau von 95 % ergibt sich somit eine Fehlerspanne von etwa 5 %.

5.1.2 Einführungsfragen

Wie häufig die Teilnehmenden der Umfrage öffentliche Ladestationen nutzen, variiert stark. Die Antworten reichen von "mehrmals pro Woche" bis hin zu "einmal pro Jahr" oder sogar "seltener". Daher ist anzunehmen, dass die Teilnehmenden unterschiedlich viel Erfahrung im Umgang mit öffentlichen Ladestationen haben und zu verschiedenen Typen von Nutzenden gehören. Folglich wurden mit der Umfrage die Bedürfnisse von Personen mit mehr Erfahrung und von Personen mit weniger Erfahrung erfasst. Wie häufig an öffentlichen Ladestationen geladen wird, hängt im Wesentlichen davon ab, ob Lademöglichkeiten zu Hause oder am Arbeitsplatz bestehen und wie häufig längere Strecken mit dem Elektrofahrzeug zurückgelegt werden (Philipsen et al., 2016).

Die Suche nach geeigneten Ladestationen erfolgt am häufigsten über das interne Navigationsgerät des Elektrofahrzeugs sowie über die Apps der Ladenetzbetreiber. Daneben werden auch andere Apps und Webseiten oft verwendet. Demzufolge werden häufig mobile Geräte für die Suche nach öffentlichen Ladestationen verwendet, über welche zu jeder Zeit und an jedem Ort Informationen zu den Ladestationen, darunter auch Echtzeitdaten, abgerufen werden können. Die häufige Nutzung von mobilen Geräten zur Suche nach geeigneten Ladestationen unterstreicht die Bedeutung einer geeigneten Visualisierung von öffentlichen Ladestationen und dazugehörigen Informationen auf mobilen Geräten.

5.1.3 Präferenzen der Nutzenden von öffentlichen Ladestationen

In allen drei untersuchten Ladeszenarien stellt die Verfügbarkeit öffentlicher Ladestationen das Kriterium mit der grössten Wichtigkeit dar. Auch die Information zur Verfügbarkeit der Ladestation (Frageblock 2) erhielt hohe Bewertungen und wurde über alle Informationen hinweg als am nützlichsten eingestuft. Die hohe Wichtigkeit der Verfügbarkeit wird durch die Studien von Philipsen et al. (2015), Philipsen et al. (2016), Visaria et al. (2022) und Brückmann & Bernauer (2023) bestätigt. Wie beispielsweise von Philipsen et al. (2016) gezeigt wurde, haben bereits kurze Wartezeiten einen starken Einfluss auf die Relevanz öffentlicher Ladestationen. In einigen Studien wurde, um die Wichtigkeit der Verfügbarkeit im Vergleich zu der Fahrdauer und Distanz zur Ladestation zu bestimmen, die Länge des Umwegs berechnet, der in Kauf genommen wird, um zu einer freien Ladestation zu gelangen. Philipsen et al. (2015) berechnen für diesen Umweg eine Länge von 5 km oder 10 Minuten. In einer ähnlichen Studie stellen Visaria et al. (2022) fest, dass durchschnittlich ein Umweg von 7.87 Minuten für eine freie Ladestation und 0.53 Minuten für eine besetzte Ladestation akzeptiert wird. Allgemeine Forschungen zur Relevanz von Objekten im geographischen Kontext unterstützen die hohe Wichtigkeit der Verfügbarkeit. De Sabbata & Reichenbacher (2012) zeigen, dass die Zugänglichkeit eines Objekts für dessen geographische Relevanz von entscheidender Bedeutung ist. Das Kriterium "spatio-temporal proximity" wird von ihnen zu den "fundamentalen" Kriterien gezählt und bestimmt somit grundlegend, ob ein Objekt in einem bestimmten Kontext relevant ist oder nicht.

Wie erwartet wurde insbesondere beim Szenario "Laden auf der Autobahn" neben der Verfügbarkeit auch die Ladeleistung der Ladestation als sehr wichtig bewertet. Dies lässt sich dadurch erklären, dass gerade bei längeren Reisen häufig Schnellladestationen mit hohen Ladeleistungen entlang der Autobahn genutzt werden, um eine schnelle Weiterreise zu

ermöglichen (Philipsen et al., 2016). Zudem wurde gezeigt, dass die Ladezeit entlang von Autobahnen einen grossen Einfluss auf die Bewertung der Ladestation hat (Globisch et al., 2019). In der Stadt und auf dem Land sind hohe Ladeleistungen hingegen weniger wichtig. An diesen Orten steht nicht die schnelle Weiterreise im Vordergrund, sondern die Fahrzeuge werden häufig längere Zeit stehen gelassen, weshalb hier auch ein langsames Laden akzeptiert wird (Anderson et al., 2018). Das einzige Kriterium, bei welchem ein signifikanter Unterschied in der Wichtigkeit abhängig des Herkunftslands der Teilnehmenden auftritt, ist die Ladeleistung beim Laden auf dem Land. Die Effektstärke nach Cohen (1992) ist mit $r = 0.12$ jedoch schwach.

Ähnlich wichtig wie die Ladeleistung wurde in allen drei Szenarien das Kriterium, welche Steckertypen an einer Ladestation vorhanden sind, bewertet. Der Steckertyp muss mit dem Ladeanschluss des Fahrzeugs kompatibel sein und hängt mit der Ladeleistung zusammen (Doppelbauer, 2020). Ein Grund dafür, weshalb der Steckertyp nicht noch wichtiger bewertet wurde, ist wohl die EU-Richtlinie 2014/94/EU, in der die Steckertypen festgelegt werden, die abhängig von der Art der Ladestation (Gleichstrom/Wechselstrom) an einer Ladestation vorhanden sein müssen (Europäisches Parlament und Rat, 2014; vgl. Kapitel 2.1). Wenn ein Fahrzeug mit diesen vorgegebenen Steckern kompatibel ist, ist der Steckertyp nur im Hinblick auf die Ladeleistung von Bedeutung. Bei Fahrzeugen, die mit diesen Steckertypen nicht geladen werden können, sind die Steckertypen primär aufgrund der Kompatibilität von grosser Bedeutung und entscheiden darüber, ob eine Ladestation überhaupt relevant ist oder nicht.

In der Stadt sind die Kosten für das Laden das zweitwichtigste Kriterium für eine Ladestation. Auf dem Land und auf der Autobahn gehören die Kosten ebenfalls zu den wichtigsten Kriterien. Da die Kosten je nach Ladestation stark variieren und sich auch ständig ändern können, ist es wichtig, die Ladekosten vor dem Laden genau zu kennen und eine Ladestation auszuwählen, deren Kosten man bereit ist zu bezahlen. Das Kriterium "Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen" erhielt in den drei Szenarien zweimal einen Medianrang von 6 und einmal von 5. Somit wird die Startgebühr alleine von den Teilnehmenden als nicht ganz so wichtig angesehen wie die Kosten insgesamt. Dies, obwohl Globisch et al. (2019) zeigen, dass viele Personen nicht bereit sind, eine Startgebühr für das Laden zu bezahlen.

Die Distanz zur Ladestation erhielt in zwei Ladeszenarien einen Medianrang von 5 und in einem Szenario einen Medianrang von 6, während die Fahrdauer in allen drei Szenarien einen Medianrang von 6 aufweist. Die geringere Wichtigkeit dieser Kriterien im Vergleich zu den zuvor diskutierten Kriterien lässt sich auch an der Länge der Umwege erkennen, die für eine freie Ladestation, eine höhere Ladeleistung oder tiefere Kosten in Kauf genommen werden. Wie bereits erwähnt, entspricht dieser Umweg ca. 10 Minuten Fahrdauer oder 5 km für eine freie Ladestation (Philipsen et al., 2015; Visaria et al., 2022). Um 1 km pro Minute schneller zu laden, werden durchschnittlich 0.28 Minuten Umweg gefahren (Visaria et al., 2022). Dennoch gibt es bestimmte Grenzen für die Länge der Umwege, die gefahren werden. Beispielsweise sind Personen, die auf der Autobahn unterwegs sind, nicht gewillt, die Autobahn zu verlassen, um ihr Elektrofahrzeug zu laden (Philipsen et al., 2016). Eine Erklärung dafür, weshalb die Fahrdauer und Distanz als weniger wichtig bewertet wurden als die Ladeleistung, ist wohl der starke Einfluss der Ladeleistung auf die Dauer des Ladevorgangs. An einer etwas weiter entfernten Ladestation mit höherer Ladeleistung kann der Ladevorgang einiges kürzer sein als an einer näher gelegenen Ladestation mit geringerer Ladeleistung. Zum Beispiel dauert das Laden

von 50 kWh bei einer Ladeleistung von 22 kW etwas mehr als 2 Stunden, während es bei einer Ladeleistung von 150 kW nur 20 Minuten dauert.

In allen drei Szenarien wurde das Kriterium, dass Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation vorhanden sind, als am wenigsten wichtig eingestuft. Interessanterweise gibt es keine signifikanten Unterschiede in der Wichtigkeit dieses Kriteriums zwischen den drei Szenarien. Im Gegensatz zur Ladeleistung, die auf der Autobahn als deutlich wichtiger bewertet wurde als in der Stadt oder auf dem Land, werden die Beschäftigungsmöglichkeiten in allen drei Szenarien als gleich (un)wichtig eingestuft. Zwar stellen Philipsen et al. (2016) fest, dass Dual-Use, also die Möglichkeit während dem Laden einer anderen Aktivität nachzugehen, ein wichtiges Kriterium beim Bewerten einer Ladestation ist. Sie merken jedoch an, dass Personen, welche kein Elektrofahrzeug besitzen, Dual-Use als wichtiger bewerten als Personen mit Elektrofahrzeug. Da die meisten Teilnehmenden der Umfrage ein Elektrofahrzeug besitzen, unterstützt dies die geringe Wichtigkeit der Beschäftigungsmöglichkeiten im Vergleich zu anderen Kriterien. Zudem finden Philipsen et al. (2016) einen signifikanten Unterschied bei der Bewertung der Wichtigkeit von Dual-Use zwischen Frauen und Männern. Bei der Bewertung der Beschäftigungsmöglichkeiten in dieser Arbeit können solche Unterschiede nicht festgestellt werden. Eine Schwierigkeit bei der angewendeten Ranking-Methode besteht darin, zu beurteilen, ob Kriterien am unteren Ende der Rangliste irrelevant oder nur weniger relevant als die anderen Kriterien sind. Anhand der Ergebnisse des ersten Frageblocks kann die Wichtigkeit der Beschäftigungsmöglichkeiten aber grob abgeschätzt werden. Informationen zu Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation wurden von den Teilnehmenden im Median als "eher hilfreich" bei der Suche nach einer geeigneten Ladestation bewertet. Dies deutet darauf hin, dass die Beschäftigungsmöglichkeiten zwar weniger wichtig sind als die anderen Kriterien, aber dennoch bei der Entscheidung für eine Ladestation hilfreich sein können.

5.1.4 Informationen zu den öffentlichen Ladestationen

Die Informationen wurden generell hoch bewertet, was für die grosse Nützlichkeit der Informationen bei der Identifikation von relevanten öffentlichen Ladestationen in Kartenapplikationen spricht. Viele Informationen stehen in direktem Zusammenhang mit den oben besprochenen Kriterien für die Wahl einer Ladestation. Die Bewertungen solcher Informationen stimmen mit den Bewertungen der Kriterien überein. So wurde die Information zur Verfügbarkeit der Ladestation am nützlichsten und die Information zu den Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation am schlechtesten bewertet. Die Gründe für die jeweiligen Bewertungen der Informationen sind wohl dieselben wie die, die oben für die Bewertungen der Kriterien vorgestellt wurden. Die insgesamt am niedrigsten bewertete Information ("Ladestation mit Buchse oder Kabel") weist einen Median und Modus von 3 auf ("eher hilfreich"), womit auch diese Information noch immer von der Mehrheit der Teilnehmenden als nützlich angesehen wird.

Signifikante Unterschiede abhängig vom Herkunftsland gibt es nur bei der Information zur Adresse der Ladestation. Zwischen den Frauen und Männern gibt es bei sechs der fünfzehn Informationen signifikante Unterschiede in der Bewertung. Dies liegt daran, dass Frauen diese Informationen als hilfreicher bewerteten als Männer. Alle Informationen, die von den Frauen als wichtig bewertet wurden, wurden auch von den Männern als wichtig bewertet und umgekehrt. Dies bedeutet, dass es sich bei den signifikanten Unterschieden nicht um gegensätzliche

Meinungen dazu handelt, ob eine Information überhaupt hilfreich ist, sondern lediglich um Unterschiede darin, wie stark diese Informationen als hilfreich bewertet wurden. Die Effektstärken bei den signifikanten Unterschieden sind schwach (Cohen, 1992). Die Tatsache, dass Frauen Kriterien zu öffentlichen Ladestationen tendenziell als wichtiger bewerten als Männer, konnten auch Philipsen et al. (2016) und Globisch et al. (2019) in Studien zum Ladeverhalten feststellen.

5.1.5 Unterstützende Funktionen und Kartenwerkzeuge

Die grosse Mehrheit der in der Umfrage vorgeschlagenen Funktionen und Kartenwerkzeuge wurde von den meisten Teilnehmenden als sehr hilfreich beurteilt. Wie bereits erwähnt, ist nicht jedes Elektrofahrzeug mit jeder öffentlichen Ladestation kompatibel. Ausserdem kommen Ladestationen eines bestimmten Ladenetzwerks eher für das Laden des Elektrofahrzeugs infrage, wenn für dieses Ladenetzwerk ein Abonnement abgeschlossen wurde, da an diesen Ladestationen dann zu tieferen Kosten geladen werden kann (Visaria et al., 2022). Dies sind wohl die Gründe dafür, dass Filterfunktionen, die es ermöglichen, nach bestimmten Eigenschaften der Ladestationen zu filtern, als besonders hilfreich angesehen werden. Mit Hilfe von Filtern kann der Informationsgehalt reduziert und die Relevanz der dargestellten Informationen erhöht werden (Mountain & MacFarlane, 2007). Durch das Filtern nach Steckertyp, Ladeleistung und Ladenetzbetreiber kann der Informationsgehalt der Karte angepasst werden, um besser den Bedürfnissen des Nutzers oder der Nutzerin zu entsprechen. Das automatische Visualisieren von nur kompatiblen Ladestationen wird durch das Hinterlegen der Fahrzeugspezifikationen und, falls vorhanden, dem Ladenetzwerk, bei dem ein Abonnement abgeschlossen wurde, ermöglicht. Dadurch ist keine Interaktion der Nutzenden mit den Filteroptionen mehr erforderlich, was insbesondere auf mobilen Geräten nützlich ist, wo die Interaktionsmöglichkeiten durch die kleine Bildschirmgrösse beschränkt werden und häufig parallel zum Nutzen der Applikation noch anderen Aktivitäten nachgegangen wird (Huang & Gao, 2018). Eine solche Funktionalität wurde von den Teilnehmenden am zweithöchsten bewertet. Eine weitere Funktion, die mit der Filterfunktion verwandt ist, ist das Festlegen einer minimalen Ladeleistung. Hier wird nicht wie bei den oben beschriebenen Filtern nach Kategorien gefiltert, sondern es werden nur Ladestationen ab einer bestimmten Ladeleistung visualisiert. Welche Ladeleistung bevorzugt wird, hängt stark davon ab, in welcher Situation geladen wird (z. B. En-Route Charging oder Destination Charging, verfügbare Zeit). Durch die Möglichkeit, die minimale Ladeleistung der visualisierten Ladestationen festzulegen, kann auf diese Weise auf die unterschiedlichen Bedürfnisse eingegangen werden.

Die Möglichkeit, die maximale Anzahl der angezeigten Ladestationen festzulegen, wurde als am wenigsten hilfreich bewertet. Die Idee dieser Funktion war, die Möglichkeit zu bieten, den Informationsgehalt der Karte zu reduzieren, indem nicht alle Ladestationen visualisiert werden. In der Umfrage wurde jedoch nicht genau erklärt, wie diese Funktion umgesetzt werden könnte und basierend auf welchen Kriterien die Ladestationen ausgewählt werden würden, die visualisiert werden. Die Teilnehmenden gingen wohl von einem Informationsverlust aus und dass möglicherweise relevante Ladestationen nicht visualisiert werden würden. Aus diesem Grund wurde diese Funktion wohl als weniger hilfreich bewertet als die anderen Funktionen.

Bei den zwei Funktionen, bei denen signifikante Unterschiede in der Bewertung abhängig des Geschlechts der Teilnehmenden festgestellt werden konnten, handelt es sich um die Navigationsfunktion und die Möglichkeit, einzelne Ladestationen markieren zu können. Beide Funktionen werden jedoch sowohl von den Frauen als auch von den Männern als tendenziell nützlich angesehen. Eine Implementierung dieser Funktionen wäre somit für beide Geschlechter nützlich, wenn auch nicht im exakt gleichen Ausmass.

5.1.6 Wichtigkeit der Kriterien, Informationen und Funktionen

Anhand der Resultate der Umfrage und deren Diskussion konnten nun genügend Erkenntnisse gewonnen werden, um die Wichtigkeit der Kriterien bei der Wahl einer geeigneten Ladestation zu bestimmen. Basierend auf dieser Wichtigkeit wird nun festgelegt, welche Kriterien für die Bestimmung der Relevanz öffentlicher Ladestationen zwingend erforderlich sind und welche Kriterien ergänzend in Betracht gezogen werden können. Zudem wird beschrieben, welche Informationen und Funktionen in einer Kartenapplikation vorhanden sein müssen und welche zwar hilfreich, aber nicht zwingend notwendig sind. Im Anschluss daran wird auf die erste Forschungsfrage und die zugehörigen Hypothesen eingegangen.

Von den neun Kriterien, die in der Umfrage abgefragt wurden, ist die Verfügbarkeit der Ladestation das mit Abstand wichtigste Kriterium für die Bestimmung der Relevanz. Weitere einflussreiche Kriterien sind die Kosten für das Laden, der Steckertyp, die Ladeleistung und die Distanz zur Ladestation. Die Startgebühr und die Kosten sind stark miteinander verknüpft und die mittelmässige Wichtigkeit der Startgebühr rechtfertigt nicht, die Startgebühr als separates Kriterium zu führen. Deshalb wird für das Bestimmen der Relevanz der öffentlichen Ladestationen die Startgebühr in das Kriterium "Kosten" integriert. Ebenfalls zu den wichtigen Kriterien kann die Fahrdauer bis zur Ladestation gezählt werden. Alle diese Kriterien haben grossen Einfluss auf die Relevanz einer öffentlichen Ladestation und werden deshalb für das Bestimmen des Relevanzwerts der öffentlichen Ladestationen verwendet.

Das Ladenetzwerk und die Beschäftigungsmöglichkeiten sind die zwei Kriterien, welche im Vergleich zu den anderen Kriterien weniger wichtig sind. Dennoch können sie einen Einfluss auf die Wahl der Ladestation haben, was auch an der Bewertung der Informationen zu diesen zwei Kriterien ersichtlich ist. Für das Berücksichtigen dieser Kriterien beim Berechnen der Relevanz müsste allerdings bestimmt werden, welchen Einfluss die einzelnen Ladenetzwerke und Beschäftigungsmöglichkeiten auf die Relevanz der öffentlichen Ladestation haben. Aufgrund der grossen Vielfalt an Ladenetzwerken und Beschäftigungsmöglichkeiten sowie der Tatsache, dass deren Einfluss wohl stark von den jeweiligen Bedürfnissen des Nutzers oder der Nutzerin abhängt, wäre das Miteinbeziehen dieser Kriterien bei der Bestimmung der Relevanz nur mit grossem Aufwand umsetzbar. Aus diesem Grund und der eher geringen Wichtigkeit dieser Kriterien sind die Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestationen und das Ladenetzwerk nicht zwingend notwendig, um die Relevanz von öffentlichen Ladestationen zu bestimmen. Um den Nutzenden der mobilen Kartenapplikation dennoch die Möglichkeit zu geben, diese Kriterien bei der Wahl einer geeigneten Ladestation zu berücksichtigen, bietet es sich an, Informationen zu diesen Kriterien in die Kartenapplikation zu integrieren. Zudem könnten Filteroptionen eingerichtet werden, mit denen die Ladestationen beispielsweise nach bestimmten Ladenetzwerken gefiltert werden können. Auf diese Weise würden diese Kriterien zwar nicht beim Berechnen des Relevanzwerts der öffentlichen

Ladestationen berücksichtigt werden, die nicht relevanten Ladestationen könnten von den Nutzenden aber manuell herausgefiltert werden. Die Kriterien, welche beim Unterscheiden von zwei ähnlich relevanten Objekten helfen können, selbst aber keinen grossen Einfluss auf die Relevanz haben, werden von De Sabbata & Reichenbacher (2012) als "sekundäre" Kriterien kategorisiert. Zu dieser Art von Kriterien können auch das Ladenetzwerk und die Beschäftigungsmöglichkeiten gezählt werden.

In einer mobilen Kartenapplikation sollten alle Informationen vorhanden sein, die im Zusammenhang mit den oben bestimmten notwendigen Kriterien stehen. Auf diese Weise ist der Relevanzwert der Ladestationen für Nutzenden der Kartenapplikation besser nachvollziehbar. Dies ist wichtig, denn die Adaptivität kann auch kontraproduktiv sein, wenn die zugrundeliegenden Mechanismen für die Nutzenden nicht transparent und verständlich sind (Bartling et al., 2022). Zusätzlich zu diesen Informationen sollten in der Kartenapplikation aufgrund der Bewertung der Teilnehmenden auch die Öffnungszeiten der Ladestation, die Adresse der Ladestation, die Authentifizierungsmöglichkeiten und das Ladenetzwerk vorhanden sein. Weniger hilfreiche Informationen sind ein Foto der Ladestation, die Bewertung der Ladestation, Kontaktangaben des Stationsbetreibers, die Information, ob es sich um eine Ladestation mit einer Buchse oder einem Kabel handelt und, wie oben bereits genannt, die Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation. Diese Informationen erhielten in der Umfrage einen Median von 3, was der Kategorie "Eher hilfreich" entspricht. Die Integration dieser Informationen in die Kartenapplikation kann zwar hilfreich sein, ist allerdings nicht zwingend erforderlich.

Die wichtigste Funktionalität, die in einer Kartenapplikation zu öffentlichen Ladestationen angeboten werden muss, sind Filteroptionen für die Eigenschaften der Ladestation. Durch diese könnte auch die Möglichkeit bereitgestellt werden, den Einfluss des Ladenetzwerks oder der Beschäftigungsmöglichkeiten auf die Relevanz der Ladestationen trotzdem zu berücksichtigen, indem die Ladestationen nach diesen gefiltert werden können. Die zweite wichtige Funktionalität ist es, nur kompatible Ladestationen anzeigen zu lassen. Dafür könnten die Fahrzeugspezifikationen in einem Nutzerprofil gespeichert werden, welches von der Kartenapplikation genutzt wird, um die Visualisierung automatisch an die Fahrzeugspezifikationen zu adaptieren (D. Zhang et al., 2009). Ebenfalls sinnvoll ist die Implementierung einer Funktion, mit der die minimale Ladeleistung der angezeigten Ladestationen festgelegt werden kann. Die weiteren Funktionen dienen eher dazu, das allgemeine Benutzererlebnis zu verbessern und weniger dem Zweck, die relevanten Ladestationen zu identifizieren. Aus diesem Grund müssen die folgenden Funktionen nicht zwingend in einer Kartenapplikation vorhanden sein, die den Fokus auf der Relevanz der Ladestationen hat: Einzelne Ladestationen markieren/zum Favoriten hinzufügen, Reise planen (mit Zwischenstopps), Navigationsfunktion und das Festlegen der maximalen Entfernung der angezeigten Ladestationen zum eigenen Standort. Die Funktion, die maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festzulegen, wurde von den Nutzenden der Kartenapplikation als eher nicht hilfreich bewertet. Aufgrund dessen sowie der Tatsache, dass die Ladestationen ohnehin entsprechend ihrer Relevanz visualisiert werden sollen, ist die Integration dieser Funktion in eine Kartenapplikation nicht sinnvoll.

Die folgende Tabelle bietet einen Überblick darüber, welche Kriterien, Informationen und Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation zwingend vorhanden sein müssen und welche optional implementiert werden können.

Tab. 3: Übersicht welche Kriterien, Informationen und Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation mit Fokus auf der Relevanz der Ladestationen vorhanden sein müssen und welche zusätzlich noch integriert werden könnten.

Kategorie	Notwendig	Hilfreich, aber nicht notwendig
Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> - Verfügbarkeit der Ladestation - Kosten (inkl. Startgebühr) - Steckertyp - Ladeleistung - Distanz zur Ladestation - Fahrdauer zur Ladestation 	<ul style="list-style-type: none"> - Ladenetzwerk der Ladestation - Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation
Informationen	<ul style="list-style-type: none"> - Verfügbarkeit der Ladestation - Öffnungszeiten der Ladestation - Ladeleistung der einzelnen Stecker - Kosten für das Laden - Adresse der Ladestation - Steckertypen an der Ladestation - Authentifizierungsmöglichkeiten - Ladenetzwerk - Distanz zur Ladestation - Fahrdauer zur Ladestation 	<ul style="list-style-type: none"> - Foto der Ladestation - Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation - Bewertung der Ladestation - Kontaktangaben des Stationsbetreibers - Ladestation mit Buchse oder Kabel
Funktionen	<ul style="list-style-type: none"> - Filtermöglichkeiten - Nur kompatible Ladestationen anzeigen - Minimale Ladeleistung festlegen 	<ul style="list-style-type: none"> - Ladestationen markieren/zu Favoriten hinzufügen - Reise planen (mit Zwischenstopps) - Navigationsfunktion - Maximale Entfernung der Ladestationen festlegen

5.1.7 Beantwortung der 1. Forschungsfrage

Die Hypothese H1.1 besagt, dass die Verfügbarkeit einer Ladestation, die an einer Ladestation vorhandenen Steckertypen, die Distanz zur Ladestation und die Kosten für das Laden den grössten Einfluss auf die Wahl einer öffentlichen Ladestation haben. Wie anhand der Umfrageergebnisse gezeigt wurde, sind insbesondere die Verfügbarkeit, die Ladeleistung, die Kosten und die vorhandenen Steckertypen sehr wichtige Kriterien für die Relevanz öffentlicher Ladestationen. Auch der Einfluss der Distanz und der Fahrdauer hat sich als gross herausgestellt. Der Einfluss der Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation sowie des Ladenetzwerks ist geringer als der der anderen Kriterien. Die in der Umfrage enthaltenen Kriterien können alle zu den Kriterien mit dem grössten Einfluss auf die Relevanz einer öffentlichen Ladestation gezählt werden. Somit wird die Hypothese durch die Umfrageergebnisse bestätigt. Zu den Kriterien mit dem grössten Einfluss gehören aber auch die Ladeleistung sowie die Fahrdauer bis zur Ladestation. Es gilt hier noch anzumerken, dass auch andere Kriterien, welche nicht in der Umfrage enthalten waren, Einfluss auf die Relevanz öffentlicher Ladestationen haben können. Aufgrund von Erkenntnissen aus anderen Studien ist der Einfluss der meisten dieser Kriterien jedoch geringer als der, der in der Umfrage untersuchten Kriterien (vgl. Kapitel

4.1.2.9). Die Kriterien mit dem grössten Einfluss auf die Relevanz der öffentlichen Ladestationen sind oben in der Tabelle (Tab. 5) in der linken Spalte aufgeführt.

Ebenfalls konnte durch die Umfrage gezeigt werden, dass die Wichtigkeit einiger Kriterien davon abhängt, ob in der Stadt, auf dem Land oder auf der Autobahn geladen wird. Beispielsweise ist die Ladeleistung beim Laden auf der Autobahn signifikant wichtiger als beim Laden in der Stadt oder beim Laden auf dem Land. Auch die Wichtigkeit der Kosten und der Distanz zur Ladestation hängen vom Ort ab, an dem geladen wird. Somit kann auch die Hypothese 1.2 "Der Einfluss der Kriterien hängt davon ab, ob in der Stadt, auf dem Land oder auf der Autobahn geladen werden soll", bestätigt werden. Daneben gibt es bei verschiedenen Kriterien auch signifikante Unterschiede in deren Wichtigkeit abhängig von demographischen Eigenschaften, allen voran vom Geschlecht. Frauen bewerteten beispielsweise die Startgebühr beim Laden in der Stadt signifikant wichtiger als Männer.

5.2 Verwendung der Kriterien

Im vorherigen Kapitel wurde festgelegt, welche Kriterien für die Berechnung der Relevanz zwingend berücksichtigt werden müssen. In diesem Kapitel wird nun festgelegt, wie diese Kriterien konkret verwendet werden können, um die Relevanz der öffentlichen Ladestationen zu bestimmen. Wenn sich die Kriterien je nach Art des Ladens in ihrer Verwendung oder Berechnung unterscheiden, wird darauf ebenfalls eingegangen. Neben Destination Charging und En-Route Charging, welche in Kapitel 4.1.1 beschrieben wurden, soll zusätzlich das Laden in der Nähe der aktuellen Position berücksichtigt werden. Dadurch soll die Kartenapplikation später auch genutzt werden, um nach geeigneten Ladestationen in der Nähe zu suchen.

5.2.1 Verfügbarkeit

5.2.1.1 Verfügbarkeit und Zugänglichkeit

Die Verfügbarkeit einer öffentlichen Ladestation hängt davon ab, ob sie zurzeit frei ist oder ein Elektrofahrzeug an ihr lädt. Um die Relevanz einer Ladestation zu beurteilen, wird ihre Verfügbarkeit zum Zeitpunkt, an dem die Kartenapplikation genutzt wird, verwendet. Um sicherzustellen, dass die in der Kartenapplikation angezeigte Verfügbarkeit der Ladestationen stets dem Echtzeitstatus entspricht, sollten während der Nutzung der Kartenapplikation, die Informationen zur Verfügbarkeit in regelmässigen Intervallen automatisch aktualisiert werden (z. B. alle 15 Sekunden). Zusätzlich muss eine Ladestation auch zugänglich sein, um genutzt werden zu können. Die Zugänglichkeit hängt hauptsächlich von den Öffnungszeiten der Ladestation ab und ist im Gegensatz zur Verfügbarkeit vorhersehbar. Zum Beispiel sind Ladestationen bei Einkaufsläden oft nur während den Öffnungszeiten des Einkaufsladens oder des dazugehörigen Parkhauses zugänglich. Ladestationen, welche ausser Betrieb sind, gelten direkt als unzugänglich. Bei den anderen Ladestationen wird für die Beurteilung der Zugänglichkeit einerseits berücksichtigt, ob eine Ladestation zurzeit zugänglich ist oder nicht, und andererseits, ob die Ladestation solange zugänglich bleibt, bis man sie erreicht hat und das Elektrofahrzeug laden konnte. Dies wird auch durch die beiden Konzepte "spatio-temporal accessibility" (Crease & Reichenbacher, 2013) und "spatio-temporal proximity" (De Sabbata &

Reichenbacher, 2012) beschrieben. Öffentliche Ladestationen sind Orte im Raum, an denen die Möglichkeit besteht, eine bestimmte Aktivität durchzuführen, und stellen somit "Stations" dar (Crease & Reichenbacher, 2013). In diesem Fall das Laden eines Elektrofahrzeugs. Die "stay time" entspricht der Zeit, die für das Durchführen einer Aktivität an einer *Station* benötigt wird (Crease & Reichenbacher, 2013). Im Kontext von Ladestationen handelt es sich hierbei um die Ladedauer. Einschränkungen, die sich aus der Notwendigkeit ergeben, eine bestimmte Zeit an einem Ort verbringen zu müssen, um die Aktivität durchführen zu können, werden im Konzept der Time Geography als "coupling constraints" bezeichnet (Crease & Reichenbacher, 2013). Bezogen auf öffentliche Ladestationen bedeutet dies, dass die Ladestation nach der Ankunft noch lange genug zugänglich sein muss, um das Elektrofahrzeug so weit wie gewünscht aufladen zu können.

Um die Zugänglichkeit einer Ladestation zu bestimmen, muss zuerst die Fahrdauer bis zur Ladestation berechnet werden. Falls eine Ladestation bei der Ankunft geschlossen ist, wird sie als nicht zugänglich betrachtet. Im Konzept der Time Geography stellt dies eine "authority constraint" dar, also eine Einschränkung, die durch soziale oder kulturelle Regeln auferlegt wird (Crease & Reichenbacher, 2013). Ist eine Ladestation bei der Ankunft noch zugänglich, wird die "stay time" für die Ladestation berechnet. Dafür wird anhand der Restreichweite des Elektrofahrzeugs und dem Ladezustand der Batterie berechnet, wie viele Kilowattstunden an der Ladestation geladen werden können, bis die Batterie vollgeladen ist. Unter Berücksichtigung der Ladeleistung der Ladestation und des Elektrofahrzeugs wird dann die Dauer des Ladevorgangs berechnet. Schliesst die Ladestation bevor das Elektrofahrzeug vollständig geladen wurde, sollte sie dennoch als zugänglich betrachtet werden, da das Bedürfnis der Nutzenden zumindest teilweise erfüllt wird, auch wenn das Fahrzeug nicht vollständig geladen werden kann. In einem solchen Fall ist es jedoch wichtig, die Nutzerinnen und Nutzer der Kartenapplikation mit einem Hinweis darauf aufmerksam zu machen, dass die Ladestation schliesst, bevor das Fahrzeug vollgeladen werden kann. Dieser Hinweis könnte beispielsweise in die Informationen zur Ladestation integriert werden, welche bei einem Klick auf die Ladestation angezeigt werden. Für Ladestationen, die zum Zeitpunkt der Verwendung der Kartenapplikation nicht zugänglich sind, wird ebenfalls die Fahrzeit bis zur Ladestation berechnet. Wenn eine Ladestation innerhalb der zu ihr benötigten Zeit öffnet, wird sie als zugänglich gewertet. Hier bietet sich ebenfalls die Möglichkeit an, die Nutzenden mit einem Hinweis darauf aufmerksam zu machen, dass die Ladestation zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht zugänglich ist, aber bis zur Ankunft zugänglich sein wird.

Tab. 4: Übersicht über die verschiedenen Möglichkeiten zur Beurteilung der Zugänglichkeit.

Ladestation bei Nutzung der Applikation	Ladestation bei Ankunft	Fahrzeug kann vollständig geladen werden	Ladestation ist zugänglich	Hinweis wird eingeblendet
Geöffnet	Geöffnet	Ja	Ja	Nein
Geöffnet	Geöffnet	Nein	Ja	Ja
Geöffnet	Geschlossen	Nein	Nein	Nein
Geschlossen	Geöffnet	Ja	Ja	Ja
Geschlossen	Geöffnet	Nein	Ja	Ja
Geschlossen	Geschlossen	Nein	Nein	Nein

Für einige Ladestationen gibt es die Möglichkeit, die Ladestation zu reservieren (z. B. via evpass App oder TCS eCharge App), was den Nutzenden Planungssicherheit gibt. Wenn die

Kartenapplikation den genauen Zeitraum der Reservation kennt, können allfällige Reservierungen auf die gleiche Art und Weise wie die Öffnungszeiten für die Beurteilung der Zugänglichkeit berücksichtigt werden.

Die Verfügbarkeit einer Ladestation ist das Kriterium, welches mit Abstand den grössten Einfluss auf die Relevanz einer Ladestation hat. Dazu gehört auch die Zugänglichkeit der Ladestation bei der Ankunft. De Sabbata & Reichenbacher (2012) verwenden das Kriterium "spatio-temporal proximity" (räumliche und zeitliche Nähe), um die Zugänglichkeit eines Objekts bei der Ankunft zu bewerten. Dieses Kriterium gehört zu den "fundamentalen" Kriterien bei der Beurteilung der Relevanz eines Objekts, denn wenn ein Objekt zu dem Zeitpunkt nicht verfügbar ist, zu dem es benötigt wird, ist es nicht relevant (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Wenn eine Ladestation nicht verfügbar oder zugänglich ist, kann nicht davon ausgegangen werden, dass Wartezeiten akzeptiert werden, um an der Ladestation zu laden (Philipsen et al., 2016). Aus diesem Grund werden die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit der öffentlichen Ladestationen zusammen als "binäres" Relevanzkriterium verwendet. Das Kriterium "Verfügbarkeit" (inkl. Zugänglichkeit) entscheidet somit darüber, ob eine Ladestation überhaupt relevant ist oder nicht.

Die Art und Weise, wie sich die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit auf die Relevanz auswirkt, ist für alle Nutzungskontexte gleich. Jedoch hängen die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit selbst stark vom Nutzungskontext ab, da sie sich je nach Situation unterscheiden können. Wichtige Kontextinformationen sind die Uhrzeit sowie die Position des Fahrzeugs und der Ladestationen, um die Fahrdauer bis zur Ladestation zu berechnen.

5.2.2 Kosten (inkl. Startgebühr)

Die Kosten für das Laden an einer öffentlichen Ladestation setzen sich aus drei Komponenten zusammen: die Kosten pro Kilowattstunde, die Kosten pro Zeit (Time of Use; TOU) und die Startgebühr zum Initiieren des Ladevorgangs (Hardman et al., 2018). An einer Ladestation können alle drei Komponenten Anwendung finden, nur einige davon oder die Ladestation kann komplett kostenlos nutzbar sein. Diese komplexe Kostenstruktur erschwert das Berechnen der Kosten für das Laden. Da die Kosten aber eines der wichtigsten Kriterien sind, müssen sie für das Bestimmen der Relevanz öffentlicher Ladestationen so genau wie möglich berechnet werden. Das Ziel des Kosten-Kriteriums ist es deshalb, durch die Kombination dieser drei Komponenten einen Gesamtwert für die Kosten zu ermitteln, um die Kosten für das Laden an verschiedenen Ladestationen miteinander vergleichbar zu machen.

Damit die Kosten bei der Berechnung der Relevanz einer Ladestation verwendet werden können, müssen die genauen Kosten für das Laden an einer Ladestation bestimmt werden. Die Startgebühr ist dabei die einfachste der drei Komponenten, da sie unabhängig von der Ladedauer und der Menge des geladenen Stroms ist. Die Kosten pro Kilowattstunde hängen von der an der Ladestation geladenen Energiemenge und dem Preis pro Kilowattstunde an der Ladestation ab. Dieser Preis ist an Ladestationen mit höherer Ladeleistung im Durchschnitt etwas höher als an Ladestationen mit tieferer Ladeleistung. Um die genauen Kosten für die Kilowattstunden zu berechnen, wird zuerst die verbleibende Batterieladung bei Ankunft an der Ladestation abhängig von der Distanz zur Ladestation berechnet. Anhand dieser wird anschliessend berechnet, wie viele Kilowattstunden an der Ladestation geladen werden können,

bis die Batterie vollgeladen ist. Dafür sind Informationen zur aktuellen Batterieladung, zur Kapazität der Batterie und zur Restreichweite erforderlich. Alternativ kann den Nutzenden in der Kartenapplikation die Möglichkeit geboten werden, direkt anzugeben, wie viele Kilowattstunden sie laden möchten. Diese Anzahl Kilowattstunden kann anschliessend verwendet werden, um die Dauer des Ladevorgangs zu berechnen, indem sie durch die maximale Ladeleistung der Ladestation oder die maximale vom Elektrofahrzeug unterstützte Ladeleistung (der tiefere Wert von beiden) dividiert wird. Als Beispiel: Angenommen, die Fahrzeugbatterie hat eine Kapazität von 80 kWh und der SoC bei Ankunft an der Ladestation liegt bei 25 %. In diesem Fall können maximal 60 kWh geladen werden. Wenn die maximale Ladeleistung der Ladestation 50 kW beträgt und das Elektrofahrzeug diese Ladeleistung unterstützt, dann dauert der Ladevorgang ungefähr 1.2 Stunden. Die Schwankung der Ladleistung abhängig des Ladezustands der Batterie wird hier vernachlässigt (vgl. Nait-Sidi-Moh et al., 2018). Die Abbildung 20 zeigt eine schematische Darstellung der Berechnung der Gesamtkosten.

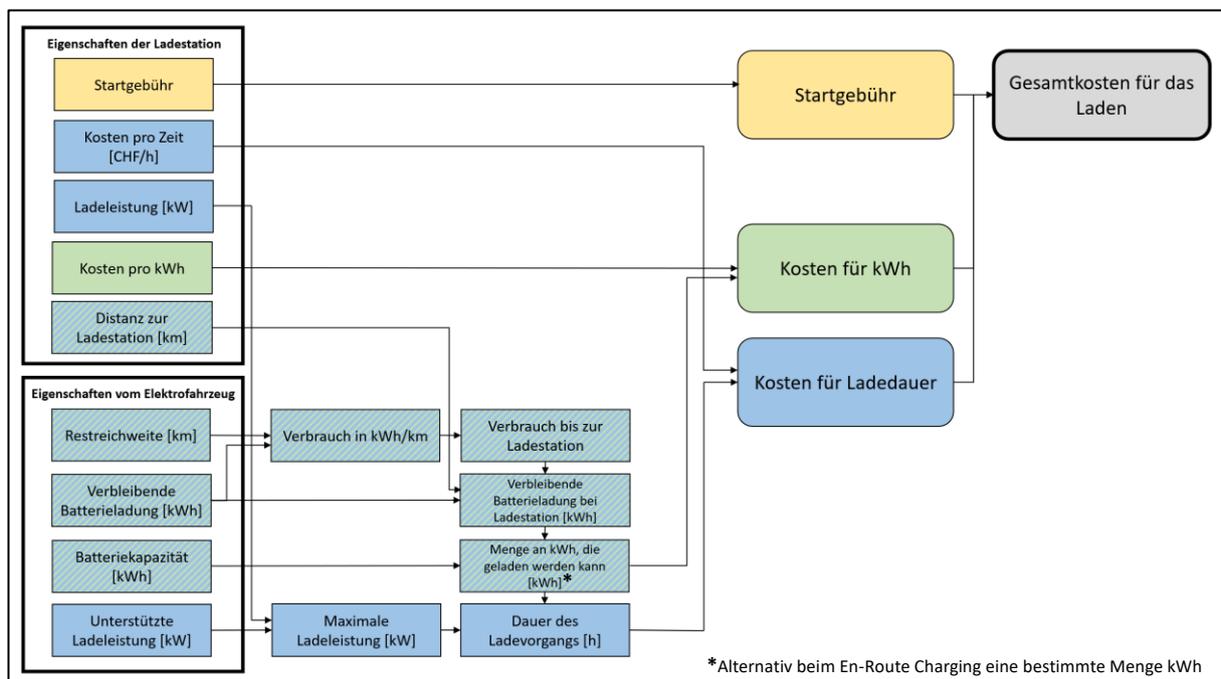


Abb. 20: Schematische Darstellung für die Berechnung der Gesamtkosten für das Laden an einer öffentlichen Ladestation.

Die zuvor beschriebene Vorgehensweise sollte allerdings nur für das Destination Charging oder das Laden in der Nähe des eigenen Standorts verwendet werden. Dort ermöglicht sie die genaue Berechnung der Kosten für jede Ladestation. Wenn jedoch unterwegs zum Zielort geladen werden soll, sollte die Distanz zur Ladestation nicht in die Berechnung der Kosten miteinbezogen werden. Zwar könnten auch hier die Kosten auf diese Weise genau bestimmt werden, jedoch unterscheidet sich das En-Route Charging von den anderen Ladearten darin, dass hier ein bestimmtes Ziel angefahren wird und die Strecke zu diesem Ziel ohnehin zurückgelegt werden muss. Da die Batterieladung zu Beginn noch höher ist, wäre das vollständige Laden an einer nahegelegenen Ladestation zwar günstiger, hauptsächlich jedoch nur, weil weniger Kilowattstunden geladen werden. Die Strecke zum Zielort muss aber trotzdem zurückgelegt werden. Deshalb sollten hier die Kosten pro Kilowattstunde, die Kosten pro Zeit sowie die Startgebühr für alle Ladestationen basierend auf einer bestimmten Menge an Kilowattstunden berechnet werden. Eine Menge von 15 bis 20 kWh bietet sich hier an, da dies

ungefähr dem durchschnittlichen Verbrauch eines Elektrofahrzeugs auf 100 km entspricht (Moro & Lonza, 2018). Indem der Preis für das Laden einer bestimmten Menge an Kilowattstunden den Nutzenden der Kartenapplikation angezeigt wird, können auch beim En-Route Charging die Kosten an verschiedenen Ladestationen miteinander verglichen werden.

Folgende Formeln können für die Berechnung der Kosten beim Laden in der Nähe und beim Destination Charging verwendet werden (b_K = Batteriekapazität in kWh, b_L = Batterieladezustand in Prozent, p_{kWh} = Preis pro kWh, p_h = Preis pro Stunde, L_{kW} = Ladeleistung in kW):

$$Kosten_{kWh} = (b_K - (b_K * b_L)) * p_{kWh}$$

$$Kosten_{TOU} = \frac{b_K - (b_K * b_L)}{L_{kW}} * p_h$$

Durch das Addieren der Kosten für die Menge an Kilowattstunden und für die Dauer des Ladens sowie einer allfälligen Startgebühr erhält man die Gesamtkosten für das Laden an einer Ladestation. Für die Berechnung des Relevanzwerts der öffentlichen Ladestationen werden die normalisierten, inversen Gesamtkosten verwendet. Die günstigste Ladestation erhält auf diese Weise den Wert 1, während die teuerste Ladestation den Wert 0 erhält. Falls an einer Ladestation kostenlos geladen werden kann, erhält diese Ladestation den Wert 1.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Kosten pro Kilowattstunde, die Kosten pro Zeit und die Höhe der Startgebühr stark von einem eventuell abgeschlossenen Abonnement bei einem Ladenetzwerk abhängen. Aus diesem Grund sollte die Kartenapplikation wissen, ob der Nutzer oder die Nutzerin ein Abonnement abgeschlossen hat und falls ja, welches. Die Berechnung der Kosten kann dann an diese Information angepasst werden, um genauere Ergebnisse zu erzielen.

5.2.3 Steckertyp

Der Steckertyp bestimmt, ob mit Wechselstrom oder Gleichstrom geladen wird und hängt deshalb mit der Ladeleistung der Ladestation zusammen (Doppelbauer, 2020). Doch noch wichtiger ist die Kompatibilität des Steckertyps mit dem Elektrofahrzeug. Ladestationen, die über keinen kompatiblen Stecker verfügen, können nicht zum Laden genutzt werden. Folglich fungiert der Steckertyp binäres Relevanzkriterium und entscheidet darüber, ob eine Ladestation überhaupt relevant ist. Damit die Kartenapplikation erkennt, welche Steckertypen kompatibel sind und sich entsprechend automatisch daran adaptieren kann, muss sie wissen, welches Elektrofahrzeugmodell verwendet wird und welche Steckertypen mit diesem Modell kompatibel sind. Zudem kann den Nutzenden der Kartenapplikation die Möglichkeit geboten werden, manuell nach Steckertypen zu filtern. Diese zwei Methoden können kombiniert werden, indem von der Kartenapplikation zu Beginn automatisch die kompatiblen Steckertypen selektiert werden und die dargestellten Informationen an diese adaptiert werden, die Nutzenden aber im Anschluss die selektierten Steckertypen noch manuell ändern können.

Im Gegensatz zu den anderen Kriterien ist es hier nicht sinnvoll, den Ladestationen basierend auf den angebotenen Steckertypen einen bestimmten Relevanzwert zuzuordnen. Stattdessen

werden die vorhandenen Steckertypen gleich behandelt wie die Verfügbarkeit der Ladestation: Ladestationen mit kompatiblen Steckern gelten als relevant, andere Ladestationen als nicht relevant. Dies gilt für alle Nutzungskontexte und für alle Arten des Ladens. Aufgrund des Kriteriums "Ladeleistung", welches als nächstes diskutiert wird, kann der Einfluss des Steckertyps auf die Ladeleistung vernachlässigt werden.

5.2.4 Ladeleistung

Die Ladeleistungen an öffentlichen Ladestationen können sehr unterschiedlich sein. Sie reichen von weniger als 10 kW bis zu mehr als 100 kW (Bundesamt für Energie, 2023). Neben der Ladeleistung der Ladestation ist auch die maximal unterstützte Ladeleistung des Elektrofahrzeugs von entscheidender Bedeutung für die effektive Ladeleistung, mit der an einer Ladestation geladen werden kann. Dabei ist es wichtig, zwischen der maximalen Ladeleistung für das Laden mit Gleichstrom und das Laden mit Wechselstrom zu unterscheiden. Aus diesem Grund haben unterschiedliche Ladeleistungen nur dann einen Einfluss auf die Relevanz einer Ladestation, wenn sie auch vom Elektrofahrzeug unterstützt werden. Ist die Ladeleistung höher als die maximal unterstützte Ladeleistung des Elektrofahrzeugs, kann die zusätzliche Ladeleistung nicht genutzt werden und hat folglich keinen Einfluss auf die Relevanz der Ladestation. Es wird dann mit der Ladeleistung geladen, die vom Elektrofahrzeug unter diesen Umständen maximal unterstützt wird. Welche Ladeleistungen genau unterstützt werden, hängt von der Anzahl Phasen und der Stromstärke (Ampere) ab, mit der das Elektrofahrzeug geladen werden kann (Pareek et al., 2020). Für die Bewertung der Ladeleistung muss die Kartenapplikation folglich über die vom Elektrofahrzeug unterstützten Ladeleistungen und die zugrundeliegenden limitierenden technischen Faktoren (unterstützte Phasen und Stromstärke) Bescheid wissen.

Für das Berechnen der Relevanz einer Ladestation werden die effektiven Ladeleistungen an den Ladestationen in normalisierte Werte umgerechnet. Auf diese Weise erhalten Ladestationen, an denen mit der höchsten Ladeleistung geladen werden kann, den Wert 1 und Ladestationen, an denen mit der niedrigsten Ladeleistung geladen werden kann, den Wert 0. Die Berechnung des Wertes erfolgt für alle Nutzungskontexte und in allen Ladesituationen gleich.

5.2.5 Distanz und Fahrdauer

Die Distanz zu einer Ladestation ist ausschlaggebend dafür, ob eine Ladestation überhaupt relevant ist oder nicht. Ladestationen, die ausserhalb der Restreichweite des Elektrofahrzeugs liegen, kommen für das Laden nicht in Frage und gehören deshalb nicht zum Untersuchungsgebiet. Deshalb ist es sinnvoll, in einem ersten Schritt das Untersuchungsgebiet mittels der euklidischen Distanz grob einzugrenzen, indem ein Puffer um die Position der Nutzerin oder des Nutzers mit dem Radius der Restreichweite genutzt wird. Durch diese Eingrenzung können bei den nachfolgenden Berechnungen Rechenressourcen eingespart werden. Anschliessend kann mit dem Dijkstra-Algorithmus die schnellste Strecke zu den verbleibenden Ladestationen berechnet werden (Cherkassky et al., 1996; Dijkstra, 1959). Dazu wird das Strassennetzwerk verwendet und die Strassensegmente werden nach ihrer Geschwindigkeitsbegrenzung gewichtet. In einer ausgereifteren Kartenapplikation könnten für eine möglichst genaue Berechnung der Fahrzeit auch die aktuelle Verkehrssituation und die Strassenverhältnisse berücksichtigt werden. Sobald die schnellsten Strecken zu den Ladestationen ermittelt

wurden, werden die Längen dieser Strecken berechnet. Ist eine Strecke länger als mit der verbleibenden Reichweite des Fahrzeugs gefahren werden kann, ist die zugehörige Ladestation nicht relevant und wird aus dem Untersuchungsgebiet ausgeschlossen. Auf diese Weise wird das Untersuchungsgebiet auf Ladestationen beschränkt, die mit der verbleibenden Reichweite über die zeitlich schnellste Strecke noch erreicht werden können. Durch das Begrenzen des Untersuchungsgebiets fallen alle Ladestationen weg, welche für das Laden nicht infrage kommen. Daher ist es wichtig, diese Eingrenzung vor der Berechnung weiterer Relevanzkriterien vorzunehmen, um auf diese Weise Rechenressourcen zu sparen.

Die Entscheidung, den Pfad mit der kürzesten Fahrdauer anstatt der kürzesten Distanz zu wählen, hat mehrere Gründe. Mit zunehmender Fahrdauer steigt das Risiko, dass die Ladestation während der Fahrt zu ihr besetzt wird, und die Beurteilung der Zugänglichkeit einer Ladestation hängt davon ab, ob sie innerhalb der Öffnungszeit noch erreicht werden kann. Auch kann die kürzeste Strecke über schwer befahrbare Strassen führen. Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass viele Menschen den kürzesten Pfad bevorzugen (Chen et al., 2007; Jochem et al., 2019). Zudem schlagen auch Navigationssysteme in der Regel die Strecke mit der kürzesten Fahrdauer vor. Aus diesen Gründen ist es wahrscheinlicher, dass Nutzerinnen und Nutzer einer Kartenapplikation den schnellsten Pfad zur Ladestation bevorzugen, anstatt den kürzesten zu wählen. Für den Fall, dass auf diese Weise keine Ladestationen mehr innerhalb der Restreichweite liegen, kann in der Kartenapplikation ein Kontrollmechanismus implementiert werden. Dieser würde in einem solchen Fall prüfen, ob und falls ja, welche Ladestationen innerhalb der Restreichweite liegen, wenn der kürzeste Weg zur Ladestation unabhängig von der Fahrdauer gefahren wird. Falls solche Ladestationen vorhanden sind, wird für diese die kürzeste Strecke für die Bestimmung der Relevanz verwendet, anstelle der Strecke mit der geringsten Fahrdauer.

Die Distanz dient zum einen als binäres Relevanzkriterium, welches abhängig von der Restreichweite festlegt, ob eine Ladestation überhaupt relevant ist oder nicht. Zum anderen soll die Distanz zu den erreichbaren Ladestationen als Wert in die Berechnung des Relevanzwerts einfließen, um näher gelegene Ladestationen höher zu gewichten als weiter entfernte.

5.2.5.1 Laden in der Nähe

Wenn das Elektrofahrzeug in der Nähe der aktuellen Position geladen werden soll, ohne dass ein bestimmtes Ziel angefahren wird, sind weiter entfernte Ladestationen (in Bezug auf Distanz und Fahrdauer) weniger relevant als nahe gelegene, sofern alle anderen Eigenschaften identisch sind. Um den Einfluss der Distanz und der Fahrdauer auf die Relevanz der Ladestation zu bestimmen, wird vorgeschlagen, die normalisierte, inverse Distanz von der Position des Nutzers oder der Nutzerin zur Ladestation und die normalisierte, inverse Fahrdauer zur Ladestation zu verwenden. Dadurch erhält die am nächsten gelegene Ladestation für die Distanz einen Wert von 1, die am weitesten entfernte Ladestation einen Wert von 0. Das Gleiche gilt für die Fahrdauer, bei der die am schnellsten erreichbare Ladestation für die Fahrdauer einen Wert von 1 erhält und die am langsamsten erreichbare Ladestation einen Wert von 0.

Wenn das Elektrofahrzeug in der Nähe der aktuellen Position geladen werden soll, bietet es sich an, das Untersuchungsgebiet von Beginn an sehr klein zu halten, um Rechenressourcen zu sparen. Das Untersuchungsgebiet kann beispielsweise anhand einer bestimmten Distanz

zum eigenen Standort festgelegt werden oder schrittweise vergrößert werden, bis eine bestimmte Anzahl an Ladestationen darin enthalten sind. Die Maximalgröße des Untersuchungsgebiets wird dabei durch die Restreichweite vorgegeben.

5.2.5.2 Destination Charging

Wenn in der Nähe des Zielorts geladen werden soll, ist die Distanz und Fahrdauer vom Zielort zur Ladestation entscheidend. Zwar könnte hier auch der Umweg zur geplanten Strecke berücksichtigt werden, die Distanz zum Zielort ist hier aber klar wichtiger einzustufen. Beim Destination Charging wird das Elektrofahrzeug an der Ladestation stehen gelassen und das Ziel muss zu Fuss oder mit einem anderen Verkehrsmittel erreicht werden. Deshalb ist es hier wichtig, dass die Ladestation möglichst nahe am Zielort liegt, weshalb der Umweg zur geplanten Strecke hier nebensächlich ist. Aus diesem Grund werden beim Destination Charging die normalisierte, inverse Distanz und Fahrdauer vom Zielort zur Ladestation ermittelt, um diese für die Berechnung der Relevanz der Ladestationen zu verwenden. Welche Ladestationen überhaupt relevant sind, wird auch hier von der verbleibenden Restreichweite des Elektrofahrzeugs bestimmt. Wie beim Laden in der Nähe besteht die Möglichkeit, das Untersuchungsgebiet von Beginn an stärker einzuschränken.

5.2.5.3 En-Route Charging

Beim En-Route Charging sind nahegelegene Ladestationen nicht zwingend relevanter als weiter entfernte Ladestationen, und das Hauptziel ist es, den Zielort mit möglichst wenigen Ladestopps zu erreichen. Die Ladestation sollte deshalb nahe genug am Zielort liegen, um die Strecke mit einem Ladestopp oder möglichst wenigen Ladestopps zurücklegen zu können. Gleichzeitig sollte der Umweg, der für das Erreichen der Ladestation und die Weiterfahrt zum Zielort erforderlich ist, so kurz wie möglich sein.

Die Distanz und Fahrdauer sind hier insofern von Bedeutung für die Relevanz, da mit ihnen die Länge des Umwegs berechnet werden kann. Je kürzer die Gesamtfahrdauer und Gesamtdistanz vom Startort zur Ladestation und weiter zum Zielort sind, desto kürzer ist auch der Umweg, und desto schneller wird der Umweg gefahren. Diese Länge des Umwegs, die erforderlich ist, um einen Ort in den geplanten Weg miteinzubeziehen, wird auch durch das Kriterium "directionality" ausgedrückt (De Sabbata & Reichenbacher, 2012).

Zum Untersuchungsgebiet gehören hier alle Ladestationen, die innerhalb der verbleibenden Reichweite des Elektrofahrzeugs liegen und - wenn möglich - von denen aus das Ziel mit einer vollgeladenen Batterie erreicht werden kann. Eine Möglichkeit, um die Anzahl der Ladestationen zusätzlich einzuschränken und auf diese Weise Rechenressourcen zu sparen, besteht darin, einen Distanz-Puffer um die geplante Strecke zu verwenden und nur Ladestationen zu berücksichtigen, die innerhalb dieses Puffers liegen. Alternativ kann auch ein Grenzwert für die maximale Länge des Umwegs verwendet werden. Für die Berechnung des Relevanzwerts werden hier die normalisierte, inverse Fahrdauer und Distanz von der Position zur Ladestation und weiter zum Zielort verwendet. Diese entsprechen der Gesamtfahrdauer und Gesamtdistanz und beinhalten somit auch die Länge des Umwegs, der erforderlich ist, um an einer Ladestation zu laden.

5.2.6 Weitere Kriterien

Der Einfluss der zwei als "hilfreich, aber nicht notwendig" bewerteten Kriterien auf die Relevanz öffentlicher Ladestationen ist im Vergleich zu den anderen Kriterien nur gering. Da diese Kriterien nicht zur Berechnung der Relevanz benötigt werden, werden sie hier nicht ausführlich behandelt. Es werden jedoch kurz einige Methoden genannt, wie diese Kriterien dennoch berücksichtigt werden könnten.

Um die Beschäftigungsmöglichkeiten bei der Bewertung der Ladestationen zu berücksichtigen, kann das Kriterium "Co-Location" verwendet werden (De Sabbata, 2013; De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Dieses beschreibt das Ausmass, zu welchem eine Entität einem Co-Location-Muster folgt, bei dem sich in der Nähe der Entität sinnvolle andere Arten von Entitäten befinden (De Sabbata & Reichenbacher, 2012). Eine alternative Möglichkeit wäre es, eine Filteroption in die Kartenapplikation zu integrieren, mit der die öffentlichen Ladestationen abhängig der (zugänglichen) Beschäftigungsmöglichkeiten in ihrer Nähe gefiltert werden können.

Um den Einfluss des Ladenetzwerks auf die Relevanz zu berücksichtigen, eignen sich ebenfalls Filteroptionen, mit denen bestimmte Ladenetzwerke selektiert werden können. Filterfunktionen für die Eigenschaften der Ladestationen sollten ohnehin in die Kartenapplikation integriert werden, da sie von den Teilnehmenden der Umfrage als sehr hilfreich bewertet wurden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Nutzenden die Möglichkeit zu geben, den verschiedenen Ladenetzwerken einen Wert zuzuweisen, der dann in die Berechnung der Relevanz miteinfließt. Dies ist jedoch relativ umständlich. Zudem findet die Berechnung der Kosten abhängig von vorhandenen Abonnements statt, wodurch die verschiedenen Ladenetzwerke bei der Berechnung des Relevanzwerts schon indirekt berücksichtigt werden. Deshalb sollte eine Filteroption für die Ladenetzwerke ausreichend sein.

5.3 Berechnung der Relevanz

5.3.1 Anpassen der Gewichtung an den Nutzungskontext

Zur Bestimmung der Relevanz öffentlicher Ladestationen wird auf Grundlage der sechs als "notwendig" identifizierten Kriterien ein Relevanzwert gebildet. Wie oben beschrieben, dienen die zwei Kriterien "Verfügbarkeit" und "Steckertyp" als binäre Relevanzkriterien. Die Distanz wird sowohl als binäres Relevanzkriterium (in Kombination mit der Restreichweite) als auch für die Berechnung des Relevanzwerts verwendet. Dafür werden der Distanz und den drei Kriterien Ladeleistung, Kosten und Fahrdauer bestimmte Gewichtungen zugewiesen, die ihren Einfluss auf die Relevanz widerspiegeln sollen. Die genaue Gewichtung der Kriterien soll abhängig vom Nutzungskontext sein und erfolgt basierend auf den Erkenntnissen aus der Befragung. Dazu werden die Bewertungen der Kriterien für die drei Ladeszenarien (Laden in der Stadt, auf dem Land, entlang der Autobahn) verwendet. Kriterien, die von den Teilnehmenden für zwei oder alle drei Ladeszenarien als gleich wichtig bewertet wurden, sollen für diese Ladeszenarien dieselbe Gewichtung erhalten.

Um die Gewichtung der Kriterien an die Ladeszenarien anzupassen, gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste Möglichkeit ist, dass die Kartenapplikation selbstständig versucht zu erkennen, wo der Ladevorgang stattfinden soll, und abhängig davon die Gewichtung adaptiv an diesen Ort anpasst. Dabei kommen für das Laden die drei in der Umfrage abgefragten Orte in Frage, also in der Stadt, auf dem Land oder entlang der Autobahn. Wenn die Kartenapplikation genutzt wird und kein Zielort angegeben wird, wird davon ausgegangen, dass in der Nähe der aktuellen Position geladen werden soll. Deshalb wird anhand der aktuellen Position bestimmt, wo sich der Nutzer oder die Nutzerin befindet, und die Gewichtung wird entsprechend an diesen Ort angepasst (z. B. Laden in der Stadt). Die Kriterien werden wie oben in Kapitel 5.2 beschrieben, für das Laden in der Nähe der aktuellen Position berechnet. Wird ein Zielort eingegeben, der mit der Restreichweite des Elektrofahrzeugs noch erreicht werden kann, wird die Gewichtung an den Ort dieses Zielorts angepasst. Die Kriterien werden dann so berechnet, wie oben für das Destination Charging beschrieben wurde. Kann der Zielort mit der verbleibenden Restreichweite nicht erreicht werden, erkennt dies die Kartenapplikation automatisch und schlussfolgert daraus, dass unterwegs zum Zielort geladen werden muss. Dies findet meistens beim Fahren von längeren Strecken auf der Autobahn statt (H. Zhang et al., 2016). Auch wenn das Laden nicht auf der Autobahn stattfindet, sind En-Route Charging und das Laden auf der Autobahn eng miteinander verknüpft, da hauptsächlich die schnelle Weiterfahrt zum Zielort im Fokus steht und Schnellladestationen bevorzugt werden (Malik & Lehtonen, 2016; Philippen et al., 2016). Deshalb können hier für die Gewichtung der Kriterien die Bewertungen der Kriterien für das Laden auf der Autobahn verwendet werden. Die Kriterien selbst werden auf die Art und Weise berechnet, wie es für das En-Route Charging beschrieben wurde (vgl. Kapitel 5.2). Die Anpassung der Gewichtung erfolgt hier adaptiv, basierend auf der Position der Nutzenden, deren Zielort und der Restreichweite des Elektrofahrzeugs, ohne dass die Nutzenden mit der Kartenapplikation interagieren müssen.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, die Nutzenden auswählen zu lassen, ob sie ihr Fahrzeug in der Nähe ihrer aktuellen Position, auf dem Weg zum Zielort oder am Zielort aufladen möchten. Dies erfordert zwar eine Interaktion durch die Nutzenden, jedoch ist die Interaktion sehr einfach und kurz, und es können Fehlinterpretationen darüber, wo geladen werden soll, vermieden werden. Zum Beispiel könnte es vorkommen, dass ein Nutzer oder eine Nutzerin auf dem Weg zum Zielort laden möchte, obwohl das Ziel mit der verbleibenden Batterieladung noch erreichbar ist. Darüber hinaus bietet der eindeutige Input der Nutzenden die Möglichkeit, weitere Elemente der Kartenapplikation adaptiv und mit Gewissheit anzupassen. Zum Beispiel kann die Kartenapplikation den Kartenausschnitt automatisch auf den Zielort ausrichten, wenn die Nutzenden angeben, dass sie am Zielort laden möchten. Auch bei dieser Methode wird für das Laden in der Nähe und am Zielort bestimmt, wo genau dieses stattfindet und die Gewichtung wird entsprechend an diesen Ort angepasst. Wenn die Nutzenden angeben, dass sie unterwegs zum Zielort laden möchten, wird aus denselben Gründen wie oben beschrieben die Gewichtung für das Laden auf der Autobahn verwendet. Die Berechnung der Kriterien erfolgt jeweils abhängig von der Art des Ladens.

5.3.2 Festlegen der Gewichtung

Für die Gewichtung der Kriterien wird die Wichtigkeit der Kriterien im Verhältnis zueinander untersucht.

Beim Laden in der Stadt sind die Kosten und auf dem Land die Ladeleistung die wichtigsten Kriterien. Bei den zweitwichtigsten Kriterien verhält es sich genau umgekehrt: In der Stadt ist die Ladeleistung am wichtigsten und auf dem Land sind die Kosten. Zwischen diesen zwei Kriterien bestehen jeweils signifikante Unterschiede in ihrer Wichtigkeit, je nachdem ob in der Stadt oder auf dem Land geladen werden soll (vgl. Kapitel 4.2.4). Die Distanz ist bei beiden das dritt wichtigste Kriterium, gefolgt von der Fahrdauer. Zwischen diesen zwei Kriterien gibt es keine signifikanten Unterschiede.

Beim Laden des Elektrofahrzeugs auf der Autobahn ist die Ladeleistung mit Abstand das wichtigste Kriterium. Diese ist hier einiges wichtiger als beim Laden in der Stadt oder auf dem Land. Danach folgen die Kosten, deren Wichtigkeit hier ähnlich ist wie beim Laden auf dem Land, und sich signifikant unterscheidet von der Wichtigkeit der Kosten beim Laden in der Stadt. Die Fahrdauer wurde für das Laden auf der Autobahn gleich wichtig bewertet wie in den anderen zwei Szenarien. Den geringsten Einfluss auf die Relevanz hat die Distanz, welche hier weniger wichtig ist als beim Laden in der Stadt oder auf dem Land. Es gilt allerdings zu beachten, dass die Verwendung der Distanz und Fahrdauer bis zur Ladestation für das Bestimmen der Relevanz beim Laden unterwegs ungeeignet ist. Nach dem Ladevorgang an der Ladestation wird ein bestimmtes Ziel angefahren, weshalb es hier vielmehr auf die totale Länge der Strecke und die Fahrdauer ankommt, die zur Ladestation und weiter zum Zielort zurückgelegt werden muss. Es wird davon ausgegangen, dass die mit dem Umweg, der durch das Laden entsteht, verbundene Distanz und Fahrdauer in etwa gleich wichtig sind wie die Distanz und Fahrdauer bei den anderen Ladeszenarien. Aus diesem Grund erhält hier die totale Distanz, welche den Umweg miteinschliesst, dieselbe Gewichtung wie für die Szenarien "Laden in der Stadt" und "Laden auf dem Land".

Die folgende Tabelle zeigt die Wichtigkeit der vier Kriterien für die verschiedenen Ladeorte und in welchen Fällen die Kriterien gleich wichtig sind. Die Zahlen in der Tabelle entsprechen den Medianrängen, welche die Kriterien in der Umfrage erhalten haben.

Tab. 5: Relative Wichtigkeit der Kriterien abhängig der unterschiedlichen Kontexte. Die Zahl entspricht dem Medianrang in der Befragung. Beim Laden auf der Autobahn wird anstelle der Distanz der Umweg verwendet, weshalb das Kriterium "Distanz" einen Wert von 5 erhält (Medianrang in der Umfrage für Distanz war 4).

Ladeort	Kosten	Ladeleistung	Distanz	Fahrdauer
Stadt	4	5	5	6
Land	5	4		
Autobahn		2	5*	

Für die Gewichtung der Kriterien werden die oben in der Tabelle aufgeführten Medianränge verwendet. Die Abstände zwischen den Medianen werden jeweils als gleich gross angesehen. Da sich die Medianränge 4, 5 und 6 jeweils um 1 unterscheiden, ist die Zunahme der Gewichtung zwischen 4 und 5 sowie zwischen 5 und 6 gleich gross. Da zwischen den Rängen 2 und 4 ein Unterschied von zwei besteht, ist der Gewichtungsunterschied hier doppelt so gross wie zwischen 4 und 5 oder 5 und 6. In der Kartenapplikation sollte eine geeignete Gewichtungsskala in einer sinnvollen Grösse verwendet werden. Hier wird eine Grösse von 0 bis 5 vorgeschlagen. Somit beeinflusst ein Kriterium, welches eine Gewichtung von 3 hat, die Relevanz dreimal stärker als ein Kriterium mit einer Gewichtung von 1. Da die Fahrdauer für alle drei

Szenarien einen Medianrang von 6 hat, wird für sie eine Gewichtung von 1 verwendet. Die Distanz, die Kosten beim Laden auf dem Land und beim Laden auf der Autobahn sowie die Ladeleistung in der Stadt erhalten eine Gewichtung von 1.5. Die Kosten beim Laden in der Stadt und die Ladeleistung beim Laden auf dem Land erhalten demzufolge eine Gewichtung von 2. Die Ladeleistung beim Laden auf der Autobahn wird mit dem Wert 3 gewichtet.

Tab. 6: Verschiedene Gewichtungen der Kriterien für eine Gewichtungsskala von 1-5.

Szenario	Kosten	Ladeleistung	Distanz	Fahrdauer
Stadt	2	1.5	1.5	1
Land	1.5	2	1.5	1
Autobahn	1.5	3	1.5	1

5.3.3 Alternative Ladeprofile verwenden

Wie bei der Auswertung der Umfrage festgestellt wurde, gibt es einige Unterschiede in der Bewertung der Kriterien abhängig von demographischen Eigenschaften, allen voran abhängig des Geschlechts. Die Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer der Kartenapplikation hängen jedoch nicht nur von demographischen Eigenschaften ab, sondern auch weitere Faktoren können grossen Einfluss auf die Bedürfnisse und die Anforderungen an eine Ladestation haben (Daina et al., 2017). Zum Beispiel spielen die Ladeleistung und Fahrdauer eine grössere Rolle, wenn die zur Verfügung stehende Zeit zum Laden begrenzt ist. Zudem können individuelle Präferenzen die Wahl einer Ladestation beeinflussen (Bae et al., 2022). Wie aus den Boxplots im Kapitel 4.2.4 hervorgeht und auch an der Verteilung der Bewertungen ersichtlich ist (vgl. Abb. 70, 78, 86), wurde von den Teilnehmenden für jedes Ladeszenario jedes Kriterium mindestens einmal auf jedem Platz der Rangliste platziert. Dies spiegelt das heterogene Ladeverhalten unter den Elektrofahrzeugfahrenden wider, welches auch von Daina et al. (2017) beschrieben wird. Die Wichtigkeit der Kriterien kann sich demnach von Person zu Person stark unterscheiden. Hinzu kommt, dass die Gewichtung basierend auf Medianrängen nicht optimal ist, da die tatsächlichen Unterschiede in der Wichtigkeit nicht immer mit den Unterschieden in den Medianrängen übereinstimmen müssen. In anderen Worten: Ein Unterschied von einem Medianrang zwischen zwei Kriterien kann bei einigen Kriterien grössere Unterschiede in der Wichtigkeit bedeuten als bei anderen.

Die oben festgelegte Gewichtung der Kriterien sollte dennoch als Standard in der Kartenapplikation implementiert werden. Aufgrund der Umfrageergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass diese Gewichtung die durchschnittlichen Präferenzen und Bedürfnisse, abhängig vom Nutzungskontext, gut abbildet und basierend auf ihr ein sinnvoller und nützlicher Relevanzwert berechnet werden kann, der die Nutzenden der Kartenapplikation bei der Suche nach einer geeigneten Ladestation unterstützt. Weichen die Präferenzen der Nutzenden jedoch zu stark von dieser Standardgewichtung ab, sollte es die Möglichkeit geben, die Gewichtung der vier Kriterien in der Kartenapplikation individuell anzupassen.

In mobilen Applikationen werden die Präferenzen der Nutzenden häufig von den Nutzenden selbst in Nutzerprofilen spezifiziert und auf dem mobilen Gerät abgespeichert (D. Zhang et al., 2009). Diese Methode kann auch für die individuelle Anpassung der Gewichtung durch die Nutzenden verwendet werden, indem die Nutzenden individuelle Ladeprofile mit

unterschiedlichen Gewichtungen der Kriterien erstellen und abspeichern können. Diese Ladeprofile können dann alternativ zur Standardgewichtung ausgewählt werden, wodurch sich die Berechnung der Relevanz an die im Ladeprofil definierte Gewichtung anpasst. Durch das Festlegen der Gewichtung in den Ladeprofilen werden die Bedürfnisse der Nutzenden explizit erfasst. Die Gewichtung der Kriterien ist folglich präzise und entspricht den genauen Bedürfnissen des Nutzers oder der Nutzerin. Das Abspeichern der Ladeprofile ermöglicht es den Nutzenden, einmal definierte Ladeprofile bei jeder Nutzung der Applikation wiederzuverwenden und die Berechnung der Relevanz somit schnell anzupassen. Kriterien, die als irrelevant empfunden werden, sollten bei der Erstellung des Ladeprofils deaktiviert werden können. Den Nutzenden der Kartenapplikation könnte die Möglichkeit gegeben werden, Ladeprofile zu erstellen, die die Gewichtung der Kriterien an die verschiedenen Orte, an denen geladen werden kann, anpassen. Da die Nutzenden in den Ladeprofilen ihre Bedürfnisse und Präferenzen jedoch klar festlegen können und diese nicht anhand des Ortes, an dem geladen wird, abgeschätzt werden müssen, ist eine Anpassung der Gewichtung an den Ort des Ladens nicht zwingend erforderlich. Ein Ladeprofil könnte zum Beispiel so aussehen, dass die Ladeleistung und die Fahrdauer höher gewichtet werden als in der Standardgewichtung. Dieses Ladeprofil könnte dann genutzt werden, wenn nicht viel Zeit für das Laden zur Verfügung steht, um Ladestationen hervorzuheben, an denen schneller geladen werden kann.

5.3.4 Berechnen des Relevanzwerts

Anhand der gewichteten Kriterien wird der gewichtete Durchschnitt berechnet, um einen umfassenden Relevanzwert zu ermitteln. Die Berechnung des gewichteten Durchschnitts ist für die Nutzenden der Kartenapplikation gut nachvollziehbar, was vor allem beim Festlegen eigener Ladeprofile wichtig ist. Diese Vorhersehbarkeit und die Transparenz des zugrundeliegenden Mechanismus sind bei adaptiven Kartenanwendungen entscheidend (Gajos et al., 2008; Kiefer et al., 2017). Aus diesem Grund sollte auch die Gewichtung der Kriterien für die Nutzenden in der Kartenapplikation einsehbar sein. Eine andere Methode, einen Relevanzwert zu berechnen, ist das von De Sabbata (2013) verwendete Continuous Preference Logic (CPL) Modell von Dujmović (2007). Dieses ist jedoch auf die Kombination von obligatorischen und gewünschten Kriterien ausgelegt. Die vier Kriterien, welche zu einem Relevanzwert verrechnet werden sollen, können jedoch nicht in diese zwei Kategorien eingeteilt werden. Zudem sollen die Nutzenden der Kartenapplikation die Wichtigkeit der Kriterien selbst in Ladeprofilen festlegen können und den Mechanismus hinter der Berechnung des Relevanzwerts verstehen können. Das CPL-Modell könnte hier für die Nutzenden aufgrund seiner Komplexität schwierig zu verstehen sein. Deshalb ist diese Methode der Relevanzberechnung weniger gut auf die Anforderungen dieser Arbeit zugeschnitten.

Da an einer einzelnen Ladestation verschiedene Steckertypen mit unterschiedlichen Ladeleistungen vorhanden sein können, erfolgt die Berechnung des Relevanzwerts für jeden Stecker einzeln. Die Ladestation erhält dann den höchsten der für ihre (verfügbaren) Stecker berechneten Relevanzwerte. Um Rechenressourcen zu sparen, können bei der Berechnung der Kriterienwerte bestimmte Rechnungen für die Ladestation als Ganzes durchgeführt werden und dann auf die einzelnen Stecker übertragen werden (beispielsweise Distanz und Fahrdauer). Separate Ladestationen, welche sich aber am selben Standort befinden und zum selben Ladetzwerk gehören, sollten auf der Karte nur durch ein Symbol dargestellt werden. Dies

reduziert einerseits den Informationsgehalt der Karte, andererseits werden die Symbole für die Ladestationen so bei einem geringen Zoom-Level nicht voneinander überdeckt. Das Symbol für die Ladestation soll dann abhängig von der höchsten Relevanz aller Lademöglichkeiten an diesem Standort visualisiert werden.

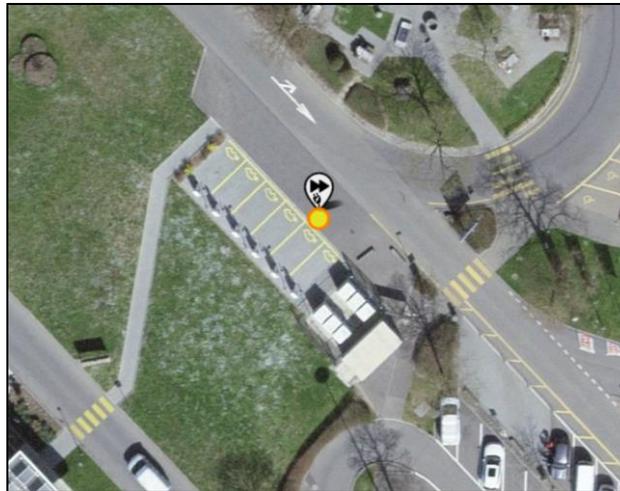


Abb. 21: Beispiel für mehrere öffentliche Ladestationen am selben Ort, welche durch nur ein Symbol dargestellt werden (Screenshot von ich-tanke-strom-ch, 29.04.2023).

Der auf diese Weise berechnete Relevanzwert passt sich adaptiv an den jeweiligen Nutzungskontext an. Eine Übersicht über alle Kriterien, die in die Bestimmung des Relevanzwerts mit einfließen, bietet die folgende Abbildung (Abb. 22).

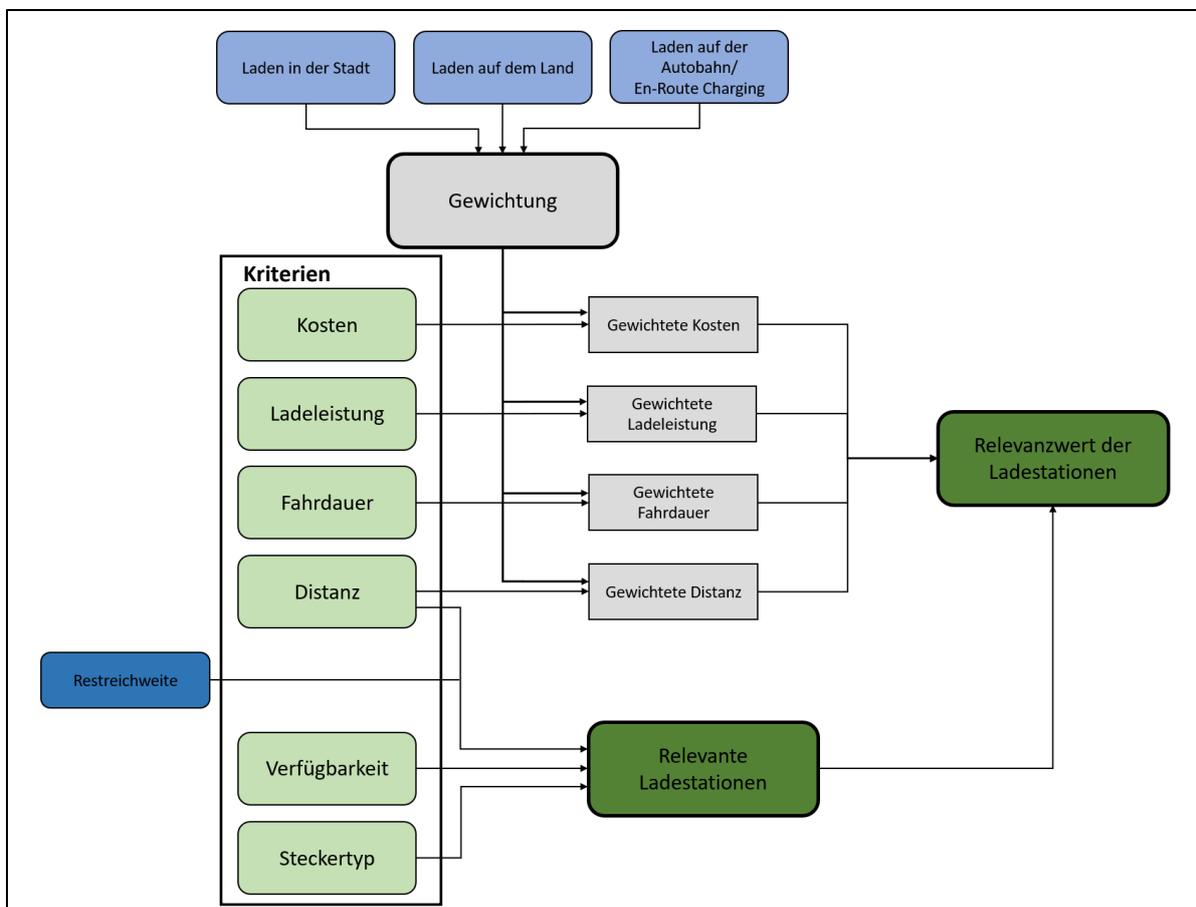


Abb. 22: Schematische Darstellung des Vorgehens zur Bestimmung des Relevanzwerts bei Verwendung der Standardgewichtung (eigene Darstellung).

5.3.5 Beantwortung der 2. Forschungsfrage

Die zweite Forschungsfrage lautet: „*Wie kann die Relevanz der öffentlichen Ladestationen anhand der als wichtig identifizierten Kriterien und abhängig des Nutzungskontexts bestimmt werden?*“ und wurde mit dem obenstehenden Text beantwortet. Hier eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse: Die Kriterien sollten abhängig von der Art des Ladens (in der Nähe, En-Route Charging, Destination Charging) bestimmt oder berechnet werden. Die Berechnung erfolgt somit nicht in jedem Fall gleich, da nicht jede Art des Laden dieselben Anforderungen an eine Ladestation hat. Auch fließen viele Kontextinformationen, wie beispielsweise die Restreichweite des Elektrofahrzeugs, in die Berechnung der Kriterien mit ein, wodurch die Berechnung der Kriterien basierend auf dem jeweiligen Nutzungskontext erfolgt. Um einen Relevanzwert für die Ladestationen zu berechnen, werden zwei der sechs Kriterien (Verfügbarkeit und Steckertyp) als binäre Relevanzkriterien verwendet, da sie grundlegend darüber entscheiden, ob eine Ladestation zum Laden verwendet werden kann oder nicht. Die Distanz wird ebenfalls als binäres Relevanzkriterium genutzt, falls die Distanz zur Ladestation grösser ist als die Restreichweite des Elektrofahrzeugs. Für Ladestationen innerhalb der Restreichweite werden die Distanz zur Ladestation, die Fahrdauer zur Ladestation, die Kosten für das Laden sowie die Ladeleistung abhängig vom Nutzungskontext gewichtet und zu einem Relevanzwert verrechnet. In der mobilen Kartenapplikation sollen die Ladestationen dann entsprechend diesem Relevanzwert visualisiert werden. Die Gewichtung der Kriterien wird abhängig des Orts, an dem geladen wird, angepasst, da dieser einen grossen Einfluss auf die Präferenzen und Bedürfnisse haben kann. In bestimmten Situationen ist es sinnvoll, noch weitere Kontextinformationen für die Gewichtung der Kriterien zu berücksichtigen, welche nicht adaptiv erfasst werden können und einen geringeren Einfluss auf die Relevanz haben als der Ort, an dem geladen wird. Deshalb sollten die Nutzenden der Kartenapplikation die Möglichkeit dazu haben, in Ladeprofilen die Gewichtung der Kriterien selbst manuell anpassen zu können.

5.4 Benötigte Daten und weitere Voraussetzungen

Im Folgenden wird beschrieben, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen und welche Daten vorhanden sein müssen, um die Relevanz der öffentlichen Ladestationen zu bestimmen und die öffentlichen Ladestationen in einer mobilen Kartenapplikation abhängig ihres Relevanzwerts darzustellen. Ausserdem wird erklärt, wie die notwendigen Kontextinformationen erfasst werden können.

5.4.1 Erforderliche Daten

Zu den Daten, welche für die Bestimmung der Relevanz zwingend erforderlich sind, gehören die Positionen der öffentlichen Ladestationen, die an diesen Ladestationen angebotenen Steckertypen und ihre Ladeleistung sowie die Kosten für das Laden. Zusätzlich zur Ladeleistung müssen sowohl die der Ladeleistung zugrundeliegenden Spezifikationen der Ladestation (Anzahl der Phasen und Stromstärke, mit denen die Ladestation laden kann) als auch die Spezifikationen des Elektrofahrzeugs (Anzahl Phasen und Stromstärke, die das Elektrofahrzeug unterstützt) bekannt sein. Diese Informationen werden benötigt, um die effektive Ladeleistung an einer Ladestation zu bestimmen. Damit diese Informationen nicht einzeln erfasst werden müssen, sollte die Kartenapplikation die technischen Spezifikationen der verschiedenen

Elektrofahrzeugmodelle kennen und wissen, welche Steckertypen mit den jeweiligen Fahrzeugmodellen kompatibel sind. Auf diese Weise genügt es, das verwendete Fahrzeugmodell zu erfassen, um die anderen Informationen daraus abzuleiten.

Für die an einer Ladestation angebotenen Ladeleistungen müssen jeweils die Kosten für das Laden unterteilt in Kosten pro Kilowattstunde, Kosten pro Zeit und die Startgebühr vorliegen, und deren Abhängigkeit von Abonnements bei Ladenetzbetreibern muss bekannt sein. Da dabei der Ladenetzbetreiber einer Ladestation eine wichtige Rolle einnimmt, muss auch dieser für alle Ladestationen bekannt sein. Die Verfügbarkeit der Ladestationen ist das wichtigste Kriterium, daher müssen Echtzeitdaten zum Status aller Ladestationen vorhanden sein, um eine Bestimmung der Relevanz vornehmen zu können. Um die Zugänglichkeit der Ladestationen zu beurteilen, sind Informationen zu den genauen Öffnungszeiten der Ladestationen erforderlich. Wenn den Nutzenden die Möglichkeit geboten werden soll, die öffentlichen Ladestationen nach weiteren Eigenschaften wie den Authentifizierungsmöglichkeiten oder der Art des Stroms zu filtern, müssen auch diese Informationen vorhanden sein. In Kapitel 5.1.6 wurde zudem festgelegt, dass aufgrund ihrer Bewertung in der Befragung die Adresse der Ladestation in einer mobilen Kartenapplikation vorhanden sein muss. Folglich wird auch diese Information für alle Ladestationen benötigt. Sollen auch die Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestationen bei der Bestimmung der Relevanz berücksichtigt werden, müssen Daten zu diesen Beschäftigungsmöglichkeiten vorliegen. Anhand eines Grenzwerts, beispielsweise der Distanz zur Ladestation oder besser noch der Gehdauer, können dann die Beschäftigungsmöglichkeiten für jede Ladestation bestimmt werden.

Weiter muss die Fahrdauer und Distanz zu den Ladestationen berechnet werden können. Dies kann mit einem topologisch einwandfreien Strassennetz und Informationen zur Geschwindigkeitsbegrenzung pro Strassensegment erfolgen. Die topologischen Gegebenheiten wie Einbahnstrassen oder Fahrverbote müssen ebenfalls bekannt sein. Idealerweise sollten zusätzliche Informationen zur Verkehrssituation und den Strassenverhältnissen vorhanden sein, um die Fahrzeit so genau wie möglich berechnen zu können. Eine integrierte Navigationsfunktion ist für die Berechnung der Relevanz nicht notwendig, wäre in einer mobilen Kartenapplikation aber hilfreich, wie die Umfrageergebnisse zeigen (vgl. Kapitel 4.2.3).

Um die Gewichtung entsprechend anpassen zu können, ist eine Entscheidungsgrundlage erforderlich, mit welcher beurteilt werden kann, ob sich ein Ort auf dem Land, in der Stadt oder auf der Autobahn befindet. Autobahnen können dabei mithilfe des Strassennetzes relativ einfach ausfindig gemacht werden. Die Unterscheidung zwischen Stadt und Land gestaltet sich jedoch schwieriger. Hier könnten Karten zur räumlichen Gliederung oder den räumlichen Typologien als Grundlage verwendet werden. Für die Schweiz bieten sich beispielsweise die Stadt/Land-Typologie von 2012 (Bundesamt für Statistik, 2012) oder die Karte zum Raum mit städtischem Charakter aus dem Jahr 2014 an (Bundesamt für Statistik, 2014). Ist die Zuordnung zu einem dieser zwei Typen nicht möglich, könnte auch eine intermediäre Gewichtung verwendet werden, die zwischen der Gewichtung für das Laden auf dem Land und der Gewichtung für das Laden in der Stadt liegt.

5.4.2 Kontextinformationen erfassen

Für das Erfassen der benötigten Kontextinformationen kann explizites oder implizites Feedback verwendet werden (Ballatore & Bertolotto, 2015). Explizites Feedback ist häufig statisch und wird oft durch die direkte Befragung der Nutzenden erfasst (Li et al., 2015; Mac Aoidh et al., 2009). Dadurch können die Nutzenden ihre Präferenzen der Applikation explizit mitteilen. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei implizitem Feedback um Informationen, welche sich häufig ändern und von den Nutzenden automatisch im Hintergrund erfasst werden (Ballatore & Bertolotto, 2015). Beispiele für implizites Feedback sind Mausklicks oder Suchanfragen. Eine weitere Methode, um Kontextinformationen implizit zu erfassen, ist die Verwendung von Sensoren (Li et al., 2015; Sagl et al., 2015; D. Zhang et al., 2009).

Die wichtigste Information, welche implizit erfasst werden kann, ist die Position. Dazu kann der GPS-Sensor des mobilen Geräts verwendet werden (D. Zhang et al., 2009). Falls im mobilen Gerät kein GPS-Sensor vorhanden ist oder kein GPS-Signal empfangen werden kann, sollte die Applikation notfalls auch ohne implizite Erfassung der Position genutzt werden können. In diesem Fall könnte der Standort der Nutzenden entweder durch explizites Feedback bestimmt werden, indem die Nutzenden ihre Position manuell auf der Karte auswählen, oder die Relevanz der öffentlichen Ladestationen wird unabhängig von der Position der Nutzenden berechnet. Folglich könnten für die Bestimmung der Relevanz nur die Ladeleistung, die Kosten (für eine bestimmte Menge kWh), die Verfügbarkeit der Ladestation und die kompatiblen Stecker-typen verwendet werden.

Eine weitere wichtige Kontextinformation, die implizit erfasst werden kann, ist die Uhrzeit, zu der die Kartenapplikation genutzt wird. Diese Information kann direkt vom Gerät bezogen werden und wird benötigt, um die Zugänglichkeit der Ladestationen anhand der Öffnungszeiten zu bestimmen.

Wenn der Nutzer oder die Nutzerin der Kartenapplikation vorhat, ein bestimmtes Ziel anzufahren und/oder die Art des Ladens manuell erfasst werden soll (vgl. Kapitel 5.3.1), wird explizites Feedback benötigt. Die Nutzenden müssen den Zielort in der Kartenapplikation angeben und auswählen, ob sie in der Nähe des aktuellen Standorts, unterwegs zum Zielort oder in der Nähe des Zielorts laden möchten. Für eine genaue Berechnung der Kosten für das Laden wird ebenfalls explizites Feedback benötigt, denn die Nutzenden müssen angeben, welche Abonnements sie bei Ladenetzbetreibern haben. Beim Erfassen der Abonnements sollten mehrere Abonnements ausgewählt werden können, da die Nutzenden eventuell mehr als ein Abonnement abgeschlossen haben. Da sich die Information zu den abgeschlossenen Abonnements über einen längeren Zeitraum nicht verändert, sollte sie in der Kartenapplikation abgespeichert werden und nicht bei jeder Nutzung angegeben werden müssen.

Durch die Filterfunktionen, die in der mobilen Kartenapplikation angeboten werden, können weitere Präferenzen erfasst werden. Eine Interaktion mit den Filtermöglichkeiten ermöglicht es den Nutzenden, die dargestellten öffentlichen Ladestationen durch explizites Feedback noch präziser an ihren Nutzungskontext und ihre Bedürfnisse anzupassen. Beispielsweise indem sie die Ladestationen nach Ladenetzwerken oder Authentifizierungsmöglichkeiten filtern. Beim Erstellen von Ladeprofilen liefern die Nutzenden der Kartenapplikation ebenfalls explizites Feedback zu ihren Bedürfnissen und Präferenzen, welches anschliessend genutzt

wird, um die Relevanz der Ladestationen und dadurch die Visualisierung der öffentlichen Ladestationen an diese Bedürfnisse anzupassen.

Bei vielen Elektrofahrzeugen besteht die Möglichkeit, dass ein mobiles Gerät über Bluetooth oder über eine API mit dem Elektrofahrzeug kommunizieren kann (Sousa et al., 2018; Thorsnes, 2022). Dadurch können Informationen zum Elektrofahrzeugmodell sowie Echtzeitdaten zum SoC oder der Restreichweite in vielen Fällen direkt vom Fahrzeug bezogen werden (Arunkumar A & Bogaraj T, 2021). Das implizite Erfassen dieser Kontextinformationen ermöglicht das automatische Adaptieren daran, indem Ladestationen, die nicht kompatibel sind oder sich ausserhalb der Restreichweite befinden, automatisch herausgefiltert werden. Ausserdem können anhand dieser Informationen die effektive Ladeleistung an einer Ladestation sowie die Kosten für das Laden berechnet werden. Falls keine Kommunikation mit dem Elektrofahrzeug möglich ist, müssen die benötigten Informationen der Applikation manuell übergeben werden. Beim verwendeten Fahrzeugmodell handelt es sich um eine statische Information, welche in der Kartenapplikation abgespeichert werden kann und beim Wiederverwenden der Applikation nicht wieder ausgewählt werden muss. Das Erfassen des aktuellen SoC und der Restreichweite würden jedoch bei jeder Nutzung der Applikation eine Interaktion der Nutzenden mit der Applikation erfordern. Durch das Verwenden der vom Elektrofahrzeug berechneten Restreichweite wird auch indirekt auf andere Faktoren wie zum Beispiel die gefahrene Geschwindigkeit, die Temperatur oder den Fahrstil eingegangen, welche Auswirkungen auf die Reichweite haben können (Hao et al., 2020; Guo et al., 2022; Sun et al., 2015).

5.4.3 Voraussetzungen an das mobile Gerät

Eine essentielle Voraussetzung an das mobile Gerät ist, dass Daten über das Internet abgerufen werden können. Dies ist wichtig, um den Echtzeitstatus der Ladestationen und die aktuellen Kosten abzurufen sowie für den Bezug von weiteren Informationen wie beispielsweise zur Verkehrssituation. Werden die statischen Daten zu den Ladestationen auf dem mobilen Gerät gespeichert, kann zwar eine Offline-Funktionalität ermöglicht werden, doch diese ist aufgrund der fehlenden Echtzeitinformationen nur von geringem Nutzen. Dennoch sollten die Ladestationen und deren Eigenschaften wie Steckertypen und Ladeleistung auch ohne Internetverbindung angezeigt werden können, damit die Nutzenden auch ohne Internetverbindung Informationen zu den Ladestationen abrufen können. Darüber hinaus ist eine Internetverbindung je nach verwendeter Methode erforderlich, damit das mobile Gerät mit dem Elektrofahrzeug kommunizieren kann. Wird alternativ Bluetooth für die Kommunikation mit dem Elektrofahrzeug verwendet, muss das mobile Gerät diese Technologie unterstützen. Dies ist jedoch heutzutage bei den meisten Smartphones Standard.

Folgendes Schema (Abb. 23) gibt einen Überblick darüber, wie die oben beschriebenen Daten und Informationen mit den Kriterien zusammenhängen. Die Kriterien, welche ergänzend berücksichtigt werden können, werden der Übersichtlichkeit halber nicht aufgeführt.

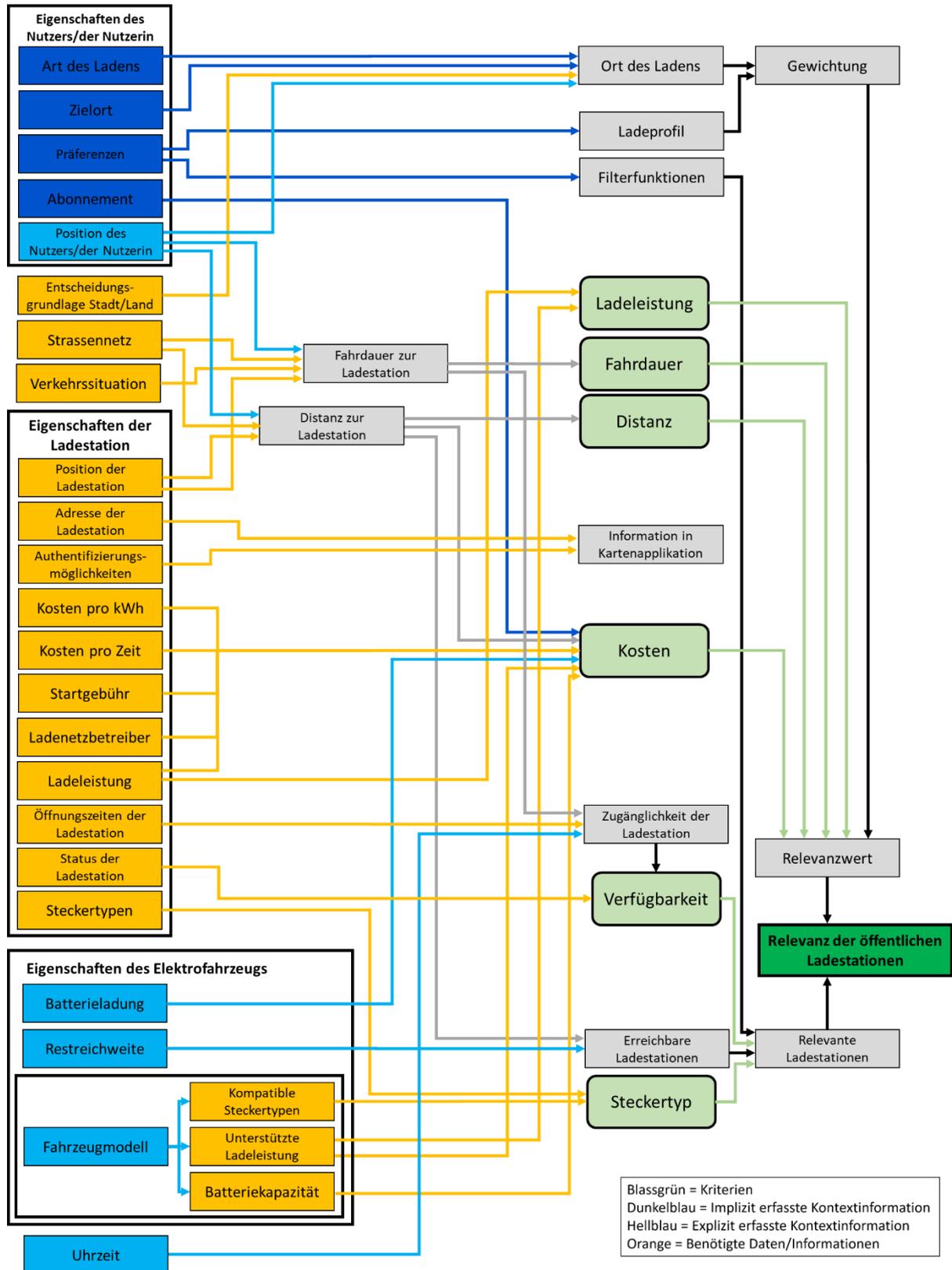


Abb. 23: Schematische Darstellung für was die benötigten Daten und Kontextinformationen verwendet werden.

5.4.4 Die individuelle Berechnung der Relevanz

Wenn die in dieser Arbeit vorgeschlagene Methode zur Berechnung der Relevanz öffentlicher Ladestationen wie in eine mobile Kartenapplikation implementiert wird und die Kontextinformationen wie oben beschrieben und im Schema dargestellt erfasst werden, erfolgt die Berechnung diverser Komponenten der Relevanz individuell auf den Nutzer oder die Nutzerin in der jeweiligen Situation angepasst. Die Berechnung der Fahrdauer, der Distanz, der Kosten für das Laden sowie das Beurteilen der Zugänglichkeit passt sich adaptiv an den Standort der Nutzenden an, welcher implizit erfasst wird. Das implizite Erfassen der Fahrzeugspezifikationen und des Modells ermöglicht ebenfalls das automatische Anpassen der Berechnung vieler Elemente, die für das Bestimmen der Relevanz wichtig sind. Zum Beispiel erfolgt das Bestimmen der Ladestationen, welche noch erreichbar sind, adaptiv basierend auf der Restreichweite und der Position der Nutzenden. Weiter werden die Kosten abhängig von der Batterieladung und der Batteriekapazität berechnet, die effektive Ladeleistung wird anhand der unterstützten Ladeleistung des Elektrofahrzeugs berechnet und nicht kompatible Ladestationen können automatisch entfernt werden, da die Kartenapplikation weiss, welche Steckertypen mit welchem Fahrzeugmodell kompatibel sind.

Durch weitere explizit erfasste Kontextinformationen kann die Berechnung der Relevanz weiter individualisiert werden. Die Kosten für das Laden werden abhängig von abgeschlossenen Abonnements berechnet, der Zielort kann flexibel gewählt werden und weitere Präferenzen und Bedürfnisse können durch Ladeprofile berücksichtigt werden, welche von den Nutzenden selbst erstellt werden. Filtermöglichkeiten bieten den Nutzenden zudem die Möglichkeit, die Visualisierung manuell zu adaptieren und durch das Wählen der Art des Ladens wird die Gewichtung der Kriterien automatisch an den Ort angepasst, an dem geladen wird.

5.4.5 Beantwortung der 3. Forschungsfrage

Die dritte Forschungsfrage lautet: *„Wie können die benötigten Kontextinformationen erfasst werden und welche Voraussetzungen an die Kartenapplikation und die Daten müssen gegeben sein, um die Relevanz der öffentlichen Ladestationen zu bestimmen?“* Wie oben gezeigt wurde und im Schema erkennbar ist, können viele der benötigten Kontextinformationen implizit erfasst werden, ohne dass die Nutzenden mit der Kartenapplikation interagieren müssen. Diese implizite Erfassung von Kontextinformationen wird bevorzugt, da sie für die Nutzenden bei ihren Aktivitäten nicht störend ist (Mac Aoidh et al., 2009). Zu den implizit erfassten Kontextinformationen gehören die Position der Nutzenden sowie die Fahrzeugspezifikationen. Für einige Kontextinformationen ist jedoch explizites Feedback notwendig. Dies betrifft den Zielort, allfällig abgeschlossene Abonnements sowie die Art des Ladens. Weitere Präferenzen der Nutzenden werden ebenfalls explizit durch Ladeprofile oder Filtermöglichkeiten erfasst, sind aber nicht zwingend erforderlich für die Berechnung der Relevanz.

Für die Berechnung der Relevanz werden diverse Daten zu den öffentlichen Ladestationen benötigt, allen voran Echtzeitdaten zum Status der Ladestationen. Weitere benötigte Daten sind ein Strassennetz zur Berechnung der Distanz und Fahrdauer, wenn möglich Informationen zur Verkehrssituation, um die Fahrdauer noch genauer berechnen zu können, sowie eine Entscheidungsgrundlage, ob sich ein Ort in der Stadt oder auf dem Land befindet. Zudem muss der Applikation bekannt sein, welches Elektrofahrzeugmodell mit welchen Steckertypen

kompatibel ist, welche Ladeleistung es unterstützt und welche Batteriekapazität es hat. Auch wie sich die verschiedenen Abonnements auf die Kosten auswirken, muss bekannt sein.

Das mobile Gerät muss mit dem Internet verbunden sein und mit dem Elektrofahrzeug kommunizieren können. Zudem muss die Position über GPS erfasst werden können.

6 Entwicklung eines Prototyps

6.1 Methode Prototyp

Um zu demonstrieren, wie die berechnete Relevanz der öffentlichen Ladestationen in einer Kartenapplikation verwendet werden kann, um die Suche nach einer öffentlichen Ladestation zu erleichtern und um zu zeigen, wie sich die Relevanz je nach Nutzungskontext verändert, wird ein Prototyp entwickelt. Dieser Prototyp soll eine Karte beinhalten, in welcher der Informationsgehalt basierend auf der Relevanz der öffentlichen Ladestationen reduziert wird und die relevanten Ladestationen entsprechend ihres Relevanzwerts visualisiert werden sollen. Dadurch soll die Aufmerksamkeit der Nutzenden auf die relevantesten öffentlichen Ladestationen gelenkt werden und die kognitive Belastung gesenkt werden. Zudem sollen im Prototyp auch Einstellungsmöglichkeiten, wie beispielsweise die als sehr hilfreich bewerteten Filterfunktionen, integriert werden, mit denen die Visualisierung der Ladestationen beliebig an einen bestimmten Nutzungskontext oder an bestimmte Bedürfnisse angepasst werden kann. Auch sollen die als hilfreich identifizierten Informationen zu den Ladestationen im Prototyp abrufbar sein. Auf diese Weise soll der Prototyp dazu beitragen, ein besseres Verständnis dafür zu entwickeln, wie die Ladestationen abhängig von ihrer Relevanz visualisiert werden können und wie die verschiedenen Nutzungskontexte und die Gewichtung der Kriterien die Relevanz der Ladestationen beeinflussen. Der Prototyp soll auch dazu verwendet werden können, die Nützlichkeit der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Methode zur Visualisierung der öffentlichen Ladestationen bei der Suche nach einer öffentlichen Ladestation im Rahmen von empirischen Tests zu evaluieren.

Für die Entwicklung des Prototyps werden Daten von der DIEMO (National Data Infrastructure For Electromobility) verwendet. Diese Dateninfrastruktur enthält Daten zu den öffentlichen Ladestationen von 27 Ladenetzbetreibern in der Schweiz (Stand: 01.02.2023), welche vom Bundesamt für Energie in dieser Dateninfrastruktur harmonisiert und aggregiert werden (Bundesamt für Energie, 2021). Um die Daten im Prototyp zu verwenden, werden sie zunächst bereinigt. Anschliessend werden verschiedene Positionen bestimmt, für welche die Relevanz der umliegenden Ladestationen bestimmt werden soll. Dadurch können einige für die Relevanz erforderlichen Werte bereits vorab berechnet werden, was zu einem performanteren Prototyp führt. Für die Berechnung der Relevanz werden unter anderem Informationen zu den Kosten für das Laden benötigt. Da diese in den Daten von der DIEMO nicht enthalten sind, wird eine Auswahl an Abonnements verwendet und die Kosten werden abhängig der Tarife dieser Abonnements für jede Ladestation berechnet. Können die genauen Ladekosten an einer Ladestation nicht anhand des Abonnements bestimmt werden, werden sie in einer realistischen Grössenordnung zufällig generiert.

Für die Implementierung des Prototyps wird das Python-Framework "Dash" von Plotly verwendet, mit welchem Datenvisualisierungen in Form von Web-Apps erstellt werden können (Balzer et al., 2020). Dash ist open-source und auf Flask (Python Web Framework), Plotly.js (Grafikbibliothek) und React.js (Bibliothek zur Erstellung von Benutzeroberflächen) aufgebaut (Abel, 2016; Grinberg, 2018; Grosset & Ahrens, 2021). Um interaktive Komponenten wie Dropdowns, Schieberegler oder Checklisten zu erstellen, werden Dash Core Components

(DCC) verwendet. Wird mit diesen Komponenten interagiert, werden Callbacks ausgelöst. Diese reagieren auf die Interaktion, indem sie beispielsweise Änderungen an anderen Komponenten vornehmen oder die Visualisierung von Informationen in einer Karte anpassen (Grosset & Ahrens, 2021). Ein Beispiel hierfür wäre die Anpassung der Darstellung der öffentlichen Ladestationen durch die Wahl eines Wertes in einem Dropdown. Für das Layout und das Styling werden Dash Bootstrap Components (DBC) genutzt.

6.2 Resultate Prototyp

6.2.1 Aufbau

Der Prototyp besteht aus einer Karte auf der linken Seite, welche die Ladestationen visualisiert, sowie verschiedenen Einstellungsoptionen auf der rechten Seite, mit denen unter anderem die für die Berechnung der Relevanz verwendeten Kontextinformationen angepasst werden können. Relevanz wird in verschiedenen Graden oder Kategorien wahrgenommen (Cosijn & Ingwersen, 2000; Crease & Reichenbacher, 2011; Tang et al., 1999), deshalb soll die Relevanz der öffentlichen Ladestationen mithilfe von verschiedenen Kategorien visualisiert werden. Oliveri & Reichenbacher (2021) zeigen, dass nur die Transparenz die geographische Relevanz zuverlässig kodieren kann und von den Kartennutzenden intuitiv und korrekt wahrgenommen wird. Transparente Symbole sorgen zudem dafür, dass mehr Karteninformationen ersichtlich sind, was besonders bei kleinen Bildschirmen wichtig ist (Nivala & Sarjakoski, 2007). Deshalb werden die Ladestationen in der Karte entsprechend ihrer Relevanz in fünf Transparenzstufen visualisiert. Je transparenter eine Ladestation dargestellt wird, desto weniger relevant ist sie in diesem Nutzungskontext. Nicht relevante Ladestationen, wie zum Beispiel besetzte Ladestationen, werden im Prototyp standardmässig nicht visualisiert. Dies reduziert die visuelle Komplexität und Informationsdichte der Karte und verringert dadurch die kognitive Belastung (Ballatore & Bertolotto, 2015; Crease & Reichenbacher, 2011; Raubal & Panov, 2009).

Um die kognitive Belastung weiter zu senken, soll die Aufmerksamkeit durch visuelle Elemente zielgerichtet gelenkt werden (Crease & Reichenbacher, 2011). Deshalb wird als Hintergrundkarte eine "leichte" Grundkarte verwendet. Dies erzeugt eine klare visuelle Hierarchie, indem die visuelle Erscheinung der weniger relevanten Hintergrundinformationen verringert wird und die Ladestationen in einer hervorstechenden Weise visualisiert werden (Swienty et al., 2008). Für den Prototyp wird die "Mapbox light" Karte von Mapbox verwendet, welche aufgrund ihrer dezenten Gestaltung die Daten im Vordergrund hervorhebt (Mapbox, o.J.). Eine weitere geeignete leichte Grundkarte wäre zum Beispiel die "Light Base Map" von swisstopo. Gerade im mobilen Kontext sind Vector Tiles Grundkarten eine gute Wahl, da sie nur eine geringe Datengrösse haben und stufenloses Zoomen ermöglichen (Diamond, 2019).

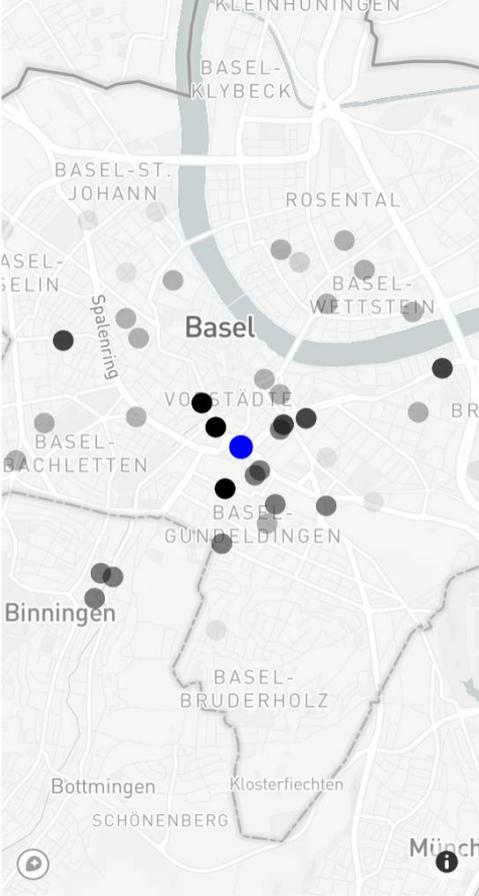
Da eine Satellitenbildkarte hilfreich ist, um Landschaftsmerkmale zu identifizieren (Davidson, 2014; Ricker & Roth, 2018), sollte in einer mobilen Applikation die Möglichkeit bestehen, eine solche anzeigen zu lassen. Im Prototyp wird jedoch darauf verzichtet, da die verwendete leichte Grundkarte für die Zwecke des Prototyps ausreicht und die verschiedenen Relevanzen der öffentlichen Ladestationen darauf besser unterscheidbar sind.

Die Karte zeigt zu Beginn jeweils einen Überblick über die Situation und ist auf die von den Nutzenden ausgewählte Position zentriert (Ricker & Roth, 2018). Diese Position wird in der Karte durch einen blauen Punkt gekennzeichnet.

Visualisierung von relevanten öffentlichen Ladestationen (Prototyp)

Sebastian Marti, Masterarbeit

Ladestationen in der Nähe von Basel



Wählen sie eine Ladestation

Startort: Zielort:

Ladeprofil:

Abonnement:

Relevanz der Ladestationen anzeigen

Filter

Nur verfügbare Ladestationen anzeigen

Fahrzeuginformationen

Fahrzeugmodell:

Restreichweite [km]:

0 50 100 150 200 250 300 350

Abb. 24: Prototyp mit der Karte zu den öffentlichen Ladestationen (links) und diversen Einstellungsoptionen (rechts).

6.2.2 Berechnung der Relevanz

Um den Relevanzwert der Ladestationen zu berechnen, werden die vier Kriterien "Kosten", "Ladeleistung", "Distanz" und "Fahrtdauer" verwendet. Bevor die Kriterien berechnet werden, werden nicht relevante Ladestationen herausgefiltert. Das betrifft Ladestationen, welche aufgrund des Steckertyps mit dem Elektrofahrzeug nicht kompatibel sind, mit der verbleibenden Restreichweite nicht erreicht werden können, deren Distanz zum Startort, Zielort oder der geplanten Strecke einen bestimmten Grenzwert überschreitet oder Ladestationen, die zurzeit

besetzt sind oder deren Status unbekannt ist. Die Berechnung der Relevanz basiert auf normalisierten Werten (bspw. höchste Kosten = 0, tiefste Kosten = 1), daher kann sich der Relevanzwert einer Ladestation je nachdem, welche Ladestationen aufgrund der zuvor genannten Ausschlusskriterien herausgefiltert werden, unterscheiden.

Die Kosten werden abhängig vom gewählten Abonnement berechnet. Wenn das Fahrzeug in der Nähe des Start- oder Zielorts geladen werden soll, werden die verbleibende Batteriekapazität sowie die Distanz bis zur Ladestation verwendet, um die Kosten für das vollständige Laden des Elektrofahrzeugs zu berechnen. Beim En-Route Charging spielt die Entfernung der Ladestation zum Start- oder Zielort weniger eine Rolle, solange der Umweg nicht allzu gross ist. Deshalb werden hier nicht die Kosten für das vollständige Laden berechnet, sondern die Kosten für das Laden einer bestimmten Menge an Kilowattstunden, wobei auch die Zeit für das Laden dieser Menge an Kilowattstunden sowie eine allfällige Startgebühr berücksichtigt werden. Die genaue Berechnung der Kosten folgt dabei dem im Kapitel 5.2.2 erklärten Vorgehen.

Für die Berechnung der Relevanz wird nicht die Ladeleistung der Ladestation verwendet, sondern die effektive Ladeleistung, mit der je nach Elektrofahrzeug an der Ladestation geladen werden kann. Dazu werden die Eigenschaften der Ladestation mit denen des Elektrofahrzeugs verglichen und auf diese Weise bestimmt, mit welcher Ladeleistung das Elektrofahrzeug an dieser Ladestation laden kann. Im Prototyp kann in den Einstellungsmöglichkeiten zwischen verschiedenen Elektrofahrzeugmodellen ausgewählt werden. Die technischen Spezifikationen dieser Fahrzeugmodelle sind im Prototyp hinterlegt, darunter auch die unterstützte Stromstärke und mit wie vielen Phasen das Elektrofahrzeug geladen werden kann. Für das Bestimmen der effektiven Ladeleistung wird untersucht, mit welcher Stromstärke und mit wie vielen Phasen an einer Ladestation geladen werden kann und ob das Elektrofahrzeug dies unterstützt. Wenn die Ladestation beispielsweise 3-phasig mit 16 Ampere lädt, das Elektrofahrzeug jedoch nur 1-phasig laden kann, so beträgt die maximale Ladeleistung an dieser Ladestation für das Elektrofahrzeug nur 3.7 kW (da nur eine Phase genutzt werden kann). Ein Fahrzeug, welches 3-phasig und mit 16 Ampere laden kann, könnte an derselben Ladestation mit 11 kW laden.

Die Distanz und die Fahrdauer zur Ladestation werden mithilfe eines Strassennetzes berechnet, wobei die Daten dafür von OpenStreetMap bezogen werden. Für jedes Strassensegment wird anhand der Geschwindigkeitsbegrenzung und der Länge des Segments die Fahrdauer berechnet. Anschliessend wird für das Bestimmen der Fahrdauer zu den Ladestationen der schnellste Weg zu den Ladestationen ermittelt, wobei die Strassensegmente nach ihrer Fahrdauer gewichtet werden. Wenn die Geschwindigkeitsbegrenzung für ein Strassensegment nicht angegeben ist, wird sie anhand der Verteilung der Geschwindigkeitsbegrenzungen für diesen Strassentyp geschätzt. Auf diese Weise wird für jede Ladestation zuerst die schnellste Route berechnet (vom Startort aus) und anschliessend die Länge dieser Route bestimmt. Die berechneten Werte liegen nahe an den Werten, die Navigationssysteme wie Google Maps berechnen (z. B. Distanz Basel-Bern im Prototyp: 95.5 km, bei Google Maps: 96.1 km). Die geschätzte Fahrdauer ist im Prototyp allerdings meistens etwas kürzer als die Angabe von Google Maps (z. B. Basel-Bern im Prototyp: 56 Minuten, bei Google Maps: 64 Minuten). Dies lässt sich dadurch erklären, dass im Prototyp die Verkehrssituation bei der Berechnung der Fahrdauer

nicht berücksichtigt wird und für einige Strassensegmente die Maximalgeschwindigkeit geschätzt werden musste.

Im Prototyp sind für die auswählbaren Elektrofahrzeugmodelle die kompatiblen Steckertypen hinterlegt. Dadurch kann für jedes Fahrzeugmodell automatisch erkannt werden, welche Ladestationen kompatibel sind. Nicht kompatible Ladestationen werden automatisch herausgefiltert.

Die Verfügbarkeit der Ladestationen wird im Prototyp anhand des Echtzeitstatus der Ladestationen bestimmt. Die Echtzeitdaten werden dabei direkt von der DIEMO bezogen. Bei einer Implementierung in eine Kartenapplikation muss für dieses Kriterium aber zwingend auch die Zugänglichkeit der Ladestationen berücksichtigt werden.

Durch die Kombination dieser sechs Relevanzkriterien wird die Relevanz der Ladestationen abhängig des Nutzungskontexts bestimmt. Der Relevanzwert wird so umgeformt, dass unabhängig von der gewählten Gewichtung der Kriterien jeweils einen Wert zwischen 0 und 10 annehmen kann (je höher, desto relevanter).

6.2.3 Funktionen und Einstellungsmöglichkeiten

Der Prototyp bietet verschiedene Funktionen und Einstellungsmöglichkeiten, welche den Nutzerinnen und Nutzern bei der Suche nach geeigneten Ladestationen helfen. In der Spalte rechts von der Karte befinden sich Einstellungsoptionen, die es den Nutzenden ermöglichen, die Visualisierung an ihre Bedürfnisse anzupassen (vgl. Abb. 24). Die Idee ist, dass diese Einstellungsoptionen in einer mobilen Kartenapplikation in einem separaten Menü geöffnet werden können.

Wie bereits erwähnt, werden im Prototyp für eine Auswahl an Standorten bereits einige Werte vorab berechnet, die in die Bestimmung der Relevanz einfließen. Diese Standorte können als Start- und gegebenenfalls als Zielort ausgewählt werden. Die Standorte verteilen sich dabei auf die verschiedenen Räume, in denen geladen werden kann (Stadt, Land, Autobahn). Für den Prototyp wurde für die gewählten Standorte die Zuteilung von Stadt, Land und Autobahn manuell vorgenommen, basierend auf der Karte zum Raum mit städtischem Charakter aus dem Jahr 2014 (Bundesamt für Statistik, 2014). In einer späteren mobilen Applikation sollte die aktuelle Position der Nutzenden über GPS bestimmt werden können und der passende Ort automatisch zugeordnet werden.

Die Art des Ladens kann ebenfalls in den Einstellungsoptionen festgelegt werden (Laden in der Nähe, En-Route Charging, Destination Charging). Abhängig von dieser Einstellung und dem damit verbundenen Ort, an dem geladen werden soll, wird die Relevanz der Ladestationen berechnet und die Visualisierung wird entsprechend adaptiert. Die Option "En-Route Charging" kann nur ausgewählt werden, wenn ein Zielort definiert wurde. Falls dieser Zielort innerhalb der Restreichweite des Elektrofahrzeugs liegt, kann zudem die Option "Destination Charging" gewählt werden. Die Option "Laden in der Nähe" kann dann verwendet werden, wenn in der unmittelbaren Umgebung geladen werden soll. Anstatt bereits vor oder während der Fahrt nach einer Ladestation am Zielort zu suchen, lässt sich durch "Laden in der Nähe" auch noch nach Ankunft am Zielort nach Ladestationen suchen.

Die Gewichtung der vier Kriterien zur Berechnung des Relevanzwerts der Ladestationen wird im Ladeprofil festgelegt. Dieses hat somit eine starke Auswirkung auf den Relevanzwert. Im Ladeprofil "Standard", welches standardmässig aktiviert ist, wird für die Kriterien die in dieser Arbeit festgelegte Gewichtung verwendet (vgl. Kapitel 5.3.2). Dabei werden auch die verschiedenen Ladearten (in der Nähe, am Zielort oder unterwegs) berücksichtigt. Da es jedoch Situationen geben kann, in denen diese Gewichtung nicht den Bedürfnissen der Nutzenden entspricht, können alternative Ladeprofile ausgewählt und erstellt werden. In diesen kann die Gewichtung der einzelnen Kriterien angepasst werden, wodurch die Relevanz angepasst an die spezifischen Bedürfnisse berechnet wird. Im Prototyp sind zwei weitere Ladeprofile integriert ("Tiefe Kosten" mit höherer Gewichtung der Kosten und "Hohe Ladeleistung" mit höherer Gewichtung der Ladeleistung). Wenn "Neues Ladeprofil erstellen..." ausgewählt wird, kann eine individuelle Gewichtung festgelegt werden, welche im Prototyp jedoch nicht abgespeichert werden kann. Eine Übersicht zur Gewichtung der einzelnen Faktoren kann durch einen Klick auf den Knopf rechts vom Dropdown-Menü geöffnet werden.



Abb. 25: Verschiedene Ladeprofile und Option zum Erstellen eines neuen Ladeprofils. Oben rechts der Knopf zum Anzeigen der Übersicht mit den Gewichtungen der einzelnen Faktoren.

Um die Kosten für das Laden an einer öffentlichen Ladestation so genau wie möglich zu berechnen, kann im Prototyp zwischen verschiedenen Abonnements gewählt werden, wodurch die Kostenberechnung entsprechend an die Tarife des gewählten Abonnements angepasst wird. Im Prototyp sind 3 Abonnements integriert, von denen eines ausgewählt werden muss. Eine mobile Applikation sollte möglichst alle gängigen Abonnements beinhalten, damit alle Nutzerinnen und Nutzer der Applikation das von ihnen abgeschlossene Abonnement wählen können und somit die Berechnung der Relevanz möglichst genau ist.

Filteroptionen sind ein weiteres wichtiges Element, welches den Nutzenden der Kartenapplikation dabei hilft, die Visualisierung der Ladestationen noch besser an ihre Bedürfnisse anzupassen (vgl. Kapitel 4.2.3, 5.1.5). Der Prototyp enthält Filteroptionen für Faktoren, die einen grossen Einfluss auf die Wahl der Ladestation haben. Beispielsweise kann nach der Ladeleistung, dem Steckertyp, dem Ladenetzwerk oder auch der Distanz zur aktuellen Position oder zur geplanten Strecke gefiltert werden. Weitere nützliche Filteroptionen könnten die Ladedauer, die Fahrdauer bis zur Ladestation, die Kosten oder die Relevanz betreffen. Der Filter, mit welchem die maximale Distanz zur Ladestation festgelegt wird, ist standardmässig aktiviert, um auf diese Weise die Anzahl angezeigter Ladestationen zu reduzieren. Eine solche Art von Filter zur Eingrenzung der Distanz wurde auch von Mountain & MacFarlane (2007) beschrieben. Beim En-Route Charging richtet sich der Grenzwert für die maximale Distanz der

Ladestation an der von Sun et al. (2016) bestimmten Länge des Umwegs, die für eine freie Schnellladestation gefahren wird. Dieser Wert liegt an Werktagen bei 1.75 km, im Prototyp wird deshalb ein Grenzwert von 2 km Umweg verwendet. Das Laden an der Ladestation darf beim En-Route Charging somit maximal 2 Kilometer Umweg gegenüber der schnellsten Strecke zum Zielort verursachen.

Neben den Filterfunktionen wurden auch die anderen zwei Funktionalitäten in den Prototyp integriert, welche in einer mobilen Kartenapplikation zwingend vorhanden sein müssen (vgl. Kapitel 5.1.6). Dabei handelt es sich zum einen um die Möglichkeit, die minimale Ladeleistung festzulegen, was im Prototyp mithilfe eines "Range Sliders" (Bereichsschieberegler) vorgenommen werden kann. Zum anderen die Möglichkeit, nur kompatible Ladestationen anzeigen zu lassen. Dies wird vom Prototyp automatisch vorgenommen, basierend auf den mit dem Elektrofahrzeug kompatiblen Steckertypen.

Die Nutzenden können im Prototyp auswählen, ob nur verfügbare Ladestationen oder alle Ladestationen auf der Karte angezeigt werden sollen. Ladestationen, deren Status unbekannt ist, werden nicht zu den verfügbaren Ladestationen gezählt. Da Benutzeroberflächen bevorzugt werden, in denen die Nutzenden eine grössere Kontrolle über die Adaption haben (Kiefer et al., 2017), bietet der Prototyp auch die Möglichkeit, die vom Relevanzwert abhängige Visualisierung der Ladestationen zu deaktivieren. Dadurch werden alle relevanten Ladestationen auf die gleiche Weise visualisiert.

Abb. 26: Oben: Möglichkeit, die Visualisierung der Relevanz der Ladestationen zu deaktivieren. Darunter: Filtermöglichkeiten zum Filtern der Ladestationen.

Unterhalb der Filteroptionen können die Eigenschaften des Elektrofahrzeugs festgelegt werden, wodurch sich die Visualisierung der Ladestationen daran adaptiert. Nicht-kompatible Ladestationen (aufgrund des Steckertyps) werden herausgefiltert und die Kosten für das Laden basierend auf der maximalen Ladeleistung des Elektrofahrzeugs berechnet. Auch die Reichweite, welche mit der verbleibenden Batteriekapazität noch gefahren werden kann, kann angegeben werden. Der Einfachheit halber wird im Prototyp für alle zur Auswahl stehenden Elektrofahrzeuge die gleiche maximale Reichweite verwendet. Ladestationen ausserhalb der Reichweite werden in der Karte nicht dargestellt, da sie irrelevant sind. Da die Kosten für das Laden an einer Ladestation von der verbleibenden Batteriekapazität abhängen, hat die

Restreichweite auch Einfluss auf den Relevanzwert der Ladestationen. Im Gegensatz zum Prototyp können in einer mobilen Applikation die Informationen zum Fahrzeugmodell und zur Restreichweite direkt vom Elektrofahrzeug bezogen werden, wodurch diese Einstellungen automatisch festgelegt werden können und der Interaktionsaufwand für die Nutzenden der Kartenapplikation verringert wird.

Zusätzliche Informationen zu den Ladestationen können durch das Klicken auf eine Ladestation abgerufen werden. Dabei werden der genaue Relevanzwert sowie Informationen zum Status der Ladestation, der Distanz, der Fahrdauer, dem Steckertyp, der Ladeleistung der Ladestation, der effektiven Ladeleistung, den Kosten, der Dauer des Ladevorgangs, dem LadeNetzwerk und der Adresse angezeigt (vgl. Abb. 27). Neben dem Bestimmen des genauen Relevanzwerts dienen diese Informationen auch dazu, die geeignetste Ladestation aus den relevanten Optionen auszuwählen und zu verstehen, warum eine bestimmte Ladestation eine bestimmte Relevanz erhalten hat. Befinden sich an einem Standort mehrere Ladestationen oder eine Ladestation bietet mehrere Lademöglichkeiten, werden die Informationen zu diesen untereinander dargestellt. Zuerst wird immer die Lademöglichkeit angezeigt, die den höchsten Relevanzwert hat (vgl. Abb. 28). In einer mobilen Kartenapplikation könnten diese Informationen in einem Pop-up-Fenster angezeigt werden. Um das Vergleichen der Ladestationen weiter zu erleichtern, wäre wohl eine zusätzliche Auflistung der relevantesten Ladestationen im Untersuchungsgebiet nützlich, in welcher der Relevanzwert der Ladestation sowie die zugehörigen Informationen enthalten sind.

Informationen zur Ladestation	
Verfügbar	77.3 km/47 min
CCS	160 kW
5.9 Ladeleistung max.:	124 kW
Kosten pro kWh:	0.86 CHF
Ladedauer 15 kWh:	7 min
evpass	
Wagistrasse, 8952 Schlieren	

Abb. 27: Informationen zu einer öffentlichen Ladestation, welche beim Klick auf eine Ladestation erscheinen. Links der Relevanzwert der Ladestation (5.9), rechts weitere Informationen zur Ladestation.

Informationen zur Ladestation	
Verfügbar	2.3 km/2 min
CCS	50 kW
4.3 Ladeleistung max.:	50 kW
Kosten volladen:	17.6 CHF
Dauer volladen:	26 min
Swisscharge	
Zürcherstrasse 140, 4052 Basel	
Verfügbar	2.3 km/2 min
Steckdose Typ 2	22 kW
1.2 Ladeleistung max.:	11 kW
Kosten volladen:	36.31 CHF
Dauer volladen:	120 min

Abb. 28: Informationen zu einer öffentlichen Ladestation, welche beim Klick auf eine Ladestation erscheinen. Da mehrere potentielle Lademöglichkeiten vorhanden sind, wird zuoberst die relevanteste Lademöglichkeit an dieser Ladestation angezeigt (Relevanzwert von 4.3).

Die im Informationsfenster angezeigte Information "Ladeleistung max." entspricht der effektiven Ladeleistung an dieser Ladestation abhängig vom Elektrofahrzeug. Oben rechts im Informationsfenster ist zu erkennen, wie weit die Ladestation von der aktuellen Position entfernt ist und

wie lange die Fahrt zu ihr dauert. Die Informationen zu den Kosten und der Dauer für das Vollladen des Elektrofahrzeugs passen sich an die im Prototyp gewählte Restreichweite an.

6.2.4 Beispiel

Angenommen, basierend auf dem Prototyp würde eine mobile Kartenapplikation entwickelt, welche von einer Nutzerin dazu genutzt wird, eine Reise von Basel nach Bern zu planen. Die Nutzerin besitzt ein Swisscharge-Abonnement und plant die Strecke mit einem Škoda Enyaq iV 60 (2022) zurückzulegen. Die Restreichweite des Fahrzeugs beträgt 80 km. Da die Länge der schnellsten Strecke von Basel nach Bern etwa 100 km beträgt, kann entweder in der Nähe des aktuellen Standorts (Basel) oder unterwegs nach Bern geladen werden. Entscheidet sich die Nutzerin dazu, direkt loszufahren und ihr Fahrzeug unterwegs zum Ziel aufzuladen, wählt sie in der Applikation die Option "En-Route Charging". Das aktive Ladeprofil "Standard" passt die Gewichtung der Kriterien nun an das Laden unterwegs auf der Autobahn an, wo eine hohe Ladeleistung das wichtigste Kriterium für die Wahl einer Ladestation ist. Zudem wird der Kartenausschnitt angepasst, damit sowohl der Start- als auch der Zielort ersichtlich sind. Anhand der Transparenz der öffentlichen Ladestationen kann die Nutzerin nun erkennen, welche Ladestationen relevanter sind und welche eher weniger geeignet sind.

Durch die Verwendung der oben beschriebenen Einstellungen (En-Route Charging, Standard-Ladeprofil, Swisscharge-Abonnement, Škoda Enyaq iV 60 (2022) und 80 km Restreichweite) können drei Ladestationen identifiziert werden, welche die höchste Relevanz-Klassifizierung erhalten (vgl. Abb. 29, von A bis C beschriftet; ist eventuell nicht reproduzierbar, da der Relevanzwert davon abhängt, welche Ladestationen verfügbar sind und der Prototyp mit Echtzeitdaten zum Status der Ladestationen arbeitet). Durch das Anklicken einer Ladestation können deren Eigenschaften und weitere Informationen angezeigt werden. Um unter den drei Ladestationen die geeignetste Ladestation zu finden, können die Relevanzwerte der Ladestationen verglichen werden. Dabei lässt sich feststellen, dass Ladestation C den höchsten Relevanzwert (9.3) aufweist. Der Grund dafür lässt sich ebenfalls durch das Vergleichen der Informationen zu den Ladestationen erkennen. An Ladestation C kann wie an den Ladestationen A und B mit 124 kW geladen werden, jedoch ist das Laden an dieser Ladestation mit Abstand am günstigsten (0.15 CHF pro kWh; Kosten pro Zeit und Startgebühr werden berücksichtigt). Der Umweg, der für das Laden an den Ladestationen gefahren werden muss, kann zwar nicht genau beurteilt werden, ist aber wohl überall in etwa gleich. Folglich ist Ladestation C in diesem Nutzungskontext die am besten geeignete Ladestation.

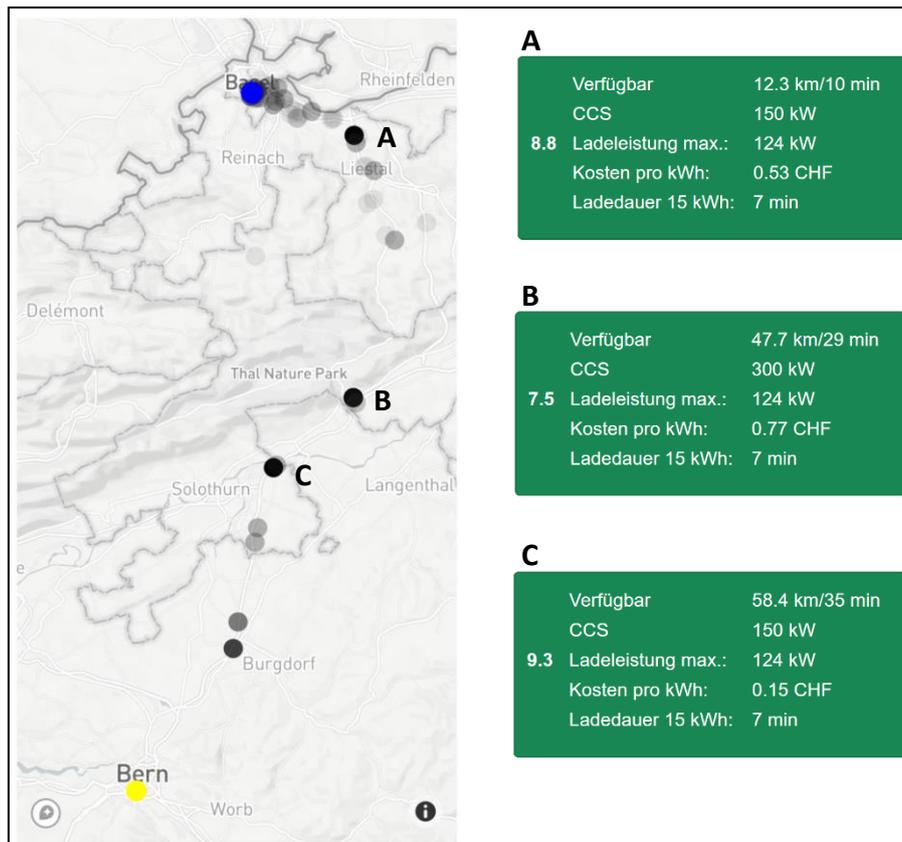


Abb. 29: Relevante Ladestationen beim En-Route Charging von Basel nach Bern.

Der Prototyp kann unter folgendem Link aufgerufen werden:¹

<https://public-charging-stations.herokuapp.com/>

6.3 Diskussion Prototyp

6.3.1 Vergleich mit anderen Kartenapplikationen

Der Prototyp wurde entwickelt, um zu demonstrieren, wie der Informationsgehalt in einer Karte zu öffentlichen Ladestationen reduziert werden kann und die Aufmerksamkeit auf relevante Ladestationen gelenkt werden kann, um die kognitive Belastung bei der Suche nach geeigneten Ladestationen zu verringern. Im Vergleich zu anderen Kartenapplikationen hat die Karte der öffentlichen Ladestationen im Prototyp eine deutlich geringere Informationsdichte (vgl. Abb. 30 und 31). Da nicht relevante Ladestationen automatisch herausgefiltert werden und das Untersuchungsgebiet eingeschränkt wird, werden nur noch ein kleiner Teil aller Ladestationen visualisiert. In anderen Kartenapplikationen werden die Ladestationen häufig abhängig des Status, der Ladeleistung oder des Ladenetzbetreibers dargestellt (vgl. Abb. 31). In der Karte im Prototyp hingegen werden diese Informationen zu einem Relevanzwert zusammengefasst oder die Ladestationen werden gar nicht erst visualisiert. Durch das automatische

¹ Um Zugang zum Python-Code des Prototyps zu erhalten, kontaktieren Sie bitte Dr. Tumasch Reichenbacher (tumasch.reichenbacher@uzh.ch).

Entfernen irrelevanter Ladestationen und die Kennzeichnung der Relevanz der verbleibenden Ladestationen durch die Transparenz sollte das Identifizieren von geeigneten Ladestationen deutlich leichter fallen. Dies zeigt sich auch im Beispiel oben (Kapitel 6.2.4), in welchem aufgrund der geringen Anzahl von angezeigten Ladestationen und den Relevanzwerten die drei relevantesten Ladestationen leicht identifiziert werden können. Um zu überprüfen, wie hilfreich eine solche Visualisierung der öffentlichen Ladestationen bei der Suche nach geeigneten öffentlichen Ladestationen tatsächlich ist, muss der Prototyp jedoch empirisch getestet werden.

Um die Unterschiede zwischen der Darstellung der öffentlichen Ladestationen im Prototyp und der Darstellung in anderen Karten zu erkennen, zeigt die folgende Abbildung einen Vergleich von verschiedenen Karten. Es soll wie im Beispiel oben wieder unterwegs von Basel nach Bern geladen werden, dementsprechend zeigen die Bilder den dazu passenden Kartenausschnitt. Das linke Bild zeigt einen Screenshot der Webseite "ich-tanke-strom.ch", das mittlere Bild einen Screenshot der App "MOVE" vom gleichnamigen Ladnetzbetreiber und das rechte Bild zeigt die Karte aus dem Prototyp. In der MOVE-App werden nahe beieinander liegende Ladestationen zu Clustern zusammengefasst, um die Anzahl der dargestellten Symbole zu verringern. Im Prototyp wird darauf verzichtet, da die Relevanz der einzelnen Ladestationen in den meisten Fällen so besser erkennbar ist.

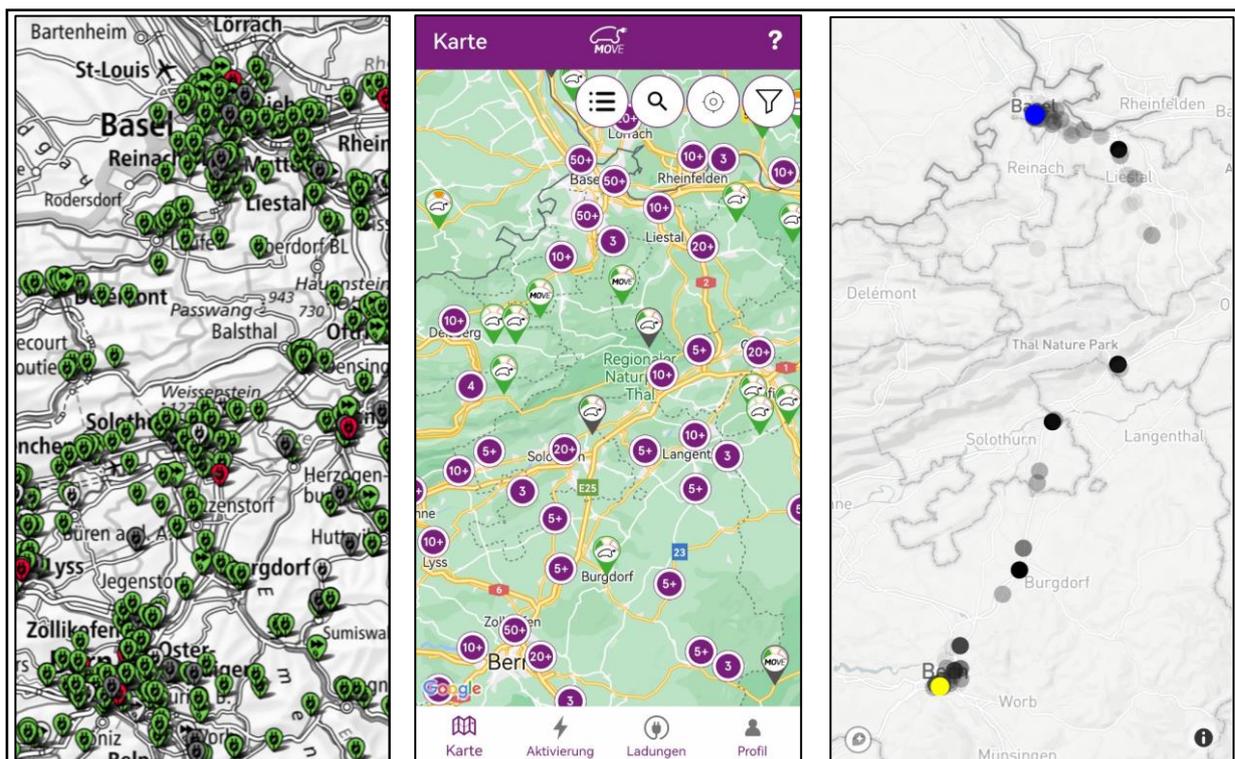


Abb. 30: Vergleich der Darstellung von öffentlichen Ladestationen, wenn nach einer Ladestation auf dem Weg von Basel nach Bern gesucht wird. (ich-tanke-strom.ch, MOVE-App, Karte aus Prototyp).

Der nächste Vergleich zeigt, wie die Ladestationen in Kartenapplikationen dargestellt werden, wenn an einem bestimmten Ort geladen werden soll. Das linke Bild ist ein Screenshot der "Chargemap"-App, beim mittleren Bild handelt es sich wiederum um einen Screenshot der MOVE-App und das rechte Bild zeigt einen Screenshot der Karte aus dem Prototyp.

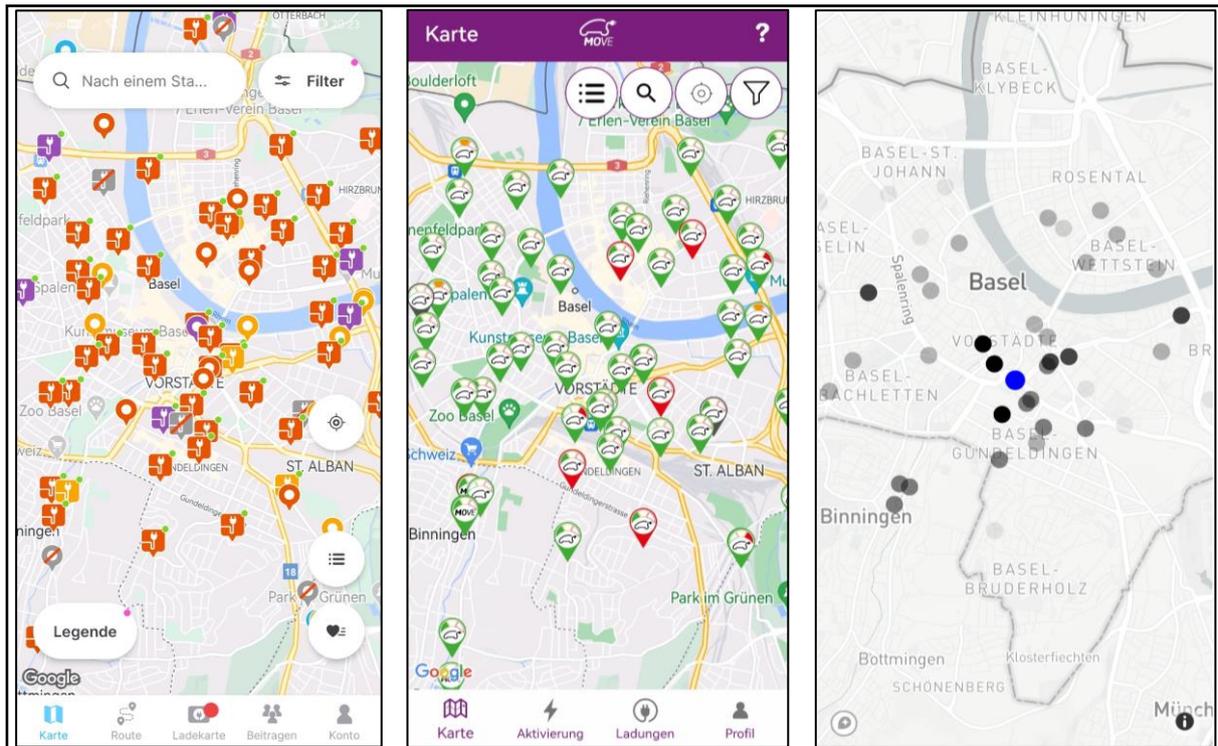


Abb. 31: Vergleich der Darstellung von öffentlichen Ladestationen, wenn in der Nähe der aktuellen Position geladen werden soll ("Chargemap" App, "MOVE" App, Karte aus Prototyp).

6.3.2 Limitationen und mögliche Ergänzungen

Der Prototyp weist einige Limitationen auf und könnte noch um weitere Funktionalitäten ergänzt werden. Zum Beispiel ist die En-Route Charging Funktionalität nur hilfreich, wenn das Ziel mit einem einzigen Ladestopp erreicht werden kann. Sind jedoch mehrere Ladestopps erforderlich, kann die Relevanz der Ladestationen nur für den ersten Ladestopp bestimmt werden. Da die Relevanz der Ladestationen für die weiteren Ladestopps stark davon abhängt, an welchen Ladestationen zuvor geladen wurde, ist diese Problematik nicht der ideale Anwendungszweck für eine Applikation, welche den Fokus auf der Relevanz von Ladestationen hat, sondern eher eine Aufgabe für Applikationen, die auf das Planen von Routen ausgelegt sind.

Zwei Elemente, die aufgrund technischer Schwierigkeiten nicht implementiert wurden, sind, dass selektierte Ladestationen markiert werden sowie dass die Strecke zum Zielort angezeigt wird. Das Anzeigen der Strecke zum Zielort wäre vor allem beim En-Route Charging nützlich, insbesondere dann, wenn verschiedene Routen zum Zielort ähnlich lange dauern. In einem solchen Fall werden für alle diese Routen mögliche Ladestationen angezeigt, solange das Laden an ihnen weniger als 2 Kilometer Umweg gegenüber der schnellsten Route zum Zielort verursacht. Dadurch werden in bestimmten Fällen sehr viele Ladestationen visualisiert, was die Karte unübersichtlich macht (Im Prototyp z.B. Basel-Nyon). Dieses Problem könnte gelöst werden, indem die Nutzenden auswählen können, welche Route sie fahren möchten. Folglich werden nur Ladestationen entlang dieser Route berücksichtigt. Ebenfalls fehlt im Prototyp die Information zu den Authentifizierungsmöglichkeiten. Diese Elemente sind jedoch alle nicht zwingend erforderlich, um das Ziel des Prototyps zu erreichen.

Insbesondere bei einem geringen Zoomfaktor überschneiden sich Symbole von Ladestationen, welche nahe beieinander liegen, oder überlagern sich komplett. Aufgrund der transparenten Symbole erscheinen die Ladestationen dann relevanter als sie tatsächlich sind. Um dieses Problem zu lösen, könnten nahe beieinander liegende Ladestationen zu Clustern zusammengefügt werden oder jeweils nur die relevanteste der sich überschneidenden Ladestationen angezeigt werden.

Weniger eine Limitation, aber trotzdem wichtig zu beachten ist, dass im Prototyp zwar die Option "Destination Charging" angeboten wird, die Suche nach einer Ladestation eine grosse Zeit bevor an ihr geladen wird jedoch nicht optimal ist. Einige Faktoren, insbesondere die Verfügbarkeit der Ladestation, können sich jederzeit ändern, und das Risiko, dass eine Ladestation bei Ankunft eine andere Relevanz hat als ursprünglich bestimmt wurde, nimmt mit zunehmender Fahrdauer zu. Der beste Anwendungszweck der Kartenapplikation ist daher, die Suche nach einer Ladestation unmittelbar bevor man laden möchte, da dann eine Veränderung der Relevanz bis zur Ankunft unwahrscheinlicher ist.

Eine mögliche Ergänzung zu den im Prototyp enthaltenen Funktionalitäten wäre, den Nutzenden die Möglichkeit zu geben, die Anzahl der Kilowattstunden anzugeben, die sie laden möchten, oder festzulegen, bis zu welchem SoC geladen werden soll. Die Relevanz könnte sich dann an diese Information adaptieren, wobei hauptsächlich die Berechnung der Kosten sowie beim En-Route Charging die möglichen Ladestationen, welche in Frage kommen, um das Ziel mit einem Ladestopp zu erreichen, angepasst würden. Um den Prototyp weiter zu verbessern, könnten noch weitere Funktionalitäten in den Prototyp eingebaut werden. Wie die Umfrage gezeigt hat, sind zum Beispiel die Möglichkeit, einzelne Ladestationen zu markieren oder zu den eigenen Favoriten hinzuzufügen, das Planen von Reisen mit Zwischenstopps oder auch eine Navigationsfunktion weitere hilfreiche Funktionalitäten. Diese dienen aber eher der Benutzerfreundlichkeit der Kartenapplikation, als dass sie mit der Relevanz der Ladestationen zusammenhängen.

6.3.3 Beantwortung der 4. Forschungsfrage

Die vierte Forschungsfrage lautet: *„Wie können die öffentlichen Ladestationen basierend auf ihrer Relevanz in einer mobilen Kartenapplikation visualisiert werden, um die Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation zu erleichtern?“*.

Der Prototyp enthält eine Karte, auf der die relevanten öffentlichen Ladestationen abhängig von ihrer Relevanz visualisiert werden. Zudem sind Einstellungsmöglichkeiten vorhanden, mit denen verschiedene Nutzungskontexte simuliert und die Visualisierung der öffentlichen Ladestationen noch präziser angepasst werden können. Alle notwendigen Funktionen sind Teil dieser Einstellungsmöglichkeiten, und auch die meisten der notwendigen Informationen können im Prototyp abgerufen werden.

Durch die verwendete Methode wird der Informationsgehalt der Karte reduziert, indem nicht relevante Ladestationen automatisch herausgefiltert werden. Dadurch wird die visuelle Komplexität und die Informationsdichte der Karte verringert und die kognitive Belastung gesenkt (Ballatore & Bertolotto, 2015; Crease & Reichenbacher, 2011; Raubal & Panov, 2009). Eine leichte Hintergrundkarte erzeugt eine klare visuelle Hierarchie und die Relevanz der Ladestationen wird durch verschiedene Transparenzstufen gekennzeichnet. Dadurch wird die

Aufmerksamkeit der Nutzenden auf die relevantesten Ladestationen gelenkt. Der Prototyp sowie seine Beschreibung in Kapitel 6.2 zeigen somit, wie die öffentlichen Ladestationen basierend auf ihrer Relevanz in einer mobilen Kartenapplikation visualisiert werden können, um die Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation zu erleichtern.

7 Kritische Reflexion und weiterführende Forschung

Die grösste Limitation der Arbeit besteht darin, dass keine Aussage darüber getroffen werden kann, wie hilfreich die vorgeschlagene Methode zur Visualisierung der öffentlichen Ladestationen in einer mobilen Kartenapplikation abhängig ihrer Relevanz bei der Wahl einer öffentlichen Ladestation genau ist. Empirische Tests sind notwendig, um dies beurteilen zu können. Der entwickelte Prototyp kann als Grundlage für diese Tests dienen, da er die vorgeschlagene Methode zur Visualisierung der öffentlichen Ladestationen gut veranschaulicht und alle notwendigen Funktionen enthält. Ein Vergleich zwischen dem Prototyp und einer bestehenden Kartenapplikation könnte beispielsweise zeigen, ob es Unterschiede darin gibt, wie schnell und einfach eine gut geeignete Ladestation gefunden werden kann.

Wie bereits angesprochen wurde, ist eine Gewichtung basierend auf dem Median nicht optimal. Beim Festlegen der Gewichtung wurden die Unterschiede zwischen den Medianwerten als gleich gross angenommen. Die Daten sind jedoch ordinal skaliert. Folglich sind die Unterschiede zwischen den Rängen nicht zwingend überall gleich gross. Sollte das Standardladeprofil nicht den Bedürfnissen und Anforderungen der Nutzenden entsprechen, bietet das Erstellen von Ladeprofilen die Möglichkeit, die Gewichtung der Kriterien manuell anzupassen. Eine weitere Limitation, welche mit der Gewichtung der Kriterien zusammenhängt, ist die Gewichtung der Fahrdauer und Distanz. Da diese eng miteinander verknüpft sind, wird die zeitliche und räumliche Entfernung der Ladestation zum Standort der Nutzenden möglicherweise zu stark gewichtet. Es könnte daher sinnvoll sein, die Gewichtung dieser beiden Kriterien etwas zurückzustufen.

Ein wichtiges Kriterium für die Relevanz von Ladestationen sind die Kosten für das Laden. Allerdings werden bei der Berechnung der Kosten in Kapitel 5.2.2 mögliche Parkgebühren nicht berücksichtigt, die unabhängig vom Laden bezahlt werden müssen. Auch wenn der Einfluss dieser Gebühren auf die Relevanz einer Ladestation nicht bekannt ist, wäre zumindest die Angabe der Parkgebühren in einer mobilen Kartenapplikation sicherlich von Interesse für die Nutzenden.

Eine mobile Kartenapplikation, welche öffentliche Ladestationen abhängig von ihrer Relevanz visualisiert, gibt eine Art Empfehlung ab, welche Ladestationen die "besten" sind. Insbesondere wenn Nutzende sich im selben Gebiet befinden, dasselbe Abonnement abgeschlossen haben und ihre Elektrofahrzeuge dieselbe Ladeleistung unterstützen, fällt die Relevanz der Ladestationen für diese Nutzenden sehr ähnlich aus. Dadurch besteht die Gefahr, dass mehrere Personen zum gleichen Zeitpunkt zur selben Ladestation geleitet werden (da diese die höchste Relevanz hat). Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass diese Ladestation bei Ankunft bereits von einem anderen Fahrzeug besetzt ist. Dieses Problem könnte mit verschiedenen Möglichkeiten umgangen werden, allen voran die Möglichkeit, eine Ladestation zu reservieren. Alternativ könnte auch die Relevanz einer Ladestation negativ beeinflusst werden, wenn über die Applikation zu dieser Ladestation navigiert wird.

8 Schlussfolgerung

Diese Arbeit soll die Grundlagen dafür schaffen, eine mobile Kartenapplikation zu entwickeln, welche öffentliche Ladestationen basierend auf ihrer Relevanz visualisiert. Um dieses Ziel zu erreichen, wird eine Methode beschrieben, wie die Relevanz der Ladestationen abhängig vom Nutzungskontext bestimmt werden kann. Basierend auf diesen Erkenntnissen kann der Karteninhalt auf relevante Ladestationen beschränkt und die Aufmerksamkeit auf die relevantesten Ladestationen gelenkt werden. Es wird angenommen, dass dadurch die kognitive Belastung der Nutzenden der Kartenapplikation gesenkt werden kann, was die Suche nach einer geeigneten Ladestation erleichtern würde. Zudem können Kartenapplikationen, welche die Suche nach geeigneten Ladestationen unterstützen, die Reichweitenangst verringern und auf diese Weise den Übergang zu Elektrofahrzeugen fördern (Bedogni, Bononi, D'Elia, Felice, Rondelli, et al., 2014).

Wie gezeigt werden konnte, ist die Verfügbarkeit einer Ladestation das mit Abstand wichtigste Kriterium, um die Relevanz öffentlicher Ladestationen zu bestimmen. Weitere Kriterien mit grossem Einfluss auf die Relevanz sind die an der Ladestation vorhandenen Steckertypen, die Ladeleistung der Ladestation, die Kosten für das Laden sowie die Distanz und Fahrdauer zur Ladestation. Weniger wichtig sind das Ladenetzwerk, zu dem die Ladestation gehört, und die Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation.

Der Nutzungskontext hat in vielerlei Hinsicht grosse Auswirkung auf die Relevanz öffentlicher Ladestationen. Zum einen legt er fest, wie gross der Einfluss der Kriterien auf die Relevanz der Ladestationen ist. Zum anderen beeinflusst er auch, auf welche Art und Weise die Kriterien berechnet und verwendet werden sollen, um möglichst stark auf die Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzenden in der jeweiligen Situation einzugehen. Beispielsweise ist beim En-Route Charging nicht die Distanz zur Ladestation entscheidend, sondern der Umweg, der für das Laden gefahren werden muss. Da für die Berechnung der Kriterien selbst ebenfalls Kontextinformationen verwendet werden, beeinflusst der Nutzungskontext nicht nur, wie die Kriterien berechnet werden, sondern ist auch direkter Bestandteil der Kriterienwerte. Beispielsweise wird die Distanz zur Ladestation basierend auf der aktuellen Position der Kartennutzenden berechnet.

Um die Relevanz der öffentlichen Ladestationen beurteilen zu können, werden die verschiedenen Kriterien kombiniert. Ist eine Ladestation nicht verfügbar oder die angebotenen Steckertypen sind nicht kompatibel, ist die Ladestation nicht relevant. Deshalb werden die zwei Kriterien "Verfügbarkeit" und "Steckertyp" als binäre Relevanzkriterien verwendet. Sie entscheiden somit grundlegend, ob eine öffentliche Ladestation relevant ist oder nicht. Gleiches gilt auch für das Kriterium "Distanz", wenn die Distanz zur Ladestation grösser als die verbleibende Restreichweite des Elektrofahrzeugs ist. Für relevante Ladestationen innerhalb der Restreichweite wird aus der Distanz zur Ladestation, der effektiven Ladeleistung an einer Ladestation, den Kosten für das Laden und der Fahrdauer zur Ladestation ein Relevanzwert berechnet. Dafür werden diesen Kriterien bestimmte Gewichtungen zugewiesen, die ihren Einfluss auf die Relevanz widerspiegeln sollen. Die Gewichtung hängt zudem davon ab, ob in der Stadt, auf dem Land oder auf der Autobahn geladen werden soll. Der gewichtete Durchschnitt dieser Kriterien stellt den Relevanzwert der öffentlichen Ladestationen dar. Für den

Fall, dass die Gewichtung nicht die Bedürfnisse der Nutzenden abbildet, sollte den Nutzenden die Möglichkeit gegeben werden, die Gewichtung manuell anpassen zu können und die individuelle Gewichtung als eigenständiges Ladeprofil abspeichern zu können.

Die für die Berechnung der Relevanz benötigten Kontextinformationen können sowohl durch implizite Methoden als auch durch explizite Methoden erfasst werden. Zu den Kontextinformationen, die implizit erfasst werden können, gehören der Standort der Nutzenden sowie die Spezifikationen des Elektrofahrzeugs. Letztere umfassen Informationen wie die Restreichweite, den Batterieladestatus und das Fahrzeugmodell. Basierend auf dem Fahrzeugmodell kann eine Kartenapplikation dann auf die kompatiblen Steckertypen, die Batteriekapazität sowie auf die unterstützte Ladeleistung schliessen. Einige Kontextinformationen müssen durch explizites Feedback erfasst werden. Dazu gehört der Zielort, allfällig abgeschlossene Abonnements sowie die Art des Ladens (Laden in der Nähe, En-Route Charging oder Destination Charging).

Zu den Daten, welche benötigt werden, um die Relevanz zu bestimmen, gehören Daten zu den Eigenschaften der öffentlichen Ladestationen, allen voran der Echtzeitstatus der Ladestationen (verfügbar/besetzt). Zudem muss die Distanz und Fahrtdauer zu den Ladestationen bestimmt werden können, beispielsweise mit einem Strassennetz, und auch eine Entscheidungsgrundlage muss vorhanden sein, um beurteilen zu können, ob sich ein Ort in der Stadt oder auf dem Land befindet. Der Kartenapplikation muss zudem bekannt sein, welche Elektrofahrzeugmodelle welche technischen Eigenschaften haben und wie sich bestimmte Abonnements auf die Kosten für das Laden auswirken. Das mobile Gerät muss mit dem Internet verbunden sein und mit dem Elektrofahrzeug kommunizieren können. Zudem muss die Position über GPS erfasst werden können.

Wie der entwickelte Prototyp zeigt, kann mit der in dieser Arbeit beschriebenen Methode der Informationsgehalt der Karte reduziert werden, indem nicht erreichbare, nicht verfügbare und nicht kompatible Ladestationen herausgefiltert werden. Durch diese Verringerung der Informationsdichte kann die kognitive Belastung der Nutzenden gesenkt werden. Zudem kann die Aufmerksamkeit der Nutzenden auf relevante Ladestationen gelenkt werden, indem die Ladestationen abhängig vom Grad ihrer Relevanz in verschiedenen Transparenzstufen visualisiert werden und als Hintergrundkarte eine leichte Grundkarte verwendet wird.

Um genau beurteilen zu können, wie effektiv die in dieser Arbeit beschriebene Methode die Suche nach einer öffentlichen Ladestation tatsächlich unterstützt, muss der Prototyp empirisch getestet werden. Aufgrund der Wichtigkeit der Kriterien, die für das Bestimmen der Relevanz verwendet wurden, und der deutlichen Informationsreduktion in der Karte, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass eine Kartenapplikation wie sie in dieser Arbeit beschrieben wird, das Identifizieren von geeigneten öffentlichen Ladestationen erleichtert. Sollte der Prototyp erfolgreich getestet werden, kann die in dieser Arbeit beschriebene Methode dazu beitragen, die Nutzung von Elektrofahrzeugen weiter zu fördern und somit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

9 Literatur

- Abel, T. (2016). *ReactJS: Become a professional in web app development*. North Charleston CreateSpace Independent Publishing Platform. <https://dl.acm.org/doi/book/10.5555/3052341>
- Abowd, G. D., Dey, A. K., Brown, P. J., Davies, N., Smith, M., & Steggle, P. (1999). *Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness*. In: Goos, G., Hartmanis, J., van Leeuwen J., & Gellersen, H.-W. (Hrsg.): *Handheld and Ubiquitous Computing. LNCS 1707*, Berlin, 304–307. https://doi.org/10.1007/3-540-48157-5_29
- Adenaw, L., & Krapf, S. (2022). Placing BEV Charging Infrastructure: Influencing Factors, Metrics, and Their Influence on Observed Charger Utilization. *World Electric Vehicle Journal*, 13(4), 56. <https://doi.org/10.3390/WEVJ13040056>
- Ajanovic, A. (2015). The future of electric vehicles: prospects and impediments. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 4(6), 521–536. <https://doi.org/10.1002/WENE.160>
- Ajanovic, A., & Glatt, A. (2020). Wirtschaftliche und ökologische Aspekte der Elektromobilität. *Elektrotechnik Und Informationstechnik*, 137, 136–146. <https://doi.org/10.1007/s00502-020-00812-x>
- Almaghrebi, A., Shom, S., Al Juheshi, F., James, K., & Alahmad, M. (2019). Analysis of User Charging Behavior at Public Charging Stations. *2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Detroit. <https://doi.org/10.1109/ITEC.2019.8790534>
- Anacleto, R., Figueiredo, L., Almeida, A., & Novais, P. (2014). Mobile application to provide personalized sightseeing tours. *Journal of Network and Computer Applications*, 41, 56–64. <https://doi.org/10.1016/J.JNCA.2013.10.005>
- Anderson, J. E., Lehne, M., & Hardinghaus, M. (2018). What electric vehicle users want: Real-world preferences for public charging infrastructure. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12(5), 341–352. <https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1372538>
- Anthopoulos, L., & Kolovou, P. (2021). A Multi-Criteria Decision Process for EV Charging Stations' Deployment: Findings from Greece. *Energies*, 14(17), 5441. <https://doi.org/10.3390/EN14175441>
- Arunkumar A, & Bogaraj T. (2021). Android App for Reading Electric vehicle Parameters. *International Journal of Mechanical Engineering*, 6(3), 541–546.
- Ashfaq, M., Butt, O., Selvaraj, J., & Rahim, N. (2021). Assessment of electric vehicle charging infrastructure and its impact on the electric grid: A review. *International Journal of Green Energy*, 18(7), 657–686. <https://doi.org/10.1080/15435075.2021.1875471>
- AustriaTech. (2022, 09). *Elektromobilität in Österreich - Zahlen, Daten & Fakten*. Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.
- Bae, S., Jang, I., Gros, S., Kulcsar, B., & Hellgren, J. (2022). A Game Approach for Charging Station Placement Based on User Preferences and Crowdedness. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(4), 3654–3669. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3038938>
- Ballatore, A., & Bertolotto, M. (2015). Personalizing maps. *Communications of the ACM*, 58(12), 68–74. <https://doi.org/10.1145/2756546>
- Balzer, C., Oktavian, R., Zandi, M., Fairen-Jimenez, D., & Moghadam, P. Z. (2020). Wiz: A Web-Based Tool for Interactive Visualization of Big Data. *Patterns*, 1(8), 100107. <https://doi.org/10.1016/J.PATTER.2020.100107>
- Bandilla, W. (2015). Online - Befragungen. In *GESIS – Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften (GESIS Survey Guidelines)*, Mannheim. https://doi.org/10.15465/sdm-sg_003

- Bartling, M., Havas, C. R., Wegenkittl, S., Reichenbacher, T., & Resch, B. (2021). Modeling patterns in map use contexts and mobile map design usability. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/ijgi10080527>
- Bartling, M., Resch, B., Reichenbacher, T., Havas, C. R., Robinson, A. C., Fabrikant, S. I., & Blaschke, T. (2022). Adapting mobile map application designs to map use context: a review and call for action on potential future research themes. *Cartography and Geographic Information Science*, 49(3), 237–251. <https://doi.org/10.1080/15230406.2021.2015720>
- Baus, J., Krüger, A., & Wahlster, W. (2002). A Resource-Adaptive Mobile Navigation System. *IUI '02: Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent User Interfaces*, San Francisco, 15–22. <https://doi.org/10.1145/502716.502723>
- Bedogni, L., Bononi, L., D'Elia, A., Felice, M. Di, Di Nicola, M., & Cinotti, T. S. (2014). Driving without anxiety: A route planner service with range prediction for the electric vehicles. *2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)*, Wien, 199–206. <https://doi.org/10.1109/ICCVE.2014.7297541>.
- Bedogni, L., Bononi, L., D'Elia, A., Felice, M. Di, Rondelli, S., & Cinotti, T. S. (2014). A Mobile Application to Assist Electric Vehicles' Drivers with Charging Services. *2014 Eighth International Conference on Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies*, Oxford, 78–83. <https://doi.org/10.1109/NGMAST.2014.49>
- Bethel, C., Rainbow, J. G., & Dudding, K. M. (2021). Recruiting nurses via social media for survey studies. *Nursing Research*, 70(3), 231–235. <https://doi.org/10.1097/NNR.0000000000000482>
- Blasius, J. (2012). Comparing Ranking Techniques in Web Surveys. *Field Methods*, 24(4), 382–398. <https://doi.org/10.1177/1525822X12443095>
- Bouncken, R. (2020). *Zur Aussagefähigkeit von Web-basierten Datenerhebungen und -analysen Beurteilung und gute Handlungspraxis am Beispiel von Civey*. https://assets.ctfassets.net/ublc0iceiwck/68LXL0ETxmwKkgACCykk8A/4a8413e4eaf2a7a7e22c3ba2729158e1/Gutachten_Civey_Bouncken.pdf
- Brückmann, G., & Bernauer, T. (2023). An experimental analysis of consumer preferences towards public charging infrastructure. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 116, 103626. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103626>
- Bundesamt für Energie. (2021, 03 24). *Ladestellen Elektromobilität*. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/geoinformation/geodaten/mobilitaet/ladestellen-elektromobilitaet.html> (Zugriff: 24.04.2023).
- Bundesamt für Energie. (2023, 09). *Kennzahlen Neuwagen und Ladeinfrastruktur | Bundesamt für Energie*. https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/MO_Kennzahlen_Fahrzeuge/Ladeinfrastruktur_Elektromobilitaet (Zugriff: 24.04.2023).
- Bundesamt für Statistik. (2012). *Stadt/Land-Typologie 2012*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/raeumliche-gliederungen/raeumliche-typologien.assetdetail.24126179.html> (Zugriff: 20.04.2023).
- Bundesamt für Statistik. (2014). *Der Raum mit städtischem Charakter am 18.12.2014*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/raeumliche-gliederungen/raeumliche-typologien.assetdetail.468920.html> (Zugriff: 20.04.2023).
- Bundesamt für Statistik. (2022, 01 31). *Bestand der Personenwagen nach Treibstoffart . ASTRA - Strassenfahrzeugbestand (MFZ)*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet->

- verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/fahrzeuge/strassenfahrzeuge-bestand-motorisierungsgrad.assetdetail.20884487.html> (Zugriff: 31.10.2022).
- Bundesamt für Statistik. (2023, 01 31). *Neue Inverkehrsetzungen von Strassenfahrzeugen nach Kantonen und technischen Merkmalen*. <<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/fahrzeuge/strassen-neu-inverkehrsetzungen.assetdetail.23908008.html>> (Zugriff: 28.03.2023).
- Casillo, M., Colace, F., de Santo, M., Lemma, S., & Lombardi, M. (2017). A Context-Aware Mobile Solution for Assisting Tourists in a Smart Environment. *HICSS 2017 AIS- Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*, Hilton Waikoloa Village, Hawaii, 495–504. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2017.061>
- Chakraborty, D., Bunch, D. S., Lee, J. H., & Tal, G. (2019). Demand drivers for charging infrastructure-charging behavior of plug-in electric vehicle commuters. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 76, 255–272. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2019.09.015>
- Chang, L., & Krosnick, J. A. (2009). National Surveys Via Rdd Telephone Interviewing Versus the Internet Comparing Sample Representativeness and Response Quality. *Public Opinion Quarterly*, 73(4), 641–678. <https://doi.org/10.1093/POQ/NFP075>
- Chen, Y., Bell, M. G. H., & Bogenberger, K. (2007). Reliable Pretrip Multipath Planning and Dynamic Adaptation for a Centralized Road Navigation System. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(1), 14–10. <https://doi.org/10.1109/TITS.2006.889437>
- Cherkassky, B. V., Goldberg, A. V., & Radzik, T. (1996). Shortest paths algorithms: Theory and experimental evaluation. *Mathematical Programming*, 73, 129–174. <https://doi.org/10.1007/BF02592101/METRICS>
- Chou, C. Y., Lai, K. R., Chao, P. Y., Tseng, S. F., & Liao, T. Y. (2018). A negotiation-based adaptive learning system for regulating help-seeking behaviors. *Computers & Education*, 126, 115–128. <https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2018.07.010>
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155–159. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- Cosijn, E., & Ingwersen, P. (2000). Dimensions of relevance. *Information Processing and Management*, 36(4), 533–550. [https://doi.org/10.1016/S0306-4573\(99\)00072-2](https://doi.org/10.1016/S0306-4573(99)00072-2)
- Crease, P., & Reichenbacher, T. (2011). Designing usable cartographic representations of geographic relevance for LBS users. *25th International Cartographic Conference*, Paris. <https://doi.org/10.5167/uzh-51496>
- Crease, P., & Reichenbacher, T. (2013). Linking time geography and activity theory to support the activities of mobile information seekers. *Transactions in GIS*, 17(4), 507–525. <https://doi.org/10.1111/tgis.12044>
- Daina, N., Sivakumar, A., & Polak, J. W. (2017). Electric vehicle charging choices: Modelling and implications for smart charging services. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 81, 36–56. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2017.05.006>
- Davidson, B. D. (2014). *Cartographic Design for Mobile Devices: a Case Study Using the UW-Madison Interactive Campus Map*. Master's Thesis, University of Wisconsin-Madison. <http://digital.library.wisc.edu/1793/74936>
- De Sabbata, S. (2010). Criteria of geographic relevance. *GIScience 2010: Sixth International Conference on Geographic Information Science*, Zürich. <https://doi.org/10.5167/uzh-38768>
- De Sabbata, S. (2013). *Assessing geographic relevance for mobile information services*. Dissertation, Universität Zürich, Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät. <https://doi.org/10.5167/uzh-89056>

- De Sabbata, S., & Reichenbacher, T. (2012). Criteria of geographic relevance: An experimental study. *International Journal of Geographical Information Science*, 26(8), 1495–1520. <https://doi.org/10.1080/13658816.2011.639303>
- Diamond, L. (2019). Vector Formats and Sources. *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge*. Wilson, J. P. (Hrsg.), 2019(Q4). <https://doi.org/10.22224/GISTBOK/2019.4.8>
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1, 269–271. <https://doi.org/10.1007/BF01386390>
- Doppelbauer, M. (2020). Ladesysteme. In: *Grundlagen der Elektromobilität*. Springer Vieweg, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-29730-5_12
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). Datenerhebung. In: *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Heidelberg, 321–577. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5_10
- dpa. (2023, 03 28). EU beschliesst endgültig weitgehendes Verbrenner-Aus. In: *Neue Zürcher Zeitung*. 03.28.2023, <<https://www.nzz.ch/wirtschaft/eu-beschliesst-verbrenner-aus-ab-2035-ld.1732392?reduced=true>> (Zugriff: 28.03.2023).
- Dujmović, J. J. (2007). Continuous preference logic for system evaluation. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(6), 1082–1099. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2007.902041>
- Europäisches Parlament und Rat. (2014). *Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe*. L 307. Amtsblatt der Europäischen Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094>
- Feng, J., & Liu, Y. (2015). Intelligent Context-Aware and Adaptive Interface for Mobile LBS. *Computational Intelligence and Neuroscience*. <https://doi.org/10.1155/2015/489793>
- Ferreira, J. C., Monteiro, V., & Afonso, J. L. (2014). Vehicle-to-Anything Application (V2Anything App) for Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(3), 1927–1937. <https://doi.org/10.1109/TII.2013.2291321>
- Findlater, L., & McGrenere, J. (2008). Impact of screen size on performance, awareness, and user satisfaction with adaptive graphical user interfaces. *CHI '08: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Florenz, 1247–1256. <https://doi.org/10.1145/1357054.1357249>
- Frenzel, I., Jarass, J., Trommer, S., & Lenz, B. (2015). *Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland - Nutzerprofile, Anschaffung, Fahrzeugnutzung*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Berlin. https://elib.dlr.de/96491/1/Ergebnisbericht_E-Nutzer_2015.pdf
- Funke, S. Á., Sprei, F., Gnann, T., & Plötz, P. (2019). How much charging infrastructure do electric vehicles need? A review of the evidence and international comparison. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 77, 224–242. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2019.10.024>
- Gajos, K. Z., Everitt, K., Tan, D. S., Czerwinski, M., & Weld, D. S. (2008). Predictability and Accuracy in Adaptive User Interfaces. *CHI '08: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Florenz, 1271–1274. <https://doi.org/10.1145/1357054.1357252>
- Garrido-Hernansaiz, H. (2022). The use of online social media for the recruitment of people living with HIV in Spain and Latin America: Lessons from two studies. *Health and Social Care in the Community*, 30(6), 4065–4073. <https://doi.org/10.1111/HSC.13799>
- Globisch, J., Plötz, P., Dütschke, E., & Wietschel, M. (2019). Consumer preferences for public charging infrastructure for electric vehicles. *Transport Policy*, 81, 54–63. <https://doi.org/10.1016/J.TRANPOL.2019.05.017>

- Gottwald, S., Laatikainen, T. E., & Kytä, M. (2016). Exploring the usability of PPGIS among older adults: challenges and opportunities. *International Journal of Geographical Information Science*, 30(12), 2321–2338. <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1170837>
- Griffin, A. L., Robinson, A. C., & Roth, R. E. (2017). Envisioning the future of cartographic research. *International Journal of Cartography*, 3(sup1), 1–8. <https://doi.org/10.1080/23729333.2017.1316466>
- Griffin, A. L., White, T., Fish, C., Tomio, B., Huang, H., Sluter, C. R., Bravo, J. V. M., Fabrikant, S. I., Bleisch, S., Yamada, M., & Picanço, P. (2017). Designing across map use contexts: a research agenda. *International Journal of Cartography*, 3(sup1), 90–114. <https://doi.org/10.1080/23729333.2017.1315988>
- Grifoni, P., D'Ulizia, A., & Ferri, F. (2018). Context-Awareness in Location Based Services in the Big Data Era. In: Skourletopoulos, G., Mastorakis, G., Mavromoustakis, C. X., Dobre, C. & Pallis, E. (Hrsg.), *Mobile Big Data. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 10, Springer, 85–127. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67925-9_5
- Grinberg, M. (2018). *Flask Web Development. O'Reilly Media*, 2. Edition. <https://www.oreilly.com/library/view/flask-web-development/9781491991725/>
- Grosset, P., & Ahrens, J. (2021). Lightweight Interface for In Situ Analysis and Visualization of Particle Data. In *Situ Infrastructures for Enabling Extreme-Scale Analysis and Visualization (ISAV'21)*, New York, 12–17. <https://doi.org/10.1145/3490138.3490143>
- Gruber, C. J., Schweighart, M., Seebauer, S., & Felbermair, S. (2021). Wie können öffentliche E-Ladestationen sozial fair positioniert werden? Eine Analyse der Aktivitätsmuster und potenziellen Ladevorgänge von Frauen, Personen mit niedrigem Einkommen und Über-65-Jährigen. In: Elisei, P., Beyer, C., Ryser, J. & Stöglehner, G. (Hrsg.), *REAL CORP 2021, 26th International Conference on Urban Development, Regional Planning and Information Society*, Wien, 1101–1110.
- Guo, Y., Qian, X., Lei, T., Guo, S., & Gong, L. (2022). Modeling the preference of electric shared mobility drivers in choosing charging stations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 110, 103399. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2022.103399>
- Gutjar, M., & Kowald, M. (2023). The configuration of charging stations: What do potential users want? *Travel Behaviour and Society*, 32, 100579. <https://doi.org/10.1016/J.TBS.2023.100579>
- Hao, X., Wang, H., Lin, Z., & Ouyang, M. (2020). Seasonal effects on electric vehicle energy consumption and driving range: A case study on personal, taxi, and ridesharing vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119403. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119403>
- Hardinghaus, M., Blümel, H., & Seidel, C. (2016). Charging Infrastructure Implementation for EVs – the Case of Berlin. *Transportation Research Procedia*, 14, 2594–2603. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2016.05.410>
- Hardman, S., Jenn, A., Tal, G., Axsen, J., Beard, G., Daina, N., Figenbaum, E., Jakobsson, N., Jochem, P., Kinnear, N., Plötz, P., Pontes, J., Refa, N., Sprei, F., Turrentine, T., & Witkamp, B. (2018). A review of consumer preferences of and interactions with electric vehicle charging infrastructure. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 508–523. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2018.04.002>
- Harpe, S. E. (2015). How to analyze Likert and other rating scale data. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 7(6), 836–850. <https://doi.org/10.1016/J.CPTL.2015.08.001>
- Hecht, C., Spreuer, K. G., Figgner, J., & Sauer, D. U. (2022). Market Review and Technical Properties of Electric Vehicles in Germany. *Vehicles*, 4(4), 903–916. <https://doi.org/10.3390/VEHICLES4040049>
- Heiervang, E., & Goodman, R. (2011). Advantages and limitations of web-based surveys: Evidence from a child mental health survey. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 46, 69–76. <https://doi.org/10.1007/s00127-009-0171-9>

- Hidalgo, P. A. L., Ostendorp, M., & Lienkamp, M. (2016). Optimizing the charging station placement by considering the user's charging behavior. *2016 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, Leuven, 1-7. <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON.2016.7513920>
- Hoekstra, A., & Refa, N. (2017). Characteristics of Dutch EV drivers. *30th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS 2017)*, Stuttgart.
- Höök, K. (2000). Steps to take before intelligent user interfaces become real. *Interacting with Computers*, *12*(4), 409–426. [https://doi.org/10.1016/S0953-5438\(99\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0953-5438(99)00006-5)
- Hu, L., Dong, J., & Lin, Z. (2019). Modeling charging behavior of battery electric vehicle drivers: A cumulative prospect theory based approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *102*, 474–489. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2019.03.027>
- Huang, H., & Gao, S. (2018). Location-Based Services. *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge*. Wilson, J. P. (Hrsg.), 2018(Q1). <https://doi.org/10.22224/GISTBOK/2018.1.14>
- Huang, H., Gartner, G., Krisp, J. M., Raubal, M., & Van de Weghe, N. (2018). Location based services: ongoing evolution and research agenda. *Journal of Location Based Services*, *12*(2), 63–93. <https://doi.org/10.1080/17489725.2018.1508763>
- Iannelli, L., Giglietto, F., Rossi, L., & Zurovac, E. (2018). Facebook Digital Traces for Survey Research: Assessing the Efficiency and Effectiveness of a Facebook Ad-Based Procedure for Recruiting Online Survey Respondents in Niche and Difficult-to-Reach Populations. *Social Science Computer Review*, *38*(4), 462–476. <https://doi.org/10.1177/0894439318816638>
- Ilieva, J., Baron, S., & Healey, N. M. (2002). Online Surveys in Marketing Research. *International Journal of Market Research*, *44*(3), 1–14. <https://doi.org/10.1177/147078530204400303>
- Jabeen, F., Olaru, D., Smith, B., Braunl, T., & Speidel, S. (2013). Electric vehicle battery charging behaviour: findings from a driver survey. *36th Australasian Transport Research Forum (ATRF)*, Brisbane.
- Jensen, A. F., Thorhauge, M., Mabit, S. E., & Rich, J. (2021). Demand for plug-in electric vehicles across segments in the future vehicle market. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *98*, 102976. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2021.102976>
- Jochem, P., Szimba, E., & Reuter-Oppermann, M. (2019). How many fast-charging stations do we need along European highways? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *73*, 120–129. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2019.06.005>
- Jost, N. (2018, 02 27). ELEKTROFAHRZEUGE: Raststätte Neuenkirch erhält neue Schnellladestation für Elektroautos. In: *Luzerner Zeitung*. 27.02.2018. <<https://www.luzernerzeitung.ch/nachrichten/zentralschweiz/luzern/raststaette-erhaelt-super-ladestation;art92,1207757>> (Zugriff: 04.10.2022).
- Khan, O., Gour, S., Lim Choi Keung, S. N., Morris, N., Shields, R., Quenby, S., Dimakou, D. B., Pickering, O., Tamblyn, J., Devall, A., Coomarasamy, A., Thornton, D. K., Perry, A., & Arvanitis, T. N. (2022). Electronic Patient Reported Outcomes for Miscarriage Research in Tommy's Net. *Studies in Health Technology and Informatics*, *295*, 458–461. <https://doi.org/10.3233/SHTI220764>
- Kiefer, P., Giannopoulos, I., Athanasios Anagnostopoulos, V., Schöning, J., & Raubal, M. (2017). Controllability matters: The user experience of adaptive maps. *GeoInformatica*, *21*(3), 619–641. <https://doi.org/10.1007/s10707-016-0282-x>
- Kim, S. Y., Jung, H. W., Hwang, J. D., Lee, S. C., & Song, K. Bin. (2013). A study on the construction of EV charging infrastructures in highway rest area. *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Istanbul, 396–400. <https://doi.org/10.1109/POWERENG.2013.6635639>
- Küpper, A. (2020). Datenerhebung. In: *Berufsverbleib von Auszubildenden in der Pflege. Best of Pflege*. Springer, Wiesbaden, 43–64. https://doi.org/10.1007/978-3-658-29165-5_3

- Li, M., Sun, Y., & Fan, H. (2015). Contextualized relevance evaluation of geographic information for mobile users in location-based social networks. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(2), 799–814. <https://doi.org/10.3390/IJGI4020799>
- Linnemann, M., & Nagel, C. (2020). Abrechnungssystem E-Roaming. In: *Elektromobilität und die Rolle der Energiewirtschaft*. Springer Vieweg, Wiesbaden, 79–91. https://doi.org/10.1007/978-3-658-30217-7_7
- Liu, J., Zou, D., Chen, Y., & Chu, Z. (2020). Analysis of Electric Vehicle Charging Facilities Operation Data. *2020 IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)*, Beijing, 422–426. <https://doi.org/10.1109/ICITE50838.2020.9231348>
- Luo, L., Gu, W., Zhou, S., Huang, H., Gao, S., Han, J., Wu, Z., & Dou, X. (2018). Optimal planning of electric vehicle charging stations comprising multi-types of charging facilities. *Applied Energy*, 226, 1087–1099. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2018.06.014>
- Mac Aoidh, E., McArdle, G., Petit, M., Ray, C., Bertolotto, M., Claramunt, C., & Wilson, D. (2009). Personalization in adaptive and interactive GIS. *Annals of GIS*, 15(1), 23–33. <https://doi.org/10.1080/00207720903270985>
- Malik, F. H., & Lehtonen, M. (2016). Analysis of power network loading due to fast charging of Electric Vehicles on highways. *2016 Electric Power Quality and Supply Reliability (PQ)*, 101–106. <https://doi.org/10.1109/PQ.2016.7724097>
- Mapbox. (o. J.). *Mapbox Light*. Mapbox.com. <<https://www.mapbox.com/maps/light>> (Zugriff: 22.04.2023).
- Markan, K., & Nilsson, V. (2022). *Modelling Electrical Vehicle Charging Demand with Historical Vehicle Movement Data. Master's Thesis*. Chalmers University of Technology & University of Gothenburg, Göteborg. <https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/305836>
- Márquez-Artavia, X., Delgado-Orozco, L., & Saavedra-Arias, J. (2022). Evaluation Conducted With University Teachers on the General Physics Courses Taught at the National University of Costa Rica During 2014 and 2019. *Revista Electrónica Educare*, 26(1), 1–23. <https://doi.org/10.15359/REE.26-1.5>
- Masuch, N., Lützenberger, M., Ahrndt, S., Heßler, A., & Albayrak, S. (2011). A context-aware mobile accessible electric vehicle management system. *2011 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, Szczecin, 305–312.
- Mayfield, D. (2012). Siting electric vehicle charging stations. Collette, C. (Hrsg.), *Sustainable Transportation Strategies*, 1. <https://vacleancities.org/wp-content/uploads/Siting-EV-Charging-Stations-FINAL-12.pdf>
- Meng, L. (2005). Egocentric Design of Map-Based Mobile Services. *The Cartographic Journal*, 42(1), 5–13. <https://doi.org/10.1179/000870405X57275>
- Meng, Y., & Malczewski, J. (2010). Web-PPGIS usability and public engagement: a case study in Canmore, Alberta, Canada. *URISA Journal*, 22(1), 5–15. <https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&sw=w&issn=10458077&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA253845094&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>
- Mirri, S., Prandi, C., & Salomoni, P. (2014). A context-aware system for personalized and accessible pedestrian paths. *2014 International Conference on High Performance Computing and Simulation (HPCS 2014)*, Bologna, 833–840. <https://doi.org/10.1109/HPCSIM.2014.6903776>
- Moro, A., & Lonza, L. (2018). Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 64, 5–14. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2017.07.012>
- Mouli, G. R. C., Venugopal, P., & Bauer, P. (2017). Future of electric vehicle charging. *19th International Symposium on Power Electronics (Ee)*, Novi Sad, 1–7. <https://doi.org/10.1109/PEE.2017.8171657>

- Mountain, D., & MacFarlane, A. (2007). Geographic information retrieval in a mobile environment: Evaluating the needs of mobile individuals. *Journal of Information Science*, 33(5), 515–530. <https://doi.org/10.1177/0165551506075333>
- Nait-Sidi-Moh, A., Ruzmetov, A., Bakhouya, M., Naitmalek, Y., & Gaber, J. (2018). A prediction model of electric vehicle charging requests. *Procedia Computer Science*, 141, 127–134. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2018.10.158>
- Nakano, H., Ishii, K., Goto, A., Yasumura, S., Ohira, T., & Fujimori, K. (2019). Development and implementation of an internet survey to assess community health in the face of a health crisis: Data from the pregnancy and birth survey of the fukushima health management survey, 2016. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/IJERPH16111946>
- Neißendorfer, M. (2021, 01 13). *So finden Elektroauto-Fahrer das passende Ladekabel*. Elektroauto-News. <<https://www.elektroauto-news.net/2021/so-finden-elektroauto-fahrer-das-passende-ladekabel>> (Zugriff: 28.03.2023).
- Nemoto, T., & Beglar, D. (2014). Developing Likert-Scale Questionnaires. In: *Sonda N. & Krause A. (Hrsg.): JALT2013 Conference Proceedings, Tokyo*.
- Niels, T., Gerstenberger, M., Bogenberger, K., Hessel, C., Gigl, A., & Wagner, K. (2019). Model-based optimization of public charging infrastructure planning in rural areas. *Transportation Research Procedia*, 41, 342–353. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2019.09.056>
- Nivala, A. M., & Sarjakoski, L. T. (2007). User aspects of adaptive visualization for mobile maps. *Cartography and Geographic Information Science*, 34(4), 275–284. <https://doi.org/10.1559/152304007782382954>
- Nivala, A.-M., & Sarjakoski, L. T. (2003). Need for Context-Aware Topographic Maps in Mobile Devices. In Virrantaus, K. & Tveite, H. (Hrsg.): *ScanGIS'2003 - The 9th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, Espoo*, 15-29.
- Nivala, A.-M., & Sarjakoski, L. T. (2007). User Aspects of Adaptive Visualization for Mobile Maps. *Cartography and Geographic Information Science*, 34(4), 275–284. <https://doi.org/10.1559/152304007782382954>
- Noel, L., Zarazua de Rubens, G., Sovacool, B. K., & Kester, J. (2019). Fear and loathing of electric vehicles: The reactionary rhetoric of range anxiety. *Energy Research & Social Science*, 48, 96–107. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2018.10.001>
- Nordenbrock, K. (2021, 12 18). *E-Autos: Wie ihr die nächste Ladesäule findet*. Trendblog. <<https://trendblog.euronics.de/e-mobility/e-autos-wie-ihr-die-naechste-ladesaeule-findet-90645>> (Zugriff: 28.03.2023).
- Oliveri, M., & Reichenbacher, T. (2021). Suitability of colour hue, value, and transparency for geographic relevance encoding in mobile maps. *Abstracts of the ICA*, 3, 224. <https://doi.org/10.5194/ica-abs-3-224-2021>
- Pan, L., Yao, E., Yang, Y., & Zhang, R. (2020). A location model for electric vehicle (EV) public charging stations based on drivers' existing activities. *Sustainable Cities and Society*, 59, 102192. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2020.102192>
- Pareek, S., Sujil, A., Ratra, S., & Kumar, R. (2020). Electric Vehicle Charging Station Challenges and Opportunities: A Future Perspective. *2020 International Conference on Emerging Trends in Communication, Control and Computing (ICONC3)*, Lakshmanagarh, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICONC345789.2020.9117473>
- Pauli, M. J., Beckmann, J., Suter, S., & Brügger, A. (2015). *Markt- und Nutzermonitoring Elektromobilität (MANUEL)*. Forschungsprojekt ASTRA 2010/022. Mobilitäts Akademie AG. <https://www.swiss-emobility.ch/de-wAssets/docs/infothek/Markt-und-Nutzermonitoring-Elektromobilitaet-Manuel-fr.pdf>

- Pepouna, S. (2016). Ohne dieses und jenes bedürfte der Genitiv keines -s: Eine psycholinguistische Perspektive. *Zeitschrift für Angewandte Linguistik*, 64(1), 5–45. <https://doi.org/10.1515/ZFAL-2016-0003>
- Pevec, D., Babic, J., Carvalho, A., Ghiassi-Farrokhfal, Y., Ketter, W., & Podobnik, V. (2019). Electric Vehicle Range Anxiety: An Obstacle for the Personal Transportation (R)evolution? *2019 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, Split. <https://doi.org/10.23919/SPLITECH.2019.8783178>
- Philipsen, R., Brell, T., Brost, W., Eickels, T., & Ziefle, M. (2018). Running on empty – Users' charging behavior of electric vehicles versus traditional refueling. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 59, 475–492. <https://doi.org/10.1016/J.TRF.2018.09.024>
- Philipsen, R., Schmidt, T., Van Heek, J., & Ziefle, M. (2016). Fast-charging station here, please! User criteria for electric vehicle fast-charging locations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 40, 119–129. <https://doi.org/10.1016/J.TRF.2016.04.013>
- Philipsen, R., Schmidt, T., & Ziefle, M. (2015). A Charging Place to Be - Users' Evaluation Criteria for the Positioning of Fast-charging Infrastructure for Electro Mobility. *Procedia Manufacturing*, 3, 2792–2799. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2015.07.742>
- Plananska, J. (2020). Touchpoints for electric mobility: Investigating the purchase process for promoting sales of electric vehicles in Switzerland. *Energy Research and Social Science*, 69, 101745. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2020.101745>
- Pombinho, P., Carmo, M. B., & Afonso, A. P. (2012). Context Aware Point of Interest Adaptive Recommendation. *CaRR '12: Proceedings of the 2nd Workshop on Context-Awareness in Retrieval and Recommendation*, Lissabon, 30–33.
- Potthoff, P., & Eller, M. (2000). Survey mit Fragebogen: Vor- und Nachteile verschiedener Erhebungsverfahren. *Zeitschrift für Gesundheitswissenschaften*, 8, 100–105. <https://doi.org/10.1007/BF02962632>
- Purewal, S., Ardiles, P., Di Ruggiero, E., Flores, J. V. L., Mahmood, S., & Elhagehassan, H. (2021). Using Social Media as a Survey Recruitment Strategy for Post-Secondary Students During the COVID-19 Pandemic. *INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing*, 58. <https://doi.org/10.1177/00469580211059305>
- Raff, R., Golub, V., Pelin, D., & Topic, D. (2019). Overview of charging modes and connectors for the electric vehicles. *7th International Youth Conference on Energy (IYCE)*, Bled, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IYCE45807.2019.8991586>
- Raper, J. (2007). Geographic relevance. *Journal of Documentation*, 63(6), 836–852. <https://doi.org/10.1108/00220410710836385>
- Raper, J., Gartner, G., Karimi, H., & Rizos, C. (2007). A critical evaluation of location based services and their potential. *Journal of Location Based Services*, 1(1), 5–45. <https://doi.org/10.1080/17489720701584069>
- Raubal, M., & Panov, I. (2009). A formal model for mobile map adaptation. In Gartner, G. & Rehr, K. (Hrsg.), *Location Based Services and TeleCartography II. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, Springer, Berlin, Heidelberg, 11–34. https://doi.org/10.1007/978-3-540-87393-8_2
- Reichenbacher, T. (2003). Adaptive Methods for Mobile Cartography. *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference*, Durban.
- Reichenbacher, T. (2008). Mobile Usage and Adaptive Visualization. In: Shekhar, S. & Xiong, H. (Hrsg.): *Encyclopedia of GIS*. Springer, Boston, 677–682. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1_799
- Reichenbacher, T. (2009a). Geographic relevance in mobile services. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Location and the Web (LOCWEB)*, ACM, Boston. <https://doi.org/10.1145/1507136.1507146>

- Reichenbacher, T. (2009b). Die Bedeutung der Relevanz für die räumliche Wissensgewinnung. In: Kriz, K. (Hrsg.): *Geokommunikation im Umfeld der Geographie: Tagungsband zum Deutschen Geographentag 2009 in Wien*. Wien: Institut für Geographie und Regionalforschung, Universität Wien, 85–90. <https://doi.org/10.5167/uzh-29711>
- Reichenbacher, T., De Sabbata, S., & Crease, P. (2009). The concept of geographic relevance. *6th International Symposium on LBS & TeleCartography*, Nottingham. <https://doi.org/10.5167/UZH-29918>
- Reichenbacher, T., De Sabbata, S., Purves, R. S., & Fabrikant, S. I. (2016). Assessing geographic relevance for mobile search: A computational model and its validation via crowdsourcing. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(11), 2620–2634. <https://doi.org/10.1002/asi.23625>
- Reuter, E., & Loock, M. (2017). *Empowering Local Electricity Markets - A survey study from Switzerland, Norway, Spain and Germany*, Institute for Economy and the Environment, University of St. Gallen, St. Gallen. <https://www.alexandria.unisg.ch/publications/252125>
- Richter, K.-F., Dara-Abrams, D., & Raubal, M. (2010). Navigating and Learning with Location Based Services: A User-Centric Design. In: Gartner, G. & Li, Y. (Hrsg.), *Proceedings of the 7th International Symposium on LBS and Telecartography*, Guangzhou, 261–276.
- Ricker, B., & Roth, R. (2018). Mobile Maps and Responsive Design. *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge*. Wilson, J. P. (Hrsg.), 2018(Q2). <https://doi.org/10.22224/gistbok/2018.2.5>
- Robinson, A. P., Blythe, P. T., Bell, M. C., Hübner, Y., & Hill, G. A. (2013). Analysis of electric vehicle driver recharging demand profiles and subsequent impacts on the carbon content of electric vehicle trips. *Energy Policy*, 61, 337–348. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2013.05.074>
- Romang, K. (2021 07). *Szenario 2035: Marktdurchdringung für Steckerfahrzeuge (PEV) in der Schweiz*. Swiss e-Mobility, Bern. https://www.swiss-emobility.ch/de-wAssets/docs/SwisseMobility_Szenario_2035_quer_interaktiv_e6.pdf
- Ruoso, A. C., & Ribeiro, J. L. D. (2022). The influence of countries' socioeconomic characteristics on the adoption of electric vehicle. *Energy for Sustainable Development*, 71, 251–262. <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2022.10.003>
- Sagl, G., Resch, B., Blaschke, T., Puliafito, A., Papavassiliou, S., & Bruneo, D. (2015). Contextual Sensing: Integrating Contextual Information with Human and Technical Geo-Sensor Information for Smart Cities. *Sensors*, 15(7), 17013–17035. <https://doi.org/10.3390/S150717013>
- Sarjakoski, L. T., & Nivala, A.-M. (2005). Adaptation to Context — A Way to Improve the Usability of Mobile Maps. In: Meng, L., Reichenbacher, T. & Zipf, A. (Hrsg.): *Map-based Mobile Services*. Springer, Berlin, Heidelberg, 107–123. https://doi.org/10.1007/3-540-26982-7_8
- Sarjakoski, L. T., & Sarjakoski, T. (2008). User Interfaces and Adaptive Maps. In: Shekhar, S. & Xiong, H. (Hrsg.): *Encyclopedia of GIS*. Springer, Boston, 1205–1212. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1_1431
- Sarker, U., Davidson, S. J., Yonge, O., Raymond, C., Kanuka, H., & Norris, C. (2020). Staying Ahead of the Digital Technological Curve Using Survey Methods. *Quality Advancement in Nursing Education - Avancées En Formation Infirmière*, 6(3). <https://doi.org/10.17483/2368-6669.1228>
- Savari, G. F., Sathik, M. J., Raman, L. A., El-Shahat, A., Hasanien, H. M., Almakles, D., Abdel Aleem, S. H. E., & Omar, A. I. (2023). Assessment of charging technologies, infrastructure and charging station recommendation schemes of electric vehicles: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(4). <https://doi.org/10.1016/J.ASEJ.2022.101938>
- Scherrer, A., Burghard, U., Wietschel, M., & Dütschke, E. (2019). Early Adopter von E-Fahrzeugen: Ladeleistungen, Eigenerzeugung und Einstellungen zum Lademanagement. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 69(11), 23–26.

- Schmidt, H. (2021, 01 04). Mangel an Ladepunkten: Zur Rettung der Welt fehlen die Steckdosen. In: *Neue Zürcher Zeitung*. 04.01.2021, <<https://www.nzz.ch/meinung/mangel-an-ladepunkten-zur-rettung-der-welt-fehlen-die-steckdosen-ld.1593009?reduced=true>> (Zugriff: 04.10.2022).
- Schmidt, M., Staudt, P., & Weinhardt, C. (2020). Evaluating the importance and impact of user behavior on public destination charging of electric vehicles. *Applied Energy*, 258, 114061. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114061>
- Schmutz, C. G. (2022, 06 08). EU-Parlament will Verbrenner-Verbot. In: *Neue Zürcher Zeitung*. 08.06.2022. Brüssel <<https://www.nzz.ch/wirtschaft/eu-parlament-verbietet-verbrennungsmotoren-ab-2035-ld.1687904>> (Zugriff: 29.04.2023).
- Schweizerischer Bundesrat. (2017, 06 28). *Voraussetzungen für ein Schnellladenetz für Elektroautos auf Nationalstrassen - Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats 14.3997 der KVF-N vom 06.10.2014*, Bern. <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20143997>
- Schweizerischer Bundesrat. (2021). *Langfristige Klimastrategie der Schweiz*, Bern. <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/65874.pdf>
- Siegle, C. B. H., Pombo, A., Luz, C., Rodrigues, L. P., Cordovil, R., & dos Santos Cardoso de Sá, C. (2020). Influences of family and household characteristics on children's level of physical activity during social distancing due to covid-19 in Brazil. *Revista Paulista de Pediatria*, 39. <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2021/39/2020297>
- Song, L., Wang, J., & Yang, D. (2015). Optimal placement of electric vehicle charging stations based on Voronoi diagram. *2015 IEEE International Conference on Information and Automation*, Lijiang, China, 2807–2812. <https://doi.org/10.1109/ICINFA.2015.7279764>
- Sousa, R. A., Nogueiras Melendez, A. A., Monteiro, V., Afonso, J. L., Ferreira, J. C., & Afonso, J. A. (2018). Development of an IoT system with smart charging current control for electric vehicles. *44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, Washington DC, 4662–4667. <https://doi.org/10.1109/IECON.2018.8591174>
- Sovacool, B. K., Kester, J., Noel, L., & Zarazua de Rubens, G. (2019). Are electric vehicles masculinized? Gender, identity, and environmental values in Nordic transport practices and vehicle-to-grid (V2G) preferences. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 72, 187–202. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.04.013>
- Stillwater, T., Woodjack, J., & Nicholas, M. (2013). Mobile App Support for Electric Vehicle Drivers: A Review of Today's Marketplace and Future Directions. In Kurosu, M. (Hrsg.): *Human-Computer Interaction. Applications and Services. HCI 2013. Lecture Notes in Computer Science*, 8005, 640–646. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39262-7_72
- Streiner, D. L., Norman, G. R., & Cairney, J. (2014). *Health Measurement Scales: A practical guide to their development and use*. 5, Oxford University Press, Oxford. <https://doi.org/10.1093/MED/9780199685219.001.0001>
- Subramanian, V., & Das, T. K. (2019). A two-layer model for dynamic pricing of electricity and optimal charging of electric vehicles under price spikes. *Energy*, 167, 1266–1277. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.171>
- Sun, X. H., Yamamoto, T., & Morikawa, T. (2015). Charge timing choice behavior of battery electric vehicle users. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 37, 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.04.007>
- Sun, X. H., Yamamoto, T., & Morikawa, T. (2016). Fast-charging station choice behavior among battery electric vehicle users. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46, 26–39. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.03.008>

- Swienty, O., Reichenbacher, T., Reppermund, S., & Zihl, J. (2008). The Role of Relevance and Cognition in Attention-guiding Geovisualisation. *The Cartographic Journal*, 45(3), 227–238. <https://doi.org/10.1179/000870408X311422>
- Swiss eMobility. (2022). *Statistiken - EU Top 15 - Anteil Steckerfahrzeuge (BEV+PHEV) bei Neuwagen*. <https://www.swiss-emobility.ch/de/Aktuell/Statistiken/?navid=517897517897#tab_809c8b2e1187f835c7709e90ce5055ad_4> (Stand: 01.09.2022, Zugriff: 21.11.2023).
- Tang, R., Shaw, W., & Vevea, J. (1999). Towards the identification of the optimal number of relevance categories. *Journal of the American Society for Information Science*, 50(3), 254–264. <https://doi.org/10.1002/MEET.1450410118>
- TCS (2022). *E-Auto unterwegs laden: dichtes Ladenetz in der Schweiz*. TCS Schweiz. <<https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/elektromobilitaet/elektroauto-unterwegs-aufladen.php>> (Zugriff: 21.11.2022).
- Thielsch, M. T., & Weltzin, S. (2013). Online-Mitarbeiterbefragungen. In: Domsch, M. & Ladwig, D. (Hrsg.): *Handbuch Mitarbeiterbefragung*. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 77–94. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35295-9_3
- Thorsnes, T. (2022, 02 13). *The ultimate guide to Electric Vehicle APIs*. Enode. 02.13.2022. <<https://enode.com/blog/electric-vehicle-api>> (Zugriff: 27.01.2023).
- Tian, Z., Jung, T., Wang, Y., Zhang, F., Tu, L., Xu, C., Tian, C., & Li, X. Y. (2016). Real-Time Charging Station Recommendation System for Electric-Vehicle Taxis. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(11), 3098–3109. <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2539201>
- Visaria, A. A., Jensen, A. F., Thorhauge, M., & Mabit, S. E. (2022). User preferences for EV charging, pricing schemes, and charging infrastructure. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 165, 120–143. <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2022.08.013>
- Wang, Y. Y., Chi, Y. Y., Xu, J. H., & Li, J. L. (2021). Consumer Preferences for Electric Vehicle Charging Infrastructure Based on the Text Mining Method. *Energies*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/en14154598>
- Wattenhofer, R. (2019). Elektroautos: Undurchsichtige Preise an der Strom-Tankstelle. *Saldo*, 11, 10–11.
- Wicki, M., Brückmann, G., Quoß, F., & Bernauer, T. (2021). Hemmnisse und Massnahmen beim Kauf von Elektrofahrzeugen: Schlussbericht zum Themenbereich Haushalte der Energieforschung Stadt Zürich. *Istp Paper Series*, 6, 1–115. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000476614>
- Wolbertus, R., Kroesen, M., van den Hoed, R., & Chorus, C. (2018a). Fully charged: An empirical study into the factors that influence connection times at EV-charging stations. *Energy Policy*, 123, 1–7. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2018.08.030>
- Wolbertus, R., Kroesen, M., van den Hoed, R., & Chorus, C. G. (2018b). Policy effects on charging behaviour of electric vehicle owners and on purchase intentions of prospective owners: Natural and stated choice experiments. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 283–297. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2018.03.012>
- Wolff, S., & Madlener, R. (2019). Charged up? Preferences for Electric Vehicle Charging and Implications for Charging Infrastructure Planning. *SSRN Electronic Journal*. Elsevier BV. <https://doi.org/10.2139/SSRN.3491629>
- Xu, M., Meng, Q., Liu, K., & Yamamoto, T. (2017). Joint charging mode and location choice model for battery electric vehicle users. *Transportation Research Part B: Methodological*, 103, 68–86. <https://doi.org/10.1016/J.TRB.2017.03.004>

- Yaqub, R., & Heidary, K. (2020, 03 04). *EV Charging Station Selection*. T&D World. 04.03.2020. <<https://www.tdworld.com/electrification/article/21125340/ev-charging-station-selection>> (Zugriff: 15.01.2023).
- Zhang, D., Adipat, B., & Mowafi, Y. (2009). User-Centered Context-Aware Mobile Applications — The Next Generation of Personal Mobile Computing. *Communications of the Association for Information Systems*, 24. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.02403>
- Zhang, H., Hu, Z., Xu, Z., & Song, Y. (2016). An Integrated Planning Framework for Different Types of PEV Charging Facilities in Urban Area. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(5), 2273–2284. <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2436069>
- Zingaro, D. ;, & Reichenbacher. (2022). Modelling and communicating geographic relevance in a digitally transformed world using a digital twin. *Abstracts of the ICA*, 5. <https://doi.org/10.5194/ica-abs-5-123-2022>
- Zipf, A., & Jöst, M. (2006). Implementing adaptive mobile GI services based on ontologies: Examples from pedestrian navigation support. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(6), 784–798. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2006.02.005>

10 Anhang

10.1 Streuung der Umfrage

Tab. 7: Übersicht über alle Online-Foren und Soziale Medien, in denen der Einladungstext zur Umfrage geteilt wurde. Zahlen für Anzahl Mitglieder und Anzahl Aufrufe des Posts sind Stand 24.10.2022.

Forum/Webseite	Art	Link zur Plattform	Anzahl Mitglieder	Anzahl Aufrufe
Aiways Forum	Online-Forum zu Aiways	https://www.ai-ways-forum.de/forum	2903	86
André Citroën Club	Online-Forum zu Citroën	https://www.andre-citroen-club.de/forums/	-	225
BMW-Syndikat	Online-Forum zu BMW	https://www.bmw-syndikat.de/	303646	57
Electrified Women	Facebook Gruppe	https://www.facebook.com/groups/543079726523906	1160	-
Elektroauto Community	Online-Forum Elektromobilität allgemein	https://www.elektroauto.community/	1776	58
Elektroauto Elektromobilität	Facebook Gruppe	https://www.facebook.com/groups/1797422847088935	12267	-
Elektroauto Forum	Online-Forum Elektromobilität allgemein	https://elektroauto-forum.de/	8614	759
Elektromobilität Diskussionsforum	Online-Forum Elektromobilität allgemein	https://www.elektromobilitaet-forum.de/	696	104
eVW Forum	Online-Forum zu Elektroautos von VW	https://evw-forum.de/	3333	1452
GoingElectric	Online-Forum Elektromobilität allgemein	https://www.goingelectric.de/	68839	350
Hyundaiboard	Online-Forum zu Hyundai	https://www.hyundaiboard.de/	37118	69
Mach-E Forum	Online-Forum zu Mustang Mach-E	https://mach-e-forum.de/	1335	364
Mein ID	Online-Forum zu VW ID Fahrzeugen	https://www.meinid.com/	8162	509
Motor-Talk	Online-Forum zu Motorfahrzeugen allgemein	https://www.motor-talk.de/	> 16570000	221
Peugeot Talk	Online-Forum zu Peugeot	https://www.peugeottalk.de/	12359	44
PFF	Online-Forum zu Porsche	https://www.pff.de/	241975	899
Photovoltaik Forum	Online-Forum Photovoltaik und Elektromobilität allgemein	https://www.photovoltaikeforum.com/	160023	374
Polestar Club	Online-Forum zu Polestar	https://polestar.fans/	≈ 2400	413
Samplesize_DACH	Reddit Forum zu Umfragen allgemein	https://www.reddit.com/r/samplesize_DACH/	≈ 1500	719
Tesla Fahrer und Freunde	Online-Forum zu Tesla und Elektromobilität allgemein	https://tff-forum.de/	≈ 45800	288

10.2 Umfragebogen

Öffentliche Ladestationen in Karten-Apps

Herzlichen Dank, dass Sie sich Zeit für diese Umfrage nehmen. Die Umfrage besteht aus 4 Teilen und dauert etwa 8 Minuten.

Die Umfrage richtet sich hauptsächlich an Personen, welche Erfahrung mit dem Aufladen von Elektrofahrzeugen an öffentlichen Ladestationen haben. Die Umfrage ist aber auch für Personen offen, die damit (noch) keine Erfahrung gemacht haben.

Die Teilnahme an der Umfrage ist freiwillig und Sie können das Ausfüllen jederzeit ohne Angabe von Gründen abbrechen. Die Befragung ist anonym und Ihre Antworten werden nur in Verbindung mit denen anderer Teilnehmenden ausgewertet. Die Ergebnisse der Umfrage können in anonymisierter Form, die keine Identifizierung einzelner Personen erlaubt, in wissenschaftlichen Journals publiziert werden.

Die Umfrage wird im Rahmen einer Masterarbeit bei Dr. Tumasch Reichenbacher (tumasch.reichenbacher@uzh.ch) an der Universität Zürich durchgeführt. Die Masterarbeit beschäftigt sich damit, wie öffentliche Ladestationen in einer mobilen Karte (auf dem Smartphone) am besten dargestellt werden können, abhängig davon, wann und wo die Karte genutzt wird. Zudem soll festgestellt werden, welche Informationen und Funktionen bei der Suche nach einer geeigneten Ladestation hilfreich sind.

Bei Rückfragen wenden Sie sich bitte an Sebastian Marti (sebastian.marti@uzh.ch).

Durch einen Klick auf den untenstehenden Button geben Sie Ihre Zustimmung zur Teilnahme an der Studie.

Abb. 32: Begrüssungstext und Einverständniserklärung der in der Umfrage.

Erfahrung mit öffentlichen Ladestationen

*** Besitzen Sie ein Elektrofahrzeug? (Batterieelektrische Fahrzeuge BEV oder Plug-in Hybrid Electric Vehicle PHEV)**

Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Ja

Nein

*** Haben Sie schon einmal ein Elektrofahrzeug an einer öffentlichen Ladestation aufgeladen?**

Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Ja

Nein

*** Falls Sie an einer öffentlichen Ladestation laden möchten, wie würden Sie nach einer geeigneten Ladestation suchen? (Mehrfachauswahl möglich)**

Bitte wählen Sie die zutreffenden Antworten aus:

App eines Ladenetzanbieters

Andere App (z.B. Google Maps)

Webseite eines Ladenetzanbieters

Andere Websites (z.B. PlugShare, Open Charge Map, ChargeFinder,...)

Suche im Internet

Eingebautes Navigationssystem des Elektrofahrzeugs

Andere

Abb. 33: Einführungsfragen in der Umfrage.

Eigenschaften von öffentlichen Ladestationen

* Angenommen, Sie möchten an einer öffentlichen Ladestation Ihr Fahrzeug laden. Um eine geeignete Ladestation zu finden, verwenden Sie auf Ihrem Smartphone eine Karte, welche Ihnen alle öffentlichen Ladestationen anzeigt. Wie hilfreich wären für Sie dann folgende Informationen zu den Ladestationen, um eine geeignete Ladestation zu finden?

	Überhaupt nicht hilfreich	Nicht hilfreich	Eher nicht hilfreich	Eher hilfreich	Hilfreich	Sehr hilfreich
An der Ladestation vorhandene Steckertypen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ladeleistung (kW) der einzelnen Stecker	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verfügbarkeit der Ladestation (frei/besetzt)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ladestation mit Buchse oder Kabel (bei AC-Ladestationen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ladenetzwerk	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Adresse der Ladestation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Öffnungszeiten der Ladestation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Authentifizierungsmöglichkeiten (z.B. QR-Code, App, ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kosten für das Laden (Startgebühr, Kosten pro kWh, Kosten pro Minute/Stunde)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Entfernung zwischen dem eigenen Standort und der Ladestation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fahrzeit vom eigenen Standort bis zur Ladestation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation (z.B. Einkaufsmöglichkeiten, Restaurant, ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Foto der Ladestation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bewertung der Station	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kontaktangaben des Stationsbetreibers	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abb. 34: Frage danach, wie hilfreich bestimmte Informationen bei der Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation in einer mobilen Kartenapplikation sind.

Funktionen

* Und wie hilfreich wäre es für Sie, folgende Funktionen nutzen zu können, um eine geeignete öffentliche Ladestation zu finden?

	Überhaupt nicht hilfreich	Nicht hilfreich	Eher nicht hilfreich	Eher hilfreich	Hilfreich	Sehr hilfreich
Filtermöglichkeit für Eigenschaften der Ladestation (z.B. Ladenetzwerk, Steckertyp, Authentifizierungsmethode, ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Minimale Ladeleistung der angezeigten Ladestationen festlegen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maximale Entfernung der angezeigten Ladestationen zum eigenen Standort festlegen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Navigationsfunktion (navigieren zur Ladestation)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reise planen (mit Zwischenstopps)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einzelne Stationen markieren/zu Favoriten hinzufügen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nur kompatible Ladestationen anzeigen (Fahrzeugmodell und/oder Ladenetzwerk wird in auf dem Smartphone hinterlegt)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abb. 35: Frage danach, wie hilfreich bestimmte Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation bei der Suche nach einer geeigneten öffentlichen Ladestation sind.

Wichtigkeit verschiedener Eigenschaften

Bei den nächsten drei Fragen sollen Sie verschiedene Kriterien zu öffentlichen Ladestationen in eine Rangliste einteilen. Die Kriterien, die Ihnen persönlich am wichtigsten sind, sollen zuoberst in die Rangliste eingeteilt werden. Die Kriterien, die Ihnen am wenigsten wichtig sind, sollen dementsprechend zuunterst in die Rangliste eingeteilt werden. In den nächsten drei Fragen werden Sie für drei unterschiedliche Szenarien jeweils eine Rangliste erstellen (Fahrzeug laden in der Stadt, auf dem Land, auf der Autobahn).

* Angenommen Sie befinden sich **in einer Stadt** und möchten an einer öffentlichen Ladestation Ihr Fahrzeug laden. Wie wichtig sind Ihnen dann die nachfolgenden Kriterien? Erstellen Sie mit den untenstehenden Kriterien bitte eine Rangliste entsprechend der Wichtigkeit der Kriterien. (zuoberst = ist mir am wichtigsten, zuunterst = ist mir am wenigsten wichtig).

Ordnen Sie die Elemente in die rechte Liste ein (höchste Bewertung oben). Die Elemente können mit der Maus verschoben werden. Doppelklick verschiebt ein Element in die andere Liste.

🗨 Bitte wählen Sie maximal 9 Antworten.

Ihre Auswahl

Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehören
Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein
Es sollte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation geben (z.B. Einkaufsmöglichkeiten)
Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen
Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben
Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)
Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben
Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)
Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte möglichst kurz sein

Ihre Rangfolge

Abb. 36: Ranglistenaufgabe zu der Wichtigkeit der verschiedenen Kriterien, wenn in der Stadt geladen werden soll.

*** Angenommen Sie befinden sich in einem ländlichen Gebiet und möchten an einer öffentlichen Ladestation Ihr Fahrzeug laden. Wie wichtig sind Ihnen dann die nachfolgenden Kriterien? Erstellen Sie bitte eine Rangliste der Kriterien entsprechend ihrer Wichtigkeit. (zuoberst = ist mir am wichtigsten, zuunterst = ist mir am wenigsten wichtig).**

Ordnen Sie die Elemente in die rechte Liste ein (höchste Bewertung oben). Die Elemente können mit der Maus verschoben werden. Doppelklick verschiebt ein Element in die andere Liste.

● Bitte wählen Sie maximal 9 Antworten.

Ihre Auswahl	Ihre Rangfolge
Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)	
Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)	
Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehören	
Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein	
Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen	
Es sollte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation geben (z.B. Einkaufsmöglichkeiten)	
Die Fahrtdauer bis zur Ladestation sollte möglichst kurz sein	
Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	
Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben	

Abb. 37: Ranglistenaufgabe zu der Wichtigkeit der verschiedenen Kriterien, wenn auf dem Land geladen werden soll.

*** Angenommen Sie befinden sich auf der Autobahn und möchten an einer öffentlichen Ladestation Ihr Fahrzeug laden. Wie wichtig sind Ihnen dann die nachfolgenden Kriterien? Erstellen Sie bitte eine Rangliste der Kriterien entsprechend ihrer Wichtigkeit. (zuoberst = ist mir am wichtigsten, zuunterst = ist mir am wenigsten wichtig).**

Ordnen Sie die Elemente in die rechte Liste ein (höchste Bewertung oben). Die Elemente können mit der Maus verschoben werden. Doppelklick verschiebt ein Element in die andere Liste.

● Bitte wählen Sie maximal 9 Antworten.

Ihre Auswahl	Ihre Rangfolge
Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehören	
Es sollte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation geben (z.B. Einkaufsmöglichkeiten)	
Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben	
Die Fahrtdauer bis zur Ladestation sollte möglichst kurz sein	
Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen	
Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein	
Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)	
Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)	
Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	

Abb. 38: Ranglistenaufgabe zu der Wichtigkeit der verschiedenen Kriterien, wenn auf der Autobahn geladen werden soll.

Demografische Daten

Zum Abschluss noch einige demographische Fragen.

Bitte geben Sie Ihr Alter an

i In dieses Feld dürfen nur Zahlen eingegeben werden.

Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an

♀
weiblich

♂
männlich

○
Keine Antwort

* Bitte geben Sie an, in welchem Land Sie wohnen

i Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Abb. 39: Fragen zum Erheben von demographischen Daten.

10.3 Resultate der Umfrage

10.3.1 Frageblock 1: Einführungsfragen

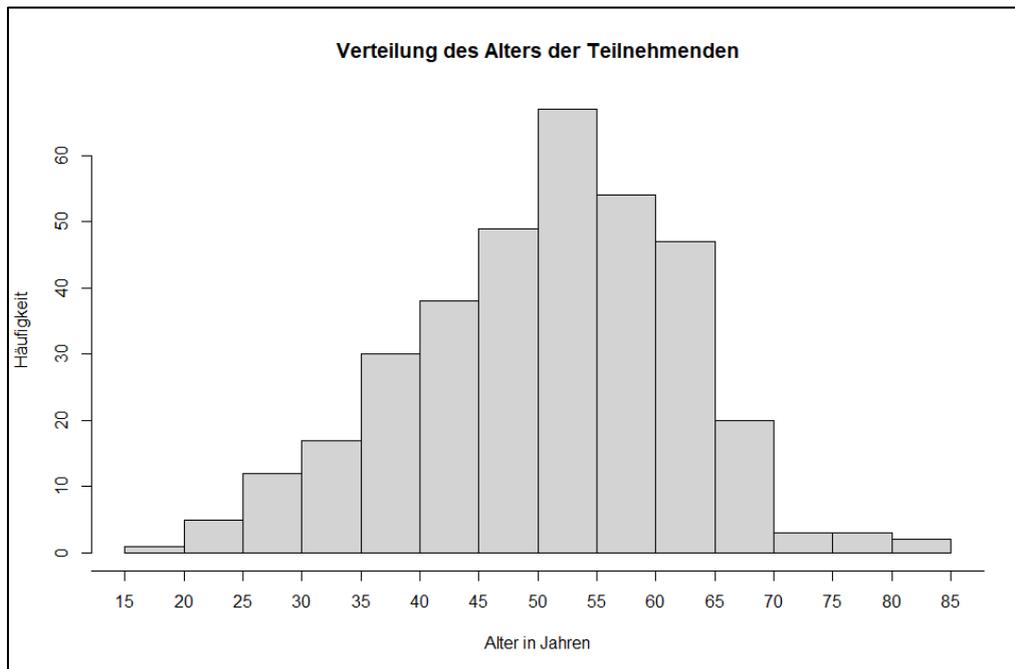


Abb. 40: Verteilung des Alters der Teilnehmenden der Umfrage.

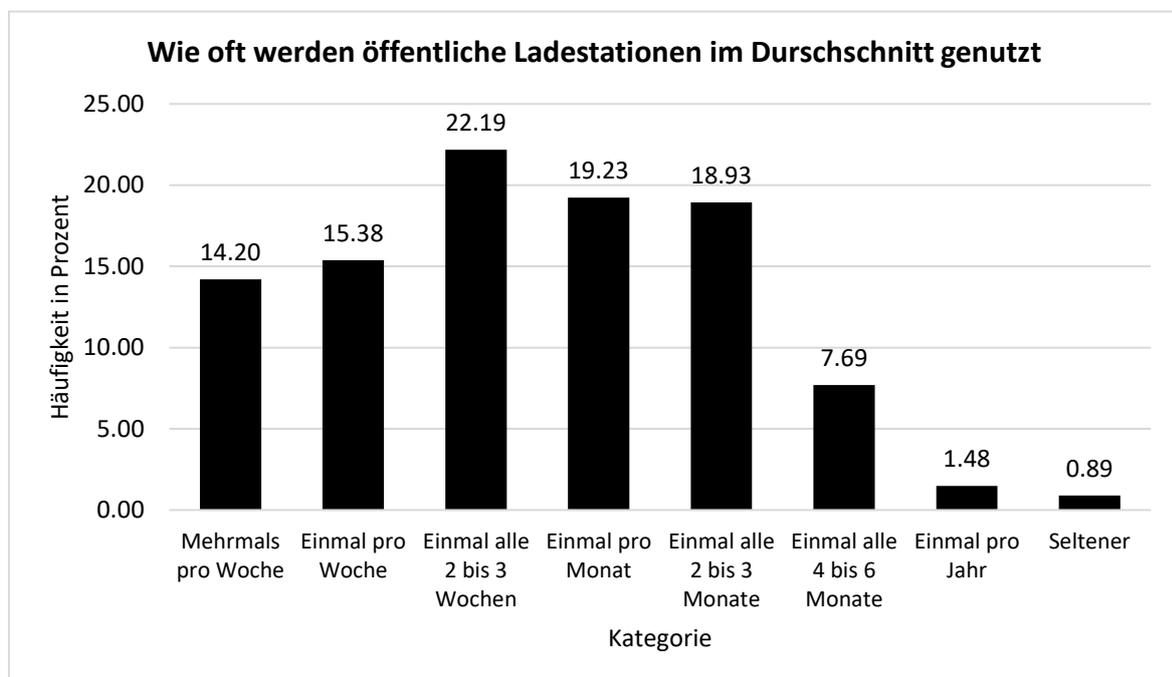


Abb. 41: Häufigkeit der Nutzung von öffentlichen Ladestationen unter den Teilnehmenden der Umfrage.

Mann-Whitney-Test				
	Ränge			
	Geschlecht	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Wie oft nutzen Sie öffentliche Ladestationen im Durchschnitt?	1	289	164.20	47453.50
	2	42	178.39	7492.50
	Gesamt	331		

Teststatistiken^a	
	Wie oft nutzen Sie öffentliche Ladestationen im Durchschnitt?
Mann-Whitney-U-Test	5548.500
Wilcoxon-W	47453.500
Z	-.913
Asymp. Sig. (2-seitig)	.361

a. Gruppenvariable: Geschlecht

Abb. 42: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) bei der Frage, wie häufig öffentliche Ladestationen im Durchschnitt genutzt werden.

Mann-Whitney-Test				
	Ränge			
	Land	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Wie oft nutzen Sie öffentliche Ladestationen im Durchschnitt?	0	299	167.81	50176.50
	1	39	182.42	7114.50
	Gesamt	338		

Teststatistiken^a	
	Wie oft nutzen Sie öffentliche Ladestationen im Durchschnitt?
Mann-Whitney-U-Test	5326.500
Wilcoxon-W	50176.500
Z	-.892
Asymp. Sig. (2-seitig)	.372

a. Gruppenvariable: Land

Abb. 43: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) bei der Frage, wie häufig öffentliche Ladestationen im Durchschnitt genutzt werden.

Kruskal-Wallis-Test			
	Ränge		
	Alterskategorie	N	Mittlerer Rang
Wie oft nutzen Sie öffentliche Ladestationen im Durchschnitt?	1	30	148.75
	2	119	173.65
	3	167	171.89
	4	22	157.23
	Gesamt	338	

Teststatistiken ^{a,b}	
Wie oft nutzen Sie öffentliche Ladestationen im Durchschnitt?	
Kruskal-Wallis-H	2.080
df	3
Asymp. Sig.	.556

a. Kruskal-Wallis-Test
b. Gruppenvariable: Alterskategorie

Abb. 44: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien bei der Frage, wie häufig öffentliche Ladestationen im Durchschnitt genutzt werden.

Korrelationen				
		Alter		Wie oft nutzen Sie öffentliche Ladestationen im Durchschnitt?
Spearman-Rho	Alter	Korrelationskoeffizient	1.000	-.003
		Sig. (2-seitig)	.	.955
		N	338	338
	Wie oft nutzen Sie öffentliche Ladestationen im Durchschnitt?	Korrelationskoeffizient	-.003	1.000
		Sig. (2-seitig)	.955	.
		N	338	338

Abb. 45: Rangkorrelationsanalyse nach Spearman für das Alter und die Antworten bei der Frage, wie häufig öffentliche Ladestationen im Durchschnitt genutzt werden.

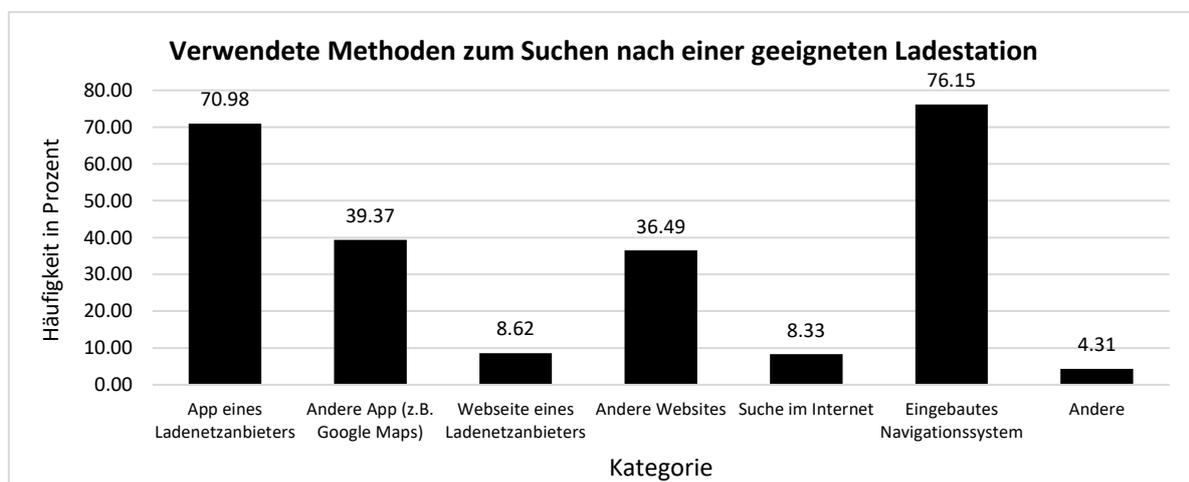


Abb. 46: Übersicht über die Verteilung der Antworten bei der Frage, welche Methoden zur Suche nach einer geeigneten Ladestation verwendet werden.

10.3.2 Frageblock 2: Informationen zu öffentlichen Ladestationen

Mann-Whitney-Test				
	Ränge			
	Land	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
An der Ladestation vorhandene Steckertypen	0	309	174.28	53851.50
	1	39	176.27	6874.50
	Gesamt	348		
Ladeleistung der einzelnen Stecker	0	309	172.98	53452.00
	1	39	186.51	7274.00
	Gesamt	348		
Verfügbarkeit der Ladestation	0	309	174.17	53819.00
	1	39	177.10	6907.00
	Gesamt	348		
Ladestation mit Buchse oder Kabel	0	309	173.32	53554.50
	1	39	183.88	7171.50
	Gesamt	348		
Ladenetzwerk	0	309	174.65	53967.50
	1	39	173.29	6758.50
	Gesamt	348		
Adresse der Ladestation	0	309	170.81	52781.50
	1	39	203.71	7944.50
	Gesamt	348		
Oeffnungszeiten der Ladestation	0	309	173.11	53491.00
	1	39	185.51	7235.00
	Gesamt	348		
Authentifizierungsmoeglichkeiten	0	309	171.76	53073.50
	1	39	196.22	7652.50
	Gesamt	348		
Kosten fuer das Laden	0	309	175.08	54100.50
	1	39	169.88	6625.50
	Gesamt	348		
Entfernung zwischen dem eigenen Standort und der Ladestation	0	309	175.87	54345.00
	1	39	163.62	6381.00
	Gesamt	348		
Fahrzeit vom eigenen Standort bis zur Ladestation	0	309	174.02	53773.50
	1	39	178.27	6952.50
	Gesamt	348		
Beschaeftigungsmoeglichkeiten in der Naehе der Ladestation	0	309	173.53	53620.00
	1	39	182.21	7106.00
	Gesamt	348		
Foto der Ladestation	0	309	172.12	53185.50
	1	39	193.35	7540.50
	Gesamt	348		
Bewertung der Station	0	309	171.53	53002.50
	1	39	198.04	7723.50
	Gesamt	348		
Kontaktangaben des Stationsbetreibers	0	309	171.15	52885.50
	1	39	201.04	7840.50
	Gesamt	348		

Abb. 48: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) für die Informationen zu den öffentlichen Ladestationen.

		Teststatistiken ^a														
		An der Ladestation vorhandene Steckertypen	Ladeleistung der einzelnen Stecker	Verfügbarkeit der Ladestation	Ladestation mit Buchse oder Kabel	Ladenetzwerk	Adresse der Ladestation	Oeffnungszeiten der Ladestation	Authentifizierungsmoeglichkeiten	Kosten fuer das Laden	Entfernung zwischen dem eigenen Standort und der Ladestation	Fahrzeit vom eigenen Standort bis zur Ladestation	Beschaeftigungsmoeglichkeiten in der Naehе der Ladestation	Foto der Ladestation	Bewertung der Station	Kontaktangaben des Stationsbetreibers
Mann-Whitney-U-Test	5956.500	5924.000	5924.000	5924.000	5978.500	4886.500	5596.000	5178.500	5845.500	5601.000	5878.500	5878.500	5725.000	5290.500	5107.500	4990.500
Wilcoxon-W	53851.500	53452.000	53819.000	53554.500	53554.500	52781.500	53491.000	53073.500	6625.500	6381.000	53773.500	53773.500	53620.000	53185.500	53002.500	52885.500
Z	-1.137	-1.039	-2.250	-0.630	-0.083	-2.233	-0.976	-1.540	-0.358	-0.747	-0.256	-0.256	-0.528	-1.280	-1.807	-1.792
Asymp. Sig. (2-seitig)	.891	.299	.802	.529	.934	.026	.329	.124	.720	.455	.798	.798	.598	.200	.108	.073

a. Gruppenvariablen: Land

Abb. 47: Abb. 50: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) für die Informationen zu den öffentlichen Ladestationen, Teststatistik.

Mann-Whitney-Test				
	Ränge			
	Geschlecht	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
An der Ladestation vorhandene Steckertypen	1	299	170.11	50862.50
	2	42	177.35	7448.50
	Gesamt	341		
Ladeleistung der einzelnen Stecker	1	299	171.17	51180.00
	2	42	169.79	7131.00
	Gesamt	341		
Verfuegbarkeit der Ladestation	1	299	169.11	50563.00
	2	42	184.48	7748.00
	Gesamt	341		
Ladestation mit Buchse oder Kabel	1	299	164.98	49330.00
	2	42	213.83	8981.00
	Gesamt	341		
Ladenetzwerk	1	299	167.95	50217.50
	2	42	192.70	8093.50
	Gesamt	341		
Adresse der Ladestation	1	299	168.04	50242.50
	2	42	192.11	8068.50
	Gesamt	341		
Oeffnungszeiten der Ladestation	1	299	170.76	51056.50
	2	42	172.73	7254.50
	Gesamt	341		
Authentifizierungsmoeglichkeiten	1	299	167.42	50059.50
	2	42	196.46	8251.50
	Gesamt	341		
Kosten fuer das Laden	1	299	169.94	50811.00
	2	42	178.57	7500.00
	Gesamt	341		
Entfernung zwischen dem eigenen Standort und der Ladestation	1	299	165.94	49615.50
	2	42	207.04	8695.50
	Gesamt	341		
Fahrzeit vom eigenen Standort bis zur Ladestation	1	299	165.73	49553.00
	2	42	208.52	8758.00
	Gesamt	341		
Beschaeftigungsmoeglichkeiten in der Naehede der Ladestation	1	299	162.28	48521.00
	2	42	233.10	9790.00
	Gesamt	341		
Foto der Ladestation	1	299	166.54	49796.50
	2	42	202.73	8514.50
	Gesamt	341		
Bewertung der Station	1	299	168.31	50325.00
	2	42	190.14	7986.00
	Gesamt	341		
Kontaktangaben des Stationsbetreibers	1	299	163.70	48945.00
	2	42	223.00	9366.00
	Gesamt	341		

Abb. 49: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Informationen zu den öffentlichen Ladestationen.

	Teststatistiken ^a														
	An der Ladestation vorhandene Steckertypen	Ladeleistung der einzelnen Stecker	Verfuegbarkeit der Ladestation	Ladestation mit Buchse oder Kabel	Ladenetzwerk	Adresse der Ladestation	Oeffnungszeit in der Ladestation	Authentifizierungsmoeglichkeiten an	Kosten fuer das Laden	Entfernung zwischen dem eigenen Standort und der Ladestation	Fahrzeit vom eigenen Standort bis zur Ladestation	Beschaeftigungsmoeglichkeiten in der Naehede der Ladestation	Foto der Ladestation	Bewertung der Station	Kontaktangaben des Stationsbetreibers
Mann-Whitney-U-Test	6012.500	6228.000	5713.000	4480.000	5367.500	5392.500	6206.500	5209.500	5961.000	4766.500	4703.000	3671.000	4946.500	5475.000	4095.000
Wilcoxon-W	50862.500	7131.000	50563.000	49330.000	50217.500	50242.500	51056.500	50059.500	50811.000	49615.500	49553.000	48521.000	49796.500	50325.000	48945.000
Z	-.522	-.112	-1.377	-3.063	-1.589	-1.718	-.163	-1.922	-.625	-2.637	-2.718	-4.538	-2.299	-1.394	-3.742
Asymp. Sig. (2-seitig)	.602	.911	.168	.002	.112	.086	.870	.055	.532	.008	.007	<.001	.022	.163	<.001

Abb. 50: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Informationen zu den öffentlichen Ladestationen, Teststatistik.

	Ränge		
	Alterskategorie	N	Mittlerer Rang
An der Ladestation vorhandene Steckertypen	1	31	186.47
	2	121	171.58
	3	173	173.30
	4	23	182.72
	Gesamt	348	
Ladeleistung der einzelnen Stecker	1	31	188.00
	2	121	174.42
	3	173	172.67
	4	23	170.46
	Gesamt	348	
Verfügbarkeit der Ladestation	1	31	186.39
	2	121	173.17
	3	173	171.75
	4	23	186.15
	Gesamt	348	
Ladestation mit Buchse oder Kabel	1	31	167.34
	2	121	169.07
	3	173	175.56
	4	23	204.76
	Gesamt	348	
Ladenetzwerk	1	31	161.84
	2	121	184.95
	3	173	169.87
	4	23	171.41
	Gesamt	348	
Adresse der Ladestation	1	31	140.40
	2	121	179.39
	3	173	178.85
	4	23	162.00
	Gesamt	348	
Öffnungszeiten der Ladestation	1	31	150.81
	2	121	174.90
	3	173	178.93
	4	23	170.98
	Gesamt	348	
Authentifizierungsmöglichkeiten	1	31	148.23
	2	121	177.09
	3	173	173.47
	4	23	204.00
	Gesamt	348	
Kosten für das Laden	1	31	164.26
	2	121	168.65
	3	173	178.08
	4	23	192.15
	Gesamt	348	
Entfernung zwischen dem eigenen Standort und der Ladestation	1	31	148.81
	2	121	179.28
	3	173	173.08
	4	23	194.67
	Gesamt	348	
Fahrzeit vom eigenen Standort bis zur Ladestation	1	31	156.32
	2	121	170.80
	3	173	176.29
	4	23	205.00
	Gesamt	348	
Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation	1	31	163.19
	2	121	178.89
	3	173	170.96
	4	23	193.26
	Gesamt	348	
Foto der Ladestation	1	31	197.37
	2	121	186.19
	3	173	163.47
	4	23	165.20
	Gesamt	348	
Bewertung der Station	1	31	196.24
	2	121	176.49
	3	173	171.76
	4	23	155.33
	Gesamt	348	
Kontaktangaben des Stationsbetreibers	1	31	167.23
	2	121	159.79
	3	173	185.77
	4	23	176.91
	Gesamt	348	

Abb. 51: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Informationen zu den öffentlichen Ladestationen.

		Teststatistiken ^{a,b}													
An der Ladestation vorhandene Steckertypen	df	Ladeleistung der einzelnen Stecker	Verfügbarkeit der Ladestation	Ladestation mit Buchse oder Kabel	Ladenetzwerk	Adresse der Ladestation	Öffnungszeit in der Ladestation	Authentifizierungsmöglichkeiten	Kosten für das Laden	Entfernung zwischen dem eigenen Standort und der Ladestation	Fahrzeit vom eigenen Standort bis zur Ladestation	Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation	Foto der Ladestation	Bewertung der Station	Kontaktangaben des Stationsbetreibers
				1.124	1.898	2.707	2.378	6.096	3.777	4.863	2.300	3.529	3.562	1.770	5.863
Kruskal-Wallis-H	3	.989	.594	.439	.498	.107	.287	.183	.513	.317	.313	.621	.118	.451	.159
Asymp. Sig.		.771	.594	.439	.498	.107	.287	.183	.513	.317	.313	.621	.118	.451	.159

a. Kruskal-Wallis-Test
b. Gruppenvariable: Bitte geben Sie Ihr Alter an

Abb. 52: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Informationen zu den öffentlichen Ladestationen, Teststatistik.

			Alter
Spearman-Rho	An der Ladestation vorhandene Steckertypen	Korrelationskoeffizient	-.003
		Sig. (2-seitig)	.951
		N	348
	Ladeleistung der einzelnen Stecker	Korrelationskoeffizient	-.056
		Sig. (2-seitig)	.294
		N	348
	Verfügbarkeit der Ladestation	Korrelationskoeffizient	.004
		Sig. (2-seitig)	.940
		N	348
	Ladestation mit Buchse oder Kabel	Korrelationskoeffizient	.079
		Sig. (2-seitig)	.141
		N	348
	Ladenetzwerk	Korrelationskoeffizient	-.016
		Sig. (2-seitig)	.764
		N	348
	Adresse der Ladestation	Korrelationskoeffizient	.083
		Sig. (2-seitig)	.120
		N	348
	Öffnungszeiten der Ladestation	Korrelationskoeffizient	.080
		Sig. (2-seitig)	.138
		N	348
	Authentifizierungsmöglichkeiten	Korrelationskoeffizient	.094
		Sig. (2-seitig)	.080
		N	348
	Kosten für das Laden	Korrelationskoeffizient	.067
		Sig. (2-seitig)	.213
		N	348
	Entfernung zwischen dem eigenen Standort und der Ladestation	Korrelationskoeffizient	.075
		Sig. (2-seitig)	.164
		N	348
	Fahrzeit vom eigenen Standort bis zur Ladestation	Korrelationskoeffizient	.108*
		Sig. (2-seitig)	.044
		N	348
	Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation	Korrelationskoeffizient	.033
		Sig. (2-seitig)	.535
		N	348
	Foto der Ladestation	Korrelationskoeffizient	-.150**
		Sig. (2-seitig)	.005
		N	348
	Bewertung der Station	Korrelationskoeffizient	-.055
		Sig. (2-seitig)	.305
		N	348
	Kontaktangaben des Stationsbetreibers	Korrelationskoeffizient	.108*
		Sig. (2-seitig)	.043
		N	348
	Alter	Korrelationskoeffizient	1.000
		Sig. (2-seitig)	.
		N	348

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).
* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

Abb. 53: Rangkorrelationsanalyse nach Spearman für das Alter und die Bewertung der Informationen.

10.3.3 Frageblock 3: Unterstützende Funktionen in einer Kartenapplikation

Mann-Whitney-Test				
	Ränge			
	Land	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Filtermöglichkeit fuer Eigenschaften der Ladestation	0	309	171.98	53140.50
	1	39	194.50	7585.50
	Gesamt	348		
Minimale Ladeleistung der angezeigten Ladestationen festlegen	0	309	172.42	53276.50
	1	39	191.01	7449.50
	Gesamt	348		
Maximale Entfernung der angezeigten Ladestationen zum eigenen Standort festlegen	0	309	174.46	53908.00
	1	39	174.82	6818.00
	Gesamt	348		
Maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen	0	309	172.09	53176.00
	1	39	193.59	7550.00
	Gesamt	348		
Navigationsfunktion	0	309	174.78	54008.00
	1	39	172.26	6718.00
	Gesamt	348		
Reise planen (mit Zwischenstopps)	0	309	173.70	53673.50
	1	39	180.83	7052.50
	Gesamt	348		
Einzelne Stationen markieren/zu Favoriten hinzufuegen	0	309	173.84	53715.50
	1	39	179.76	7010.50
	Gesamt	348		
Nur kompatible Ladestationen anzeigen	0	309	171.91	53120.00
	1	39	195.03	7606.00
	Gesamt	348		

Abb. 54: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) für die unterstützenden Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation.

Teststatistiken ^a								
	Filtermoeglichkeit fuer Eigenschaften der Ladestation	Minimale Ladeleistung der angezeigten Ladestationen festlegen	Maximale Entfernung der angezeigten Ladestationen zum eigenen Standort festlegen	Maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen	Navigationsfunktion	Reise planen (mit Zwischenstopps)	Einzelne Stationen markieren/zu Favoriten hinzufuegen	Nur kompatible Ladestationen anzeigen
Mann-Whitney-U-Test	5245.500	5381.500	6013.000	5281.000	5938.000	5778.500	5820.500	5225.000
Wilcoxon-W	53140.500	53276.500	53908.000	53176.000	6718.000	53673.500	53715.500	53120.000
Z	-1.596	-1.169	-.022	-1.296	-.153	-.433	-.362	-1.502
Asymp. Sig. (2-seitig)	.111	.243	.982	.195	.879	.665	.717	.133

a. Gruppenvariable: Land

Abb. 55: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz und den anderen Ländern für die unterstützenden Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation, Teststatistik.

Mann-Whitney-Test				
	Ränge			
	Geschlecht	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Filtermöglichkeit fuer Eigenschaften der Ladestation	1	299	169.34	50634.00
	2	42	182.79	7677.00
	Gesamt	341		
Minimale Ladeleistung der angezeigten Ladestationen festlegen	1	299	172.54	51589.00
	2	42	160.05	6722.00
	Gesamt	341		
Maximale Entfernung der angezeigten Ladestationen zum eigenen Standort festlegen	1	299	169.38	50646.00
	2	42	182.50	7665.00
	Gesamt	341		
Maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen	1	299	170.84	51081.00
	2	42	172.14	7230.00
	Gesamt	341		
Navigationsfunktion	1	299	165.92	49610.00
	2	42	207.17	8701.00
	Gesamt	341		
Reise planen (mit Zwischenstopps)	1	299	167.98	50227.00
	2	42	192.48	8084.00
	Gesamt	341		
Einzelne Stationen markieren/zu Favoriten hinzufuegen	1	299	165.17	49385.00
	2	42	212.52	8926.00
	Gesamt	341		
Nur kompatible Ladestationen anzeigen	1	299	170.16	50877.00
	2	42	177.00	7434.00
	Gesamt	341		

Abb. 56: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die unterstützenden Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation.

Teststatistiken ^a									
	Filtermöglichkeit fuer Eigenschaften der Ladestation	Minimale Ladeleistung der angezeigten Ladestationen festlegen	Maximale Entfernung der angezeigten Ladestationen zum eigenen Standort festlegen	Maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen	Navigationsfunktion	Reise planen (mit Zwischenstopps)	Einzelne Stationen markieren/zu Favoriten hinzufuegen	Nur kompatible Ladestationen anzeigen	
Mann-Whitney-U-Test	5784.000	5819.000	5796.000	6231.000	4760.000	5377.000	4535.000	6027.000	
Wilcoxon-W	50634.000	6722.000	50646.000	51081.000	49610.000	50227.000	49385.000	50877.000	
Z	-1.004	-.825	-.844	-.083	-2.624	-1.564	-3.050	-.468	
Asymp. Sig. (2-seitig)	.315	.410	.399	.934	.009	.118	.002	.640	

a. Gruppenvariable: Geschlecht

Abb. 57: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern und Frauen für die unterstützenden Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation, Teststatistik.

	Ränge		
	Alterskategorie	N	Mittlerer Rang
Filtermöglichkeit fuer Eigenschaften der Ladestation	1	31	193.63
	2	121	180.82
	3	173	166.82
	4	23	173.24
	Gesamt	348	
Minimale Ladeleistung der angezeigten Ladestationen festlegen	1	31	185.55
	2	121	189.01
	3	173	162.67
	4	23	172.24
	Gesamt	348	
Maximale Entfernung der angezeigten Ladestationen zum eigenen Standort festlegen	1	31	169.39
	2	121	178.39
	3	173	174.89
	4	23	158.00
	Gesamt	348	
Maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen	1	31	131.97
	2	121	169.38
	3	173	184.16
	4	23	186.09
	Gesamt	348	
Navigationsfunktion	1	31	158.47
	2	121	163.64
	3	173	175.93
	4	23	242.48
	Gesamt	348	
Reise planen (mit Zwischenstopps)	1	31	172.32
	2	121	158.61
	3	173	183.44
	4	23	193.76
	Gesamt	348	
Einzelne Stationen markieren/zu Favoriten hinzufuegen	1	31	178.50
	2	121	161.79
	3	173	184.96
	4	23	157.33
	Gesamt	348	
Nur kompatible Ladestationen anzeigen	1	31	172.87
	2	121	171.86
	3	173	175.15
	4	23	185.72
	Gesamt	348	

Abb. 58: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die unterstützenden Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation.

Teststatistiken ^{a,b}								
	Filtermöglichkeit fuer Eigenschaften der Ladestation	Minimale Ladeleistung der angezeigten Ladestationen festlegen	Maximale Entfernung der angezeigten Ladestationen zum eigenen Standort festlegen	Maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen	Navigationsfunktion	Reise planen (mit Zwischenstopps)	Einzelne Stationen markieren/zu Favoriten hinzufuegen	Nur kompatible Ladestationen anzeigen
Kruskal-Wallis-H	3.830	6.111	.961	8.234	13.586	5.640	4.950	.475
df	3	3	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.280	.106	.811	.041	.004	.131	.176	.924

a. Kruskal-Wallis-Test
b. Gruppenvariable: Bitte geben Sie Ihr Alter an

Abb. 59: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die unterstützenden Funktionen in einer mobilen Kartenapplikation, Teststatistik.

Paarweise Vergleiche von Alterskategorie					
Sample 1-Sample 2	Teststatistik	Std.-Fehler	Standardteststatistik	Sig.	Anp. Sig. ^a
1-2	-5.169	19.607	-.264	.792	1.000
1-3	-17.466	18.997	-.919	.358	1.000
1-4	-84.011	26.805	-3.134	.002	.010
2-3	-12.297	11.543	-1.065	.287	1.000
2-4	-78.842	22.156	-3.559	<.001	.002
3-4	-66.545	21.618	-3.078	.002	.012

Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.
Asymptotische Signifikanz (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist .050.
a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Abb. 60: Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) für die Bewertung der Funktion "Navigationssystem".

Paarweise Vergleiche von Alterskategorie					
Sample 1-Sample 2	Teststatistik	Std.-Fehler	Standardteststatistik	Sig.	Anp. Sig. ^a
1-2	-37.408	19.656	-1.903	.057	.342
1-3	-52.197	19.044	-2.741	.006	.037
1-4	-54.119	26.872	-2.014	.044	.264
2-3	-14.789	11.572	-1.278	.201	1.000
2-4	-16.711	22.211	-.752	.452	1.000
3-4	-1.922	21.671	-.089	.929	1.000

Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.
Asymptotische Signifikanz (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist .050.
a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Abb. 61: Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) für die Bewertung der Funktion "Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen".

		Alter	
Spearman-Rho	Alter	Korrelationskoeffizient	1.000
		Sig. (2-seitig)	.
		N	348
	Filtermöglichkeit fuer Eigenschaften der Ladestation	Korrelationskoeffizient	-.060
		Sig. (2-seitig)	.266
		N	348
	Minimale Ladeleistung der angezeigten Ladestationen festlegen	Korrelationskoeffizient	-.129*
		Sig. (2-seitig)	.016
		N	348
	Maximale Entfernung der angezeigten Ladestationen zum eigenen Standort festlegen	Korrelationskoeffizient	-.005
		Sig. (2-seitig)	.922
		N	348
	Maximale Anzahl angezeigter Ladestationen festlegen	Korrelationskoeffizient	.188**
		Sig. (2-seitig)	<.001
		N	348
	Navigationsfunktion	Korrelationskoeffizient	.172**
		Sig. (2-seitig)	.001
		N	348
	Reise planen (mit Zwischenstopps)	Korrelationskoeffizient	.120*
		Sig. (2-seitig)	.026
		N	348
	Einzelne Stationen markieren/zu Favoriten hinzufügen	Korrelationskoeffizient	.074
		Sig. (2-seitig)	.166
		N	348
	Nur kompatible Ladestationen anzeigen	Korrelationskoeffizient	.043
		Sig. (2-seitig)	.425
		N	348

*. Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).
**. Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Abb. 62: Rangkorrelationsanalyse nach Spearman für das Alter und die Bewertung der Funktionen.

10.3.4 Frageblock 4: Ranglisten

10.3.4.1 Laden in der Stadt

Mann-Whitney-Test				
	Ränge			
	Land	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)	0	309	175.90	54352.00
	1	39	163.44	6374.00
	Gesamt	348		
Das Laden an der Ladestation sollte moeglichst guenstig sein	0	309	171.55	53009.00
	1	39	197.87	7717.00
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	0	309	171.92	53124.50
	1	39	194.91	7601.50
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte eine moeglichst hohe Ladeleistung haben	0	309	177.52	54852.50
	1	39	150.60	5873.50
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte moeglichst nahe sein (Distanz)	0	309	177.91	54975.00
	1	39	147.46	5751.00
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte keine Startgebuehr verlangen	0	309	172.22	53217.00
	1	39	192.54	7509.00
	Gesamt	348		
Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte moeglichst kurz sein	0	309	177.13	54734.00
	1	39	153.64	5992.00
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehoeren	0	309	172.11	53180.50
	1	39	193.47	7545.50
	Gesamt	348		
Es sollte Beschaeftigungsmoelichkeiten in der Naehede der Ladestation geben	0	309	174.94	54056.00
	1	39	171.03	6670.00
	Gesamt	348		

Abb. 63: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt.

Teststatistiken ^a									
	Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)	Das Laden an der Ladestation sollte moeglichst guenstig sein	Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	Die Ladestation sollte eine moeglichst hohe Ladeleistung haben	Die Ladestation sollte moeglichst nahe sein (Distanz)	Die Ladestation sollte keine Startgebuehr verlangen	Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte moeglichst kurz sein	Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehoeren	Es sollte Beschaeftigungsmoelichkeiten in der Naehede der Ladestation geben
Mann-Whitney-U-Test	5594.000	5114.000	5229.500	5093.500	4971.000	5322.000	5212.000	5285.500	5890.000
Wilcoxon-W	6374.000	53009.000	53124.500	5873.500	5751.000	53217.000	5992.000	53180.500	6670.000
Z	-.781	-1.554	-1.355	-1.585	-1.795	-1.197	-1.389	-1.264	-.232
Asymp. Sig. (2-seitig)	.435	.120	.175	.113	.073	.231	.165	.206	.816

a. Gruppenvariable: Land

Abb. 64: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz und den anderen Ländern für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt, Teststatistik.

Mann-Whitney-Test				
	Ränge			
	Geschlecht	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Die Ladestation sollte verfügbare sein (nicht besetzt)	1	299	173.75	51950.00
	2	42	151.45	6361.00
	Gesamt	341		
Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein	1	299	172.60	51608.50
	2	42	159.58	6702.50
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	1	299	167.13	49971.00
	2	42	198.57	8340.00
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben	1	299	170.04	50841.00
	2	42	177.86	7470.00
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)	1	299	169.52	50686.50
	2	42	181.54	7624.50
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen	1	299	175.44	52455.50
	2	42	139.42	5855.50
	Gesamt	341		
Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte möglichst kurz sein	1	299	168.93	50509.00
	2	42	185.76	7802.00
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehören	1	299	170.94	51111.00
	2	42	171.43	7200.00
	Gesamt	341		
Es sollte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation geben	1	299	173.44	51859.00
	2	42	153.62	6452.00
	Gesamt	341		

Abb. 65: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt.

Teststatistiken ^a									
	Die Ladestation sollte verfügbare sein (nicht besetzt)	Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein	Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben	Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)	Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen	Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte möglichst kurz sein	Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehören	Es sollte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation geben
Mann-Whitney-U-Test	5458.000	5799.500	5121.000	5991.000	5836.500	4952.500	5659.000	6261.000	5549.000
Wilcoxon-W	6361.000	6702.500	49971.000	50841.000	50686.500	5855.500	50509.000	51111.000	6452.000
Z	-1.471	-.809	-1.952	-.485	-.746	-2.233	-1.048	-.030	-1.239
Asymp. Sig. (2-seitig)	.141	.418	.051	.628	.456	.026	.295	.976	.215

a. Gruppenvariable: Geschlecht

Abb. 66: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt, Teststatistik.

	Ränge		
	Alterskategorie	N	Mittlerer Rang
Verfuegbarkeit_Stadt	1	31	192.73
	2	121	158.93
	3	173	181.80
	4	23	176.93
	Gesamt	348	
Ladeleistung_Stadt	1	31	194.82
	2	121	180.17
	3	173	164.86
	4	23	189.80
	Gesamt	348	
Beschaeftigungsmoeglichkeiten_Stadt	1	31	156.98
	2	121	168.57
	3	173	180.81
	4	23	181.85
	Gesamt	348	
Distanz_Stadt	1	31	193.71
	2	121	170.39
	3	173	173.83
	4	23	175.28
	Gesamt	348	
Steckertyp_Stadt	1	31	143.94
	2	121	179.50
	3	173	175.08
	4	23	185.02
	Gesamt	348	
Fahrdauer_Stadt	1	31	157.23
	2	121	185.69
	3	173	172.07
	4	23	157.20
	Gesamt	348	
Startgebuehr_Stadt	1	31	184.82
	2	121	176.13
	3	173	171.82
	4	23	172.22
	Gesamt	348	
Kosten_Stadt	1	31	179.05
	2	121	174.62
	3	173	173.24
	4	23	177.22
	Gesamt	348	
Ladenezwerk_Stadt	1	31	175.44
	2	121	174.58
	3	173	177.81
	4	23	147.89
	Gesamt	348	

Abb. 67: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt.

Teststatistiken ^{a,b}									
	Verfuegbarkeit_Stadt	Ladeleistung_Stadt	Beschaeftigungsmoeglichkeiten_Stadt	Distanz_Stadt	Steckertyp_Stadt	Fahrdauer_Stadt	Startgebuehr_Stadt	Kosten_Stadt	Ladenezwerk_Stadt
Kruskal-Wallis-H	5.562	3.820	2.228	1.363	3.474	3.261	.500	.110	1.840
df	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.135	.282	.526	.714	.324	.353	.919	.991	.606

a. Kruskal-Wallis-Test
b. Gruppenvariable: Alterskategorie

Abb. 68: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt, Teststatistik.

		Alter	
Spearman-Rho	Alter	Korrelationskoeffizient	1.000
		Sig. (2-seitig)	.
Verfuegbarkeit_Stadt		N	348
		Korrelationskoeffizient	.050
		Sig. (2-seitig)	.354
Ladeleistung_Stadt		N	348
		Korrelationskoeffizient	-.045
		Sig. (2-seitig)	.404
Beschaeftigungsmoeglichkeiten_Stadt		N	348
		Korrelationskoeffizient	.060
		Sig. (2-seitig)	.260
Distanz_Stadt		N	348
		Korrelationskoeffizient	-.028
		Sig. (2-seitig)	.596
Steckertyp_Stadt		N	348
		Korrelationskoeffizient	.012
		Sig. (2-seitig)	.817
Fahrdauer_Stadt		N	348
		Korrelationskoeffizient	-.051
		Sig. (2-seitig)	.347
Startgebuehr_Stadt		N	348
		Korrelationskoeffizient	.014
		Sig. (2-seitig)	.798
Kosten_Stadt		N	348
		Korrelationskoeffizient	.018
		Sig. (2-seitig)	.741
Ladennetzwerk_Stadt		N	348
		Korrelationskoeffizient	-.020
		Sig. (2-seitig)	.704
		N	348
*. Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).			
**. Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).			

Abb. 69: Rangkorrelationsanalyse nach Spearman für das Alter und die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt.

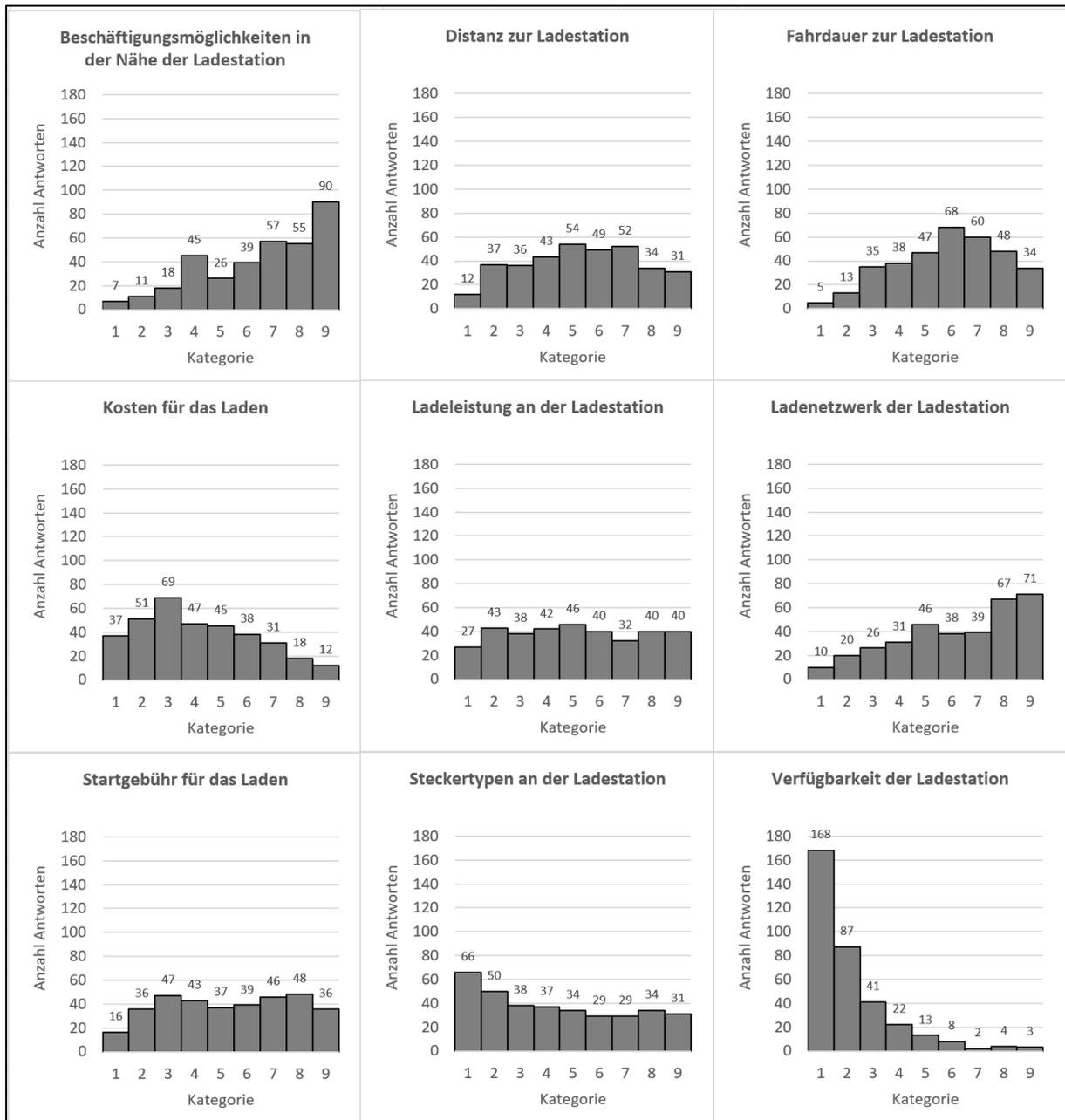


Abb. 70: Verteilung der Bewertungen für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden in der Stadt.

10.3.4.2 Laden auf dem Land

Mann-Whitney-Test				
	Range			
	Land	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)	0	309	176.18	54439.00
	1	39	161.21	6287.00
	Gesamt	348		
Das Laden an der Ladestation sollte moeglichst guenstig sein	0	309	173.14	53499.00
	1	39	185.31	7227.00
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	0	309	173.54	53623.00
	1	39	182.13	7103.00
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte eine moeglichst hohe Ladeleistung haben	0	309	178.69	55216.00
	1	39	141.28	5510.00
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte moeichst nahe sein (Distanz)	0	309	171.97	53139.50
	1	39	194.53	7586.50
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte keine Startgebuehr verlangen	0	309	171.94	53129.50
	1	39	194.78	7596.50
	Gesamt	348		
Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte moeichst kurz sein	0	309	176.02	54391.00
	1	39	162.44	6335.00
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehoeren	0	309	173.89	53730.50
	1	39	179.37	6995.50
	Gesamt	348		
Es sollte Beschaeftigungsmoeglichkeiten in der Naehe der Ladestation geben (z.B. Einkaufsmoeglichkeiten)	0	309	175.11	54109.50
	1	39	169.65	6616.50
	Gesamt	348		

Abb. 71: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land.

Teststatistiken ^a									
	Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)	Das Laden an der Ladestation sollte moeglichst guenstig sein	Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	Die Ladestation sollte eine moeglichst hohe Ladeleistung haben	Die Ladestation sollte moeichst nahe sein (Distanz)	Die Ladestation sollte keine Startgebuehr verlangen	Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte moeichst kurz sein	Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehoeren	Es sollte Beschaeftigungsmoeglichkeiten in der Naehe der Ladestation geben (z.B. Einkaufsmoeglichkeiten)
Mann-Whitney-U-Test	5507.000	5604.000	5728.000	4730.000	5244.500	5234.500	5555.000	5835.500	5836.500
Wilcoxon-W	6287.000	53499.000	53623.000	5510.000	53139.500	53129.500	6335.000	53730.500	6616.500
Z	-.924	-.718	-.507	-2.207	-1.329	-1.347	-.802	-.325	-.324
Asymp. Sig. (2-seitig)	.355	.473	.612	.027	.184	.178	.423	.745	.746

a. Gruppenvariable: Land

Abb. 72: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz und den anderen Ländern für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land, Teststatistik.

Mann-Whitney-Test				
	Ränge			
	Geschlecht	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)	1	299	172.31	51521.50
	2	42	161.65	6789.50
	Gesamt	341		
Das Laden an der Ladestation sollte moeglichst guenstig sein	1	299	167.89	50200.00
	2	42	193.12	8111.00
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	1	299	166.84	49886.50
	2	42	200.58	8424.50
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte eine moeglichst hohe Ladeleistung haben	1	299	166.71	49845.50
	2	42	201.56	8465.50
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte moelichst nahe sein (Distanz)	1	299	173.06	51743.50
	2	42	156.37	6567.50
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte keine Startgebuehr verlangen	1	299	176.89	52889.50
	2	42	129.08	5421.50
	Gesamt	341		
Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte moelichst kurz sein	1	299	168.33	50330.00
	2	42	190.02	7981.00
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehoeren	1	299	174.02	52033.00
	2	42	149.48	6278.00
	Gesamt	341		
Es sollte Beschaeftigungsmoeglichkeiten in der Naehe der Ladestation geben (z.B. Einkaufsmoeglichkeiten)	1	299	172.85	51681.50
	2	42	157.85	6629.50
	Gesamt	341		

Abb. 73: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land.

Teststatistiken ^a									
	Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)	Das Laden an der Ladestation sollte moeglichst guenstig sein	Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	Die Ladestation sollte eine moeglichst hohe Ladeleistung haben	Die Ladestation sollte moelichst nahe sein (Distanz)	Die Ladestation sollte keine Startgebuehr verlangen	Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte moelichst kurz sein	Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehoeren	Es sollte Beschaeftigungsmoeglichkeiten in der Naehe der Ladestation geben (z.B. Einkaufsmoeglichkeiten)
Mann-Whitney-U-Test	5886.500	5350.000	5036.500	4995.500	5664.500	4518.500	5480.000	5375.000	5726.500
Wilcoxon-W	6789.500	50200.000	49886.500	49845.500	6567.500	5421.500	50330.000	6278.000	6629.500
Z	-.692	-1.566	-2.094	-2.163	-1.034	-2.966	-1.348	-1.529	-.937
Asymp. Sig. (2-seitig)	.489	.117	.036	.031	.301	.003	.178	.126	.349

a. Gruppenvariable: Geschlecht

Abb. 74: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land, Teststatistik.

	Ränge		
	Alterskategorie	N	Mittlerer Rang
Verfuegbarkeit_Land	1	31	170.06
	2	121	168.43
	3	173	178.80
	4	23	180.07
	Gesamt	348	
Ladeleistung_Land	1	31	175.92
	2	121	166.97
	3	173	172.27
	4	23	229.02
	Gesamt	348	
Distanz_Land	1	31	177.45
	2	121	185.15
	3	173	170.22
	4	23	146.70
	Gesamt	348	
Fahrdauer_Land	1	31	139.03
	2	121	187.81
	3	173	173.70
	4	23	158.35
	Gesamt	348	
Steckertyp_Land	1	31	172.08
	2	121	175.88
	3	173	173.26
	4	23	179.85
	Gesamt	348	
Beschaeftigungsmoeglichkeiten_Land	1	31	164.35
	2	121	178.89
	3	173	177.38
	4	23	143.37
	Gesamt	348	
Ladenetzwerk_Land	1	31	183.10
	2	121	173.60
	3	173	174.11
	4	23	170.59
	Gesamt	348	
Startgebuehr	1	31	196.23
	2	121	169.35
	3	173	173.55
	4	23	179.50
	Gesamt	348	
Kosten_Land	1	31	190.61
	2	121	165.71
	3	173	177.77
	4	23	174.48
	Gesamt	348	

Abb. 75: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land.

Teststatistiken ^{a,b}									
	Verfuegbarkeit_Land	Ladeleistung_Land	Distanz_Land	Fahrdauer_Land	Steckertyp_Land	Beschaeftigungsmoeglichkeiten_Land	Ladenetzwerk_Land	Startgebuehr	Kosten_Land
Kruskal-Wallis-H	.987	7.653	3.501	6.692	.134	2.975	.280	1.864	1.934
df	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.804	.054	.321	.082	.987	.395	.964	.601	.586

a. Kruskal-Wallis-Test
b. Gruppenvariable: Alterskategorie

Abb. 76: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land, Teststatistik.

		Alter	
Spearman-Rho	Alter	Korrelationskoeffizient	1.000
		Sig. (2-seitig)	.
Verfuegbarkeit_Land		N	348
		Korrelationskoeffizient	.053
		Sig. (2-seitig)	.323
Ladeleistung_Land		N	348
		Korrelationskoeffizient	.106*
		Sig. (2-seitig)	.047
Distanz_Land		N	348
		Korrelationskoeffizient	-.099
		Sig. (2-seitig)	.064
Fahrdauer_Land		N	348
		Korrelationskoeffizient	-.059
		Sig. (2-seitig)	.273
Steckertyp_Land		N	348
		Korrelationskoeffizient	-.003
		Sig. (2-seitig)	.950
Beschaeftigungsmoeglichkeiten_Land		N	348
		Korrelationskoeffizient	-.008
		Sig. (2-seitig)	.876
Ladenetzwerk_Land		N	348
		Korrelationskoeffizient	-.024
		Sig. (2-seitig)	.661
Startgebuehr		N	348
		Korrelationskoeffizient	.009
		Sig. (2-seitig)	.863
Kosten_Land		N	348
		Korrelationskoeffizient	.044
		Sig. (2-seitig)	.417
		N	348
* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).			
** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).			

Abb. 77: Rangkorrelationsanalyse nach Spearman für das Alter und die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land.

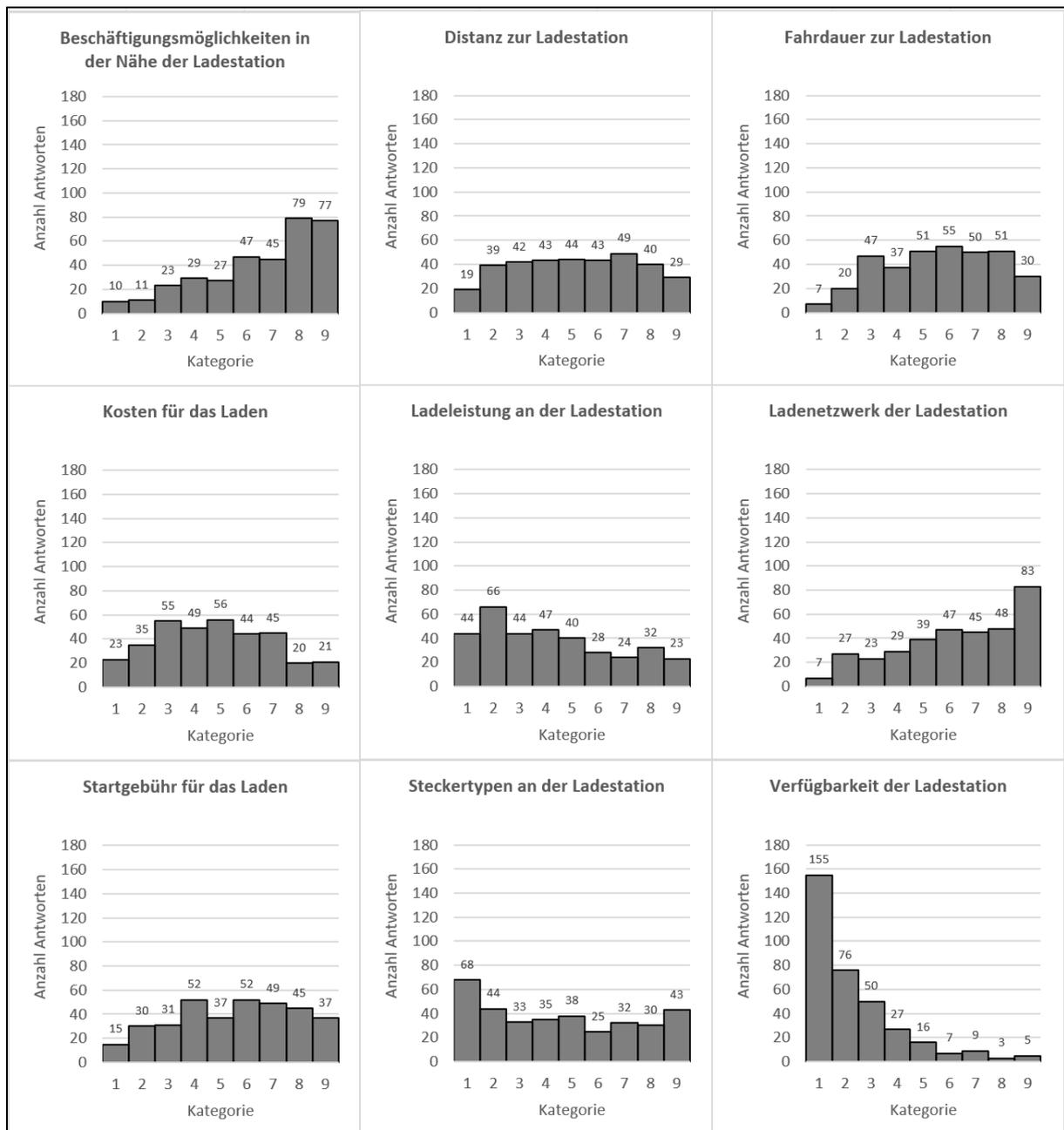


Abb. 78: Verteilung der Bewertungen für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf dem Land.

10.3.4.3 Laden auf der Autobahn

Mann-Whitney-Test				
	Ränge			
	Land	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Die Ladestation sollte verfügbare sein (nicht besetzt)	0	309	173.45	53595.50
	1	39	182.83	7130.50
	Gesamt	348		
Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein	0	309	172.36	53259.50
	1	39	191.45	7466.50
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	0	309	172.31	53244.00
	1	39	191.85	7482.00
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben	0	309	176.72	54605.00
	1	39	156.95	6121.00
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)	0	309	177.58	54872.00
	1	39	150.10	5854.00
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen	0	309	173.38	53574.50
	1	39	183.37	7151.50
	Gesamt	348		
Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte möglichst kurz sein	0	309	174.34	53872.00
	1	39	175.74	6854.00
	Gesamt	348		
Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehören	0	309	174.49	53916.00
	1	39	174.62	6810.00
	Gesamt	348		
Es sollte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation geben (z.B. Einkaufsmöglichkeiten)	0	309	176.22	54452.50
	1	39	160.86	6273.50
	Gesamt	348		

Abb. 79: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz (1) und den anderen Ländern (0) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn.

Teststatistiken ^a									
	Die Ladestation sollte verfügbare sein (nicht besetzt)	Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein	Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben	Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)	Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen	Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte möglichst kurz sein	Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehören	Es sollte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation geben (z.B. Einkaufsmöglichkeiten)
Mann-Whitney-U-Test	5700.500	5364.500	5349.000	5341.000	5074.000	5679.500	5977.000	6021.000	5493.500
Wilcoxon-W	53595.500	53259.500	53244.000	6121.000	5854.000	53574.500	53872.000	53916.000	6273.500
Z	-.579	-1.127	-1.151	-1.190	-1.624	-.590	-.083	-.008	-.916
Asymp. Sig. (2-seitig)	.563	.260	.250	.234	.104	.556	.934	.994	.360

a. Gruppenvariable: Land

Abb. 80: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Teilnehmenden aus der Schweiz und den anderen Ländern für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn, Teststatistik.

Mann-Whitney-Test				
	Ränge			
	Geschlecht	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)	1	299	172.42	51553.00
	2	42	160.90	6758.00
	Gesamt	341		
Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein	1	299	170.11	50864.00
	2	42	177.31	7447.00
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	1	299	166.18	49687.50
	2	42	205.32	8623.50
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben	1	299	168.36	50340.50
	2	42	189.77	7970.50
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)	1	299	173.16	51775.00
	2	42	155.62	6536.00
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen	1	299	178.12	53258.00
	2	42	120.31	5053.00
	Gesamt	341		
Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte möglichst kurz sein	1	299	170.71	51043.00
	2	42	173.05	7268.00
	Gesamt	341		
Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehören	1	299	170.52	50985.50
	2	42	174.42	7325.50
	Gesamt	341		
Es sollte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation geben (z.B. Einkaufsmöglichkeiten)	1	299	171.16	51177.00
	2	42	169.86	7134.00
	Gesamt	341		

Abb. 81: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn.

Teststatistiken ^a									
	Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)	Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein	Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben	Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben	Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)	Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen	Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte möglichst kurz sein	Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehören	Es sollte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation geben (z.B. Einkaufsmöglichkeiten)
Mann-Whitney-U-Test	5855.000	6014.000	4837.500	5490.500	5633.000	4150.000	6193.000	6135.500	6231.000
Wilcoxon-W	6758.000	50864.000	49687.500	50340.500	6536.000	5053.000	51043.000	50985.500	7134.000
Z	-.747	-.447	-2.427	-1.356	-1.091	-3.590	-.145	-.242	-.082
Asymp. Sig. (2-seitig)	.455	.655	.015	.175	.275	<.001	.885	.809	.935

a. Gruppenvariable: Geschlecht

Abb. 82: Mann-Whitney-U-Test für Unterschiede zwischen Männern (1) und Frauen (2) für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn, Teststatistik.

	Ränge		
	Alterskategorie	N	Mittlerer Rang
Verfuegbarkeit_Autobahn	1	31	184.69
	2	121	170.64
	3	173	173.58
	4	23	188.00
	Gesamt	348	
Ladeleistung_Autobahn	1	31	172.31
	2	121	178.95
	3	173	168.49
	4	23	199.26
	Gesamt	348	
Ladenetzwerk_Autobahn	1	31	177.39
	2	121	166.88
	3	173	185.11
	4	23	130.89
	Gesamt	348	
Distanz_Autobahn	1	31	200.00
	2	121	171.86
	3	173	168.00
	4	23	202.87
	Gesamt	348	
Fahrdauern_Autobahn	1	31	149.10
	2	121	181.54
	3	173	173.92
	4	23	176.04
	Gesamt	348	
Kosten_Autobahn	1	31	183.26
	2	121	173.55
	3	173	174.24
	4	23	169.65
	Gesamt	348	
Steckertyp_Autobahn	1	31	169.35
	2	121	175.98
	3	173	174.19
	4	23	176.00
	Gesamt	348	
Beschaeftigungsmoeglichkeiten_Autobahn	1	31	167.02
	2	121	171.13
	3	173	180.66
	4	23	155.93
	Gesamt	348	
Startgebuehr_Autobahn	1	31	172.55
	2	121	179.60
	3	173	170.44
	4	23	180.83
	Gesamt	348	

Abb. 83: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn.

Teststatistiken ^{a,b}									
	Verfuegbarkeit_Autobahn	Ladeleistung_Autobahn	Ladenetzwerk_Autobahn	Distanz_Autobahn	Fahrdauern_Autobahn	Kosten_Autobahn	Steckertyp_Autobahn	Beschaeftigungsmoeglichkeiten_Autobahn	Startgebuehr_Autobahn
Kruskal-Wallis-H	1.028	2.395	7.105	4.725	2.632	.306	.116	1.806	.708
df	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.795	.495	.069	.193	.452	.959	.990	.614	.871

a. Kruskal-Wallis-Test
b. Gruppenvariable: Alterskategorie

Abb. 84: Kruskal-Wallis-Test für Unterschiede zwischen den Alterskategorien für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn, Teststatistik.

Spearman-Rho	Alter	Korrelationskoeffizient	Alter
		Korrelationskoeffizient	1.000
		Sig. (2-seitig)	.
		N	348
	Verfuegbarkeit_Autobahn	Korrelationskoeffizient	.018
		Sig. (2-seitig)	.741
		N	348
	Ladeleistung_Autobahn	Korrelationskoeffizient	.009
		Sig. (2-seitig)	.867
		N	348
	Ladenetzwerk_Autobahn	Korrelationskoeffizient	.014
		Sig. (2-seitig)	.799
		N	348
	Distanz_Autobahn	Korrelationskoeffizient	-.063
		Sig. (2-seitig)	.244
		N	348
	Fahrdauern_Autobahn	Korrelationskoeffizient	-.015
		Sig. (2-seitig)	.784
		N	348
	Kosten_Autobahn	Korrelationskoeffizient	-.013
		Sig. (2-seitig)	.812
		N	348
	Steckertyp_Autobahn	Korrelationskoeffizient	-.011
		Sig. (2-seitig)	.843
		N	348
	Beschaefigungsmoeglichkeiten_Autobahn	Korrelationskoeffizient	.069
		Sig. (2-seitig)	.202
		N	348
	Startgebuehr_Autobahn	Korrelationskoeffizient	-.003
		Sig. (2-seitig)	.958
		N	348

** . Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

* . Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

Abb. 85: Rangkorrelationsanalyse nach Spearman für das Alter und die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn.

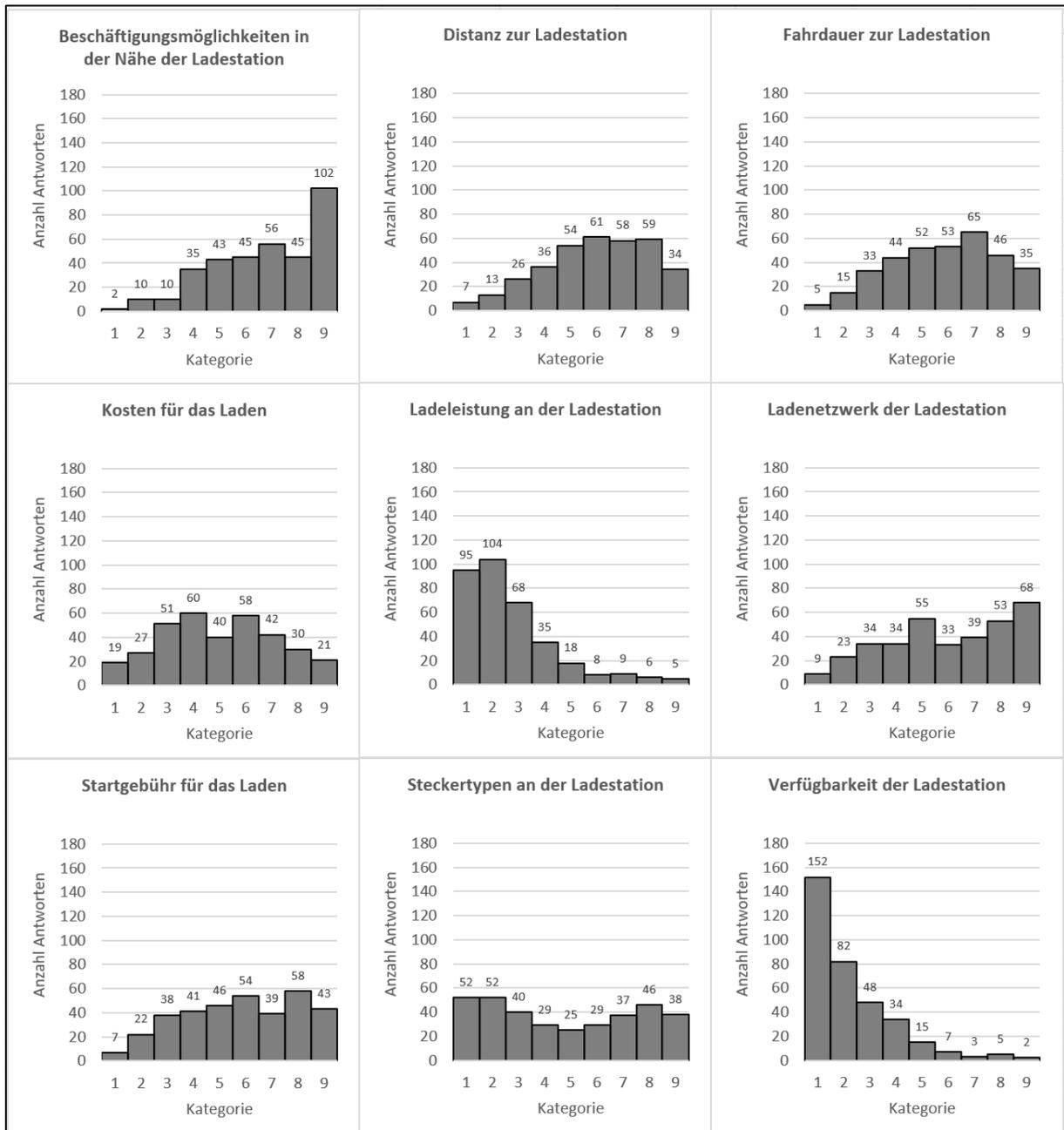


Abb. 86: Verteilung der Bewertungen für die Wichtigkeit der Kriterien beim Laden auf der Autobahn.

10.3.4.4 Unterschiede Stadt-Land-Autobahn

Friedman-Test		Deskriptive Statistiken								
Ränge		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum	25.	50. (Median)	75.	
	Mittlerer Rang									
Vefügbarkeit_Stadt	1.94	348	2.12	1.590	1	9	1.00	2.00	3.00	
Vefügbarkeit_Land	2.04	348	2.35	1.783	1	9	1.00	2.00	3.00	
Vefügbarkeit_Autobahn	2.03	348	2.28	1.619	1	9	1.00	2.00	3.00	

Teststatistiken ^a	
N	348
Chi-Quadrat	3.353
df	2
Asymp. Sig.	.187

a. Friedman-Test

Abb. 87: Friedman-Test für das Kriterium "Die Ladestation sollte verfügbar sein (nicht besetzt)".

Friedman-Test		Deskriptive Statistiken								
Ränge		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum	25.	50. (Median)	75.	
	Mittlerer Rang									
Günstig_Stadt	1.79	348	4.18	2.186	1	9	2.00	4.00	6.00	
Günstig_Land	2.08	348	4.78	2.197	1	9	3.00	5.00	6.00	
Günstig_Autobahn	2.13	348	4.99	2.176	1	9	3.00	5.00	7.00	

Paarweise Vergleiche					
Sample 1-Sample 2	Teststatistik	Std.-Fehler	Standardtestst atistik	Sig.	Anp. Sig. ^a
Günstig_Stadt-Günstig_Land	-.297	.076	-3.923	<.001	.000
Günstig_Stadt-Günstig_Autobahn	-.345	.076	-4.549	<.001	.000
Günstig_Land-Günstig_Autobahn	-.047	.076	-.625	.532	1.000

Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.
Asymptotische Signifikanz (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist .050.
a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

a. Friedman-Test

Abb. 88: Friedman-Test und post-hoc Dunn-Bonferroni-Tests für das Kriterium "Das Laden an der Ladestation sollte möglichst günstig sein".

Friedman-Test		Deskriptive Statistiken								
Ränge		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum	25.	50. (Median)	75.	
	Mittlerer Rang									
Steckertyp_Stadt	1.94	348	4.39	2.690	1	9	2.00	4.00	7.00	
Steckertyp_Land	2.02	348	4.56	2.786	1	9	2.00	4.00	7.00	
Steckertyp_Autobahn	2.05	348	4.77	2.774	1	9	2.00	5.00	7.00	

Teststatistiken ^a	
N	348
Chi-Quadrat	2.806
df	2
Asymp. Sig.	.246

a. Friedman-Test

Abb. 89: Friedman-Test für das Kriterium "Die Ladestation sollte einen bestimmten Steckertyp haben".

		Deskriptive Statistiken							
		N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	25.	Perzentile 50. (Median)	75.
Friedman-Test	Ladeleistung_Stadt	348	5.08	2.506	1	9	3.00	5.00	7.00
	Ladeleistung_Land	348	4.30	2.477	1	9	2.00	4.00	6.00
	Ladeleistung_Autobahn	348	2.70	1.786	1	9	1.00	2.00	3.00

Ränge		Mittlerer Rang
Ladeleistung_Stadt		2.38
Ladeleistung_Land		2.08
Ladeleistung_Autobahn		1.54

Teststatistiken ^a	
N	348
Chi-Quadrat	152.538
df	2
Asymp. Sig.	<.001

a. Friedman-Test

Paarweise Vergleiche					
Sample 1-Sample 2	Teststatistik	Std.-Fehler	Standardtestst atistik	Sig.	Anp. Sig. ^a
Ladeleistung_Autobahn- Ladeleistung_Land	.547	.076	7.221	<.001	.000
Ladeleistung_Autobahn- Ladeleistung_Stadt	.841	.076	11.087	.000	.000
Ladeleistung_Land- Ladeleistung_Stadt	.293	.076	3.866	<.001	.000

Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.
Asymptotische Signifikanz (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist .050.
a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Abb. 90: Friedman-Test und post-hoc Dunn-Bonferroni-Tests für das Kriterium "Die Ladestation sollte eine möglichst hohe Ladeleistung haben".

		Deskriptive Statistiken							
		N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	25.	Perzentile 50. (Median)	75.
Friedman-Test	Distanz_Stadt	348	5.30	2.239	1	9	4.00	5.00	7.00
	Distanz_Land	348	5.16	2.352	1	9	3.00	5.00	7.00
	Distanz_Autobahn	348	5.96	2.019	1	9	5.00	6.00	8.00

Ränge		Mittlerer Rang
Distanz_Stadt		1.95
Distanz_Land		1.89
Distanz_Autobahn		2.16

Teststatistiken ^a	
N	348
Chi-Quadrat	16.347
df	2
Asymp. Sig.	<.001

a. Friedman-Test

Paarweise Vergleiche					
Sample 1-Sample 2	Teststatistik	Std.-Fehler	Standardtestst atistik	Sig.	Anp. Sig. ^a
Distanz_Land- Distanz_Stadt	.057	.076	.758	.448	1.000
Distanz_Land- Distanz_Autobahn	-.270	.076	-3.563	<.001	.001
Distanz_Stadt- Distanz_Autobahn	-.213	.076	-2.805	.005	.015

Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.
Asymptotische Signifikanz (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist .050.
a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Abb. 91: Friedman-Test und post-hoc Dunn-Bonferroni-Tests für das Kriterium "Die Ladestation sollte möglichst nahe sein (Distanz)".

		Deskriptive Statistiken							
		N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	25.	Perzentile 50. (Median)	75.
Friedman-Test	Startgebühr_Stadt	348	5.32	2.405	1	9	3.00	5.00	7.00
	Startgebühr_Land	348	5.49	2.308	1	9	4.00	6.00	7.00
	Startgebühr_Autobahn	348	5.77	2.225	1	9	4.00	6.00	8.00

Ränge		Mittlerer Rang
Startgebühr_Stadt		1.89
Startgebühr_Land		2.01
Startgebühr_Autobahn		2.10

Teststatistiken ^a	
N	348
Chi-Quadrat	8.624
df	2
Asymp. Sig.	.013

a. Friedman-Test

Paarweise Vergleiche					
Sample 1-Sample 2	Teststatistik	Std.-Fehler	Standardtestst atistik	Sig.	Anp. Sig. ^a
Startgebühr_Stadt- Startgebühr_Land	-.114	.076	-1.497	.134	.403
Startgebühr_Stadt- Startgebühr_Autobahn	-.205	.076	-2.710	.007	.020
Startgebühr_Land- Startgebühr_Autobahn	-.092	.076	-1.213	.225	.675

Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.
Asymptotische Signifikanz (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist .050.
a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Abb. 92: Friedman-Test und post-hoc Dunn-Bonferroni-Tests für das Kriterium "Die Ladestation sollte keine Startgebühr verlangen".

Friedman-Test		Deskriptive Statistiken							
Ränge		N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
Mittlerer Rang	25.						50. (Median)	75.	
Fahrdauer_Stadt	2.03	348	5.86	2.008	1	9	4.00	6.00	7.00
Fahrdauer_Land	1.94	348	5.60	2.138	1	9	4.00	6.00	7.00
Fahrdauer_Autobahn	2.02	348	5.82	2.039	1	9	4.00	6.00	7.00

Teststatistiken ^a	
N	348
Chi-Quadrat	1.943
df	2
Asymp. Sig.	.378

a. Friedman-Test

Abb. 93: Friedman-Test für das Kriterium "Die Fahrdauer bis zur Ladestation sollte möglichst kurz sein".

Friedman-Test		Deskriptive Statistiken							
Ränge		N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
Mittlerer Rang	25.						50. (Median)	75.	
Ladenetzwerk_Stadt	1.99	348	6.20	2.344	1	9	4.25	7.00	8.00
Ladenetzwerk_Land	2.07	348	6.23	2.361	1	9	5.00	7.00	8.00
Ladenetzwerk_Autobahn	1.94	348	5.96	2.372	1	9	4.00	6.00	8.00

Teststatistiken ^a	
N	348
Chi-Quadrat	4.051
df	2
Asymp. Sig.	.132

a. Friedman-Test

Abb. 94: Friedman-Test für das Kriterium "Die Ladestation sollte zu einem bestimmten Ladenetzwerk gehören".

Friedman-Test		Deskriptive Statistiken							
Ränge		N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
Mittlerer Rang	25.						50. (Median)	75.	
Beschäftigungsmölichkeite n_Stadt	2.02	348	6.54	2.216	1	9	5.00	7.00	9.00
Beschäftigungsmölichkeite n_Land	1.98	348	6.53	2.233	1	9	5.00	7.00	8.00
Beschäftigungsmölichkeite n_Autobahn	2.00	348	6.74	2.040	1	9	5.00	7.00	9.00

Teststatistiken ^a	
N	348
Chi-Quadrat	.303
df	2
Asymp. Sig.	.859

a. Friedman-Test

Abb. 95: Friedman-Test für das Kriterium "Es sollte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Nähe der Ladestation geben".

Persönliche Erklärung:

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Zürich, 30. April 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'S. Marti', written over a horizontal line.

Sebastian Marti