



BEniVer

Akzeptanz und potenzielle Nutzung erneuerbarer Kraftstoffe bei deutschen Pkw-BesitzerInnen

Bericht - Auswertung der Befragung

Autor*innen:

Do Minh Nguyen, Moritz Bergfeld, Christine Eisenmann, Johannes Finger, John E. Anderson

Institut für Verkehrsforschung

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Rudower Chaussee 7

12489 Berlin

Datum: 06.09.2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Executive Summary	5
1. Einleitung	7
2. Methodik der Befragung	8
2.1. Allgemeine Befragung	8
2.2. Stated-Choice-Experiment	10
2.2.1. Vorgehen und Annahmen	11
2.2.2. Theoretischer Hintergrund	12
3. Ergebnisse	16
3.1. Allgemeine Befragung	16
3.1.1. Soziodemographische Verteilungen in der Stichprobe	16
3.1.2. Verteilungen der Eigenschaften zur Differenzierung der Stichprobe	17
3.1.3. Bereitschaft zur Fahrzeugumrüstung und Mehraufwand	19
3.1.4. Tankverhalten	21
3.1.5. Einstellung und Meinungsbild zu erneuerbaren Kraftstoffen	24
3.2. Auswertung der SP-Befragung	28
4. Fazit	31
5. Handlungsempfehlungen	32
6. Ausblick	32
Anhang	33
A. Ergebnisse nach der Differenzierung der Fragen	33
B. Beschreibung der Kraftstoffeigenschaften	47

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 3-1: Verteilung der soziodemographischen Eigenschaften der Stichprobe</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 3-2: Häufigkeitsverteilung der Fahrhäufigkeit in der Stichprobe</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 3-3: Verteilung des Umweltverhaltens und der Innovativität innerhalb der Stichprobe</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 3-4: Häufigkeitsverteilung der persönlichen Vorerfahrung mit alternativen Kraftstoffen</i>	<i>19</i>
<i>Abbildung 3-5: Häufigkeitsverteilung zur Bereitschaft in der Fahrzeugumrüstung</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 3-6: Häufigkeitsverteilung zur Zahlungsbereitschaft bei einer Umrüstung</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 3-7: Häufigkeitsverteilung zur Nutzung unterschiedlicher Tankstellen im Alltag</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 3-8: Häufigkeitsverteilung zum notwendigen Angebot an erneuerbaren Kraftstoffen</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 3-9: Häufigkeitsverteilung zu den Eigenschaften in der Wahlentscheidung des Tankens</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 3-10: Häufigkeitsverteilung zu wahrgenommenen Eigenschaften</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 3-11: Häufigkeitsverteilung zu Aussagen hinsichtlich von Rahmenbedingungen</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 3-12: Häufigkeitsverteilung zur Attraktivität von Fördermaßnahmen</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 3-13: Einfluss des Geschlechts, der Anzahl verfügbarer Fahrzeuge im Haushalt</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 3-14: Zahlungsbereitschaft für 100 km zusätzliche Reichweite.....</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 3-15: Relevanz der unterschiedlichen Kraftstoffeigenschaften.....</i>	<i>30</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 2-1: Verteilung der Referenzstichprobe MID 2017</i>	<i>10</i>
<i>Tabelle 2-2: Kraftstoffe und ihre Attribute mit den jeweils möglichen Ausprägungen</i>	<i>12</i>
<i>Tabelle 3-1: Ergebnisse des geschätzten Modells.....</i>	<i>28</i>

Executive Summary

Synthetische Kraftstoffe sind aufgrund ihres Potenzials in der Reduktion von Treibhausgasemissionen ein zentrales Thema in der Debatte der Verkehrswende. Große Vorteile dieser Kraftstoffe werden unter anderem in der möglichen Weiternutzung der bereits bestehenden Verbrennungsmotortechnologie und Infrastruktur (Tankstellen, Transport etc.) als auch in einer CO₂-neutralen Herstellbarkeit der Kraftstoffe gesehen, wenn erneuerbarer Strom sowie auch CO₂ aus der Atmosphäre dafür genutzt wird. Derzeit wird eine massentraugliche Markteinführung solcher Kraftstoffe erst in der Mitte der 2020er antizipiert.

Mögliche Fragestellungen zur Markteinführung als auch den Potenzialen in der Forschung und Entwicklung von erneuerbaren Kraftstoffen geht das Projekt BEniVer nach. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Verbundprojekt „Begleitforschung Energiewende im Verkehr“ (BEniVer) setzt sich mit der umfassenden Erforschung von erneuerbaren Kraftstoffen auseinander. Das übergeordnete Ziel liegt in der Vernetzung von 15 Forschungsvorhaben mit über 100 beteiligten Forschungsgruppen sowie der Kommunikation der Forschungsergebnisse. Diese bilden die Grundlage für die Entwicklung einer Roadmap mit Handlungsoptionen für die Forschung, Entwicklung, Produktion und Markteinführung von erneuerbaren Kraftstoffen, der dem Austausch mit Projektträgern, Ministerien und Stakeholdern aus Industrie, Wissenschaft sowie der Gesellschaft dient. In verschiedenen Arbeitsgruppen werden Untersuchungen zur Kraftherstellung und -nutzung, Szenarien- und Systemanalysen sowie der Akzeptanz durchgeführt.

Im Rahmen des Projektes untersucht das DLR Institut für Verkehrsforschung die Nutzung und Akzeptanz erneuerbarer Kraftstoffe für den bodengebundenen Personen- und Güterverkehr und leistet dabei einen Beitrag zur Marktpotenzialabschätzung dieser Kraftstoffe. Eine zentrale Arbeit hierzu besteht in einer Stated-Choice-Erhebung, mit der die Bewertung von Kraftstoffeigenschaften aus Sicht der NutzerInnen ermittelt als auch Treiber und Hemmnisse in der Etablierung erneuerbarer Kraftstoffe identifiziert werden können. Dies soll Aufschluss über das Tankverhalten, der Zahlungsbereitschaft als auch ein allgemeines Meinungsbild zu erneuerbaren Kraftstoffen geben.

Der vorliegende Bericht stellt die Methodik, Ergebnisse sowie Schlussfolgerungen mit Handlungsempfehlungen der durchgeführten Akzeptanzerhebung mit einem Stated-Choice-Experiment im Projekt BEniVer vor. Der dafür konzipierte Fragebogen setzt sich aus einem allgemeinen Frageteil sowie einem Stated-Choice-Experiment für die Entwicklung eines hypothetischen Entscheidungsmodells zusammen. In einem zweimonatigen Befragungszeitraum zwischen September bis Oktober 2020 wurden private deutsche Pkw-BesitzerInnen der DLR-Großanlage *MovingLab* als Probanden kontaktiert und zur Teilnahme an der Online-Befragung gebeten. Aus der Befragung resultierte ein Antwortdatensatz mit 545 Iterationen, der in weiteren Analysenschritten gewichtet und in bestimmten Kriterien differenziert wurde.

Aus den Ergebnissen ist eine allgemeine Zustimmung in der Fahrzeugumrüstung zur Nutzung erneuerbarer Kraftstoffe zu sehen, da 40% aller Befragten dies zustimmen. Für eine solche Umrüstung wären 34% aller Befragten bereit 500€ und mehr zu zahlen, wobei dies mit zunehmendem Umweltverhalten und Innovativität der Befragten tendenziell steigt. Zum Tankverhalten wurde festgestellt, dass im Alltag zwei bis drei unterschiedliche Tankstellen genutzt werden und ein Angebot an erneuerbaren Kraftstoffen an jeder zweiten Tankstelle gewünscht wird. Daher ist ein rascher Infrastrukturausbau für die hinreichende Versorgung der

Fahrzeuge in naher Zukunft angeraten. Das allgemeine Meinungsbild zur Nutzung und den Rahmenbedingungen der Etablierung erneuerbarer Kraftstoffe ist sehr gemischt. Auch konnte eine gewisse Unsicherheit in der Thematik durch Enthaltung festgestellt werden. Daher ist eine geeignete Strategie zur Aufklärung und der Wissensvermittlung zum Thema erneuerbare Kraftstoffe für die Gesellschaft angeraten. Dennoch wurden finanzielle Vergünstigungen, gerade bei den Kraftstoffkosten, als zentrale Treiber zur Steigerung der Attraktivität identifiziert, die auch bei der Tankentscheidung die wichtigste Rolle spielen. Die anderen betrachteten Kraftstoffeigenschaften wurden je nach je nach Geschlecht, Umweltverhalten und Anzahl des Fahrzeugs im Haushalt unterschiedlich bewertet.

1. Einleitung

Um die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor zu reduzieren und damit einen Beitrag zur Erreichung der Pariser Klimaziele zu leisten, ist eine Vielzahl an Änderungen des heutigen Verkehrssystems nötig. Wo Verkehrsvermeidung und -verlagerung keine Optionen sind, können die Treibhausgasemissionen durch verbesserte Antriebstechnologien reduziert werden. Während der Anteil von Fahrzeugen mit verbesserten Antriebstechnologien in der Flotte steigt, können synthetische Kraftstoffe alleine oder als Gemisch eingesetzt werden, um die Treibhausgasbilanz der Bestandsflotte zu verbessern. Im Vergleich zu Fahrzeugen mit einem reinen Elektro- oder Wasserstoffantrieb bieten synthetische Kraftstoffe den Vorteil einer höheren Energiedichte und damit einer größeren Reichweite, kürzeren Tankzeiten sowie der Nutzung von erprobter Motorenteknologie. Gleichzeitig gestaltet sich das Handling dieser Kraftstoffe einfach, da die bestehende Infrastruktur mit Pipelines, Transportwagen und Tankstellen theoretisch weitergenutzt werden kann. Der Preis dafür ist eine deutlich geringere Effizienz in der Kraftstoffherstellung im Vergleich zu den anderen Technologien sowie der Ausstoß von Luftschadstoffen während der Fahrzeugnutzung. Synthetische Kraftstoffe lassen sich aus Strom, Wasser und CO₂ herstellen, wofür große Mengen an Primärenergie benötigt werden. Wird erneuerbarer Strom genutzt und das CO₂ aus der Atmosphäre gewonnen, sind diese Kraftstoffe CO₂-neutral und „erneuerbar“. Da in Europa in Zukunft kaum genügend erneuerbarer Überschussstrom vorhanden sein wird, sind aussichtsreiche Produktionsstandorte dieser Kraftstoffe vor allem Länder mit einem hohen Potential für Solarenergie (z.B. Marokko) oder Windenergie (z.B. Argentinien).

Ambitionierte Szenarien der Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) sagen eine erste Erzeugungskapazität erneuerbarer Kraftstoffe erst ab dem Jahr 2024 voraus¹. Durch die geringe technische Reife ist das Thema der Akzeptanz in der Nutzung dieser Kraftstoffe im alltäglichen motorisierten Individualverkehr nicht bzw. erst in geringem Maße untersucht worden ist.

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Verbundprojekt „Begleitforschung Energiewende im Verkehr“ (BEniVer) setzt sich der Erforschung von strombasierten und damit erneuerbaren Kraftstoffen auseinander und vernetzt dabei 15 Forschungsvorhaben mit über 100 Forschungsgruppen in diesem Themenfeld – von der Kraftstoffherstellung und -nutzung bis hin zu Betrachtung der Ökobilanzen und der Akzeptanz. Im letzteren Bereich sind besonders die Abteilungen Personenverkehr und Wirtschaftsverkehr des Instituts für Verkehrsforschung des DLR beteiligt. Mit der hier dokumentierten Befragung sollen erste Ergebnisse einer Akzeptanzuntersuchung zur Nutzung erneuerbarer Kraftstoffe bei Pkw-BesitzerInnen vorgestellt werden, anhand derer sich Treiber und Hemmnisse für den Einsatz dieser Kraftstoffe identifizieren sowie auch Kraftstoffeigenschaften aus Nutzersicht bewerten lassen.

¹ Nationale Plattform Mobilität (NPM) (2021): AG2-Bericht, Roadmap - Markthochläufe alternativer Antriebe und Kraftstoffe aus technologischer Perspektive, https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/04/NPM_AG2_Technologie_Roadmap.pdf, S. 34 (letzter Zugriff: 01.09.2021)

2. Methodik der Befragung

Ziel dieser empirischen Untersuchung ist die Gewinnung eines umfassenden Bildes hinsichtlich der Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft von erneuerbaren Kraftstoffen im Alltag von deutschen Pkw-BesitzerInnen. Hierfür wurde ein quantitativer Ansatz bestehend aus einer allgemeinen Befragung sowie einer Stated-Choice-Befragung zur Erarbeitung von Entscheidungsmodellen gewählt. Dadurch bilden die Untersuchungsergebnisse eine fundierte Basis zur Formulierung von nutzerorientierten Handlungsempfehlungen für eine förderliche Etablierung von erneuerbaren Kraftstoffen. Die Erhebung wurde als Onlinebefragung über den Dienst *Survey Engine* durchgeführt. Vorteile einer Onlinebefragung liegen in der zeitlichen und örtlichen Unabhängigkeit, sodass eine hinreichend große Stichprobe an relativ kurzer Zeit erreicht werden kann. Als Stichprobe wurden private FahrzeugbesitzerInnen des *MovingLab*-Pools des *DLR* ausgewählt und kontaktiert. Dieser entstand aus der Rekrutierung des Probandenpools des Beratungsunternehmen *Schmiedl* und listet 3.500 Pkw-BesitzerInnen. Über eine Einladung per Mail wurde den Probanden ein Link mitgeteilt, der sie zur Befragung auf *Survey Engine* weiterleitete. Im zweimonatigen Erhebungszeitraum (September bis Oktober 2020) wurde mit 802 Antwortdurchläufen eine Rücklaufquote von ca. 23 % erzielt. Eine anschließende Bereinigung des Datensatzes von unvollständigen und fehlerhaften Iterationen erzeugte einen auswertbaren Datensatz mit 545 vollständigen Iterationen (ca. 16 % Rücklaufquote).

2.1. Allgemeine Befragung

In diesem Unterkapitel wird der Aufbau der allgemeinen Befragung anhand der genutzten Fragen beschrieben. Außerdem wird auf die Gewichtung der Stichprobe eingegangen.

Zur Erfassung der Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft wurde ein Fragenkatalog mit insgesamt 19 Fragen konzipiert, die gewisse Eigenschaften in diesem Zusammenhang quantifizieren sollen. Für die Auswertung dieser Fragen wurde eine deskriptive Analyse anhand der Häufigkeitsverteilung der Antworten zu den einzelnen Fragen gewählt. Der Fragenbogen lässt sich in zwölf Matrixfragen und sieben offene Fragen unterteilen. Neben der dichotomen Antwortmöglichkeit in zwei Matrixfragen wird in den restlichen Matrixfragen eine Likert-Skala bzw. eine andere abgestufte Skala verwendet. Die verwendete Likert-Skala nutzt sechs Stufen (stimme voll und ganz zu, stimme überwiegend zu, neutral, stimme überwiegend nicht zu, stimme überhaupt nicht zu und keine Angabe / weiß nicht). Die offenen Fragen wurden zur Spezifizierung von „sonstigen“ Antworten sowie der Erfassung von soziodemographischen Eigenschaften der Stichprobe eingesetzt.

Über vier Fragebatterien ließen sich Eigenschaften zur Differenzierung der Stichprobe konstruieren, um die Akzeptanzuntersuchung unter bestimmten Eigenschaftsausprägungen zu vertiefen. Zu diesen Eigenschaften zählt die Fahrhäufigkeit, das Umweltverhalten, das Maß an Innovativität und die persönliche Vorerfahrung in der Nutzung von alternativen Kraftstoffen und Antrieben der teilnehmenden Pkw-BesitzerInnen. Für die Eigenschaft der Fahrhäufigkeit ergeben sich über die Beantwortung der jeweiligen Frage die drei Kategorien des täglichen, häufigen (1 bis 3 Mal wöchentlich) und seltenen (weniger als 1 Mal wöchentlich) Fahrers. Die Items für die Betrachtung des Umweltverhaltens und der Innovativität entstammen der Untersuchung des

Umweltverhaltens durch das Umweltbundesamt² bzw. der Skala zur Messung von Innovativität nach Hurt³. Für beide Eigenschaften wurde eine korrespondierende Zahlenskala zu den Bewertungsstufen der eingesetzten Likert-Skala verwendet, sodass „Stimme voll und ganz zu“ einem Wert von 5 und „Stimme überhaupt nicht zu“ dem Wert 1 zugeordnet wurde. Die Antwort „keine Angabe“ entspricht einem Skalenwert von 0. Für diese Fragebatterien lässt sich damit ein Mittelwert für das Umweltverhalten bzw. die Innovativität berechnen, durch den sich die teilnehmenden Pkw-BesitzerInnen kategorisieren lassen. Als Ausprägungsgrenzen der Kategorisierung gilt das 50. Perzentil ($x = x_{50,i}$), um die Teilstichproben ungefähr gleich groß zu halten. Dies gleicht den Werten $x_{50,E} = 3,5$ für das Umweltverhalten bzw. $x_{50,I} = 3,29$ für Innovativität, die sehr nah an den Mittelwerten für das Umweltverhalten bzw. Innovativität mit $\bar{x}_{50,E} = 3,58$ und $\bar{x}_{50,I} = 3,16$ liegen. Diese als auch die Standardabweichung im Umweltverhalten und der Innovativität werden näher im Kapitel 3.1.2 vorgestellt.

Für die Eigenschaft der Vorerfahrung in der Nutzung von alternativen Kraftstoffen und Antrieben wurde zu neun Kraftstoff- und Antriebsoptionen gefragt, ob die Befragten diese „schon selbst genutzt haben“, diese „jemand im Umfeld (Freunde/Familie) nutzt“, „davon gehört haben“ oder diese „für sie [mich] neu“ ist. Auch konnten keine Angaben bzw. „weiß nicht“ gewählt werden. Wegen der geringen Teilstichprobengrößen in den Kategorien „ist mir neu“ und „weiß nicht“ wurden beide Kategorien zur Kategorie „ist mir neu“ zusammengefasst. Die vier Stufen wurden repräsentativ für die Vorerfahrung beibehalten, wobei „schon selbst genutzt“ als höchste Vorerfahrungsstufe und „ist mir neu“ als geringste Vorerfahrungsstufe gilt. Da mehrere Antwortmöglichkeiten in dieser Frage ausgewählt werden konnten, soll für die eindeutige Differenzierbarkeit von der höchsten Stufe aus den gegebenen Antworten der Befragten ausgegangen werden.

Um mehr Repräsentativität in den Ergebnissen gegenüber einer Grundgesamtheit zu gewährleisten, wurde eine Gewichtung der Stichprobe vorgenommen. Hierfür wurde die Referenzstichprobe der *MID 2017* mit den soziodemographischen Eigenschaften der Personenhaushaltsgröße (PHH, 1 bis 4+), der Anzahl der Pkw im Haushalt (1 und 2+) sowie die regionalstatistische Raumtypologie des Wohnortes herangezogen, wobei für letzteres die Kategorisierung nach *RegioStaR 2* mit zwei Ausprägungen (Stadtregion, ländliche Region) gewählt wurde. Mithilfe dieser Werte wurden Gewichtungsfaktoren w_i als Quotient der normierten Verteilung zwischen Referenz- und vorliegender Stichprobe in den soziodemographischen Eigenschaften gebildet. Diese kompensieren eine Unterrepräsentation innerhalb der vorliegenden Stichprobe bei $w_i > 1$ bzw. einer Überrepräsentation bei $w_i < 1$. Dementsprechend würde eine ideale Repräsentation der Referenzstichprobe durch die vorliegende Stichprobe mit einem Gewichtungsfaktor von $w_i = 1$ resultieren. Die absolute Verteilung der Referenzstichprobe als auch die Gewichtungsfaktoren w_i in diesen Eigenschaften ist aus *Tabelle 2-1* entnehmbar.

² Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), Umweltbundesamt (UBA) (2018): Umweltbewusstsein in Deutschland 2018,

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/ubs2018_-_m_3.3_basisdatenbroschuere_barrierefrei-02_cps_bf.pdf, S. 70 (letzter Zugriff: 01.09.2021)

³ Hurt (1977): Scales for Measurement of Innovativeness, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1468-2958.1977.tb00597.x>, S.61 (letzter Zugriff: 01.09.2021)

Die Betrachtung der Gewichtung zeigt, dass eine starke Unterrepräsentation besonders bei Befragten aus ländlichen Regionen in einem 1- bzw. 2-PHH mit einem Pkw im Haushalt in dieser Stichprobe vorliegt. Auch bei Befragten, die in einem 1-PPH mit mehreren Pkw wohnen, sind mit einer Person in der Stichprobe stark unterrepräsentiert. Die damit resultierenden hohen Gewichtungen ($w_i > 2$) sind ein Indiz für die kritische Betrachtung der Ergebnisse für diese Nutzergruppen. Gleichzeitig sind Befragte aus Stadtregionen mit mehr als zwei Pkw im Haushalt tendenziell überrepräsentiert, außer jene aus einem 1-PPH.

Tabelle 2-1: Verteilung der Referenzstichprobe MID 2017 nach dem Personenhaushalt, der Anzahl an Pkw im Haushalt sowie der RegioStaR2-Kategorie des Wohnortes der Befragten

Gewichtsfaktoren w_i anhand der Referenzstichprobe MID 2017⁴

RegioStaR2-Kategorie des Wohnortes	Anzahl der Pkw im PHH	PHH							
		1-PHH		2-PHH		3-PHH		4+-PHH	
		R, absolut	S, absolut (w_i)	R, absolut	S, absolut (w_i)	R, absolut	S, absolut (w_i)	R, absolut	S, absolut (w_i)
Stadtregion	1	23.166	81 (1,29)	20.472	94 (0,98)	5.387	36 (0,87)	4.849	34 (0,64)
	2+	828	2 (1,9)	8.806	70 (0,57)	5.477	40 (0,62)	6.260	52 (0,54)
Ländliche Region	1	13.297	14 (4,27)	11.820	21 (2,53)	2.364	12 (0,89)	2.068	8 (1,16)
	2+	456	1 (2,05)	6.186	25 (1,11)	4.404	25 (0,79)	5.177	29 (0,8)

R - Referenz, S – Stichprobe

2.2. Stated-Choice-Experiment

Im folgenden Kapitel wird der Stated-Choice-Teil der Befragung erläutert. Zunächst werden die Annahmen zur Gestaltung des Experiments und das Vorgehen beschrieben. Im darauffolgenden Abschnitt wird der theoretische Hintergrund zur Auswertung der Ergebnisse erläutert. Bei einem Stated-Choice-Ansatz wird die Attraktivität unterschiedlicher Alternativen, die sich durch vorgegebene Eigenschaften differenzieren, untersucht. Dadurch kann die Relevanz dieser Eigenschaften in Relation zu den Alternativen bewertet werden. Der Stated-Choice-Ansatz bietet gegenüber dem Revealed-Preference-Ansatz den Vorteil, dass bisher nicht bekannte oder existierende Produkte untersucht werden können, bei denen die Interaktion der Befragten nicht direkt beobachtbar ist.

⁴ Quelle: <https://mobilitaet-in-tabellen.dlr.de/mit/> (letzter Zugriff: 01.09.2021)

2.2.1. Vorgehen und Annahmen

Zusätzlich zur allgemeinen Befragung wurde ein Stated-Choice-Experiment (SC) durchgeführt. Dabei erhalten die Teilnehmer die Wahl zwischen einer bestimmten Anzahl an Alternativen mit jeweils unterschiedlichen Eigenschaften. In diesem Fall wurden die Teilnehmer vor die folgende Situation gestellt:

Stellen Sie sich vor, dass Sie im Tagesverlauf Ihren Pkw tanken müssen. Hierzu stehen Ihnen alle unten angegebenen Alternativen zum Tanken zur Verfügung.

Zur Wahl standen die Kraftstoffe synthetisches Erdgas (Compressed Natural Gas, CNG), Benzin, Methanol sowie ein Diesel-OME Gemisch. Für die Teilnehmer waren jedoch nur die Bezeichnungen A, B, C und D sowie die in Tabelle 2-2 aufgelisteten Attribute sichtbar. Autogas (Liquified Natural Gas, LNG) wurde in diesem Experiment nicht berücksichtigt, da dieser Kraftstoff aus Sicht der Autoren aufgrund der Verflüchtigung bei nicht ausreichender Kühlung keine Relevanz für Pkw-Besitzerinnen und -Besitzer hat. Die Kraftstoffe wurden dabei durch die Attribute mit den möglichen Ausprägungen, wie in Tabelle 2-2 dargestellt, charakterisiert. Insgesamt bekam jeder Teilnehmer sechs unterschiedliche Entscheidungssituationen mit jeweils variierenden Kombinationen an Eigenschaften. Vor dem Experiment wurden die unterschiedlichen Eigenschaften beschrieben (siehe Anhang). Die Beschreibungen konnten auf Wunsch auch während des Experiments eingeblendet werden.

Als Grundlage für die Annahmen diente ein Referenzfahrzeug mit einem Kraftstoffverbrauch von ca. 7 - 12 l Benzin/100 km und einem Tankinhalt von 50 l für flüssige bzw. 17 kg für gasförmige Kraftstoffe. Für die Abschätzung der Ausprägungen wurde das Wissen von Experten der *Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.* und des *DLR-Instituts für Technische Thermodynamik* herangezogen. Es wurden folgende Grenzwerte festgelegt:

- **Stickoxid:** 10 - 80 mg/km (Obergrenze entspricht dem Euro6-Diesel-Grenzwert)
- **CO₂-Emission** (Well to Wheel): 8 - 40 mg/km (Maximalwert aller Alternativen)
- **Ressourcenverbrauch⁵:** setzt sich zu jeweils 50 % aus Wasserverbrauch und Energieverbrauch für die Herstellung zusammen. Beim Wasserverbrauch: 0,08 - 0,4 m³/100 km; beim Energieverbrauch: 0,5 - 2,5 MJ/100km
- **Preis:** Kraftstoffgestehungskosten, Steuern und andere Abgaben wurden nicht berücksichtigt. Die ermittelten Herstellungskosten wurden mit dem Faktor 0,8 multipliziert, um die Vergleichbarkeit mit heutigen Kosten zu gewährleisten
- **Reichweite:** ergibt sich aus der Größe des Tanks und des Kraftstoffverbrauchs

⁵ Die Kraftstoffe wurden alle mit Photovoltaik-Strom in Marokko hergestellt. Der Transport der Kraftstoffe wurde in der Bilanz nicht berücksichtigt.

Tabelle 2-2: Kraftstoffe und ihre Attribute mit den jeweils möglichen Ausprägungen

Eigenschaft	Format	A (CNG)	B (Benzin)	C (Methanol)	D (Diesel+OME)
Aggregatzustand	kategorisch	gasförmig	flüssig	flüssig	flüssig
Stickoxid-Emissionen	ordinal	gering mittel	gering mittel	sehr gering	hoch sehr hoch
CO₂-Emissionen	ordinal	sehr gering	gering mittel	mittel hoch sehr hoch	gering mittel
Kraftstoffkosten	€ pro 100 km	10 14 17	17 23 29	13 17 22	17 23 29
Reichweite	km pro Tankfüllung	230 310 390	420 565 710	210 285 360	430 585 740
Ressourcenverbrauch⁶	ordinal	sehr gering	mittel hoch sehr hoch	sehr gering gering	mittel hoch sehr hoch

Insgesamt wurden zwei Choice-Sets⁷ mit jeweils sechs Entscheidungssituationen mithilfe der Software *ngene* erstellt. Um die Datenqualität der Befragung zu erhöhen und die größtmögliche Informationsdichte aus den Choice-Sets zu erhalten, wurde zunächst ein Pretest mit 45 Teilnehmern durchgeführt. Die so gewonnenen Informationen konnten genutzt werden, um die Choice-Sets zu optimieren und ein effizientes bayessches Design zu erhalten. Für jeden Teilnehmer wurde zufällig eines der beiden Choice-Sets ausgewählt. Die Entscheidungssituationen aus diesem Choice-Set wurden dann ebenfalls in zufälliger Reihenfolge abgefragt.

2.2.2. Theoretischer Hintergrund

Der gängigste Ansatz zur Behandlung diskreter Entscheidungen im Verkehrswesen basiert auf der Zufallsnutzentheorie, die davon ausgeht, dass jedes Individuum (n) rational handelt und die Alternative (i) wählt, die den persönlichen Gesamtnutzen ($U_{n,i}$) des Individuums maximiert (*Homo Oeconomicus*).

Da nicht alle Informationen, die für die Entscheidung eines Individuums berücksichtigt werden, bekannt sind, setzt sich der Gesamtnutzen ($U_{n,i}$) einer Alternative aus einem messbaren deterministischen Teil ($V_{n,i}$) und einem zufälligen stochastischen Teil ($\varepsilon_{n,i}$) zusammen. Der deterministische Teil ist ein Vektor von erklärenden Variablen und zu schätzenden Parametern. Die Variablen können sowohl Attribute der Alternative als auch Informationen aus der Basiserhebung (z. B. sozioökonomische Merkmale) umfassen. Der stochastische Teil umfasst alle entscheidungsrelevanten Aspekte, die nicht im Modell berücksichtigt werden. Es wird angenommen, dass dieser Teil unabhängig und identisch verteilt (Independent and Identically Distributed - iid)

⁶ Unter Berücksichtigung von Energie und Wasserverbrauch

⁷ Wahlsituationen, bei denen die Ausprägungen der verschiedenen Alternativen variiert werden

sowie Gumbel-verteilt ist. Diese Annahmen führen zu einem Multinomial-Logit-Modell (MNL). Wenn additive Linearität angenommen wird, lässt sich der erwartete Nutzen einer Alternative mit Gleichung 1 beschreiben:

$$U_{n,i} = V_{n,i} + \varepsilon_{n,i} = \beta \cdot X_{n,i} + \varepsilon_{n,i} \quad 1$$

U : Gesamtnutzen
 i : Alternative
 n : Individuum
 V : Nutzen aus den gemessenen Parametern (deterministischer Teil)
 ε : Fehlerterm, in dem alle im Modell ignorierten Eigenschaften berücksichtigt werden (stochastischer Teil)
 β : Vektor mit Regressionskoeffizient
 X : Vektor mit erklärenden Variablen

Wie oben angedeutet, ist es möglich, zusätzliche Informationen aus der Basiserhebung zu berücksichtigen, um das geschätzte Modell zu verbessern. Ob zusätzliche Informationen bei der Erklärung der Entscheidung helfen, kann durch den Vergleich des beschränkten Modells (R) und des unbeschränkten Modells (U) mithilfe des Likelihood-Ratio-Tests überprüft werden. Die Nullhypothese kann verworfen werden, wenn Gleichung 2 wahr ist:

$$-2(\mathcal{L}_R - \mathcal{L}_U) > \chi^2_{((1-\alpha), df)} \quad 2$$

$\mathcal{L}_R$: Final Log likelihood des beschränkten Modells
 $\mathcal{L}_U$: Final Log likelihood des unbeschränkten Modells
 α : Signifikanzniveau (hier $\alpha = 0.05$)
 $df = K_U - K_R$: Freiheitsgrade mit K = Anzahl geschätzter Parameter
 χ^2 : Chi-Quadrat-Test mit

df	1	2	3	4	5
$\alpha = 0.05$	3,84	5,99	7,81	9,49	11,07

Der Vergleich der Kennziffern *Final log likelihood* und korrigierter McFadden ($\bar{p}^2$) kann zudem herangezogen werden, um verschiedene Modelle miteinander zu vergleichen, bei denen die Nullhypothese abgelehnt wurde.

Die Wahrscheinlichkeit, einen der Kraftstoffe auf Grundlage der gezeigten Attribute zu wählen, lässt sich, wie in Gleichung 3 gezeigt, berechnen. Die Auswahlwahrscheinlichkeiten für alle wählbaren Kraftstoffe summieren sich zu 1, während die Auswahlwahrscheinlichkeit für jede einzelne Alternative $0 \leq P_n(i) \leq 1$ ist.

$$P_n(i) = \frac{e^{V_{i,n}}}{\sum_{j \in C_n} e^{V_{j,n}}} \quad 3$$

P_n :	Wahlwahrscheinlichkeit der Alternative i
V :	Nutzen einer Alternative (siehe Gleichung 1)
i :	Alternative
n :	Individuum
$j \in C_n$:	Alle Alternativen des Choice-Sets

Da in der Stated-Choice-Befragung auch eine Preiskomponente berücksichtigt wurde, kann ein Trade-off zwischen dieser und anderen Variablen berechnet werden. Dieser Trade-off wird auch als Zahlungsbereitschaft oder Willingness-to-Pay (WTP) bezeichnet:

$$WTP = - \frac{\beta_x}{\beta_{preis}} \quad 4$$

WTP :	Zahlungsbereitschaft (Willingness-to-Pay – WTP)
β_x :	Im Modell geschätzter Regressionskoeffizient
β_{preis} :	Geschätzter Regressionskoeffizient für die Preiskomponente

Durch eine Conjoint-Analyse können die erhobenen Daten zusätzlich aus einer anderen Perspektive betrachtet werden. Der wesentliche Unterschied zum oben beschriebenen Ansatz besteht darin, dass die Produkteigenschaften nicht in metrischen oder ordinalen Werten vorliegen, sondern als nominale Skalenniveaus. Der Vorteil besteht darin, dass Produkteigenschaften dadurch untereinander vergleichbar werden und ihre Relevanz im Vergleich zu anderen Produkteigenschaften ermittelt werden kann. Conjoint-Analysen werden hauptsächlich im Marketing eingesetzt.

Durch Verwendung eines additiven Teilwert-Nutzenmodells sind keine Vorkenntnisse über den Nutzenverlauf der einzelnen Produkteigenschaften nötig. Der Nutzen jeder Alternative kann unter Verwendung von Gleichung 5 berechnet werden.

$$u_i = \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^{M_j} b_{jm} \cdot x_{jmi} \quad 5$$

u_i :	Nutzen einer Alternative i
b_{jm} :	Teilnutzen von Merkmalausprägung m und Produkteigenschaft j
x_{jmi} :	Dummy-Variable: 1, falls Alternative i bei der Eigenschaft j die Ausprägung m hat, sonst 0

Um aus dem berechneten Nutzen eine Auswahl berechnen zu können, wird ein Max-Utility-Modell verwendet, welches rein rationales Verhalten zugrunde legt. Das bedeutet, dass jeweils die Alternative mit dem größten Nutzen gewählt wird. Dabei gilt es, die Teilnutzen der Eigenschaften mithilfe einer Maximum-Likelihood-Methode so zu optimieren, dass die berechnete Auswahl einer Alternative möglichst häufig mit der tatsächlichen Auswahl, die aus den erhobenen Daten ersichtlich ist, übereinstimmt.

Alle Schätzungen wurden mit der Software *Python 3.7* und der Erweiterung *PandasBiogeme* (Version 3.2.6) durchgeführt. Für die Modellschätzung wurde eine multinominale logistische Regressionsanalyse gewählt. Zudem wurden nur vollständig ausgefüllte Umfragen berücksichtigt, bei denen Antworten zu den Themen Haushaltszusammensetzung, Fahrzeugverfügbarkeit, Pkw-Nutzung sowie Umweltverhalten und Innovation vorlagen. Die Befragungsdaten wurden zusätzlich mit Informationen zum Geschlecht, zum Alter und zur Region aus der *MovingLab*-Datenbank angereichert. Um das endgültige Modell zu erhalten, wurde ein iterativer Ansatz gewählt. Zunächst wurde ein stabiles Modell für alle Teilnehmer entwickelt. Im nächsten Schritt wurde analysiert, welche Erkenntnisse aus der Basisbefragung zusätzliche erklärende Informationen liefern könnten und ob diese mit den analysierten Attributen in Zusammenhang stehen.

3. Ergebnisse

In diesem Kapitel erfolgt die Darstellung der Ergebnisse der Befragung. Dies schließt nicht nur die Betrachtung der Häufigkeitsverteilungen zu den Fragen des allgemeinen Befragungsteils ein, sondern auch die statistische Analyse der Ergebnisse des Stated-Choice-Experimentes für die Einfluss- und Relevanzbetrachtung bestimmter Kraftstoffeigenschaften auf die Tankentscheidung sowie der Zahlungsbereitschaft.

3.1. Allgemeine Befragung

Im Rahmen des Berichtes sollen die Ergebnisse von 16 Fragen des allgemeinen Befragungsteils für die Akzeptanzuntersuchung vorgestellt werden. In den Fragen werden die Themenfelder der Bereitschaft zur Fahrzeugumrüstung, das Tankverhalten sowie das Meinungsbild zur Nutzung erneuerbarer Kraftstoffe adressiert. Zu acht Fragen erfolgt dabei eine tiefergehende Analyse anhand der Differenzierung der Ergebnisse nach der Fahrhäufigkeit, dem Umweltverhalten, dem Maß an Innovativität sowie der Vorerfahrung in der Nutzung alternativer Kraftstoffe bzw. Antriebe der befragten Pkw-BesitzerInnen.

3.1.1. Soziodemographische Verteilungen in der Stichprobe

In vier Fragen wurden die soziodemographischen Eigenschaften der Personenhaushaltsgröße, die Anzahl der volljährigen Personen in diesem Haushalt, die Anzahl an Personen mit einem Führerschein in diesem Haushalt sowie die Anzahl an Pkw in diesem Haushalt erfasst. Mithilfe des Probandentool konnten das Geschlecht, das Alter sowie die raumtypologische Art des Wohnortes nach *RegioStaR2* der Befragten ergänzt werden, wobei die Geschlechtsverteilung in der Stichprobe bei 50:50 liegt. Es geht dabei hervor, dass die Befragten mehrheitlich zur höheren Altersklasse zählen, da jeder zweite Befragte der Altersklasse 30-49 Jahren angehört (siehe Abbildung 3-1). Außerdem sind fast zwei Drittel der befragten Pkw-BesitzerInnen in Stadtregionen wohnhaft. Hinsichtlich des Personenhaushaltes lebt der durchschnittliche Pkw-BesitzerInnen dieser Stichprobe in einem Zwei-Personen-Haushalt, in dem beide Personen volljährig sind und jeweils einen Führerschein besitzen. Diesem Haushalt steht mehrheitlich ein Fahrzeug zur Verfügung.

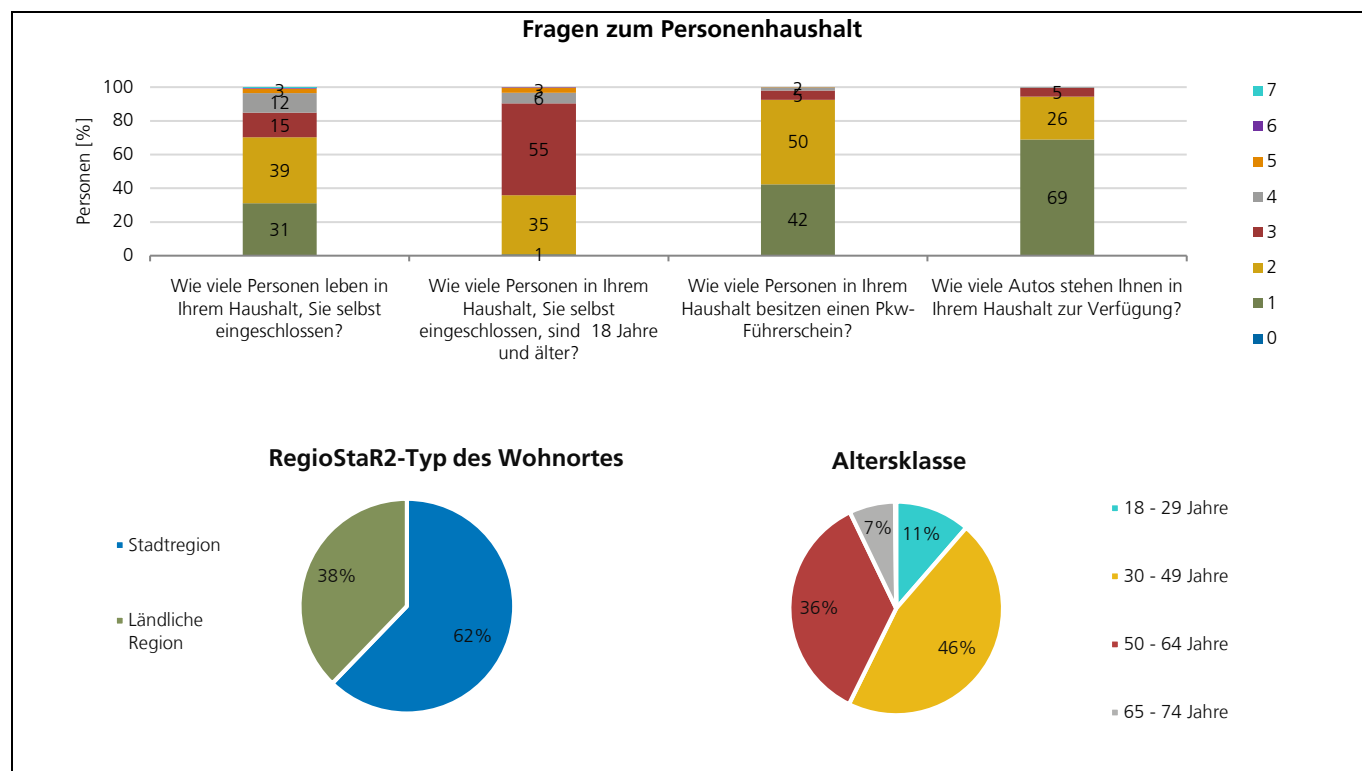


Abbildung 3-1: Verteilung der soziodemographischen Eigenschaften der Stichprobe

3.1.2. Verteilungen der Eigenschaften zur Differenzierung der Stichprobe

Im Rahmen der zuvor thematisierten Differenzierungseigenschaften sollen nun die Häufigkeitsverteilungen der Fragebatterien betrachtet werden. Hinsichtlich der Fahrhäufigkeit zeigt Abbildung 3-2, dass mit 70 % die überwiegende Mehrheit der befragten Pkw-BesitzerInnen ihr Fahrzeug (fast) täglich nutzen, während ungefähr jeder Vierte den eigenen Pkw an 1-3 Tagen pro Woche nutzt. Lediglich 4 % aller Befragten nutzen ihren Pkw weniger als ein Mal wöchentlich.

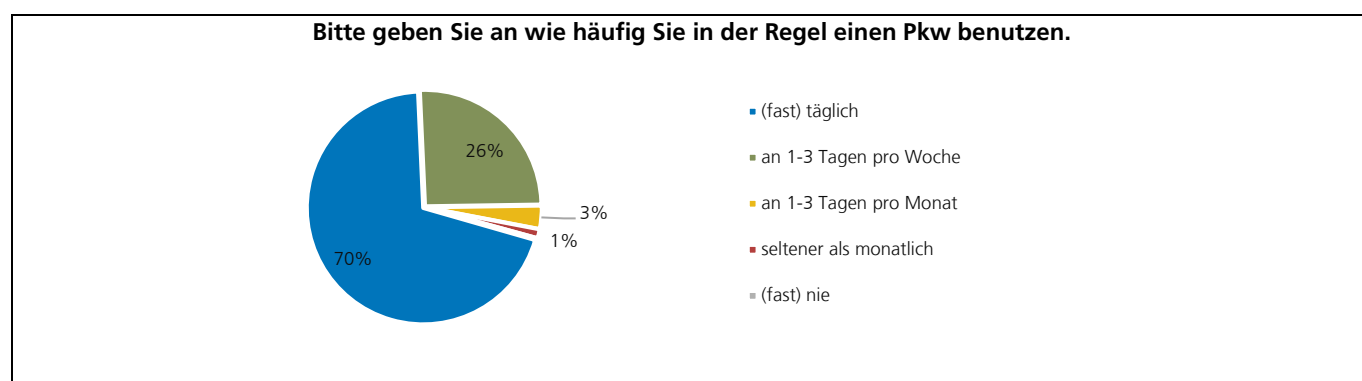


Abbildung 3-2: Häufigkeitsverteilung der Fahrhäufigkeit in der Stichprobe

Die folgende Abbildung 3-3 stellt die Verteilung für das Umweltverhalten und das Maß der Innovativität der Befragten dar. Die Mehrheit der befragten Pkw-BesitzerInnen (ca. 45 % aller Befragten) stimmt den vier Items

des Umweltverhaltens zu, die sehr ähnliche Häufigkeitsverteilungen wie die Referenzuntersuchung des Umweltbundesamtes aufweisen. Dabei erfährt besonders das Achten auf Energieeffizienzsiegel beim Kauf von Haushaltsgeräten eine hohe Zustimmung mit über 90 %. Fast jeder Zweite (46-48 %) achtet beim täglichen Einkaufen nachhaltig produzierte Lebensmittel und ihrer Kennzeichnung als auch auf die Nutzung alternativer Verkehrsmodi für ihre Mobilität. Der Mittelwert von $\bar{x}_{50,E} = 3,58$ im Umweltverhalten spiegelt das tendenziell höher ausgeprägte Umweltverhalten der Stichprobe wider, während sich die Standardabweichung zu $\sigma_{eco} = 0,79$ errechnet. Hinsichtlich der Innovativität im unteren Teil der Abbildung ist festzustellen, dass die Mehrheit der Befragten den aufgeführten Aussagen nicht zustimmt, wie z. B. der Skepsis gegenüber Neuem. Da diese und sechs weitere der insgesamt zehn Aussagen der Fragebatterie negativ formuliert sind, bedeutet dies, dass die Befragten sich tendenziell als innovativ einschätzen. Während dies auf ca. jeden Zweiten zutrifft, sind 10 bis 20 % aller Befragten nach den Aussagen weniger innovativ. Der Mittelwert und die Standardabweichung der Innovativität betragen $\bar{x}_{50,I} = 3,16$ und $\sigma_{inno} = 0,69$.

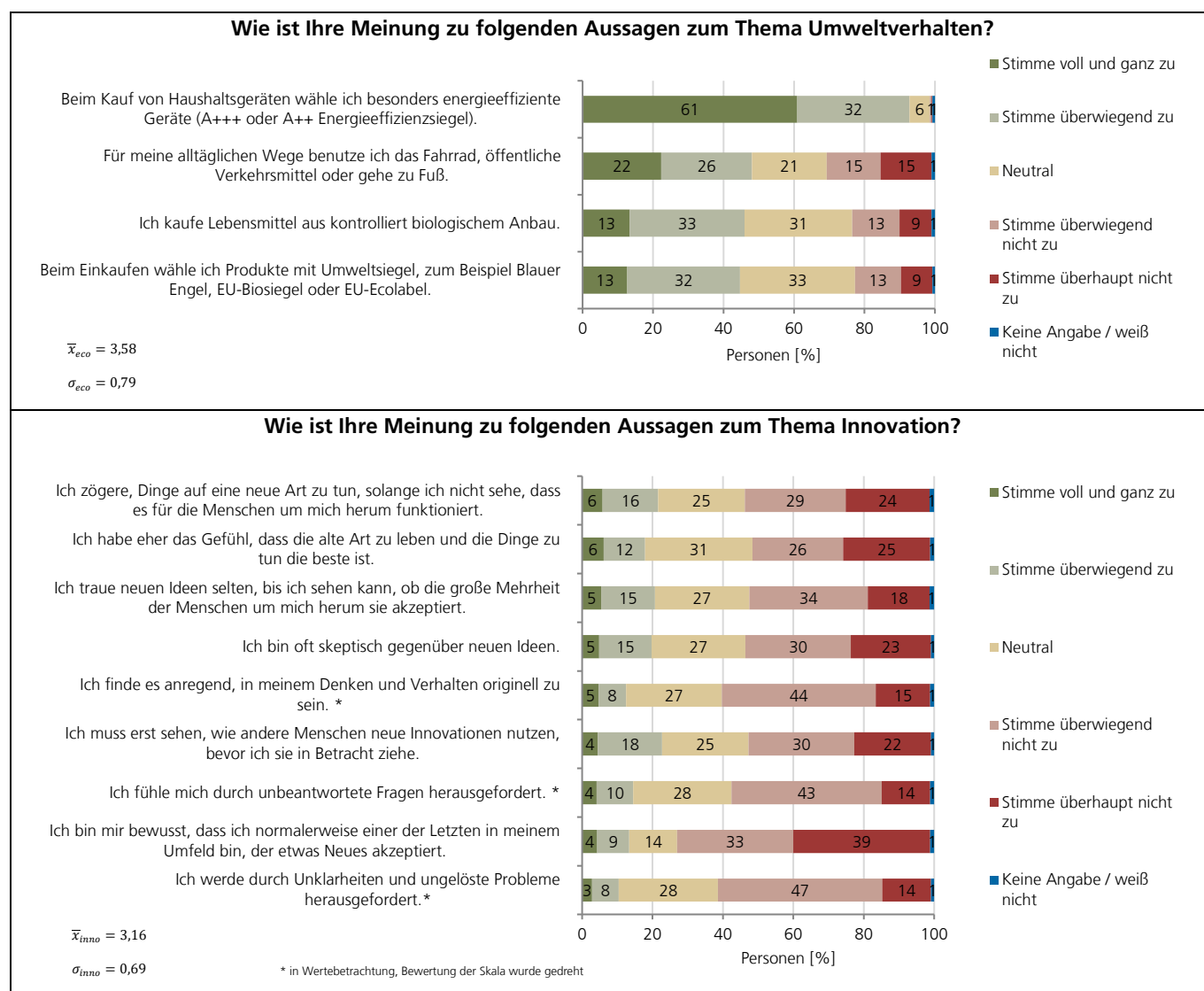


Abbildung 3-3: Verteilung des Umweltverhaltens und der Innovativität innerhalb der Stichprobe

Die Häufigkeitsverteilung der persönlichen Vorerfahrung in der Nutzung von alternativen Kraftstoffen bzw. Antrieben wird in Abbildung 3-4 dargestellt. Mit Ausnahme von E10 und E85 ist zu sehen, dass mind. jeder Zweite der befragten Pkw-BesitzerInnen erst von den aufgeführten Kraftstoffen bzw. Antrieben gehört hat. Gleichzeitig sind die Anteile an Selbstnutzern dieser Kraftstoffe/Antriebe bei allen Optionen (ausgenommen E10) mit rund 10 % vergleichsweise gering. Der Anteil an Befragten mit Nutzer im näheren Umfeld ist mit 5-20 % auch vergleichsweise gering, gerade bei Biomethan und FCEV (Brennstoffzellenfahrzeuge). Von E85 hat der Großteil der Befragten mit 42 % noch nie etwas gehört. Bei E10 dagegen ist der Anteil an Selbstnutzern mit 58 % am größten. Insgesamt ist zu sehen, dass durch die geringen Anteile an Selbstnutzern der Kraftstoff- bzw. Antriebsoptionen in der Stichprobe eine Differenzierung nach eben diesen Nutzergruppen kritisch zu betrachten ist. Daher geschieht eine differenzierte Betrachtung der Fragen nur bei Autogas, Biodiesel und batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV).

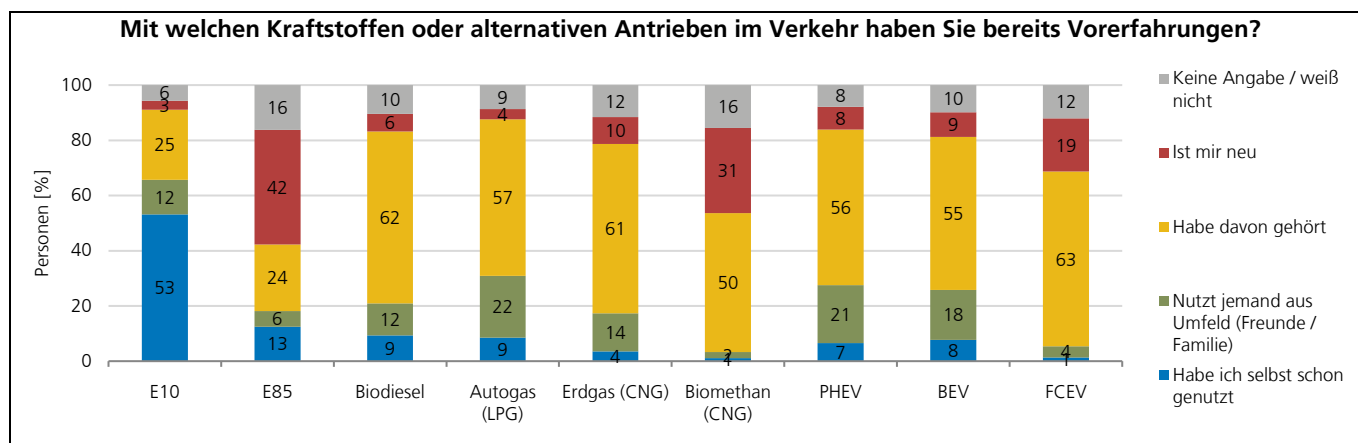


Abbildung 3-4: Häufigkeitsverteilung der persönlichen Vorerfahrung mit alternativen Kraftstoffen bzw. Antrieben in der Stichprobe

3.1.3. Bereitschaft zur Fahrzeugumrüstung und Mehraufwand

Während heutiges synthetisches Benzin und Diesel sich größtenteils in bereits bestehenden Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor einsetzen lassen, ist für die Nutzung von synthetischen Dimethylethern (DME), Polyoxymethyldimethylether (OME) oder Methanol eine Umrüstung des Fahrzeugs notwendig. Somit ist die Betrachtung der Akzeptanz hinsichtlich solch einer Umrüstung essentiell, die in dieser Befragung zusätzlich anhand einer Zahlungsbereitschaft analysiert werden soll. Die Befragten sollten daher zunächst ihre Einstellung zu einer möglichen Fahrzeugumrüstung und dem damit verbundenen Mehraufwand anhand von vier Items bekunden, zu denen unter anderem die Bereitschaft für Umwege für das Tanken sowie ein Werkstattwechsel nach der Umrüstung des Fahrzeugs zählen. Aus den Ergebnissen in Abbildung 3-5 geht die allgemeine Zustimmung bzgl. einer Fahrzeugumrüstung hervor. Vier von zehn Befragten wären bereit ihr Pkw für die Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen umzurüsten, während ebenso viele Befragte auch für das Tanken von erneuerbaren Kraftstoffen einen Umweg in Kauf nehmen würden. Sogar mehr als jeder Zweite ist für einen Werkstattwechsel bei Umrüstung des eigenen Pkws bereit. Im Vergleich dazu ist jedoch zu sehen, dass die Mehrheit der Befragten weiterhin neben erneuerbaren Kraftstoffen auch konventionelle Kraftstoffe im Pkw nutzen möchte (54 %).

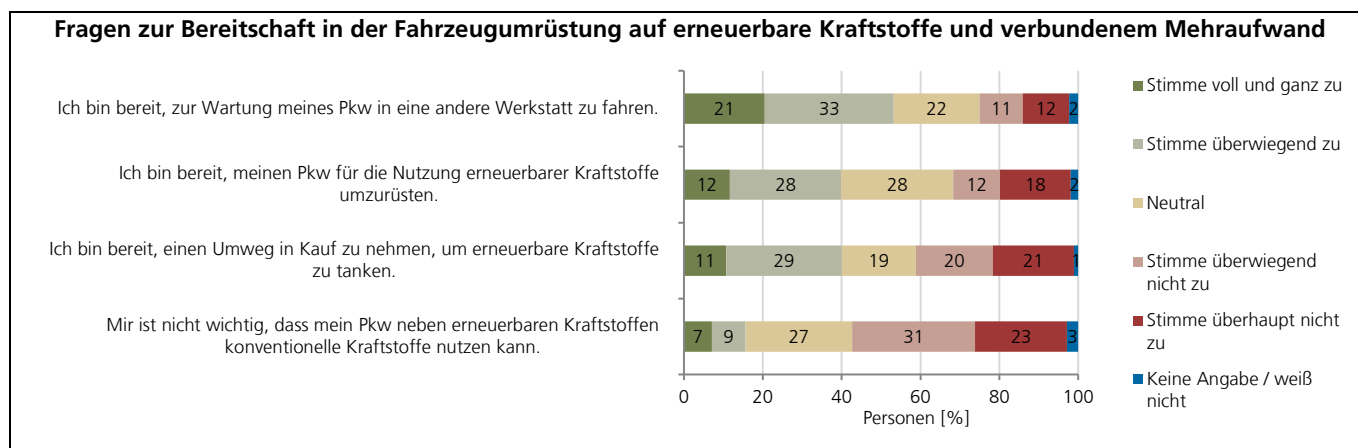


Abbildung 3-5: Häufigkeitsverteilung zur Bereitschaft in der Fahrzeugumrüstung

Im Anhang A1 sind die Häufigkeitsverteilungen bei diesen Fragen unter Berücksichtigung der Differenzierung nach den zuvor vorgestellten Eigenschaften aufgeführt (Abbildung A 1 und Abbildung A 2). Bei Berücksichtigung der Fahrhäufigkeit ist keine stetige Trendentwicklung zu sehen. Im Gegensatz dazu zeigt die Differenzierung der Stichprobe nach dem Umweltverhalten oder der Innovativität einen klareren Trendverlauf, denn mit zunehmendem Umweltverhalten (mit Ausnahme des letzten Items) sowie zunehmender Innovativität steigt ebenso die Zustimmung. Dabei wären sogar mehr als zwei Drittel der Pkw-BesitzerInnen mit hohem Umweltverhalten für einen Werkstattwechsel nach einer Umrüstung bereit. Ähnlich dazu stimmen Pkw-BesitzerInnen mit höherer Vorerfahrung in der Nutzung von Autogas, Biodiesel und BEV einer Umrüstung des Pkw auf erneuerbare Kraftstoffe eher zu als Pkw-BesitzerInnen, die von diesen Kraftstoffen/Antrieben erst gehört bzw. noch nie gehört haben. Aus dieser Frage ist insgesamt eine steigende Tendenz in der Bereitschaft zur Fahrzeugumrüstung mit zunehmendem Umweltverhalten, Innovativität sowie der Vorerfahrung in der Nutzung alternativer Kraftstoffe und Antriebe zu sehen.

Der zweite Teil in der Bereitschaft zur Fahrzeugumrüstung bildet die Frage zur Zahlungsbereitschaft, wofür die Befragten ein für sie angebrachtes Kostenintervall in Euro auswählen sollen. Dabei wurde zwischen gasförmigem und flüssigem Kraftstoff unterschieden. Die Ergebnisse zeigen eine nahezu identische Verteilung zwischen beiden Kraftstoffaggregatzuständen, sodass keine klare Präferenz zwischen gasförmigen und flüssigen Kraftstoffen unter diesen Umständen vorliegt (siehe Abbildung 3-6). 34 % aller Befragten würden dabei für eine Umrüstung 500€ und mehr zahlen. Ein Fünftel der Befragten würde zwischen 100 und 499€ für eine Fahrzeugumrüstung ausgeben, wobei ca. 15 % (fast) nichts für die Umrüstung zahlen wollen würden. Mit einem Anteil von 30 % ist eine hohe Enthaltung in dieser Frage zu beobachten, die sich möglicherweise auf eine Unsicherheit in diesem Thema, aber auch auf mögliche Missverständnisse oder Unschlüssigkeit in Frage zurückführen lässt.

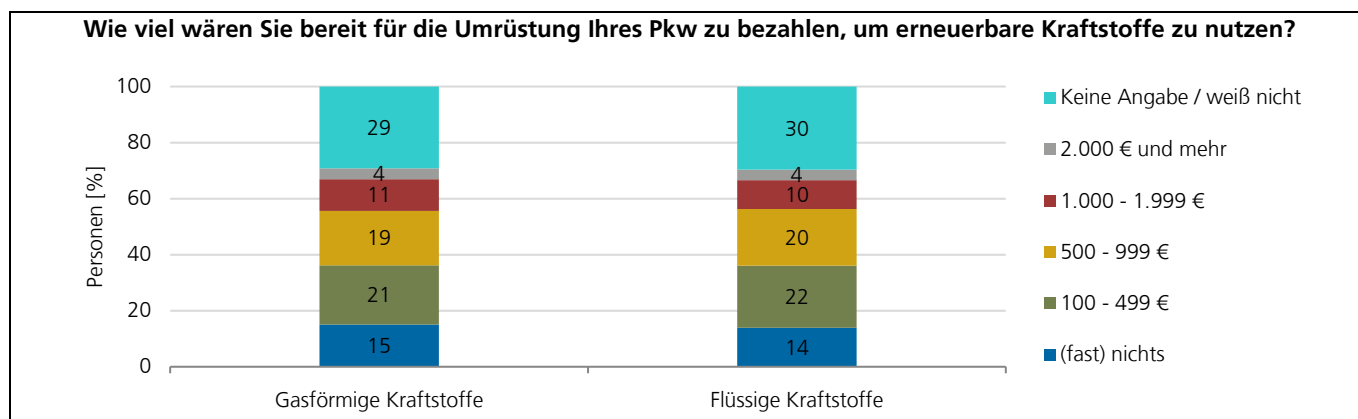


Abbildung 3-6: Häufigkeitsverteilung zur Zahlungsbereitschaft bei einer Umrüstung, differenziert nach dem Aggregatzustand des tankfähigen Kraftstoffs

Anhang A2 zeigt die Ergebnisse der Differenzierung dieser Frage nach den zuvor vorgestellten Eigenschaften (Abbildung A 3 und Abbildung A 4). Grundsätzlich ist bei den Ergebnissen eine zunehmende Zahlungsbereitschaft mit zunehmender Ausprägung der Differenzierungseigenschaften zu sehen. So wären sehr innovative Pkw-BesitzerInnen sowie auch jene mit hoher Erfahrung in der Nutzung von Autogas, Biodiesel und BEV nicht nur häufiger dazu geneigt, sondern auch gewillt mehr für eine Umrüstung zu zahlen als die anderen Nutzergruppen der jeweiligen Eigenschaften. Gleiches gilt auch für Pkw-BesitzerInnen mit hoch ausgeprägtem Umweltverhalten oder hoher Fahrhäufigkeit, wobei als Ausnahme seltene Fahrer tendenziell mehr für gasförmigen Kraftstoff zahlen würden als häufige Fahrer.

Insgesamt ist zu sehen, dass eine gewisse Zahlungsbereitschaft für die Umrüstung des privaten Pkw zur Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen bei den Befragten besteht, welche mit Zunahme in der Fahrhäufigkeit, Umweltverhalten, Innovativität sowie der persönlichen Vorerfahrung mit Autogas, Biodiesel oder BEV steigt. Auch wenn die Zahlungsbereitschaft für flüssige Kraftstoffe marginal höher angegeben wurde als für gasförmige Kraftstoffen, gibt es keinen nennenswerten Unterschied bei der Zahlungsbereitschaft hinsichtlich des Kraftstoffaggregatzustandes. Gleichzeitig ist anzumerken, dass ein beträchtlicher Anteil an Befragten sich bei dieser Frage enthalten hat. Gründe hierfür könnten nicht nur die allgemeine Unwissenheit in dieser Thematik sein, sondern auch die zusätzliche Komplexität in der Frage durch den Aspekt des Aggregatzustandes.

3.1.4. Tankverhalten

Synthetisches Benzin und Diesel lassen sich identisch zum konventionellen Pendant an der bisherigen Tankinfrastruktur tanken, während andere synthetische Kraftstoffe die Erweiterung bestehender Tankinfrastruktur für die Nutzung benötigen. Ein weiteres Ziel in dieser Befragung bestand daher in der Untersuchung des Tankverhaltens von Pkw-BesitzerInnen. Hierfür wurden die Pkw-BesitzerInnen zunächst gefragt, an wie vielen Tankstellen sie im Alltag üblicherweise tanken. Nach den Ergebnissen tendiert die Mehrheit der Befragten zur Nutzung von zwei oder drei unterschiedlichen Tankstellen im Alltag (siehe Abbildung 3-7). Ungefähr jeder sechste nutzt dabei nur eine bzw. mehr als drei unterschiedliche Tankstellen.

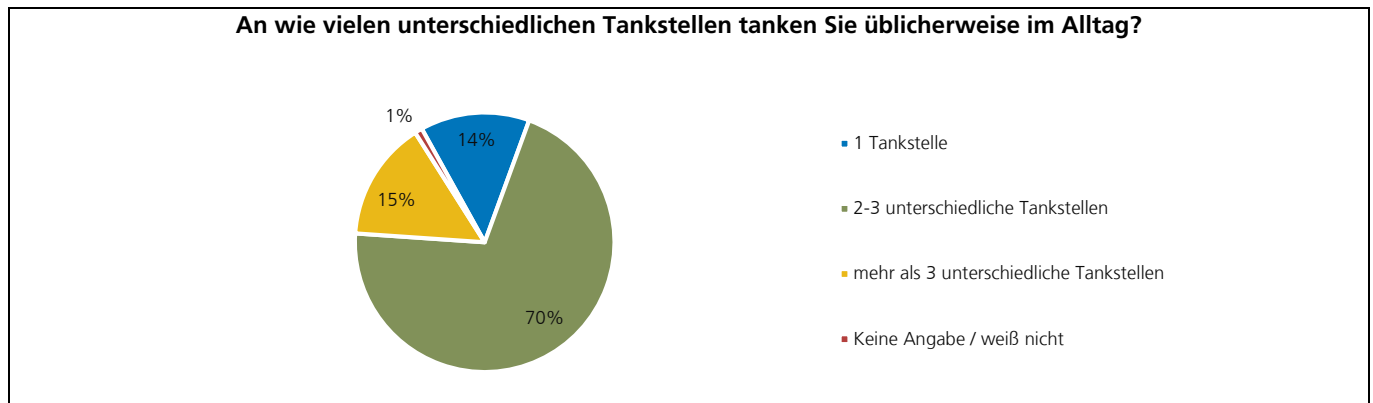


Abbildung 3-7: Häufigkeitsverteilung zur Nutzung unterschiedlicher Tankstellen im Alltag

Die Ergebnisse der Differenzierung nach der Fahrhäufigkeit (Anhang A3, Abbildung A 5) zeigen, dass mit abnehmender Fahrhäufigkeit die tendenzielle Nutzung von mehr als drei unterschiedlichen Tankstellen im Alltag steigt und die anteilige Nutzung von einer Tankstelle prozentual sinkt. Diese Entwicklung erscheint plausibel, da seltene Fahrer wahrscheinlich weniger routinierte Fahrtstrecke nutzen und dementsprechend nur bei Notwendigkeit tanken im Vergleich zu häufigen bzw. täglichen Fahrern. Die Differenzierung nach dem Umweltverhalten der Befragten weist kaum Unterschiede in den Verteilungen der Nutzergruppen untereinander auf (Anhang A3). Bei der Innovativität dagegen steigt mit abnehmender Innovativität der Befragten auch die Tendenz, nur eine Tankstelle zu nutzen. Umgekehrt sinkt dabei der Anteil an Befragten, die mehr als drei unterschiedliche Tankstellen im Alltag nutzen. Dies kann als erwartetes Ergebnis in Hinblick auf traditionelle Denkweisen und Verhaltensmuster von weniger innovativen Menschen gesehen werden. Der gleiche Trend ist auch bei der Differenzierung nach der Vorerfahrung in der Nutzung von Autogas, Biodiesel und BEV zu sehen, welcher auf die Technologieoffenheit der Befragten zurückführbar wäre.

In Verbindung dazu erfolgte die Betrachtung der Verfügbarkeit an erneuerbaren Kraftstoffen an Tankstellen, wofür die Ergebnisse der Frage zuvor berücksichtigt wurden. Es wurde gefragt, an mindestens wie vielen Tankstellen in ihrer Umgebung erneuerbare Kraftstoffe angeboten werden müssten, damit die Nutzung für sie in Frage käme. Nach den Ergebnissen aus Abbildung 3-8 wünscht sich die Mehrheit der Befragten eine Verfügbarkeit an jeder zweiten Tankstelle, damit eine Nutzung in Frage käme. 16 bzw. 26 % aller Befragten findet dagegen, dass jede bzw. jede dritte Tankstelle diese Kraftstoffe führen sollte. Im unteren Teil der Abbildung wird die Auswertung dieser Frage anhand der Anzahl der genutzten Tankstellen im Alltag der Pkw-BesitzerInnen von zuvor (Abbildung 3-7) differenziert. Auch hier wünscht sich die Mehrheit der Befragten an jeder zweiten Tankstelle ein Angebot an erneuerbaren Kraftstoffen - unabhängig von der Anzahl der genutzten Tankstellen im Alltag. Pkw-BesitzerInnen, die nur eine Tankstelle im Alltag nutzen, wünschen sich erneuerbare Kraftstoffe eher an jeder Tankstelle im Vergleich zu den beiden anderen hier betrachteten Nutzergruppen. Dies erscheint in Anbetracht der Sorge um ausreichend Versorgung im Alltag plausibel. Im Gegenzug steigt der Wunsch nach der Kraftstoffverfügbarkeit an jeder dritten Tankstelle mit zunehmender Anzahl an im Alltag genutzten Tankstellen. Die Differenzierung nach der Anzahl an genutzten Tankstellen im Alltag zeigt daher erwartete Ergebnisse.

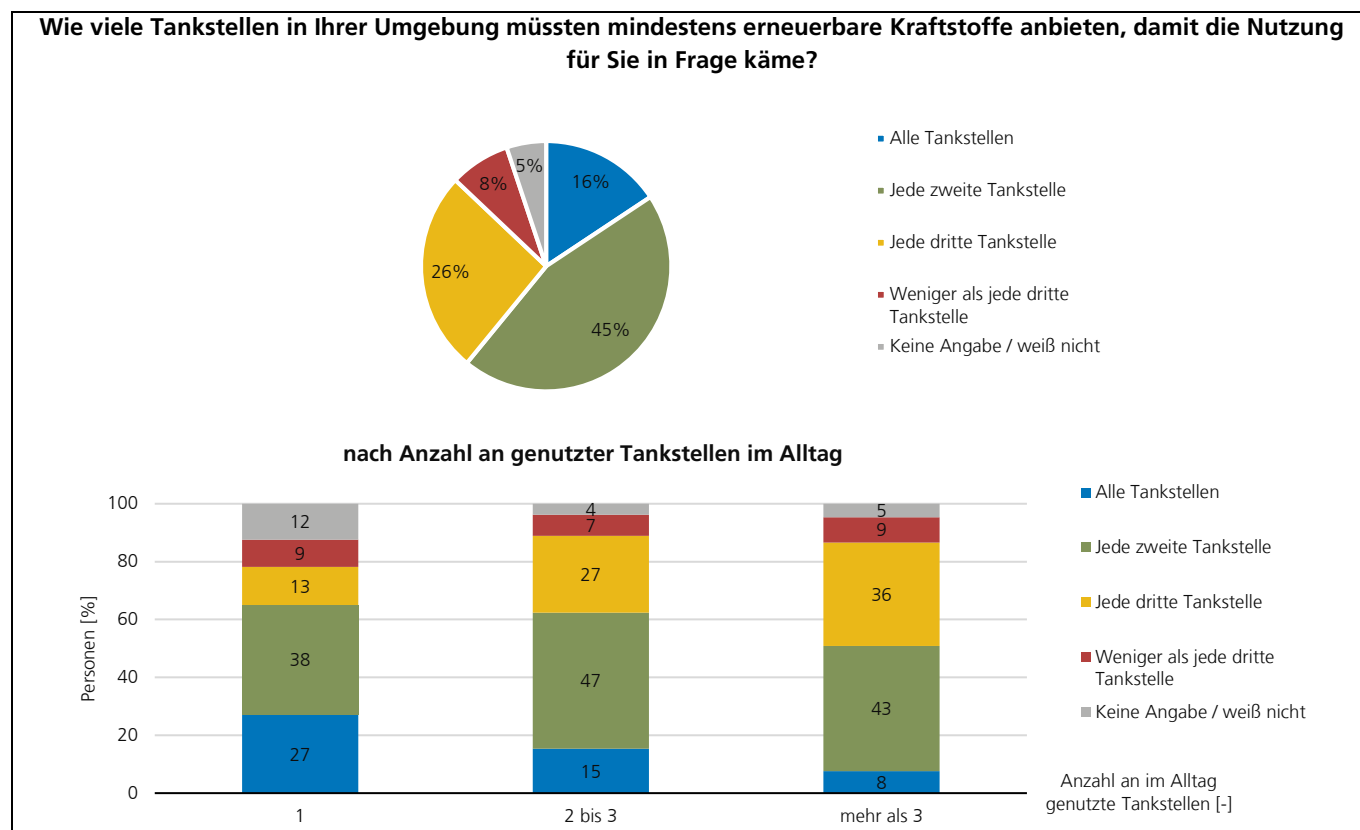


Abbildung 3-8: Häufigkeitsverteilung zum notwendigen Angebot an erneuerbaren Kraftstoffen

Anhang A4 zeigt die differenzierten Häufigkeitsverteilungen dieser Frage. Auch wenn mehrheitlich, unabhängig vom Level der Innovativität oder des Umweltverhaltens des Befragten, ein Angebot an erneuerbaren Kraftstoffen an jeder zweiten Tankstelle von den Befragten präferiert wird, so steigt prozentual der Angebotswunsch an jeder dritten Tankstelle mit zunehmender Innovativität bzw. Umweltverhalten. Gleichzeitig wünschen sich dabei prozentual weniger Befragte ein Angebot an jeder Tankstelle. Die gleiche Trendentwicklung ist auch bei der Differenzierung nach der Vorerfahrung in der Nutzung von Biodiesel, Autogas und BEV zu sehen. Insgesamt geht aus dieser Frage hervor, dass die Befragten mehrheitlich, mit wenigen Ausnahmen, eine Verfügbarkeit von erneuerbaren Kraftstoffen an jeder zweiten Tankstelle als ausreichend empfinden. Besonders innovative Pkw-Nutzer oder jene mit hoher Vorerfahrung in der Nutzung von Biodiesel, Autogas oder BEV scheinen häufiger auch bereits ein Angebot an jeder dritten Tankstelle zufrieden zu stellen als die anderen Nutzergruppen.

Des Weiteren wurde die Berücksichtigung bestimmter Eigenschaften auf die Wahlentscheidung, ob an einer Tankmöglichkeit auch getankt wird, untersucht. Erfragt wurde dabei, ob die Kraftstoffeigenschaften Kraftstoffkosten, CO₂- oder Stickstoffemissionen, die Reichweite bei vollem Tank, der Ressourcenverbrauch oder der Aggregatzustand des Kraftstoffes (flüssig/gasförmig) eine Rolle bei der Tankentscheidung spielen. Die Ergebnisse zeigen, dass mit Ausnahme des Aggregatzustandes von mind. 82 % aller Befragten alle anderen aufgeführten Eigenschaften in ihrer Tankentscheidung berücksichtigt worden sind (siehe Abbildung 3-9). Die Kraftstoffkosten wurden von fast allen Befragten (93 %) in der Wahlentscheidung berücksichtigt,

während der Aggregatzustand des Kraftstoffs von etwas mehr als jedem zweiten Befragten berücksichtigt wird.

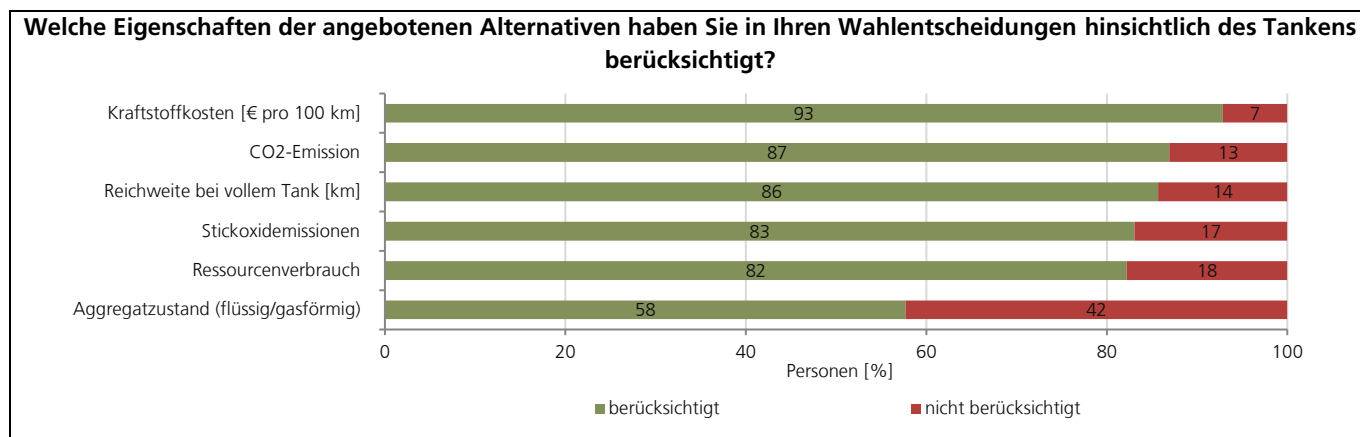


Abbildung 3-9: Häufigkeitsverteilung zu den Eigenschaften in der Wahlentscheidung des Tankens

Die Ergebnisse zur Differenzierung dieser Frage zeigen nahezu gleich hohe Anteile für die Berücksichtigung des Kraftstoffpreises bei der Tankentscheidung, unabhängig von der Differenzierungseigenschaften und der Abstufungen untereinander, die bei rund 90 % liegen (siehe Anhang A 7). Abgesehen von dieser Eigenschaft sowie dem Aggregatzustand nimmt die prozentuale Berücksichtigung der Kraftstoffeigenschaften mit abnehmender Fahrhäufigkeit tendenziell zu. Im Gegensatz dazu ist bei der Differenzierung nach dem Umweltverhalten und der Innovativität ein Anstieg der Eigenschaftsberücksichtigung mit steigendem Umweltverhalten bzw. Innovativität zu sehen, außer beim Aggregatzustand und bei der Reichweite bzw. den Stickstoffoxidemissionen. Unklare Bilder der Trendentwicklung sind dagegen bei der Differenzierung nach der Innovativität sowie der Vorerfahrungen mit Autogas, Biodiesel und BEV zu sehen. Die vorgestellten Eigenschaften spielen daher eine entscheidende Rolle für die Tankentscheidung, wobei der Kraftstoffpreis, CO₂-Emissionen und Reichweite bei vollem Tank trotz Differenzierung über alle betrachteten Nutzergruppen ähnlich stark berücksichtigt werden.

3.1.5. Einstellung und Meinungsbild zu erneuerbaren Kraftstoffen

Ein weiterer Baustein der Akzeptanzuntersuchung bestand im Erlangen eines allgemeinen Meinungsbildes zur Wahrnehmung von erneuerbaren Kraftstoffen. Dieses schließt auch Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität der erneuerbaren Kraftstoffe ein. Zunächst wurde dabei die Erwartung zu bestimmten Eigenschaften bei der Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen erfragt. Zu diesen Eigenschaften zählen der Wiederverkaufswert, Zuverlässigkeit, Explosion- und Brandgefahr, Lebensdauer, Wartungskosten und Inspektionshäufigkeit des Pkws. In den Ergebnissen aus Abbildung 3-10 ist ein sehr gemischtes Bild zu sehen. Dabei wurden von fast 30 % aller Befragten eine neutrale Antwort in allen Items gegeben. Fast jeder zweite Befragte ist der Meinung, dass durch die Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen der Wiederverkaufswert des Fahrzeugs steigt. 40 % der befragten Pkw-BesitzerInnen erwarten eine mind. gleich hohe Zuverlässigkeit ihres Pkw bei der Nutzung von erneuerbaren zu konventionellen Kraftstoffen. Zu einer verlängerten Lebensdauer des Pkw durch die Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen äußert sich die Mehrheit neutral, jedoch tendieren die Befragten eher dazu, keine verlängerte Lebensdauer zu erwarten. Ebenso sagt mehr als ein Drittel der

Befragten, dass die jährlichen Wartungskosten nicht niedriger sowie Inspektionen für den Pkw nicht seltener durch die Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen werden. Bei der Explosions- und Brandgefahr ist ein fast gleichverteiltes Meinungsbild an Zustimmung und Ablehnung zu sehen. Zusätzlich ist anzumerken, dass die Anteile an Enthaltung mit teilweise 20 % größer sind als die Zustimmung in einzelnen Items, wie bei den Wartungskosten sowie der Inspektionshäufigkeit. Das gemischte Meinungsbild zur Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen und vor allem die negative Erwartungshaltung bei der Inspektionshäufigkeit und der Wartungskosten deuten auf die Unsicherheit der Befragten in diesem Thema, sodass Aufklärungsarbeit in der Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen sinnvoll erscheint. Dennoch kann die Enthaltung auch aus Missverständnissen in der Frage resultieren, sodass die Ergebnisse kritisch zu betrachten sind.

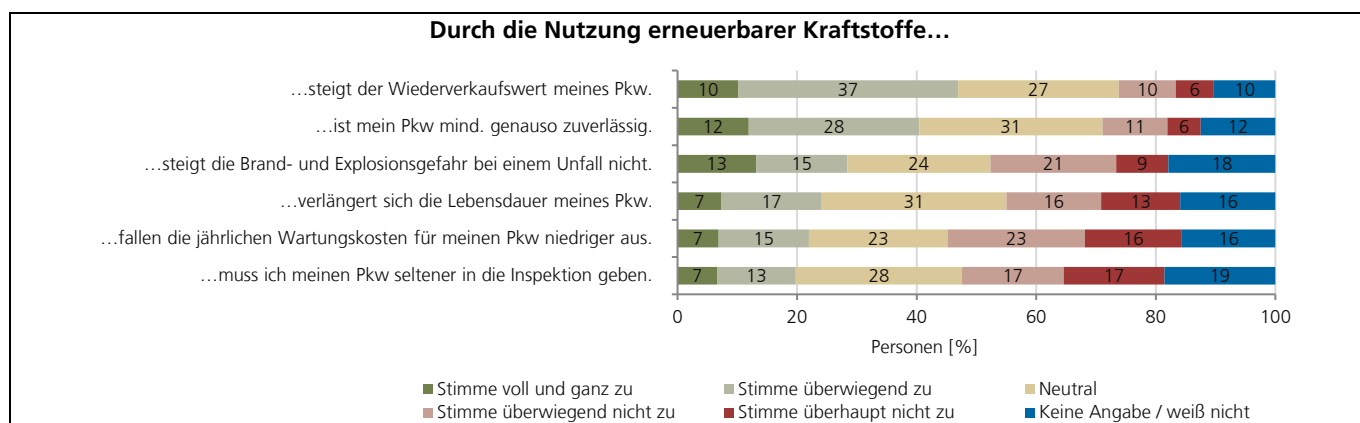


Abbildung 3-10: Häufigkeitsverteilung zu wahrgenommenen Eigenschaften in der Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen

In Abbildung A 9 und Abbildung A 10 sind die differenzierten Ergebnisse dargestellt, aus denen ein ähnlich unklares Meinungsbild, wie auch zuvor beschrieben, hervorgeht. Beim Umweltverhalten ist eine steigende Zustimmung in fast allen Items festzustellen, außer der Brand- und Explosionsgefahr. Während die Differenzierung nach der Innovativität klare Trendentwicklungen in den Items selbst zeigt, ist kein konsistentes Bild mit zunehmender Innovativität der Befragten insgesamt zu sehen. Bei der Berücksichtigung der Fahrhäufigkeit als Differenzierung ist kein stetiger Trend innerhalb der Items zu sehen, obwohl seltene Fahrer den Items eher zustimmen als tägliche oder häufige Fahrer. Ähnlich unklar sind auch die Trendverläufe bei der Differenzierung nach der Vorerfahrung mit Biodiesel, Autogas oder BEV. Die differenzierten Ergebnisse haben nochmals bestärkt, dass der Nutzen erneuerbarer Kraftstoffe bisher sehr unterschiedlich eingeschätzt und kein klares Meinungsbild bei den Befragten vorherrscht. Eine Differenzierung nach dem Umweltverhalten hat etwas Aufschluss auf die Entwicklung des Meinungsbildes gegeben, jedoch zeigt eine zusätzliche Betrachtung mit der Innovativität, Fahrhäufigkeit und Vorerfahrung mit alternativen Kraftstoffen/Antrieben keine klaren Erkenntnisse.

Ein ähnliches Bild ist auch bei der Betrachtung der Rahmenbedingungen zu sehen. Die Befragten sollten sich hierzu zu Aussagen über gewisse Rahmenbedingungen bei der Etablierung von erneuerbaren Kraftstoffen positionieren. Dies schließt nicht nur jene über die CO₂-Bilanz oder dem Anwendungsfeld der Kraftstoffe ein, sondern bspw. auch die regionale Herstellung des Kraftstoffs. Abbildung 3-11 zeigt die Ergebnisse zu diesen Aussagen, aus denen ein ebenso gemischtes Meinungsbild zu sehen ist. Acht von zehn befragten Pkw-BesitzerInnen stimmen der Notwendigkeit einer geringeren CO₂-Bilanz bei erneuerbaren Kraftstoffen im

Vergleich zu heutigem Benzin oder Diesel zu. Ebenso wird mehrheitlich die Wichtigkeit erneuerbarer Kraftstoffe als zentraler Baustein für die Klimazielerreichung im Verkehr sowie der Einsatz dieser Kraftstoffe in Schiffen, Flugzeugen und Lkw von den Befragten gesehen, und zwar mit 73-75 %. Jedem zweiten Befragten ist auch die Unabhängigkeit von großen Ölexporturen wichtig. Auch wenn 40 % aller Befragten mehr für einen in Europa produzierten Kraftstoff bezahlen würden, so ist der Anteil an Ablehnung dieser Aussage mit 29 % aller Befragten ähnlich hoch. Die Mehrheit der Befragten (35 %) sieht strombasierte Kraftstoffe nicht als richtigen Ansatz in der Debatte.

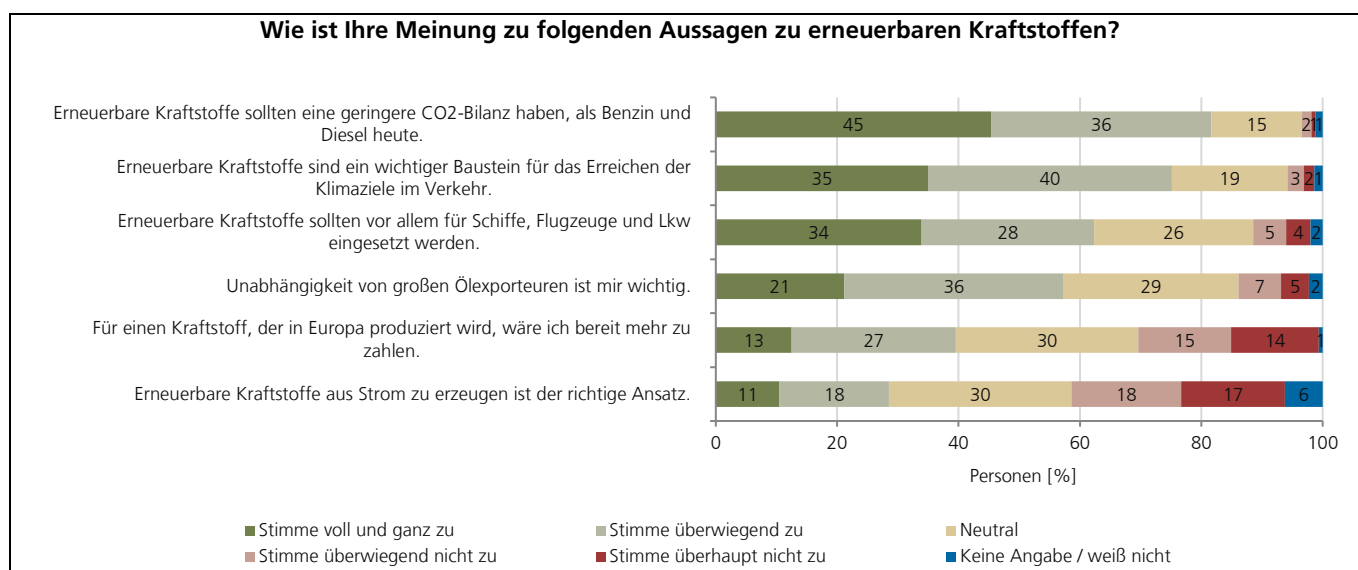


Abbildung 3-11: Häufigkeitsverteilung zu Aussagen hinsichtlich von Rahmenbedingungen in der Etablierung erneuerbarer Kraftstoffe

Die Ergebnisse der Differenzierung dieser Frage sind in Abbildung A 11 und Abbildung A 12 dargestellt. Hinsichtlich der Differenzierung nach der Fahrhäufigkeit ist eine steigende Zustimmung in den Aussagen mit abnehmender Fahrhäufigkeit zu sehen, die bei der Aussage zur CO₂-Bilanz einen Prozentwert von 97 % erreicht. Bei der Differenzierung nach dem Umweltverhalten ist dagegen das umgekehrte Verhalten zu sehen; mit zunehmendem Umweltverhalten steigt die Zustimmung in den Aussagen. Die Differenzierung nach der Innovativität zeigt ähnliche Verläufe wie in der Frage zuvor: So ist eine stetige Trendentwicklung innerhalb der Items mit zu- oder abnehmender Innovativität zu sehen, jedoch kein konsistentes Bild wie beim Umweltverhalten insgesamt wahrnehmbar. Sehr unklare Bilder liegen dagegen bei der Betrachtung der Vorerfahrung mit Biodiesel, Autogas und BEV vor. Das feststellbar gemischte und unklare Meinungsbild aus dieser Frage deutet auf mögliche Unsicherheiten der Befragten in diesem Themenfeld. Empfehlenswert wäre daher eine fundierte Aufklärung über den Einsatz von erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor. Diese sollte angemessen an die Zielgruppen, in Hinblick auf das Alter der repräsentativen Pkw-BesitzerInnen dieser Stichprobe, angepasst sein.

Um die Wahrnehmung von erneuerbaren Kraftstoffen zu stärken und ein einheitlicheres, positives Bild demgegenüber zu schaffen, gibt es verschiedene Maßnahmen. Um deren Einfluss charakterisieren und einordnen zu können, wurde die Attraktivität verschiedener Fördermaßnahmen zur Begünstigung der Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen erfragt. Neben finanziellen Vorteilen durch Vergünstigungen bei

Kraftstoffpreisen, der Kfz-Steuer, Umrüstkosten etc. schließt dies auch den Zugang zu zufahrtsbeschränkten Umweltzonen oder die Mitnutzung von Busspuren mit ein. Klar zu sehen ist, dass finanzielle Vergünstigungen von den befragten Pkw-BesitzerInnen als attraktivste Fördermaßnahmen gesehen werden (siehe Abbildung 3-12). Besonders die Vergünstigung im Kraftstoffpreis wird von insgesamt 92 % aller befragten Pkw-BesitzerInnen als attraktiv bewertet. Ähnliche Meinungen sind auch bei Vergünstigungen in der Kfz-Steuer und Zuschüssen bei den Umrüstkosten zu sehen (86-88 %). 80 % aller Befragten sieht das kostenlose bzw. vergünstigte Parken für Pkw mit erneuerbaren Kraftstoffen als attraktives Fördermittel. Die nicht-monetären Fördermaßnahmen (Zugang zu zufahrtsbeschränkten Umweltzonen oder auch die Nutzung von Busspuren) wurden von insgesamt 72 % bzw. 40 % aller Befragten als attraktiv bewertet und konnten damit als vergleichsweise mittelstarke Treiber identifiziert werden. Die am schlechtesten abschneidende Fördermaßnahme, wenn auch zu den finanziellen Aspekten gehörend, ist hier die Vergünstigung in der Dienstwagensteuer, die mit 28 % sogar mehrheitlich weniger attraktiv bzw. neutral gesehen wird.

Von den Befragten konnte zusätzlich angegeben werden, welche Fördermaßnahmen sie neben den gelisteten Optionen zusätzlich attraktiv einschätzen würden. Auch wenn der Großteil der Befragten die genannten Optionen als ausreichend empfanden bzw. keine weitere Antwort dazu gegeben haben, wurden weitestgehend andere finanzielle Vergünstigungen genannt, darunter Vergünstigungen beim Fahrzeugkauf (11 % aller Befragten) oder bei der Kfz-Versicherung (3 % aller Befragten).

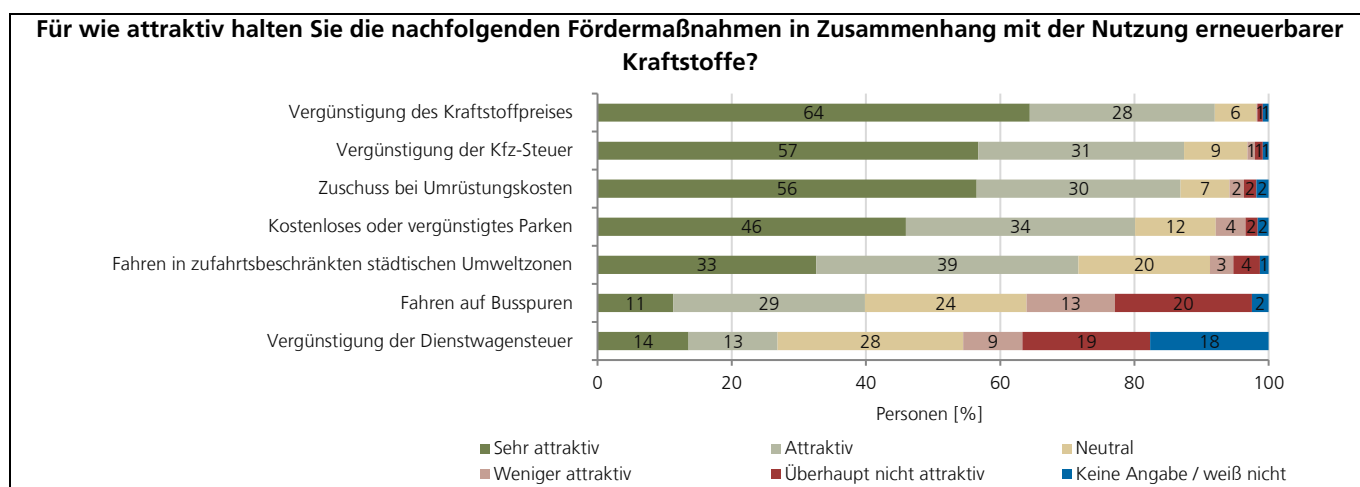


Abbildung 3-12: Häufigkeitsverteilung zur Attraktivität von Fördermaßnahmen für erneuerbare Kraftstoffe

Die Differenzierung der Frage nach Fahrhäufigkeit, Umweltverhalten, Innovativität und persönliche Vorerfahrung mit Autogas, Biodiesel bzw. BEV sind in den Abbildung A 13 und Abbildung A 14 im Anhang A8 zusammengefasst. Lediglich die tiefergehende Betrachtung nach dem Umweltverhalten sowie der Innovativität zeigt eine klare Zunahme der Zustimmung mit steigendem Umweltverhalten bzw. Innovativität, sodass bis zu 96 % aller Befragten die Vergünstigung im Kraftstoffpreis als attraktiv sehen. Eine Differenzierung nach der Fahrhäufigkeit der Befragten liefert keine klaren Trends. Auch die Betrachtung mittels der persönlichen Vorerfahrungen mit Autogas, Biodiesel und BEV zeigt sehr unklare Trendverläufe. Insgesamt deuten die Ergebnisse auf den großen Einflusshebel von finanziellen Anreizen bei der Förderung der Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen gegenüber anderen Fördermaßnahmen. Wie in den beiden Fragen

zuvor scheinen Pkw-BesitzerInnen mit hoch ausgeprägtem Umweltverhalten und teilweise der Innovativität den Fördermaßnahmen tendenziell eher zuzustimmen, während unklare Tendenzen aus der Betrachtung mit Fahrhäufigkeit sowie der Vorerfahrung mit alternativen Kraftstoffen/Antrieben resultieren.

3.2. Auswertung der SP-Befragung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Stated-Choice-Experiments dargestellt und analysiert. Zusätzlich zu den Ergebnissen der verschiedenen Modelle wird eine Analyse des Zahlungsbereitschaftsverhaltens durchgeführt. In Tabelle 3-1 sind die Ergebnisse der endgültigen MNL-Modelle dargestellt. In Tabelle 3-1 sind die geschätzten Koeffizienten (β), der t-Test und die Modellgüte angegeben. Insgesamt zeigen die geschätzten Koeffizienten die erwarteten Vorzeichen und plausible Werte.

Tabelle 3-1: Ergebnisse des geschätzten Modells

Koeffizienten	Geschätztes β	Std. Abweichung	t-Wert
ASC CNG	-	-	fixed
ASC Benzin	0,561	0,064	8,78
ASC Methanol	0,407	0,097	4,17
ASC Diesel	-0,047	0,098	-0,48
$\beta_{\text{flüssig}}$	0,474	0,089	5,33
β_{NOx}	-0,200	0,041	-4,85
$\beta_{\text{CO2 höheres Umweltverhalten}}$	-0,431	0,044	-9,88
$\beta_{\text{CO2 geringeres Umweltverhalten}}$	-0,363	0,042	-8,62
$\beta_{\text{Ressourcenverbrauch höheres Umweltverhalten}}$	-0,528	0,037	-14,26
$\beta_{\text{Ressourcenverbrauch geringeres Umweltverhalten}}$	-0,324	0,034	-9,40
$\beta_{\text{Preis Frau}}$	-0,076	0,006	-13,33
$\beta_{\text{Preis Mann}}$	-0,096	0,006	-16,83
$\beta_{\text{Reichweite ein Fahrzeug im HH}}$	0,003	0,000	12,67
$\beta_{\text{Reichweite mehrere Fahrzeuge im HH}}$	0,004	0,000	16,26
Modellgüte			
Log-likelihood (0)	-4.458		
Log-likelihood (final)	-3.719		
$\bar{\rho}^2$	0,163		
geschätzte Parameter	13		
Beobachtungen	3.216		

Bei der Erstellung eines robusten Modells wurde festgestellt, dass die unterschiedlichen Alternativen keinen direkten Einfluss auf die einzelnen Eigenschaften hatten. Das ist leicht nachvollziehbar, da die eigentlichen Kraftstoffbezeichnungen, wie oben beschrieben, nicht ersichtlich waren und nur die Buchstaben A, B, C und D gezeigt wurden. Auf dem Weg zu dem in Tabelle 3-1 abgebildeten Modell wurde zusätzlich der Einfluss von unterschiedlichen Variablen aus dem Basisfragebogen und der *MovingLab*-Datenbank untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass Umweltverhalten, Geschlecht sowie die Anzahl der Fahrzeuge im Haushalt einen Einfluss auf einige der geschätzten Koeffizienten haben. Die in Abbildung 3-13 dargestellten Werte verstehen sich als normierte Werte. Das bedeutet, die Werte der unterschiedlichen Bereiche beziehen sich jeweils auf den Maximalwert dieses Bereiches. Die Unterscheidung der Bereiche ist an den gestrichelten Linien zu erkennen. Ein Vergleich der Werte aus zwei verschiedenen Bereichen ist damit nicht möglich.

Wie zu erwarten war, hat das Umweltverhalten einen Einfluss auf die Bewertung der Attribute Ressourcenverbrauch und CO₂-Emissionen. Personen mit einem höheren Umweltverhalten neigen dazu, diesen Attributen eine höhere Bedeutung beizumessen. Dabei fällt auf, dass die Unterschiede zwischen beiden Gruppen beim Ressourcenverbrauch etwas größer sind. Ein signifikanter Einfluss des Umweltverhaltens auf die Relevanz von NO_x konnte nicht nachgewiesen werden.

Weiterhin konnten Unterschiede zwischen den Geschlechtern bei der Bewertung des Kraftstoffpreises gezeigt werden. Für Männer spielt der Preis bei der Entscheidung für einen Kraftstoff eine größere Rolle als für Frauen. Bei der Bewertung der Reichweite konnte ein Einfluss der verfügbaren Fahrzeuge im Haushalt nachgewiesen werden. Für Personen mit mehreren Fahrzeugen im Haushalt war eine hohe Reichweite wichtiger.

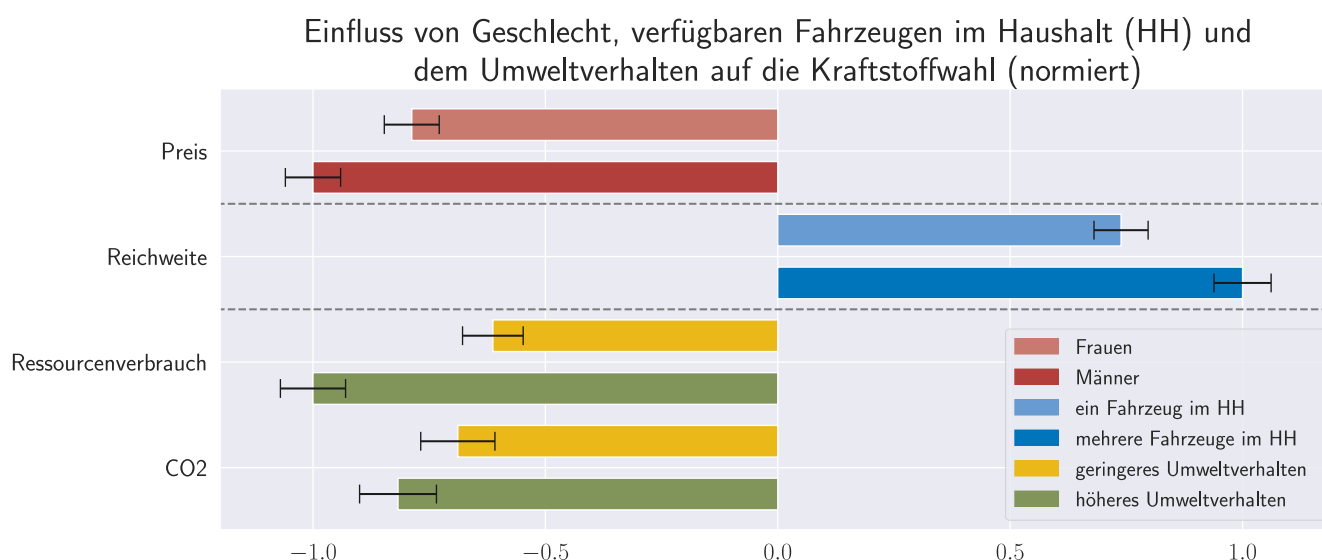


Abbildung 3-13: Einfluss des Geschlechts, der Anzahl verfügbarer Fahrzeuge im Haushalt und dem Umweltverhalten auf die Kraftstoffwahl (normiert)

Aus dem ermittelten Modell lässt sich die Zahlungsbereitschaft für zusätzliche Reichweite unter Anwendung von Formel 4 ableiten. Die zuvor ermittelten Fehlerwerte werden in dieser Analyse nicht weiter berücksichtigt. Ausgangspunkt sind die geschätzten β -Werte. Die in Abbildung 3-14 dargestellten Werte beziehen sich dabei

auf die Bereitschaft, zusätzlich zu den Kraftstoffkosten einen Aufschlag für zusätzliche Reichweite bei vollem Tank zu bezahlen. Aus der Abbildung geht hervor, dass Frauen und Personen mit mehreren Fahrzeugen im Haushalt bereit sind, einen höheren Aufschlag für zusätzliche Reichweite zu bezahlen.

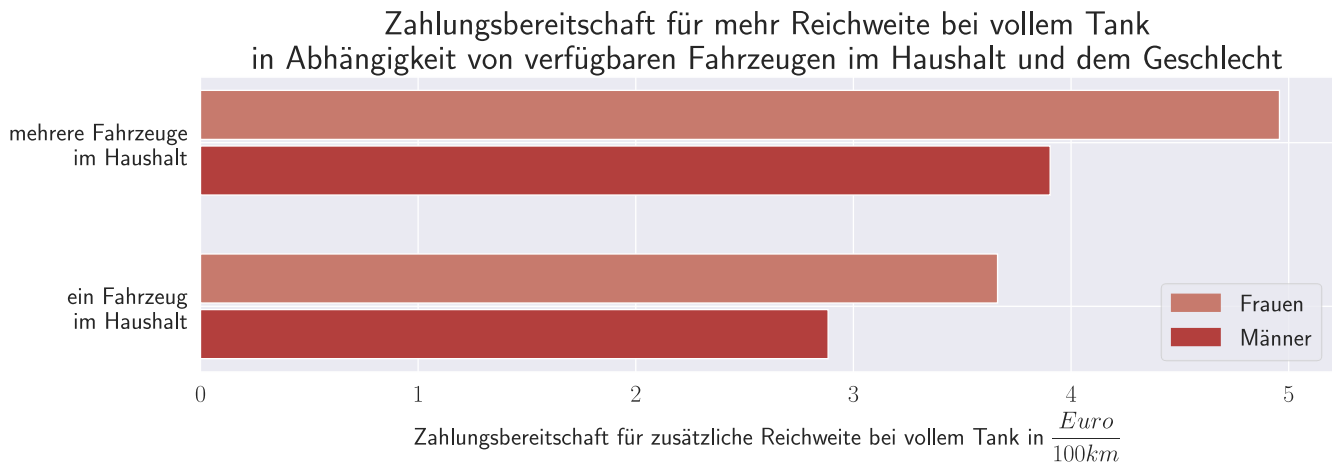


Abbildung 3-14: Zahlungsbereitschaft für 100 km zusätzliche Reichweite bei vollem Tank in Euro, nach Anzahl verfügbarer Fahrzeuge im Haushalt und Geschlecht

Ergänzend zu der herkömmlichen Auswertung der Stated-Choice-Daten können die Daten, wie in 2.2.2 beschrieben, auch mithilfe einer Conjoint-Analyse betrachtet werden. Durch diesen Ansatz können die zuvor nicht direkt vergleichbaren Eigenschaften miteinander vergleichen und ihrer Relevanz nach bewertet werden. Die Ergebnisse dieser Analyse werden in Abbildung 3-15 veranschaulicht. In Summe beträgt die Relevanz aller Eigenschaften dabei 100 %. Demnach hat der Preis die größte Relevanz bei der Entscheidung für einen Kraftstoff und ist damit ungefähr doppelt so wichtig wie die Reichweite. Von den drei untersuchten Umweltaspekten stehen vor allem die CO₂-Emissionen im Fokus.

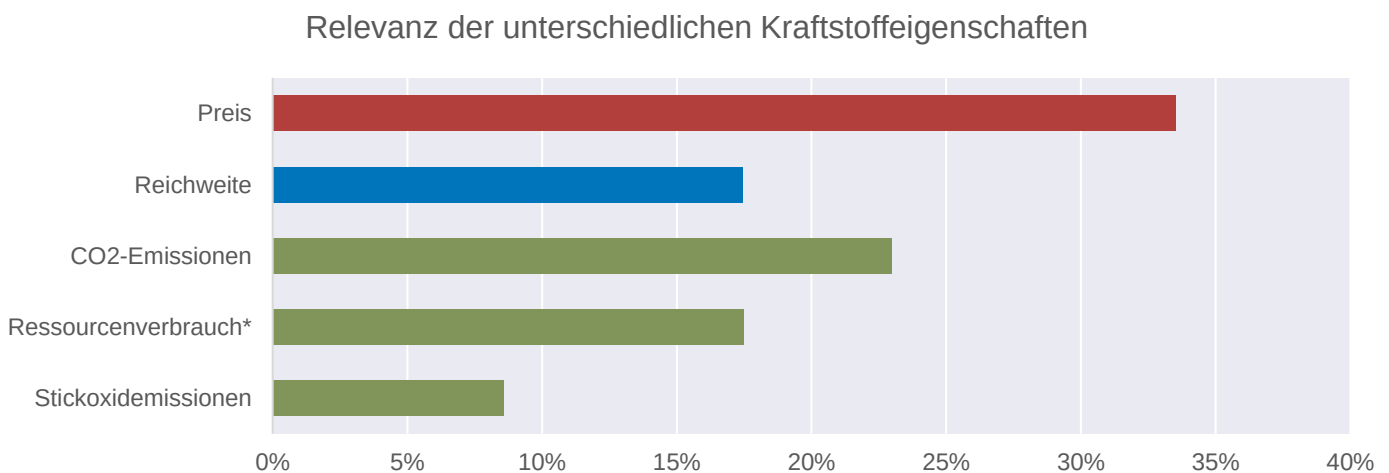


Abbildung 3-15: Relevanz der unterschiedlichen Kraftstoffeigenschaften bei der Entscheidungsfindung. Ergebnis der Conjoint-Analyse

4. Fazit

Das Ziel der durchgeführten Erhebung zum Thema erneuerbare Kraftstoffe und Tankverhalten war es, die Projektpartner in BEniVer mit Akzeptanzuntersuchungen zu unterstützen. Die Befragung wurde von insgesamt 535 Pkw-Besitzerinnen und -Besitzern aus ganz Deutschland vollständig beantwortet. Befragt wurden Personen aus dem *MovingLab*-Probandenpool, auf die die Anforderungen zutrafen. Damit die Stichprobe für repräsentative Aussagen herangezogen werden kann, wurden die Ergebnisse hinsichtlich der Raumtypologie des Wohnortes nach *RegioStaR 2*, der Anzahl der Pkw im Haushalt und der Anzahl der Personen im Haushalt entsprechend der Verteilung in der *MiD 2017* gewichtet. Die dargestellten Ergebnisse geben Aussagen zur Bereitschaft in der Umrüstung, dem Tankverhalten sowie der derzeitigen Einstellung zur Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen.

Hinsichtlich der Umrüstungsbereitschaft konnte ein positives Bild wahrgenommen werden, da die Mehrheit der Befragten zur Fahrzeugumrüstung bereit wäre und diese auch mit zunehmendem ausgeprägtem Umweltverhalten, Innovativität sowie der Vorerfahrung mit alternativen Kraftstoffen bzw. Antrieben steigt. Dabei zeigt sich auch die allgemeine Zahlungsbereitschaft für die Umrüstung, die ebenso mit einer Zunahme in den zuvor genannten Differenzierungseigenschaften tendenziell steigt.

Zum Tankverhalten wurde festgestellt, dass die befragten Pkw-BesitzerInnen für gewöhnlich an zwei oder drei unterschiedlichen Tankstellen im Alltag tanken. Dabei wird eine Verfügbarkeit von erneuerbaren Kraftstoffen an jeder zweiten Tankstelle mehrheitlich als ausreichend empfunden, wobei sich die Tendenzen je nach Nutzergruppe unterscheiden. Bei der Tankentscheidung werden bis auf den Aggregatzustand des Kraftstoffes alle weiteren untersuchten Kraftstoffeigenschaften, vor allem der Kraftstoffpreis, berücksichtigt.

Das Meinungsbild zur Nutzung und den Rahmenbedingungen von erneuerbaren Kraftstoffen ist sehr gemischt. Während sehr polarisierende Einstellungen in den Fragen zu sehen sind, kann auch eine gewisse Unsicherheit anhand der Enthaltung in diesen Items festgestellt werden. Die Enthaltung kann jedoch auch aus Missverständnissen oder Unschlüssigkeit in der Frage herrühren. Dennoch ist zu sagen, dass eine steigende Zustimmung bei Pkw-BesitzerInnen mit starkem Umweltverhalten vorliegt. Als attraktive Fördermaßnahmen wurden besonders finanzielle Vergünstigungen identifiziert, vor allem im Kraftstoffpreis, der Kfz-Steuer oder den Kosten in der Umrüstung.

Auch mit der Analyse der durchgeführten Stated-Choice-Befragung wurde festgestellt, dass vor allem der Kraftstoffpreis eine wichtige Rolle bei der Kraftstoffwahl spielt. Die unterschiedlichen Kraftstoffeigenschaften werden je nach Geschlecht, Umweltverhalten und Anzahl des Fahrzeugs im Haushalt unterschiedliche bewertet. So lässt sich unter anderem feststellen, dass Frauen und Personen mit mehreren Fahrzeugen im Haushalt eher bereit sind, einen höheren Aufschlag für zusätzliche Reichweite, also für Kraftstoffe mit einer höheren Energiedichten, zu bezahlen. Bei den Umwelteigenschaften spielen CO₂-Emissionen und Ressourcenverbrauch besonders für umweltbewusste Personen eine entscheidende Rolle.

5. Handlungsempfehlungen

Trotz des gemischten Meinungsbildes in der Nutzung erneuerbarer Kraftstoffe besteht die Bereitschaft zur Umrüstung des Fahrzeugs bei deutschen Pkw-Besitzerinnen und Besitzern, die Geldsummen von mind. 500€ dafür investieren würden. Dennoch ist eine fundierte Aufklärung über den Einsatz von erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor für die allgemeine Akzeptanz in diesem Thema notwendig. Diese sollte den jeweiligen Nutzergruppen, gerade in Anbetracht des Alters der repräsentativen Pkw-Besitzerinnen und Besitzer dieser Stichprobe, angepasst werden. Damit sollen Unsicherheiten im Meinungsbild zu erneuerbaren Kraftstoffen beseitigt und der potentielle Einsatz nutzerseitig gefördert werden. Um die Umrüstkosten möglichst gering zu halten und die Interoperabilität von erneuerbaren Kraftstoffen mit Bestandsfahrzeugen zu gewährleisten, sollten die Eigenschaften von erneuerbaren Kraftstoffen möglichst nah an die von konventionellen Kraftstoffen heranreichen. Falls ein bipolarer Betrieb der Fahrzeuge mit erdölbasierten und erneuerbaren Kraftstoffen nicht möglich ist, ist es für die Akzeptanz dieser Kraftstoffe von entscheidender Bedeutung, dass diese auch flächendeckend verfügbar sind. Ein Großteil der Pkw-BesitzerInnen wünscht sich dabei eine Verfügbarkeit an jeder zweiten Tankstelle. Da der Kraftstoffpreis bei der Wahl eines Kraftstoffes eine wichtige Rolle spielt, ist es zu empfehlen, erneuerbarer Kraftstoffe im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen zu einem vergleichbaren oder günstigeren Preis anzubieten.

6. Ausblick

Insgesamt können erneuerbare Kraftstoffe einen Beitrag zur Minderung der CO₂-Emissionen im Personenverkehr leisten. Bestandsfahrzeuge mit Verbrennungsmotor könnten somit für eine Übergangszeit weiter genutzt werden und global emissionsarm betrieben werden. Die vorgestellten Ergebnisse bilden eine erste Grundlage für die wissenschaftliche und strategische Ausrichtung der Erforschung von Nutzerverhalten und Akzeptanz zu erneuerbaren Kraftstoffen für die Zukunft. Die Verfügbarkeit der Kraftstoffe stellt aktuell noch eine große Herausforderung dar. Damit die Übergangszeit zu einer emissionsfreien Pkw-Flotte möglichst klimafreundlich überbrückt werden kann, müssten erneuerbarer Kraftstoffe möglichst bald in großem Maßstab und zu günstigen Preisen zur Verfügung stehen. Damit können Akzeptanzuntersuchungen am tatsächlichen Kraftstoff, z. B. mit Revealed-Preference-Experimenten, durchgeführt werden, die die bestehenden Ergebnisse der Stated-Choice-Untersuchungen ergänzen.

Anhang:

A. Differenzierung der Fragen

A.1. Allgemeine Bereitschaft in der Fahrzeugumrüstung

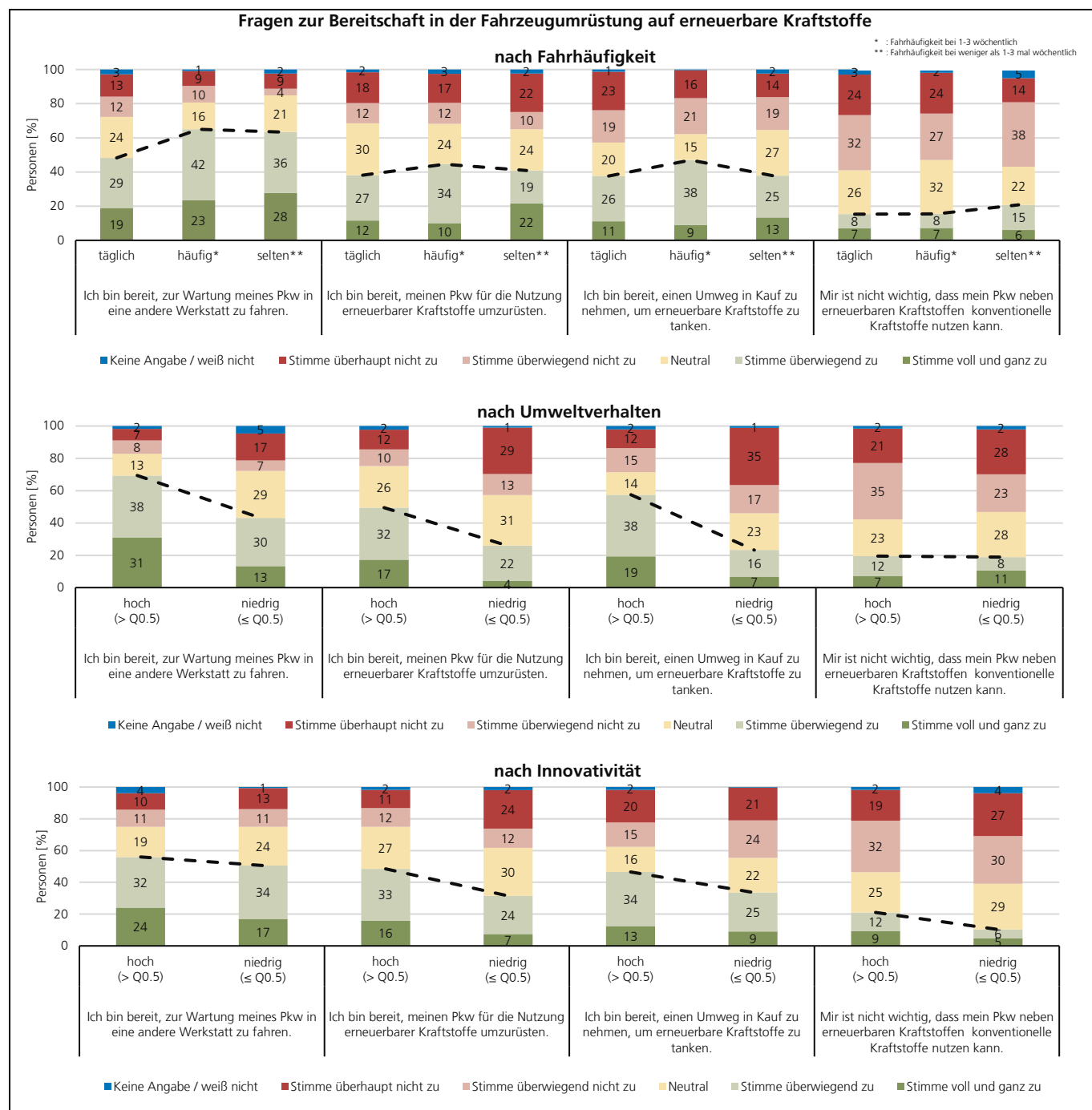


Abbildung A 1: Häufigkeitsverteilung zur Bereitschaft in der Fahrzeugumrüstung, differenziert nach Fahrhäufigkeit, Umweltverhalten und Innovativität der Befragten

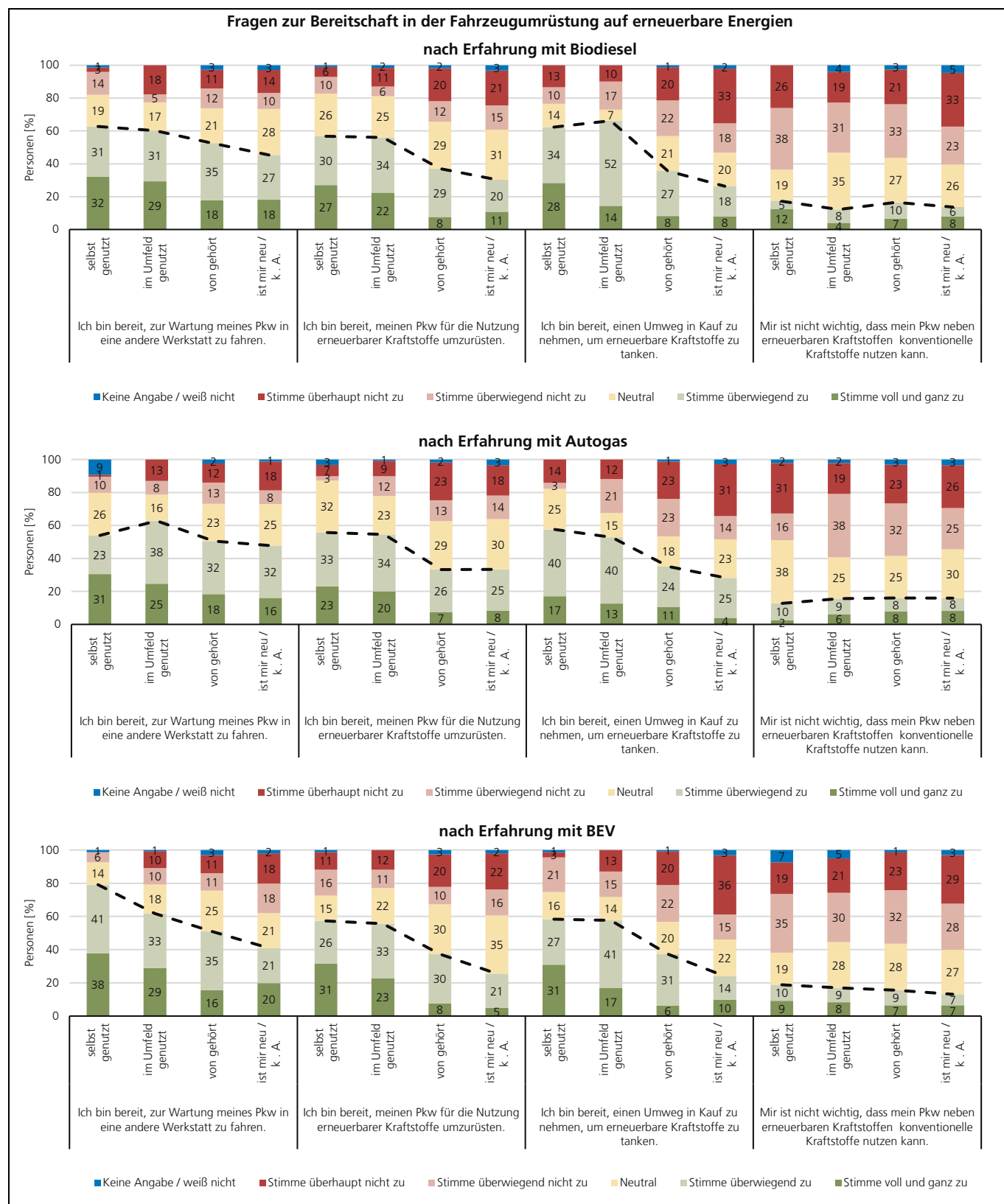


Abbildung A 2: Häufigkeitsverteilung zur Bereitschaft in der Fahrzeugumrüstung, differenziert nach der Vorerfahrung mit Biodiesel, Autogas und BEV der Befragten

A.2. Zahlungsbereitschaft bei der Fahrzeugumrüstung

* : Fahrhäufigkeit bei 1-3 wöchentlich
** : Fahrhäufigkeit bei weniger als 1-3 mal wöchentlich

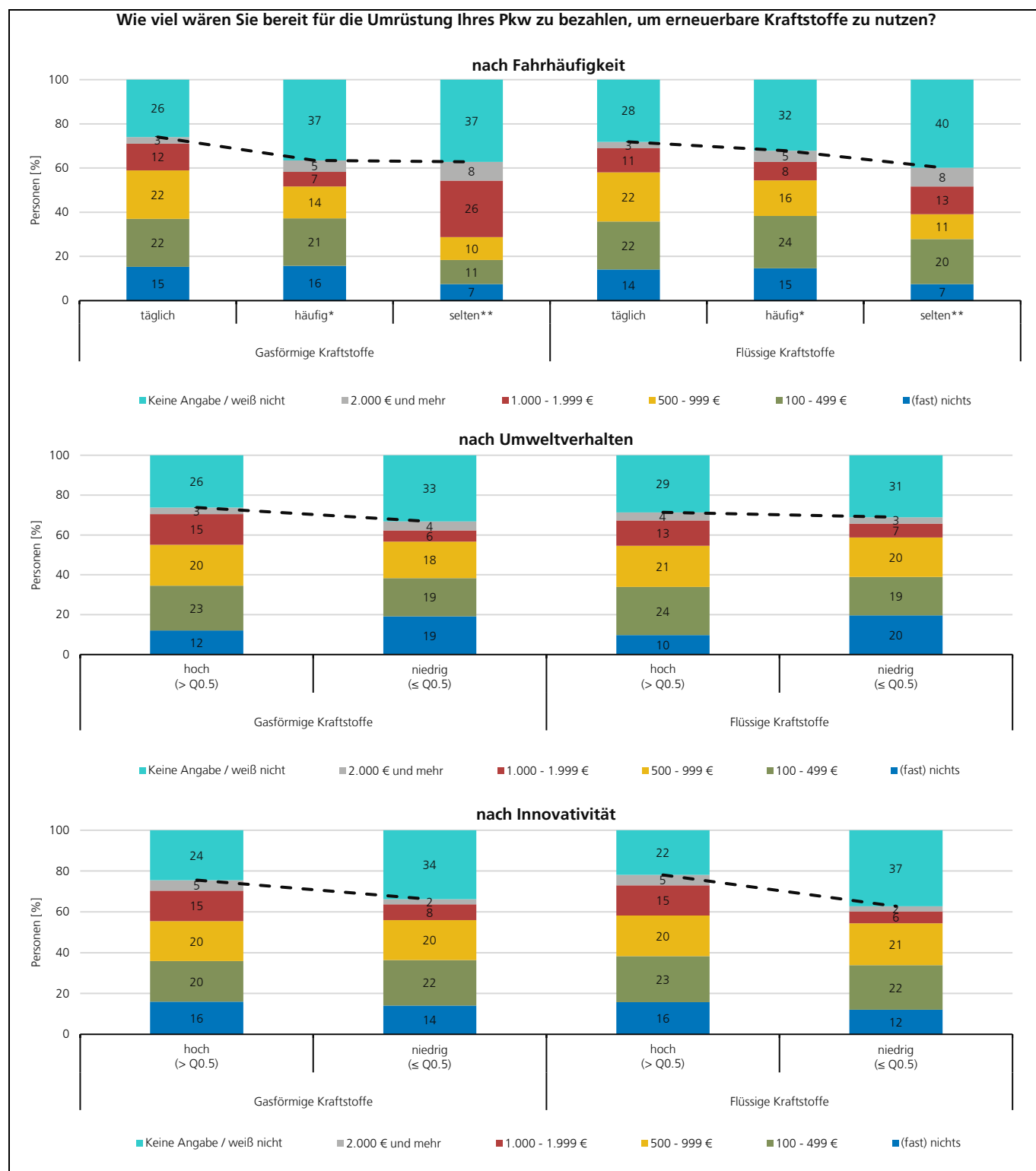


Abbildung A 3: Häufigkeitsverteilung zur Zahlungsbereitschaft bei Fahrzeugumrüstung, differenziert nach Fahrhäufigkeit, Umweltverhalten und Innovativität der Befragten

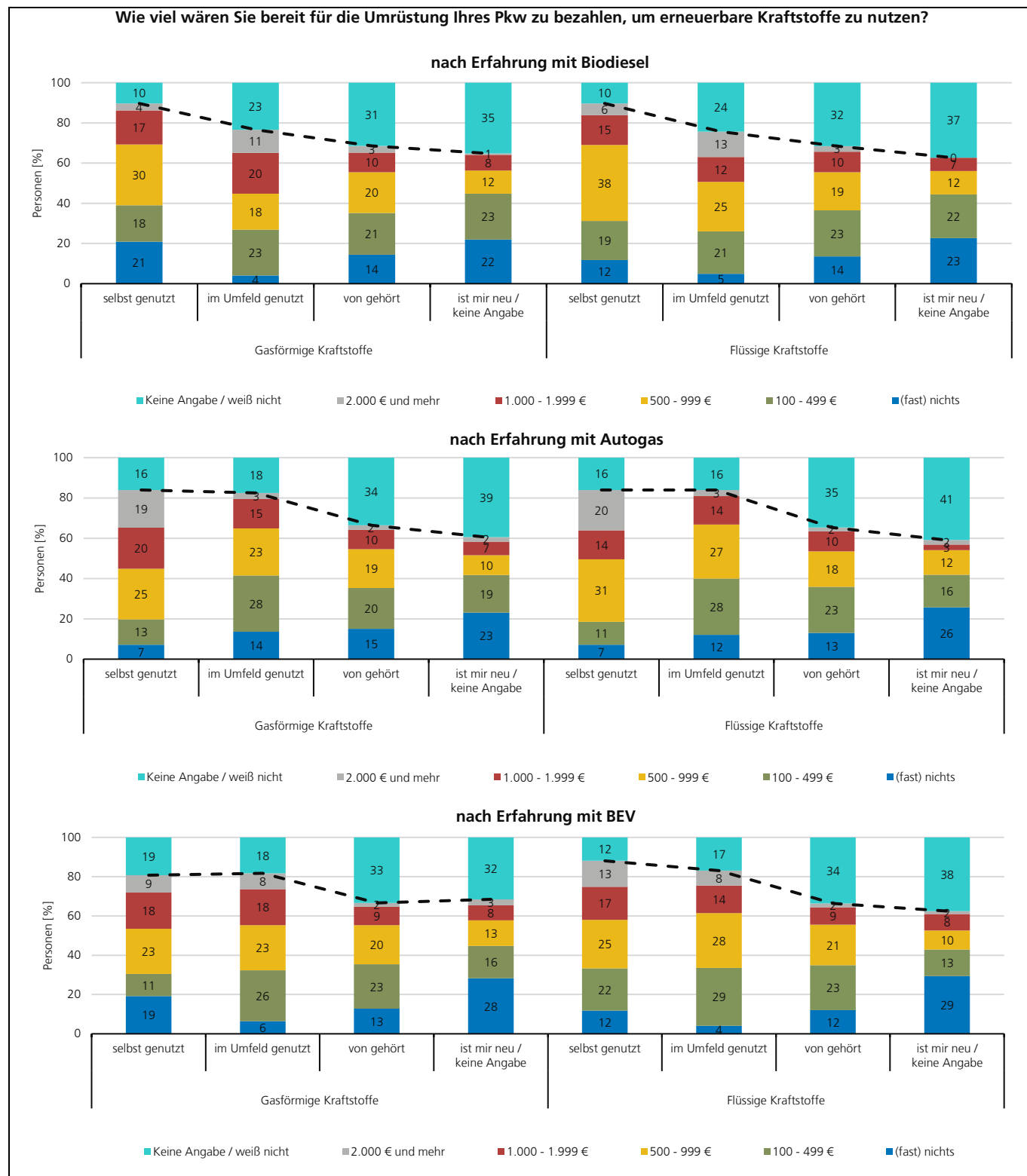


Abbildung A 4: Häufigkeitsverteilung zur Zahlungsbereitschaft bei Fahrzeugumrüstung, differenziert nach der Vorerfahrung mit Biodiesel, Autogas und BEV der Befragten

A.3. Tankverhalten

* : Fahrhäufigkeit bei 1-3 wöchentlich
 ** : Fahrhäufigkeit bei weniger als 1-3 mal wöchentlich

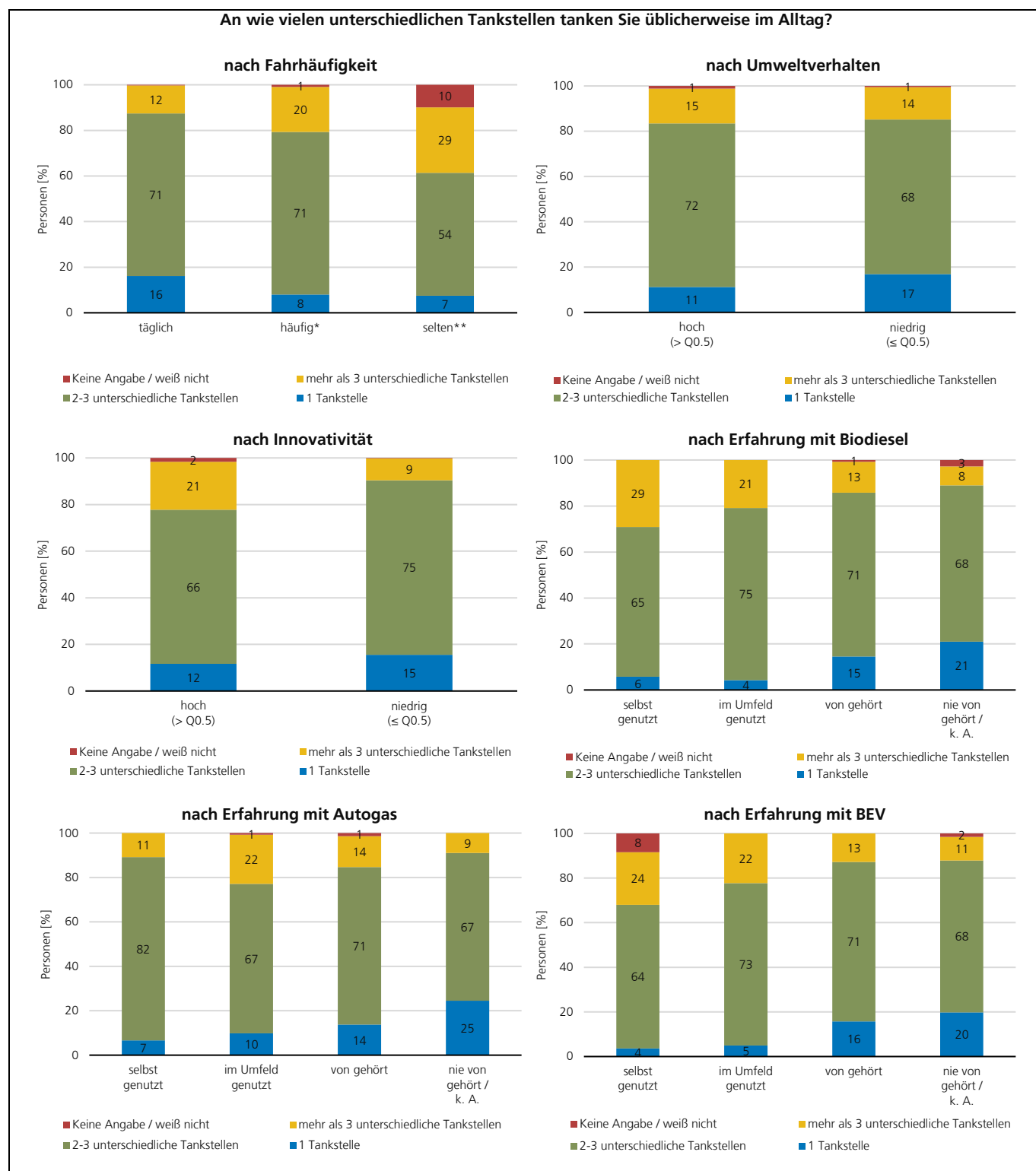


Abbildung A 5: Häufigkeitsverteilung zum Tankverhalten, differenziert nach Fahrhäufigkeit, Umweltverhalten, Innovativität und der Vorerfahrung mit Biodiesel, Autogas und BEV der Befragten

A.4. Notwendiges Verfügbarkeit von erneuerbaren Kraftstoffen an Tankstellen

* : Fahrhäufigkeit bei 1-3 wöchentlich
** : Fahrhäufigkeit bei weniger als 1-3 mal wöchentlich

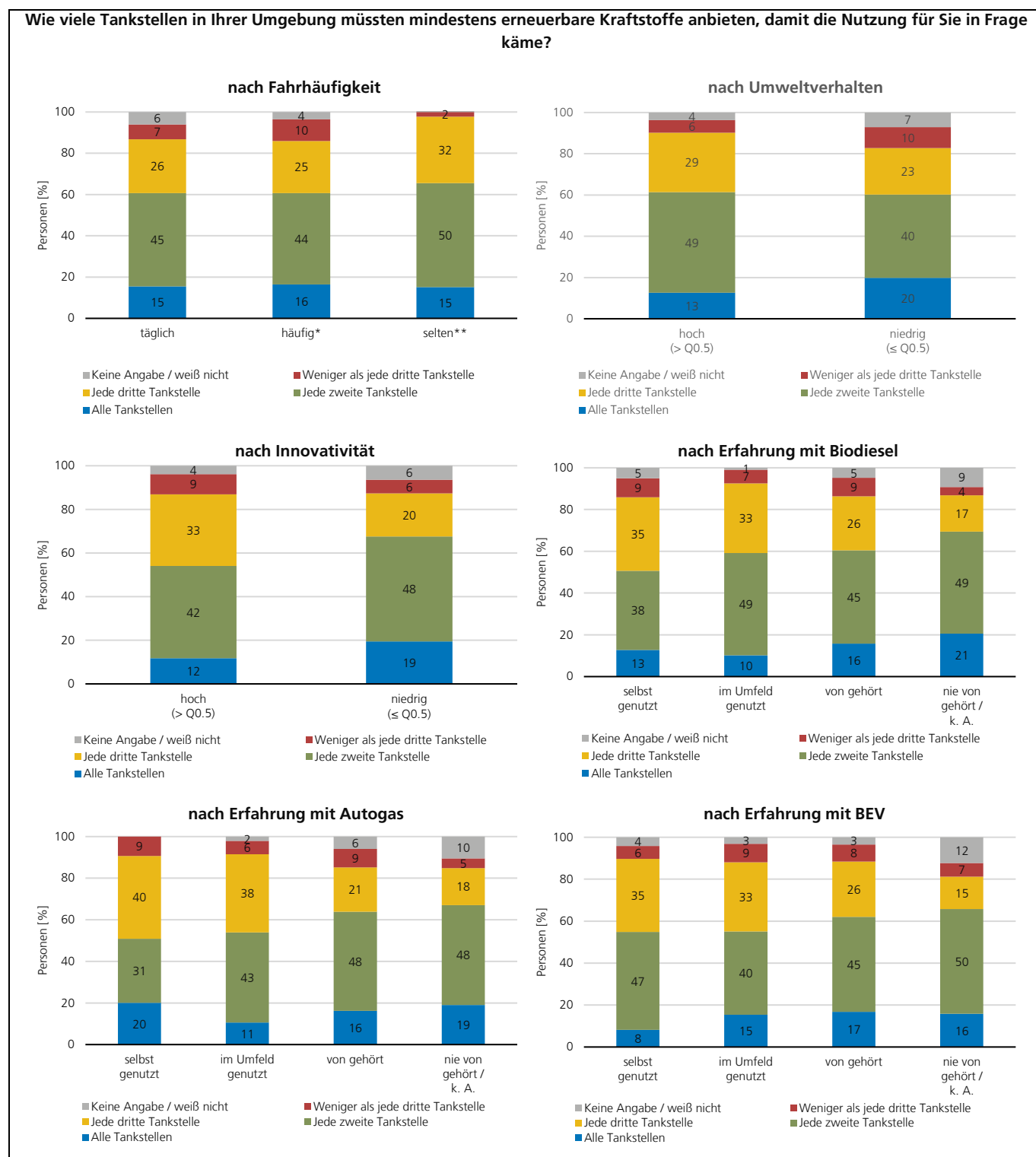


Abbildung A 6: Häufigkeitsverteilung zum notwendigen Angebot an erneuerbaren Kraftstoffen an Tankstellen, differenziert nach Fahrhäufigkeit, Umweltverhalten, Innovativität und der Vorerfahrung mit Biodiesel, Autogas sowie BEV der Befragten

A.5. Eigenschaften in der Wahlentscheidung zum Tanken

* : Fahrhäufigkeit bei 1-3 wöchentlich
 ** : Fahrhäufigkeit bei weniger als 1-3 mal wöchentlich

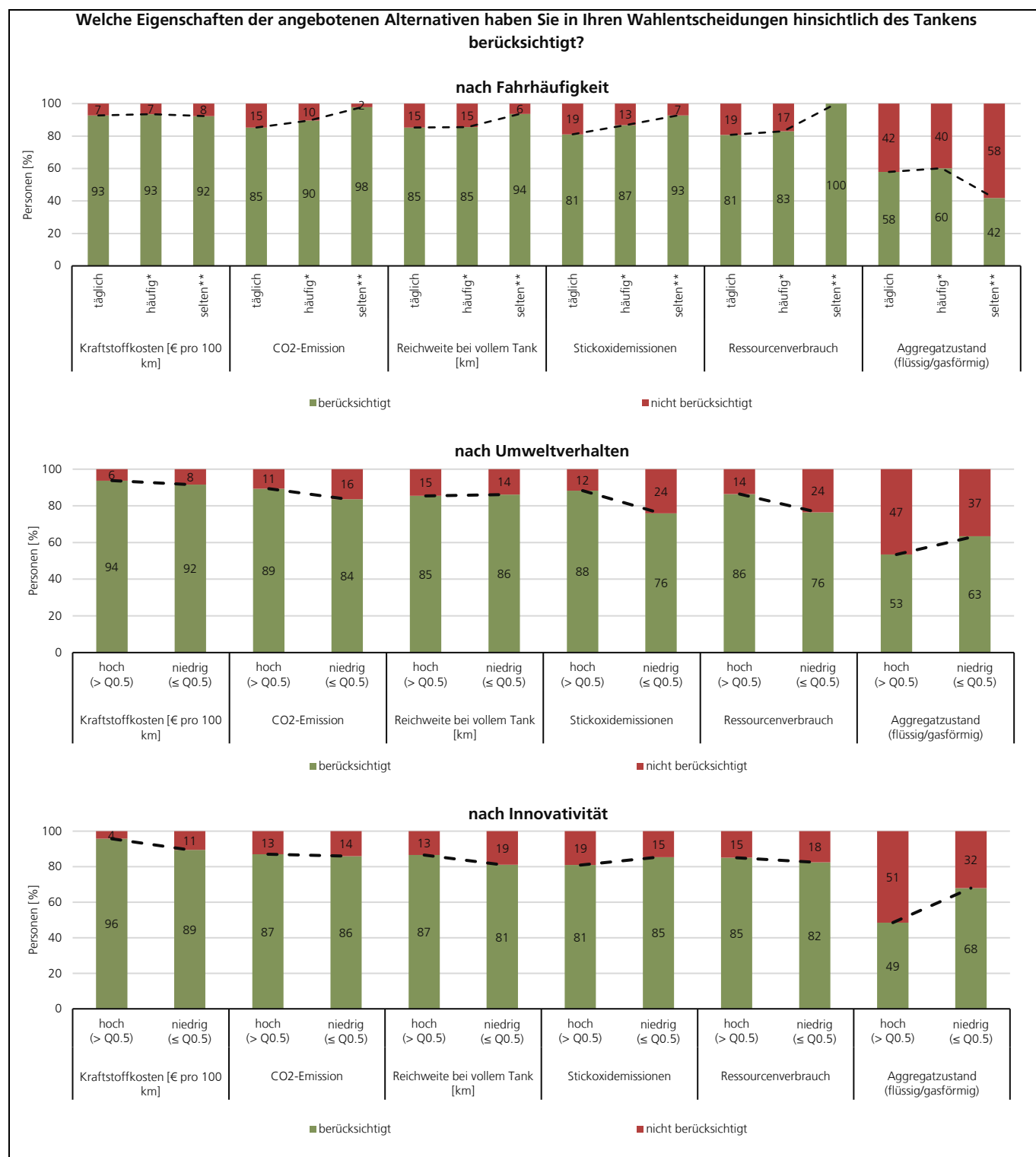


Abbildung A 7: Häufigkeitsverteilung der berücksichtigten Eigenschaften in der Wahlentscheidung hinsichtlich des Tankens, differenziert nach Fahrhäufigkeit, Umweltverhalten und Innovativität der Befragten



Abbildung A 8: Häufigkeitsverteilung der berücksichtigten Eigenschaften in der Wahlentscheidung hinsichtlich des Tankens, differenziert nach der Vorerfahrung mit Biodiesel, Autogas und BEV der Befragten

A.6. Meinungsbild zur Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen



Abbildung A 9: Häufigkeitsverteilung zum Meinungsbild im Nutzenn von erneuerbaren Kraftstoffen, differenziert nach Fahrhäufigkeit, Umweltverhalten und Innovativität der Befragten

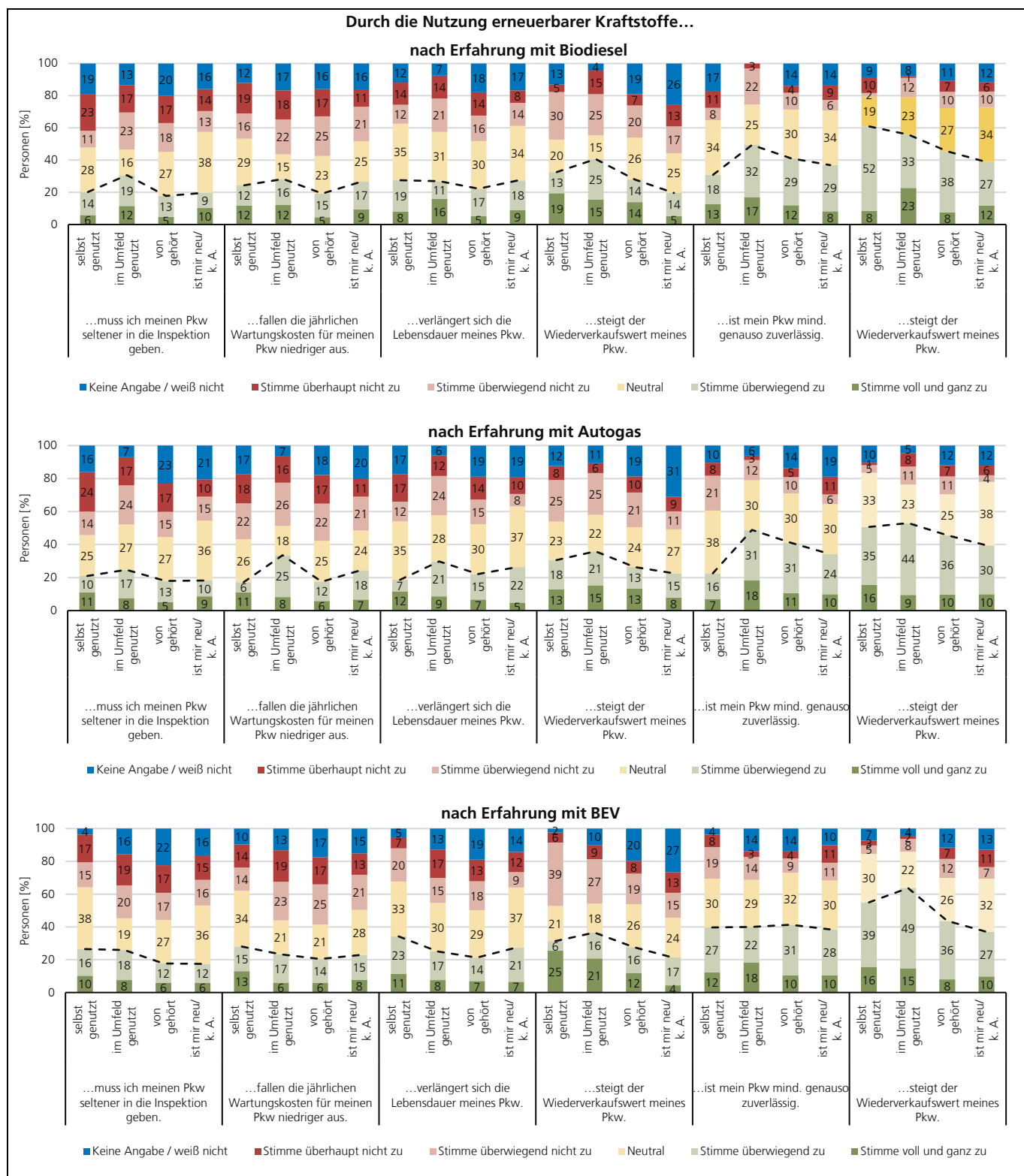


Abbildung A 10: Häufigkeitsverteilung zum Meinungsbild im Nutzen von erneuerbaren Kraftstoffen, differenziert nach der Vorerfahrung mit Biodiesel, Autogas, und BEV der Befragten

A.7. Aussagen zu Rahmenbedingungen in der Etablierung erneuerbarer Kraftstoffe

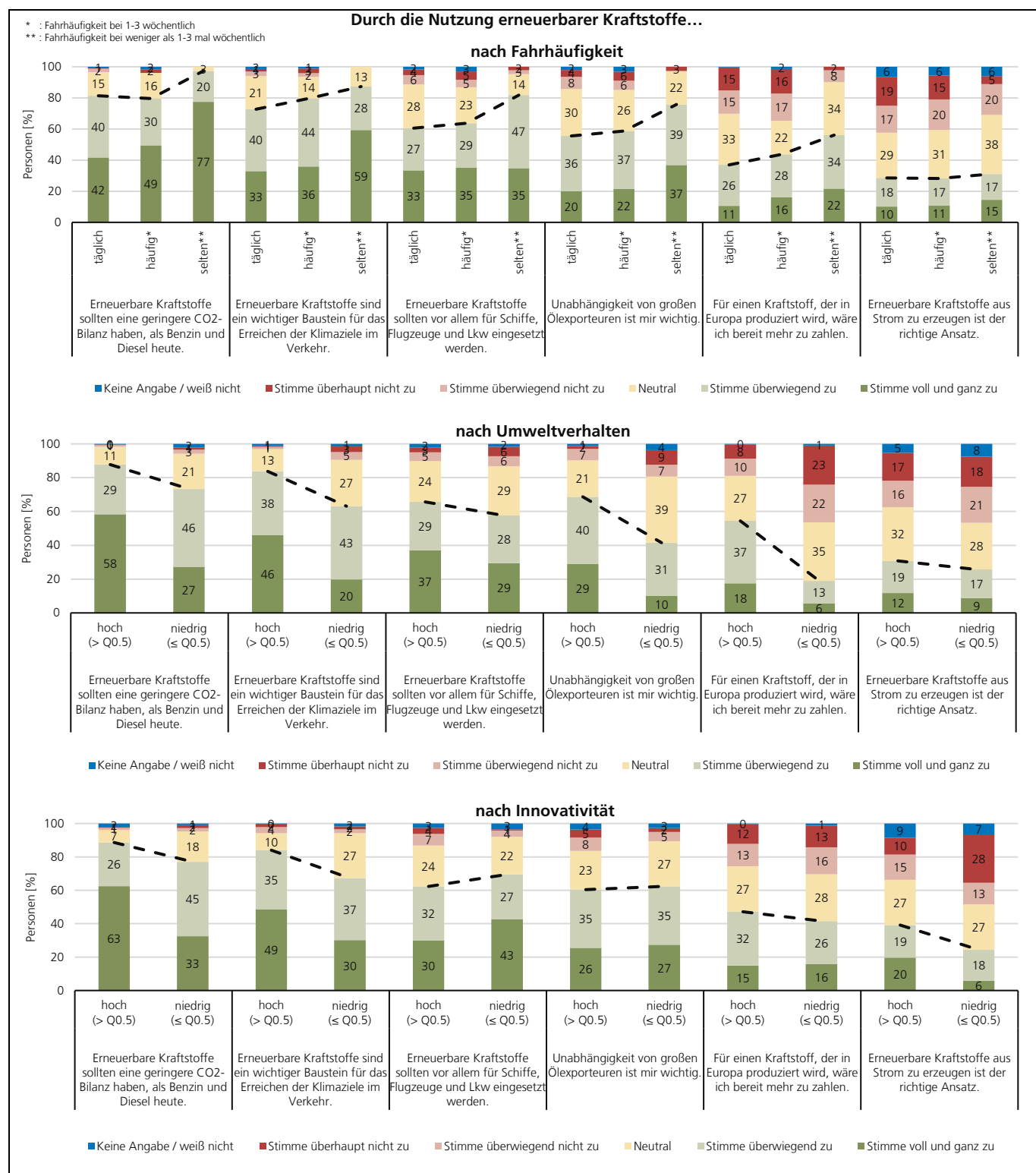


Abbildung A 11: Häufigkeitsverteilung zu Aussagen der Rahmenbedingungen in der Etablierung erneuerbarer Kraftstoffe, differenziert nach Fahrhäufigkeit, Umweltverhalten und Innovativität der Befragten

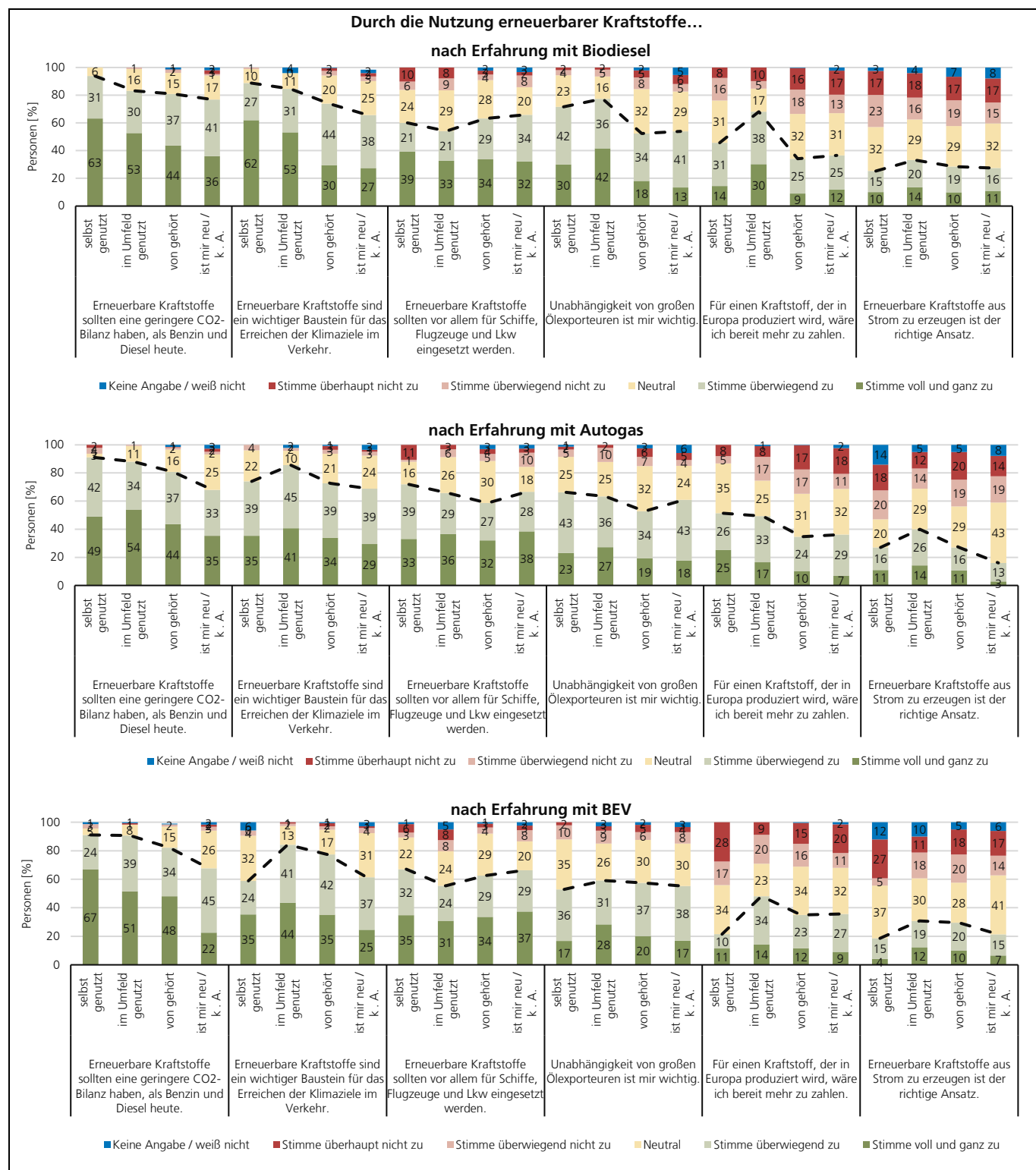


Abbildung A 12: Häufigkeitsverteilung zu Aussagen der Rahmenbedingungen in der Etablierung erneuerbarer Kraftstoffe, differenziert nach der Vorerfahrung mit Biodiesel, Autogas und BEV der Befragten

A.8. Attraktivität von Fördermaßnahmen für erneuerbare Kraftstoffe

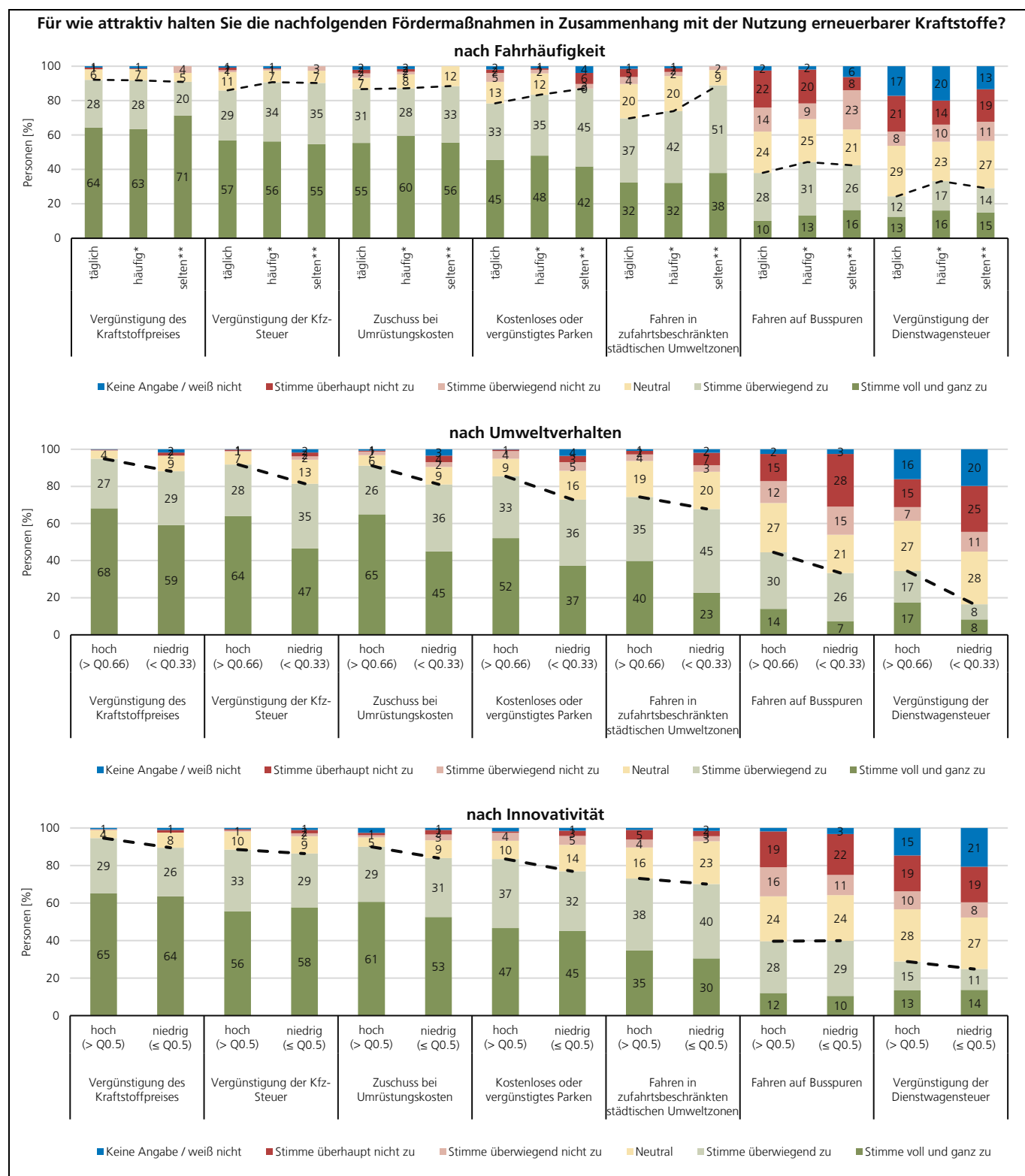


Abbildung A 13: Häufigkeitsverteilung zur Attraktivität von Fördermaßnahmen für erneuerbare Kraftstoffe, differenziert nach Fahrhäufigkeit, Umweltverhalten und Innovativität der Befragten

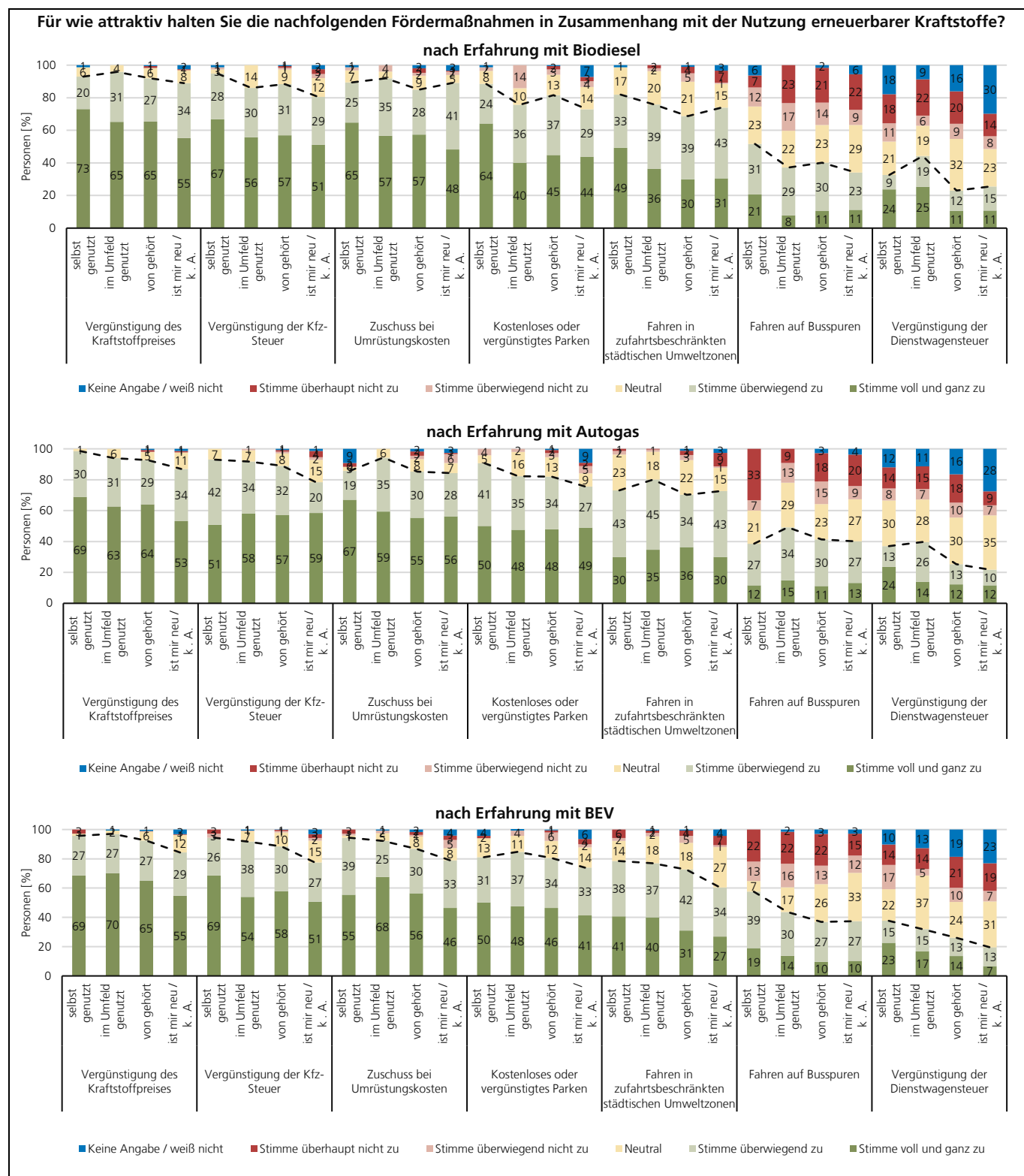


Abbildung A 14: Häufigkeitsverteilung zur Attraktivität von Fördermaßnahmen für erneuerbare Kraftstoffe, differenziert nach der Vorerfahrung mit Biodiesel, Autogas und BEV der Befragten

B. Beschreibung der Kraftstoffeigenschaften

- **Aggregatzustand:**

Der Aggregatzustand eines Kraftstoffes (d.h. flüssig, gasförmig) hat Einfluss auf die benötigte Tankinfrastruktur, nicht aber auf die Dauer des Tankvorgangs. Flüssige Kraftstoffe werden, wie auch Benzin und Diesel, über eine Zapfpistole getankt. Für gasförmige Kraftstoffe wird eine dichte Kupplung genutzt.

- **Stickoxide:**

Stickoxidemissionen (NO_x) entstehen durch die Verbrennung des Kraftstoffes und hängen im Wesentlichen vom eingesetzten Kraftstoff und der Verbrennungstemperatur ab. Da Stickoxide für Menschen, Tiere und Pflanzen schädlich sind, gelten von der EU vorgeschriebene Grenzwerte für die Umgebungsluft. Stickoxidemissionen wirken lokal und werden im folgenden Experiment in den Kategorien sehr niedrig bis sehr hoch unterschieden.

- **CO₂-Emissionen:**

Durch die Verbrennung kohlenstoffhaltiger Kraftstoffe entstehen CO₂-Emissionen, die aufgrund ihrer Treibhauswirkung und Menge die größten Verursacher des Klimawandels sind. Durch die Nutzung von CO₂ aus der Atmosphäre zur Herstellung von erneuerbaren Kraftstoffen können die Gesamtemissionen gegenüber konventionellen Kraftstoffen gesenkt werden. CO₂-Emissionen wirken global und werden für den gesamten Prozess (von der Kraftstoffherstellung bis zur -verbrennung) in den Kategorien sehr niedrig bis sehr hoch unterschieden.

- **Kraftstoffkosten pro 100 km:**

Entscheidend für die Betriebskosten eines Fahrzeugs sind in der Regel die Kraftstoffkosten. Da erneuerbare Kraftstoffe derzeit noch in der Entwicklungsphase sind und die Kosten für erneuerbare Kraftstoffe auch z.B. von deren Besteuerung abhängen, wurde für das folgende Experiment eine überschlägige Kostenabschätzung durchgeführt. Diese Kostenabschätzung basiert bei allen Kraftstoffen auf denselben Annahmen, sodass eine Vergleichbarkeit gegeben ist. Grundlage für die Berechnung ist ein Fahrzeug der VW-Golf-Klasse. Die Kraftstoffkosten für diesen Fahrzeugtyp bewegen sich zwischen 10 und 29 € pro 100 km.

- **Reichweite pro Tankfüllung:**

Die Reichweite eines Fahrzeugs bestimmt, wie häufig das Fahrzeug betankt werden muss und ist abhängig vom Tankinhalt sowie dem Verbrauch des Fahrzeugs. Berechnungsgrundlage ist ein Fahrzeug der VW-Golf-Klasse mit einem Tankinhalt von 50 Liter für flüssige Kraftstoffe bzw. 17 kg für gasförmige Kraftstoffe. Die Reichweite dieses Fahrzeugtyps mit erneuerbaren Kraftstoffen liegt zwischen 210 und 740 km.

- **Ressourcenverbrauch:**

Erneuerbare Kraftstoffe werden aus elektrischer Energie, Wasser und CO₂ hergestellt. Um den Ressourcenverbrauch zu erfassen wurden Wasser- und Stromverbrauch getrennt bewertet und anschließend zu einer Kennzahl zusammengefasst. Den Abschätzungen des Ressourcenverbrauchs liegt die Annahme zugrunde, dass der Kraftstoff mit Strom aus Photovoltaikanlagen in Marokko produziert wurde. Der Ressourcenverbrauch wird in den Kategorien sehr niedrig bis sehr hoch unterschieden.