

EM:POWER

ElektroMobilität: POtenziale durch Wasserstoff ERleben



htw saar
Forschungsgruppe
Verkehrstelematik

Deliverable D2.2: Wasserstoff im Praxistest: Ergebnisse der Akzeptanzstudie

Version:	1.0
Vertraulichkeit:	Öffentlich
Projektkoordination	htw saar
Fälligkeitsdatum	
Veröffentlichungsdatum	01.12.2021

Gefördert von:



Projektkoordination

Prof. Dr. Horst Wieker

Leiter der Forschungsgruppe Verkehrstelematik (FGVT) bei der
htw saar – Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes,
Kommunikationstechnik
Campus Alt-Saarbrücken
Goebenstr. 40
D-66117 Saarbrücken

Telefon +49 681 5867 195

Fax +49 681 5867 122

E-mail wieker@htwsaar.de

Web fgvt.htwsaar.de

© Copyright 2021 EM:POWER (htw saar). Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt und darf nur für Zwecke des Vorhabens EM:POWER genutzt werden.

Autoren

Leander Kauschke, Dipl. Wirt.-Ing.

Pascal Brück, B.Sc.

Zusammenfassung

Nachfolgendes Schriftstück dokumentiert die Akzeptanzanalysen im Projekt EM:POWER. Dies umfasst qualitative Vorstudien, den theoretischen Unterbau und die quantitative Datenanalyse von insgesamt vier Stichproben (zwei davon aus dem Feldtest).

Summary

The following paper documents the acceptance analyses in the EM:POWER project. This includes qualitative preliminary studies, the theoretical underpinning and the quantitative data analysis of a total of four samples (two of them from the field test). An English abstract can be provided upon request.

I. Inhaltsverzeichnis

Deliverable D2.2: Wasserstoff im Praxistest: Ergebnisse der Akzeptanzstudie	1
I. Inhaltsverzeichnis	4
II. Abbildungsverzeichnis	5
III. Tabellenverzeichnis	5
IV. Abkürzungsverzeichnis	6
V. Executive Summary	7
1 Motivation	8
2 Status Quo der Akzeptanz von H2 Mobilität	10
2.1 Was wir wissen	10
2.2 Was wir nicht wissen	11
2.3 Konzeptualisierung eines Akzeptanzmodells	12
3 Datenerhebung	14
3.1 Datenbereinigung	15
3.2 Güte der Datenbasis	15
3.3 Stichproben	16
4 Vorstudie	19
5 Ergebnisse öffentliche Akzeptanz	21
5.1 Statistische Auswertung	21
5.2 Messmodell	23
5.3 Strukturmodell	29
5.4 Güte des Gesamtmodells	36
5.5 Analyse von Gruppen	38
5.6 Zwischenfazit	41
6 Ergebnisse Nutzerakzeptanz	43
6.1 Deskriptive Ergebnisse	44
6.2 Dynamisches Importance-Performance Mapping	45
6.3 Explorative Modellierung der Erfahrung	47
7 Ergebnisse Feldtest	49
7.1 Daten aus dem Feldtest	49
7.2 Deskriptive Ergebnisse	49
7.3 Modellierung	51
8 Diskussion und Fazit	52
9 Schlussfolgerungen und Ausblick	58
VI. Literaturverzeichnis	64
VII. Anhang	83

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Das adaptierte Akzeptanzmodell für die Wasserstoffmobilität	13
Abbildung 2. Mengendarstellung der Stichproben.....	18
Abbildung 3. Akzeptanzmodell der Wasserstoffmobilität mit Pfadkoeffizienten und Bestimmtheitsmaßen	32
Abbildung 4. IPMA der Variablen im Modell H2public (standardisierte Werte)	34
Abbildung 5. SEM Mediation und Moderation	38
Abbildung 6. Dynamische IPMA - Vergleich der Stichproben.....	46
Abbildung 7. Modellierung des Einflusses von Erfahrung.....	47

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Bisherige Befunde zur Technologieakzeptanz der Wasserstoffmobilität	10
Tabelle 2. Stichprobe H2public	16
Tabelle 3. Stichprobe H2user.....	17
Tabelle 4. Antwortcluster qualitatives Feedback	20
Tabelle 5. Deskriptive Statistik H2public	22
Tabelle 6. Reliabilität und Validität H2public	25
Tabelle 7. Korrelationen und Fornell-Larcker Kriterium H2public	27
Tabelle 8. Heterotrait-Monotrait Ratio HTMT H2public.....	28
Tabelle 9. VIFs im Strukturmodell H2public	30
Tabelle 10. Model Fit Indizes und Schwellenwerte.....	37
Tabelle 11. Vergleichende Übersicht Ergebnisse Akzeptanzstudie	43
Tabelle 12. Vergleich deskriptive Statistik.....	45
Tabelle 13. Charakteristika der Feldtest-Probanden	49
Tabelle 14. Akzeptanzwerte vor und nach dem Feldtest.....	50

IV. Abkürzungsverzeichnis

[BEV]	Battery Electric Vehicle
[CGH ₂]	Komprimierter gasförmiger Wasserstoff
[CO]	Kohlenstoffmonoxid
[CO ₂]	Kohlenstoffdioxid
[EEG]	Energy Economics Group
[EU-EHS]	EU-Emissionshandelssystem
[FCEV]	Fuel Cell Electronic Vehicle
[FCEHDT]	Fuel Cell Electronic Heavy Duty Truck
[FCH-2-JU]	Fuel Cell and Hydrogen to Joint Undertaking
[H ₂]	Wasserstoff
[HTEL]	High Temperature Electrolysis
[N ₂]	Stickstoff
[NAM]	Norm Activation Model
[NOW GmbH]	Nat. Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
[OEM]	Original Equipment Manufacturer
[PEMEL]	Polymer Electrolyte Membrane Electrolysis
[PEMFC]	Polymer Electronic Fuel Cell
[PEST]	Political-Economical-Social-Technological (-Analyse)
[PHEV]	Plug-in-Hybrid Electric Vehicle
[SAE]	Society of Automotive Engineers
[SWOT]	Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats (-Analyse)
[TAM]	Technological Acceptance Model
[TMS]	Thermomanagement-System
[TPB]	Theory of Planned Behaviour
[TRA]	Theory of Reasoned Action
[TRI]	Technological Readiness Indicator
[UTAUT]	Universal Theory for Acceptance and Use of Technology

V. Executive Summary

Vorliegendes Dokument aggregiert die Ergebnisse des Arbeitspakets AP3 (Akzeptanzstudie). Ziel ist es die erzielten Ergebnisse und deren Erreichung transparent dazustellen und vor dem Hintergrund aktueller techno-politischer Entwicklungen zu diskutieren.

Dieses Deliverable D2.2 liefert deshalb zunächst eine thematische Einführung und eine Problemstellung zur Akzeptanz des Systems der Wasserstoffmobilität in Deutschland. Als vorrangiges Forschungsziel resultiert daraus die holistische Modellierung und Validierung des Akzeptanzprozess der Wasserstoffmobilität aus Sicht von (zukünftigen) Nutzerinnen und Nutzern. Dies geschieht, um zu verstehen welche Faktoren unsere Verhaltensabsichten gegenüber Wasserstoff in Deutschland heute determinieren. In einem zweiten Schritt werden anschließend gruppenspezifische Besonderheiten und der Einfluss von Erfahrungs- und Erlebniswerten auf die Akzeptanz untersucht. Hierfür zieht EMPOWER vier Datensätze heran und analysiert diese mit der Strukturgleichungssoftware SmartPLS 3.

Im Ergebnis zeigt sich, dass Vertrauen, wahrgenommenes Risiko und soziale Normen die stärksten Einflussfaktoren der Akzeptanz von H2 Mobilität sind. Möchte man die Akzeptanz erhöhen, ist vorliegender Studie zufolge, neben anderen Möglichkeiten, die Schaffung von Erlebnisräumen einer der vielversprechendsten Ansätze. Die Menschen sind auf der Suche nach Informationen und Erfahrungen (Innovationsfrühphase). Abschließend werden theoretische Schlussfolgerungen und praktische Handlungsempfehlungen für Manager- und Entscheider*innen abgeleitet.

1 Motivation

Der Prozess der Adaption von Mobilitätsinnovationen in den Alltag der Nutzer*innen ist ein Phänomen, das seit vielen Jahren ein zentrales Problem der Mobilitätstheorie und -praxis darstellt (Warner, 1962; Wu et al., 2020). Trotz großer technologischer Fortschritte bleiben die Probleme einer besorgniserregend geringen Verbreitung und einer mangelhaften Nutzung neuer Systeme bestehen. Dabei hätten solche Systeme das Potenzial Emissionen zu reduzieren und die Verkehrseffizienz gleichsam zu steigern.

Derzeit wird das Thema Wasserstoff als Energiequelle für den elektrischen Antrieb und die Dekarbonisierung des Verkehrssektor verstärkt diskutiert. EU und Bund haben langfristige Wasserstoffstrategien verabschiedet. Die Technologie gilt als ausgereift (siehe D1, Kapitel 3). Die Industrie und die Bevölkerung scheinen bereit. Beim Wasserstofffahrzeug könnte es allerdings, analog zum Aufkommen der Elektrofahrzeuge, zu einem sehr schleppenden Markthochlauf kommen, denn auch bei den FCHV gilt:

- Kollektive Vorteile wie reduzierte Umweltbelastungen sind nicht unmittelbar.
- Individuelle Nachteile wie hohe Anschaffungskosten, geringe Reichweiten und eine mangelhafte Infrastruktur sind schnell wirksame Einschränkungen.
- Die Mehrpreisbereitschaft ist wie beim Elektroauto gering (McKinsey, 2010)

Um solche Kontradiktionen zu erörtern wurden in den letzten Jahrzehnten erhebliche Fortschritte bei der Erklärung und Vorhersage der Nutzerakzeptanz verwandter Systeme, z.B. der Informationstechnologie durch die Benutzer erzielt (Regan et al., 2014). Während in der technologischen Frühphase von Innovation meist einfache Einstellungs- und Risikostudien durchgeführt wurden, haben sich in der Sozialpsychologie mittlerweile modellbasierten Methoden des TAM (Davis, 1989) oder des UTAUT (Venkatesh, 2003) in vielen Hunderten empirischer Studien (Lee et al., 2003; Legris et al., 2003) durchgesetzt. Durchschnittlich können damit 40-50% der Varianz in der Nutzungsabsicht prognostiziert werden. Diese Nutzungsabsicht („intention to use“) quantifiziert und misst die Akzeptanz in produktivitätsorientierten Modellen¹.

*“Acceptance is the degree to which an individual incorporates a system in his/her behaviour, or, if the system is not available, intends to use it.”
(Adell, 2014)*

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Analyse der Akzeptanz von Wasserstofffahrzeugen, der Einflussfaktoren und ihre Bedeutung auf Basis der anerkannten Definition von Adell (2014). Der Feldtest bietet hierfür eine ideale empirische Gelegenheit, denn Akzeptanz ist ein Phänomen an der Schnittstelle von Technik, Ökonomie und Sozialpsychologie. Sie hat stets zwei Perspektiven: die Einstellung des Individuums zu einer Sache und die

¹ Zur Abgrenzung und Einordnung unterschiedlicher Ansätze siehe Alexandre et al. (2018)

geplante Handlung gegenüber der Sache (Verhalten). Der Aufbau der Studie und die Forschungsziele werden im Folgenden aus der bestehenden Literatur und eigenen Beobachtungen zum Thema abgeleitet. Ziel ist es aus den Betrachtungen zur Akzeptanz eine effektive öffentliche Kommunikations- und Incentivierungsstrategie abzuleiten.

2 Status Quo der Akzeptanz von H2 Mobilität

2.1 Was wir wissen

In Deutschland und im Saarland gibt es noch wenig Fahrzeuge und Tankstellen. Dennoch scheint ein gewisser Optimismus das Thema zu begleiten, denn der Brennstoffzellenantrieb verspricht im Gegensatz zu anderen neuen Mobilitätskonzepten die klassische flexible und freie Automobilität, inklusive hoher Fertigungstiefen in der deutschen Industrie, weitestgehend beibehalten zu können. Die Akzeptanz könnte somit durchaus höher sein als bei anderen neuen Mobilitätstechnologie wie dem batterieelektrischen Auto. Um zu überprüfen, ob das tatsächlich eine fundierte Annahme ist und weiterhin zu ermitteln welche Forschungsbedarfe im Umfeld der Akzeptanz von H2 Mobilität vorliegen, werden nachfolgend die wichtigsten Erkenntnisse aus der Literaturanalyse des D1 zusammengefasst (Adorff et al. 2020). Bislang wurde die Einstellungen und Wahrnehmungen zur H2 Mobilität dabei unter sehr unterschiedlichen Gesichtspunkten untersucht. Der Fokus lag meist auf spezifischen Anwendungen und Technologien.

Tabelle 1. Bisherige Befunde zur Technologieakzeptanz der Wasserstoffmobilität

Fahrzeuge	
Öffentliche Meinung eigentlich gut	(Altmann et al., 2003)
Mangel an Wissen und Erfahrung hemmt Akzeptanz	(Loosen et al., 2003).
Zahlungsbereitschaft bei maximal 1000€ Mehrkosten	(Mourato et al., 2004)
Sicherheitsbedenken sind relativ gering	(Mumford, 2006; Zimmer, 2009)
Soziale Normen potenziell einflussreich beim Fahrzeugkauf	(Barth, 2016)
Geringe Modellvielfalt hemmt Verbreitung	(Mohamed et al., 2018)
Einheimische Fahrzeuge könnten Akzeptanz erhöhen	(Still, 2019)
Infrastruktur und Produktion	
90% der Nutzer*innen sind zufrieden mit dem Tankvorgang	(O'Garra, 2005)
67% der Nutzer*innen haben keine Sicherheitsbedenken gegenüber der Tankinfrastruktur	(Ono & Tsunemi, 2017)
Im Gegensatz z.B. zur Windkraft, steigt die Akzeptanz im lokalen Umfeld einer H2-Tankstelle	(Tarigan et al., 2012)
Nachhaltigkeit des H2 hat einen signifikanten Einfluss auf Akzeptanz	(O'Garra, 2005)
Systemische Betrachtung	
Trotz einer positiven Einstellung zu H2 ist persönliche Veränderung schwer.	(Ricci, 2008)
Wasserstoff zu nutzen gilt als moralisch richtig.	(Huijts, 2014)
Dezentralisierung und Sektorkopplung sind gute Argumente pro-H2.	(Schmidt & Donsbach, 2016)
Social Framing: Berichterstattung beeinflusst Akzeptanz	(Molin, 2005)

Vertrauen gegenüber H2 muss erst noch gebildet werden.	(Schulte, 2004)
--	-----------------

2.2 Was wir nicht wissen

Noch vor 10 Jahren war die Akzeptanz von neuen Fahrzeugen und zugehöriger Infrastruktur ein Kernthema wissenschaftlicher Publikationen im Themenfeld Wasserstoff. Es wurden öffentliche Einstellungen erforscht, Feldversuche evaluiert und erste Modellierungen angestellt. Im folgenden Jahrzehnt fokussierte sich die sozio-ökonomische Forschung schließlich allerdings gemeinsam mit der Politik zunehmend auf batterieelektrische Fahrzeuge, da es gute Argumente dafür gibt diesen eine höhere Marktreife zu bescheinigen. Wasserstoff war kein Trend mehr. Stand 2020 sieht man die Zukunft allerdings wieder differenzierter, was nicht zuletzt an einer eigenen Wasserstoffstrategie des Bundes und der europäischen Union sichtbar wird. Gleichsam ist die Akzeptanz der Wasserstoffmobilität keinesfalls zu Ende erforscht. Die Zukunft neuer Antriebsformen in der Individualmobilität ist offen und viele Fragen bleiben. Für die Akzeptanz gilt dies sowohl auf einer inhaltlichen als auch auf einer fachlich-theoretischen Ebene. So zeigt sich in der Studie von O'Garra (2005) beispielsweise, dass das schiere Gewahrsein und ein gewisses Maß an Vorwissen über Wasserstofffahrzeuge die stärksten Akzeptanzhebel sind. Die Kommunikation und die Bereitstellung entsprechender Informationen sollten allerdings zielgerichtet und gruppenspezifisch erfolgen, da Akzeptanzunterschiede abhängig von Geschlecht, Alter und Einkommen bestehen. Die Charakteristika der Akzeptanz dieser Gruppen ist allerdings unklar. Sobald dann Botschaften an diese Gruppen erarbeitet sind, ist es zudem notwendig diese zu testen (Schmidt & Donsbach, 2016). Nicht jede Botschaft hat eine tatsächliches Reframing-Potential².

Einen weiteren Forschungsbedarf zeigen Yetano-Roche et al. (2010) in ihrem Review. Sie kommen darin zu dem Schluss, dass die Technologien der Wasserstoffmobilität zu isoliert betrachtet werden und künftige Akzeptanzstudien eine Gesamtsystemperspektive einnehmen sollten.

Wie im D1 dokumentiert ist die Forschungsgruppe um Nicole Huijts an der TU Delft ist bis heute die einzige, die die Akzeptanz von Wasserstofffahrzeugen in tatsächliche theoriebasierte Verhaltensmodelle überführt hat. Bisher hat keine weitere Modellierung der H₂-Akzeptanz, in Bezug auf die Verhaltensabsicht gegenüber der Wasserstoffmobilität, stattgefunden. Die Studienlage zeigt den Untersuchungen von Huijts zufolge aber deutlich, dass für die Akzeptanz der Wasserstoffmobilität zahlreiche Argumente eine Rolle spielen (z.B. Wissen, Kommunikation, Moral, Gewohnheit, Preis, Risiko). Es existieren zahlreiche Untersuchungen zur Infrastruktur. Woran es fehlt, ist es, diese

² Reframing ist die Fähigkeit eines Individuums, ein Verhalten oder eine Situation aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten und so ggf. sein Verhalten zu verändern.

Einflussfaktoren der Akzeptanz für das Fahrzeug an sich miteinander in Bezug zu setzen und die individuelle Wirkung auf die Verhaltensabsicht zu zeigen. Nur so können wir verstehen, welches die wirklich wichtigen Faktoren sind und wie diese beeinflusst werden können. An dieser Stelle empfehlen Huijts (2014) zunächst ein stabiles Modell zu bauen und dieses im Anschluss experimentell mit aussichtstreichen, situativen Variablen (Kontext) zu ergänzen. In dem Paper von Ricci (2008) wird deutlich, dass insbesondere die Rollen von Vertrauen und Risiko im Kontext mit weiteren Einflussfaktoren besser verstanden werden müssen

Das Projekt EM:POWER möchte eine Vorreiterrolle der neu entdeckten Wasserstoffmobilität einnehmen und die weitestgehend brachliegenden Forschungen der 2000er wieder aufnehmen. Dies konnte in thematisch verwandten Forschungsfeldern bereits erfolgreich getan werden. Insbesondere Adaptionen des TAM und des UTAUT wurden in den letzten Jahren für verschiedene Anwendungsfälle im Umfeld neuer Mobilität getestet, so dass bereits zahlreiche Anhaltspunkte für die Modellentwicklung bestehen und die Qualität der Vorhersagen insgesamt hoch ist. Im Forschungsdesign werden die wichtigsten Forschungsbedarf (Schaffung eines Standard-Modells, Systemperspektive und Untersuchung besonderer Gruppen) wieder aufgegriffen. Folgende Forschungsaufgaben werden im Folgenden bearbeitet:

- **Forschungsfrage 1:** Welche Faktoren eignen sich für ein umfassendes Akzeptanzmodell des FCHV?

Die Akzeptanz der Wasserstoffmobilität scheint hoch zu sein; auch da die Wasserstoffmobilität große Analogien zur bestehenden Automobilität aufweist. Wenn wir also lernen die H₂-Akzeptanz zu verstehen, eröffnet sich für uns gleichzeitig der Blick dafür welche Faktoren die Akzeptanz unseres derzeitigen Verhaltens bestimmt. Dies kann in Relation zu anderen Technologien der Smart Mobility (siehe www.kosmos-project.eu) gesetzt werden.

- **Forschungsfrage 2:** Wie stark und auf welchen Wegen bestimmen diese Faktoren die Akzeptanz des FCHV?

Die Rolle des Einflusses von Erfahrung und Soziodemografie ist bisher unzureichend ergründet, doch es gibt starke Hinweise auf einen positiven Einfluss (Schneider, 2017).

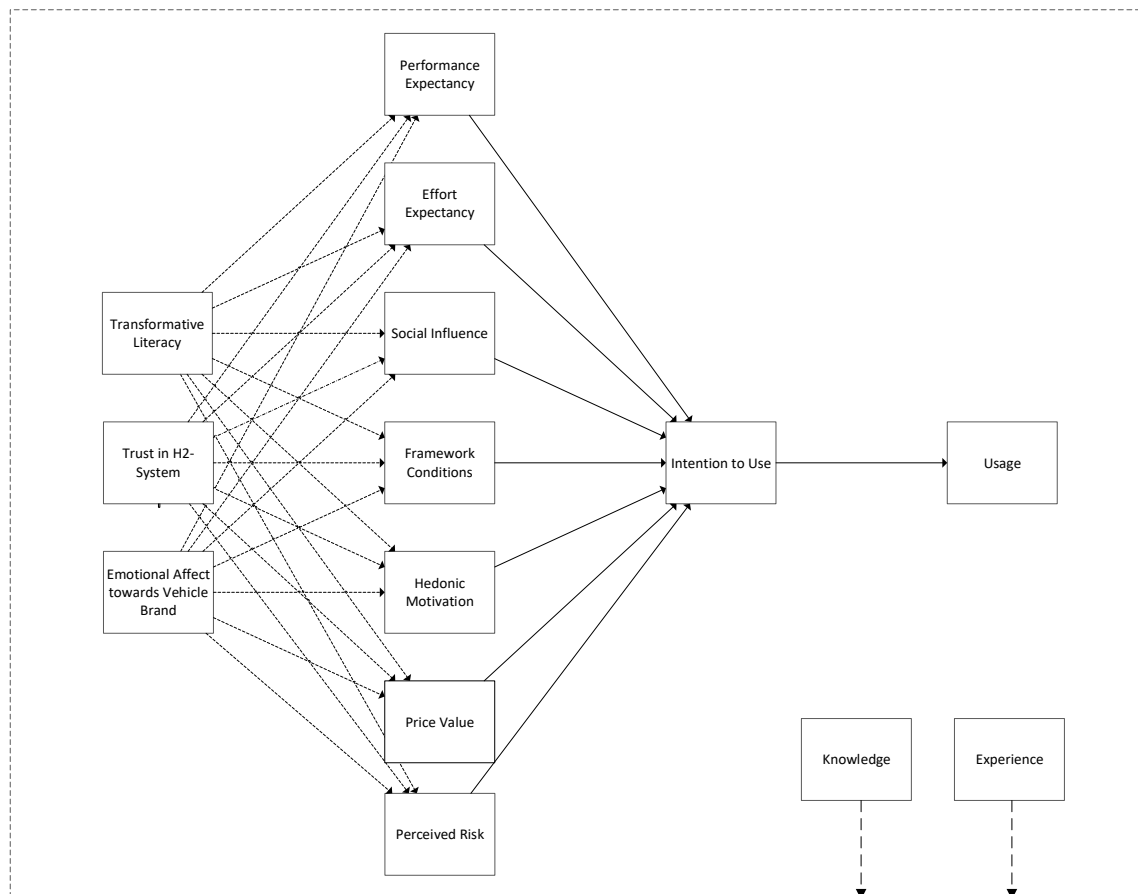
- **Forschungsfrage 3:** Welche Rolle spielen Erfahrung und Demografie für die Akzeptanz?

2.3 Konzeptualisierung eines Akzeptanzmodells

In EM:POWER soll der bisherige Weg der H₂-Akzeptanzforschung einerseits fortgesetzt und andererseits erweitert werden. In der letzten und bisher umfassendsten Technologieakzeptanzstudie nutzten Huijts et al. (2014) hierfür das TAM mit Integration von TPB

und NAM. Dies lieferte spannende Erkenntnisse, war aber am Ende für die Praxis nur noch schwer nachzuvollziehen. Ansatzpunkt der Weiterentwicklung der Idee von Huijts et al. (2014) soll deshalb die Nutzung der Weiterentwicklung des TAM, die sogenannte Universal Theory of Acceptance an Use of Technology UTAUT (Venkatesh et al., 2003) sein. Laut dieser hängt die Einführung neuer Technologien auf individueller Ebene von miteinander verbundenen Faktoren wie der Leistungserwartung, der Nutzerfreundlichkeit und anderen Rahmenbedingungen psychosozialer wie technischer Art ab. Weitere Vorteile der UTAUT sind die hohe Übersichtlichkeit bei gleichzeitiger Integration multipler Faktoren. Eine theoretische Einführung findet sich im Deliverable D1 (Adorff et al., 2020). Dort ist auch die anschließende Modellentwicklung dargelegt. Es resultiert das Forschungsmodell in Abbildung 1, dass den in Kapitel 2.2 aufgezeigten Forschungsbedarfen Rechnung trägt, indem mehrere neue Variablen und Wirkhypothesen in das UTAUT integriert werden.

Abbildung 1. Das adaptierte Akzeptanzmodell für die Wasserstoffmobilität



Quelle: Eigene Abbildung in Anlehnung an Venkatesh et al. (2012)

3 Datenerhebung

Für vorliegende Akzeptanzuntersuchung lassen sich also zusammenfassend folgende Rahmenbedingungen beschreiben:

- **Objekt:** Wasserstoffmobilität (System aus Fahrzeugen, Infrastruktur und Produktion)
- **Kontext:** Alltagsmobilität im Saarland und in Deutschland
- **Subjekte:** Öffentlichkeit, Nutzer- und Proband*innen
- **Lösungsmethode:** Modellbasierte verhaltensökonomische Analysen mit Strukturgleichungsmodellen (engl. structural equation models SEM)

Wie im D1 (vgl. Forschungsdesign in Abb. 51) dargelegt werden Daten hierzu einerseits im saarländischen Feldtest erhoben und zur statistischen Validierung begleitend größere Stichproben über ganz Deutschland hinweg gezogen. Da ein zentrales Ziel die Erforschung des Einflusses der Erlebbarkeit auf die Akzeptanz ist sollen zudem jeweils eine unerfahrene (z.B. vor Feldtest) und eine erfahrene Stichprobe (z.B. nach Feldtest) analysiert werden. Diesen beiden Stichproben erlauben eine direkten, tiefen und vergleichenden Blick in die Akzeptanz der Saarländerinnen und Saarländer. Eine Verallgemeinerung der Daten ist allerdings aufgrund der relativ kleinen Anzahl von erwarteten Fällen (Größe Feldversuch voraussichtlich < 30) und einer potentiellen Verzerrung (Proband*innen überdurchschnittlich an Technologie interessiert und regional begrenzt) nicht möglich. Um diesem Problem zu begegnen, wurden deshalb zwei weitere, deutlich größere Stichproben zur Akzeptanz der Wasserstoffmobilität generiert. Der erste Datensatz (Ziel $n=500$) wurde dabei durch den Online-Panelanbieter Norstats im April/Mai 2020 gesammelt. Er bildet die Grundgesamtheit der mit Wasserstoff meist unerfahrenen deutschen Bevölkerung ab. Der zweite Datensatz konnte anschließend von Juli-September 2020 durch eine Kooperation mit dem Joint Venture H2mobility gewonnen werden. Die Erhebung erfolgte durch Integration einer mobilen Limesurvey-Umfrage in die App h2.live. Somit wurden die tatsächlichen, erfahrenen Nutzer der Wasserstoffmobilität in Deutschland erreicht. Mit mehr als 250 Antworten bei circa 5000 aktiven Nutzern ist die Aussagequalität (5% der Grundgesamtheit) für eine volkswirtschaftliche Umfrage als sehr hoch zu bewerten.

In den folgenden Abschnitten sollen nun zunächst die Analysen dieser beiden Stichproben in Bezug zu den drei Forschungsfragen behandelt werden. In Kapitel 7 werden die Resultate schließlich mit den Ergebnissen des Feldtests konfrontiert und verglichen.

3.1 Datenbereinigung

Der erste Datensatz (H2public) umfasst ursprünglich 586 Antworten. Der zweite Datensatz (H2user) beinhaltet in Rohform 304 Einträge. Zur Verbesserung der Informationsqualität wurde im ersten Schritt mit beiden Datensätzen eine Datenbereinigung durchgeführt. Dabei folgten wir im Wesentlichen den Empfehlungen von Field (2013) und Hair et al. (2010). Zunächst wurde so die durchschnittliche Anzahl fehlender Antworten ausgewertet. Sobald mehr als 25% der Antworten nicht vorhanden waren wurde der Fall ausgeschlossen. Für die restlichen fehlenden Werte wurde -9 imputiert und auch andere „dirty data errors“ (Rahm & Do, 2000) wie Schreibfehler, verrutschte Zeilen etc. korrigiert. Anschließend wurden die durchschnittlichen Antwortzeiten ausgewertet und mit den von uns vorher im Pretest ermittelten Antwortzeiten (durchschnittlich 15 Minuten) abgeglichen. Als untere Zeitgrenze für eine sinnvolle Beantwortung wurde schließlich nach einer weiteren eingehenden Sichtprüfung der Daten eine Dauer von 8,5 Minuten gesetzt. Alle Fälle unterhalb dieser Grenze wurden gelöscht. Dieses Vorgehen erscheint zwar rigoros, verspricht allerdings eine besonders hohe Datenqualität. Für eine statistisch hohe Aussagequalität ($p < 0,001$) genügen bei Anwendung des PLS SEM Algorithmus zudem bereits 212 Fälle (Cohen, 1992). Eine höhere Fallzahl würde keinen statistischen Nutzen mehr bieten. Im letzten Schritt erfolgte eine fallweise Analyse der Daten. Mittels deskriptiver Analyse und Häufigkeitsverteilungen wurde versucht absolut unlogische oder ständig wiederholende Antwortschemata herauszufiltern. Weitere Ausreißer und sogenannte „influential cases“ (Cook & Weisberg, 1980) wurden in SPSS getestet und erwartungsgemäß (Likert-Skalen) nicht gefunden. Im Ergebnis umfassten die bereinigten Stichproben somit $N_{\text{public}}=294$ und $N_{\text{user}}=258$. Ursprünglich hatte also die Nutzerbefragung die deutlich höhere Antwortqualität aufgewiesen.

3.2 Güte der Datenbasis

Die statistische Güte dieser Datenbasis wurde zunächst mittels Testung der Normalverteilung geprüft. Für die Anwendung des PLS Algorithmus ist die Normalverteilung zwar im Gegensatz bspw. zur linearen Regression keine zwingende Voraussetzung, doch können Verzerrungen der Daten dennoch auf die Ergebnisse durchschlagen. Dies wiederum würde deren Vergleichbarkeit mit Erkenntnissen aus vorangegangenen Forschungen insgesamt in Frage stellen würde. Zur Untersuchung der Normalverteilung bietet es sich bei größeren Stichproben an, die Schiefe (Kurvenneigung) und Kurtosis (Kurvenwölbung) der Daten zu untersuchen. Da eine ideale Normalverteilung in der Praxis jedoch eher ungewöhnlich ist, gelten Daten heute in der empirischen Forschung als gut, wenn die Schiefe im Bereich von -3 - +3 und die Kurtosis im Bereich von -8 – +8 angesiedelt ist (Kline, 2010). Eine Analyse mittels SPSS erbrachte für dabei, dass die H2public annähernde normalverteilt ist. Die H2user Stichprobe allerdings weist größere

systemische Verzerrungen auf. Diese resultieren potentiell aus dem besonders engen Teilnehmerkreis (siehe Tabelle 3). Demzufolge lassen sich im Folgendem in diesem Datensatz Probleme mit Validitäten des Messmodells finden und zudem weitere Auffälligkeiten im Bereich des Strukturmodells. Wir folgen deshalb den Empfehlungen von Hair et al. (2017) und vertrauen in diesem Datensatz vor allen den Ergebnissen des *bias-corrected-bootstrap*, der solche Verzerrungen sehr zuverlässig ausblenden kann.

Weiterhin wurde untersucht ob ein sogenannter *common-method-bias* vorliegt. Hierfür wurde der Harman's single factor Test durchgeführt. Da in beiden Datensätzen keine der extrahierten Hauptkomponenten mehr als 50% der Varianz erklärte, können wir dieses Problem der methodischen Verzerrung allerdings ausschließen.

3.3 Stichproben

Tabelle 2. Stichprobe H2public

Charakteristika (n=294)	Antworten	Anzahl	Anteil
Geschlecht	weiblich	155	52,7%
	männlich	134	45,6%
	k.A.	5	1,7%
Alter (Ø~51,8 Jahre)	< 29 Jahre	34	11,6%
	30-59 Jahre	114	38,8%
	> 60 Jahre	141	48,0%
	k.A.	5	1,7%
Einkommen (Ø~2098 €)	< 1000 €	44	15,0%
	1000-2500 €	124	42,2%
	> 2500 €	81	27,6%
	k.A.	45	15,3%
Beruf	Schüler/Student	17	5,8%
	Arbeiter/Angestellter	130	44,2%
	Rentner	105	35,7%
	Sonstige	37	12,6%
	k.A.	5	1,7%

Quelle: Eigene Abbildung

Die Stichprobe H2public in Tabelle 2 zielt darauf ab, die deutsche Grundgesamtheit abzubilden. Die Rohdaten waren demzufolge vom Datenanbieter gut verteilt geliefert worden (Quota-Stichprobe). Einkommens- und Geschlechtsstruktur können bezogen auf die

anvisierte Grundgesamtheit als sehr gut angesehen werden (Statista, 2020). Allerdings brachte die Datenbereinigung ein leichtes Ungleichgewicht bezüglich der Altersstruktur mit sich, da vor allem die Datensätze jüngerer Teilnehmer qualitativ unzufriedenstellend waren. Das ist ein Problem, da eine Verzerrung der Ergebnisse möglich ist. Andererseits kann eine solche Stichprobe auch als besonders aufschlussreich angesehen werden, da der Fokus der Technologieakzeptanzforschung das Augenmerk doch nur allzu oft auf die Gruppe der sogenannten Early Adopter oder Studenten richtet (King & He, 2006). Zudem wird die Altersstruktur noch interessanter, wenn man bedenkt, dass Neuwagenkäufer in Deutschland ein sehr ähnliches Profil zeigen (KBA, 2020). Somit haben die Ergebnisse der Akzeptanzanalyse praktische Relevanz für den Vertrieb und das Marketing von Wasserstofffahrzeugen in Ihrer Rolle als Substitut heutiger PKW. 88,4% geben an keinerlei oder sehr wenig Erfahrung mit Wasserstoffmobilität zu haben. 75% geben an auch kaum etwas darüber zu wissen. Die Stichprobe H2public beschreibt also insgesamt die unerfahrene Öffentlichkeit in Deutschland mit Kaufpotential FCEV.

Tabelle 3. Stichprobe H2user

Charakteristika (n=294)	Antworten	Anzahl	Anteil
Geschlecht	weiblich	11	4,3%
	männlich	224	86,8%
	k.A.	23	8,9%
Alter (Ø~50,0 Jahre)	< 29 Jahre	14	5,4%
	30-59 Jahre	152	58,9%
	> 60 Jahre	67	26,0%
	k.A.	25	9,7
Einkommen (Ø~2840 €)	< 1000 €	7	2,7%
	1000-2500 €	42	16,3%
	> 2500 €	152	58,9%
	k.A.	57	22,1%
Besitz eigenes Wasserstofffahrzeug	Ja	50	19,4%
	Nein	182	70,5%
	k.A.	26	10,1%

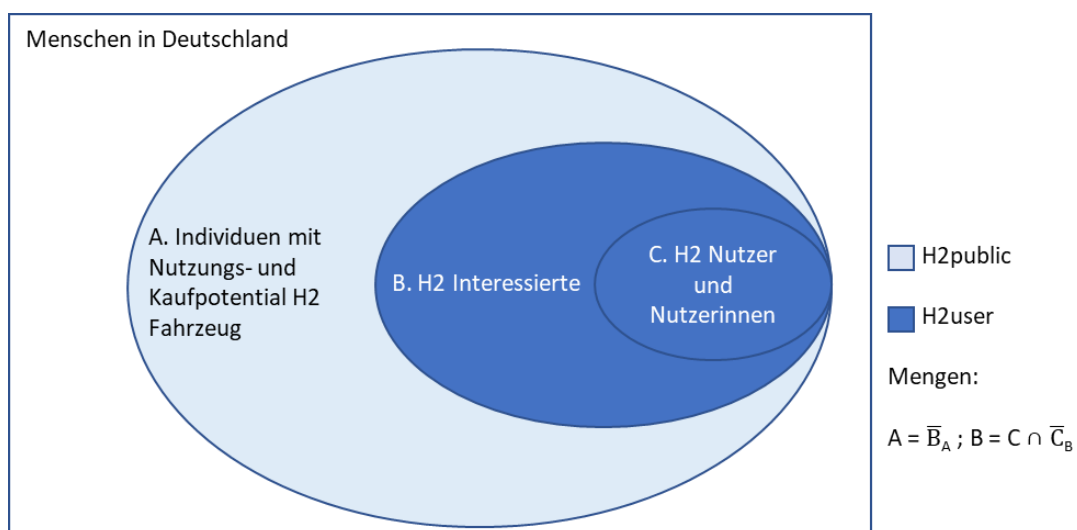
Quelle: Eigene Abbildung

Im Gegensatz dazu sind in der bewusst ausgewählten Stichprobe H2user deutlich mehr praktisch erfahrene Nutzer (34,1%) enthalten. 81,9% geben zudem an viel oder sehr viel über Wasserstoff zu wissen. Dies ist nicht verwunderlich, beruht die Stichprobe doch auf

Ziehung aus einem ausgewählten Personenkreis (Nutzer der H2mobility App). Ein überraschendes Ergebnis ist jedoch die Demografie dieser Stichprobe. Zwar kann man erwarten, dass bei Themen rund um das Auto eine höhere Begeisterung bei technikaffinen Männern mittleren Alters vorliegt (Kortus-Schultes, 2008), doch die außergewöhnliche Dominanz diese Gruppe in vorliegender Stichprobe ist ungewöhnlich. Im Vergleich zur öffentlichen Stichprobe ist das Einkommen zudem weit überdurchschnittlich. Weitere Zahlen belegen die männliche Dominanz: 49 Teilnehmer und nur eine Teilnehmerin besitzen ein eigenes FCEV. Das Profil der Stichprobe H2user entspricht insgesamt in groben Zügen dem der Early Adopter (Rogers, 2010), von denen allerdings nur ein Teil von Eigentümern und (Mit-)besitzern tatsächlich als Nutzer bezeichnet werden kann. Die anderen besitzen die H2.Live App aber kein Fahrzeug.

Die Grundlage der folgenden Gegenüberstellung der Akzeptanz der beiden Stichproben veranschaulicht Abbildung 2. Dabei wachsen Wissen und Erfahrung mit Wasserstoff in den Stichproben in der Tendenz von links nach rechts oder zunehmendem Blauton an. Dies bleibt das Hauptunterscheidungskriterium der Stichproben und soll primär untersucht werden. Geschlechtsspezifische Verzerrungen werden durch geeignete Verfahren (Gewichtungsvektoren, Multigruppenanalyse, bias-correction) bestmöglich offengelegt. Die Stichprobe H2user lässt sich weiterhin in zwei Gruppen unterteilen: hocherfahrene Fahrzeugbesitzerinnen und moderat erfahrene H2-Interessenten. Die Stichproben H2field₁₊₂ aus dem Feldversuch lassen sich am ehesten in die Gruppe B eingruppieren, da deutliches Interesse zur Teilnahme besteht, man sich aber noch auf der Suche nach Information befindet (Innovationsphase I nach Rogers, 2010). Einzelne Teilnehmer sind der Gruppe A zuzuordnen und werden gesondert betrachtet.

Abbildung 2. Mengendarstellung der Stichproben



Quelle: Eigene Abbildung

4 Vorstudie

Zur Annäherung an das Thema Wasserstoffmobilität wurden zudem qualitative Daten gesammelt. Diese stammen zunächst aus dem qualitativen Feedback aus den überregionalen Vergleichsstudien. Im weiteren Verlauf des Projektes werden mit den Proband*innen nach Abschluss der Erprobung vertiefende Interviews über Ihre Erfahrungen geführt. Es ist vorgesehen die Ergebnisse im Deliverable D2.1 zu publizieren. Hier sollen nun zusammenfassend sechs beispielhafte Zitate aus den Online-Umfragen genannt werden:

1. *„Ich bin keine Physikerin, deshalb frage ich mich immer wieder ob das nicht gewisse Gefahren birgt...“ – H2 potentielle Kundin*
2. *„Ich habe gelesen, dass jetzt alle Neubauten verpflichtend mit Elektroauto-Ladestationen ausgestattet werden sollen... und jetzt kommen Sie wieder mit einer anderen Technologie! Ich bin froh, dass ich für meine Lebensführung kein Auto benötige. So viel Geld auszugeben, um kurze Zeit später eventuell festzustellen, dass doch eine andere Technologie genutzt wird... Das Geld wäre mir zu schade!“ – H2 potentieller Kunde*
3. *„Es gibt zu wenige Tankstellen... in Europa, auf dem Land, überall!“ – H2 Interessent*
4. *„Die bisher beste Alternative zum Verbrenner, wäre da nicht der hohe Preis des Fahrzeuges und die geringe Tankstellendichte... Geringverdiener haben keine Möglichkeit Erfahrungen zu sammeln.“ – H2 Interessent*
5. *„Mein Problem bei der Nutzung meines Brennstoffzellenfahrzeugs ist in erster Linie, dass die Tankstellen häufig außer Betrieb sind und dass der Tank eigentlich nie ganz vollgetankt wird, sondern bei 90% abbricht.“ - H2 Nutzer*
6. *„Die Industrie und die Politik klemmen! ... ich finde, dass in den Medien zu wenig über Wasserstoff gesprochen wird.“ - H2 Nutzer*

Dies sind nur einige Beispiele, die zeigen was die Befragten im Zusammenhang mit der Konfrontation mit dem Thema Wasserstoffmobilität beschäftigt. Die Öffentlichkeit zeigt hierbei, dass mehr Informationen und eine klare strategische Ausrichtung seitens Politik und Wirtschaft gewünscht werden. Zudem nimmt das Thema Risiko von Wasserstoff einen hohen Stellenwert ein. Bei den besonders Interessierten kommt eine Auseinandersetzung über die Themen Preis und Umwelt in den Fokus. Innerhalb der Gruppe der Nutzer dominiert währenddessen das Thema Infrastrukturaufbau und -zuverlässigkeit. Die quantitativ-qualitative Analyse unterstützt diese Eindrücke wie in Tabelle 4 zu sehen ist. Hier wird auch deutlich welche Themen vor und nach der Technologieadoption von besonderer Bedeutung sind. Einigkeit bei den beiden Stichproben herrscht darin, dass

die Forschungs- und Entwicklungsbemühungen verstärkt werden sollten. Entwicklungsbedarfe sehen die Teilnehmerinnen und Teilnehmer vor allen in den Bereichen Energieeffizienz in der gesamten Produktions- und Lieferkette, Leistungssteigerung der Brennstoffzelle und Verbesserung der Produktionsverfahren (Skaleneffekte). Abschließend lassen sich noch positive und negative Kommentare zur Wasserstoffmobilität aus Sicht der Befragten summieren. Die negativen Sichtweisen favorisieren dabei zumeist einen anderen Verkehrsträger (ÖPNV, Rad- und Fußverkehr), halten die Fahrzeuge für zu teuer oder denken, dass individuelle Wasserstoffmobilität den Technologiewettbewerb mit der batterieelektrischen Mobilität bereits verloren hat. Positive Kommentare hingegen heben z.B. die bessere Umweltbilanz der Fahrzeugproduktion und -entsorgung, die leichtere Betankung und die höheren Reichweiten hervor.

Tabelle 4. Antwortcluster qualitatives Feedback

Datensatz	Stichprobengröße	Kommentaranzahl	Anzahl Kommentare nach Themengebieten							
			Preis	Mehr Information	Risiken	Umwelt	Infrastruktur	Pro H2	Kontra H2	Forschungsbedarf
Public	294	87	20	21	6	14	9	21	8	17
User	258	85	9	2	2	2	61	6	0	12

Quelle: Eigene Abbildung

5 Ergebnisse öffentliche Akzeptanz

Folgend werden die Ergebnisse der quantitativen Akzeptanzanalyse der Stichprobe H2public dargelegt. Im ersten Schritt werden hierfür die bereinigten Daten deskriptiv-statistisch präsentiert und bewertet. Im zweiten Schritt erfolgt dann eine modellgestützte Datenanalyse mithilfe der Software SmartPLS. Diese nutzt den varianzbasierten robusten PLS Algorithmus und eignet sich aufgrund dessen besonders gut für explorative und prognoseorientierte Arbeiten (Nitzl, 2010). In der Durchführung der Analyse folgen wir dabei dem schrittweisen Vorgehen, welches von den Softwareentwicklern in Hair et al. (2017) vorgeschlagen wird:

1. Beurteilung des Messmodells
2. Beurteilung der Strukturmodells
3. Beurteilung des Gesamtmodells
4. Untersuchung besonderer Effekte und Gruppen

Nachgelagert erfolgt eine erste Bewertung und ein Zwischenfazit, bevor die Analyse analog für die Stichproben H2user und H2field₁₊₂ fortgesetzt wird.

5.1 Statistische Auswertung

Die deskriptiven Ergebnisse werden in Form von Mittelwerten (in PLS-SEM: *Performance* genannt) nach Gruppen und Akzeptanzfaktoren (7er Likert Skalen) in Tabelle 5 dargestellt. Diese erlauben eine erste, relative Einschätzung wie groß verschiedene Akzeptanzwerte der Wasserstoffmobilität sind. Beziehungen und Wechselwirkungen können hiermit allerdings nicht aufgedeckt werden. Die Akzeptanz (konzeptualisiert als Verhaltensabsicht) erzielt einen Wert von 4,08.

Vergleicht man diesen Wert mit vorherigen Untersuchungen im Feld neuer Antriebstechnologien unter Anwendung des UTAUT Rahmenmodells zeigt sich, dass dieser Wert eher im unteren Bereich anzusiedeln ist. So erzielte die Elektromobilität beispielsweise Werte zwischen 3,8 (Emsenhuber, 2012), 4,5 (Barth et al., 2016) oder gar 5,7 (studentische Stichprobe in Kauschke & Schulz, 2018). Man könnte hieraus auch die Hypothese aufstellen, dass die Akzeptanz-Performance im Laufe der Marktdiffusion ansteigt und sich die Wasserstoffmobilität somit im Vergleich zur Elektromobilität noch in einer früheren Phase befindet. Passend hierzu sind die ermittelten Mittelwerte von Erfahrung und Wissen im öffentlichen Sample sehr gering (einziger Ausreißer der Mittelwerte). Unterdurchschnittlich (unterhalb des Q1) wird zudem auch die Preis-Leistung bewertet. Überdurchschnittliche hohe Werte (oberhalb des Q3) wiederum können bei den Variablen *Leistungserwartung*, *Aufwandserwartung* und *Transformatives Bewusstsein* vorgefunden werden. Wasserstoffmobilität wird also als nützlich und einfach zu nutzen bewertet.

Tabelle 5. Deskriptive Statistik H2public

N=294	Anteil	Kriterium	Verhaltensabsicht	Leistungserwartung	Aufwandserwartung	Sozialer Einfluss	Kontroll- und Rahmenbedingungen	Innere Motivation	Preis-Leistung	Transformatives Bewusstsein	Markenaffinität	Vertrauen in Wasserstoff	Wahrgenommenes Risiko	Erfahrung & Wissen
Geschlecht	53%	weiblich	3,75	4,84	4,91	3,83	3,98	4,44	3,23	4,96	3,84	4,61	4,18	1,82
(fehlend=5)	46%	männlich	4,4	5,57	5,59	4,26	4,78	5,25	3,35	5,33	4,3	5,44	3,54	2,23
Alter	12%	< 29 Jahre	4,32	5,08	4,99	4,06	4,38	4,75	3,41	5,52	4,05	4,67	4,21	2,49
(fehlend=5)	39%	30-59 Jahre	4,11	5,27	5,25	4,19	4,45	4,95	3,25	5,02	4,39	5,02	3,91	2,11
	48%	> 60 Jahre	3,94	5,15	5,26	3,89	4,26	4,72	3,28	5,13	3,75	5,06	3,78	1,81
Einkommen	15%	< 1000 €	3,64	4,91	4,52	3,82	3,93	4,27	3,36	5,06	3,83	4,55	4,26	1,74
(fehlend=45)	42%	1000-2500 €	3,9	5,16	5,27	3,99	4,2	4,79	3,11	5,09	4,12	4,96	3,92	1,84
	28%	> 2500 €	4,49	5,46	5,65	4,29	4,81	5,21	3,42	5,25	4,44	5,38	3,57	2,4
Mittelwert	100%		4,08	5,19	5,24	3,9	4,2	4,83	3,16	5,14	4,08	4,99	3,87	2,01
Standardabweichung			1,91	1,41	1,61	2,11	2,43	1,7	1,95	1,55	1,7	1,62	1,64	1,54

Quelle: Eigene Abbildung

Die Menschen attestieren sich selbst zudem ein hohes Bewusstsein für sozialökologische Herausforderungen unserer Zeit. Hier könnte allerdings auch die soziale Erwünschtheit von Antworten eine Verzerrung bedingen.

Der am meisten schwankende Werte ist der Wert der Kontroll- und Rahmenbedingungen (Mittelwert 4,2, Standardabweichung 2,43). Dies könnte daran liegen, dass einige Menschen, die ggf. in der Nähe einer Tankstelle wohnen (oft strukturstarke Regionen und/oder gute finanzielle Rahmenbedingungen) eine ganz andere Sichtweise haben als Geringverdiener in einer strukturschwachen Region ohne Tankmöglichkeit. Die Daten zeigen zudem weitere demografische Auffälligkeiten. So sind bei Männern die meisten Akzeptanzwerte erhöht und die Risikowahrnehmung reduziert. Betrachtet man verschiedenen Altersgruppen, so wird deutlich, dass die Akzeptanz mit dem Alter potentiell abnimmt. Beim Einkommen hingegen steigt die Akzeptanz je höher es ist. Allerdings ist ebenso der Erfahrungswert unterschiedlich, so dass demografische Schlussfolgerung nicht monokausal betrachtet werden sollten. Gewohnheiten, Neugier, Wissen und Erfahrung könnten hierbei ebenso bedeutende Einflüsse darstellen. Eine letzte Beobachtung betrifft die Relation von *Vertrauen in Wasserstoff* und das *wahrgenommene Risiko* innerhalb der verschiedenen Gruppen. Wie logisch nachvollziehbar sinkt der Risikowert, je höher der Vertrauenswert ist. Eine Detailanalyse der Items von Risiko und Vertrauen (siehe Anhang) zeigt, dass Risiko weniger aus technischen Bedenken, sondern vor allem aus der Unsicherheit über die Entwicklung im Allgemeinen resultiert.

5.2 Messmodell

Zur Beurteilung der Güte des Messmodells wird die Reliabilität und die Validität der empirischen Messungen untersucht. Stets vorhandene Messfehler müssen sich hierbei nachweislich in einem vertretbaren Rahmen bewegen. Reliabilität der Messung beschreibt indes wie gut bestimmte Indikatoren dieselbe Sache abbilden. Reliabilität ist dabei Voraussetzung für das Vorhandensein von Validität. Diese beschreibt wie gut die Messungen die Sache abbilden, die sie abbilden sollen (Sarstedt & Mooi, 2014). Voraussetzung für das Erreichen von Reliabilität und Validität ist somit ein durchdachtes Forschungsdesign. Inhaltliche Validität wurde hierbei vor allem durch Verwendung erprobter Skalen und Expertenprüfung der neuen Skalen im Vorfeld der Erhebung sichergestellt. Die Validierung des reflektiven Messmodells³ erfolgt in drei beurteilenden Prüf- und Bewertungsschritten: (1) Indikatorreliabilität, (2) Konstruktrelativität und (3) Konstruktvalidität (Hair et al. (2013); Fazel (2014)). Hierfür stehen verschiedenen Prüfverfahren und zugehörige Grenz- und Schwellenwerte zur Gütebeurteilung zur Verfügung. Ziel ist eine fehlerarme Messung. Während das Forschungsdesign, die Datenerhebung und -bereinigung der Reduktion systemische Fehler dienen können, geht es nun darum signifikante Messfehler und -verzerrungen auf Item- und Konstruktebene auszuschließen.

³ Zur Unterscheidung reflektiver und formativer Messmodelle siehe Hair et al. (2017)

Wir orientieren uns hierbei am wissenschaftlichen Standardprozess, der bereits in der Auswertungssoftware SmartPLS integriert ist. Problematische Items können hiermit reduziert werden. Grundsätzlich sollte aber keine allein datengetriebene Elimination von Indikatoren erfolgen, da die Inhaltsvalidität gegenüber der Kausalanalytik stets Vorrang hat (Hildebrandt & Temme, 2006).

1. Indikatorreliabilität

Die Indikatorreliabilität weist aus, wie gut ein Indikator (z.B. ein Item) einen Faktor (z.B. eine latente Variable), bzw. dessen Varianz erklärt. Als gängiges Gütemaß wird hierzu die Faktorladung λ verwendet. Sie soll im besten Fall so hoch sein, dass mehr als 50% der Varianz in dem Faktor durch den Indikator beschrieben werden können. Daraus resultiert der Grenzwert $\lambda > \sqrt{0,5} \sim 0,7$ für die einzelne Pfadverbindung (Korrelation), der sich folgende noch häufig in anderen Zusammenhängen wiederfinden lassen wird. Im normalen Vorgehen müssten Werte, die diese Schwelle nicht überschreiten sukzessiv aus dem Modell entfernt werden. Dieser Grenzwert und dessen liberale oder konservative Auslegung und Anwendung sind allerdings Gegenstand andauernder wissenschaftlicher Diskussion. So nutzt Fazel (2014) beispielsweise einen Grenzwert von $\lambda > 0,6$ und argumentiert damit, dass bei der Entwicklung neuer Konstrukte in den Sozialwissenschaften auch geringe Werte zulässig sind, solange diese nur ausreichend signifikant (5%- Niveau) seien. Andere Autoren schlagen für latente psychologische Variablen sogar noch geringere Grenzwerte vor (z.B. 0,4 bei Bagozzi & Baumgartner, 1994). Dies alles berücksichtigend, schlagen Hair et al. (2017) schließlich vor, alle Indikatoren mit Faktorladungen über 0,7 zu behalten und alle mit Ladungen unter 0,4 zu löschen. Für alle Werte dazwischen lautet die Empfehlung, den Indikator nur dann zu entfernen, wenn dies zu einer substantiellen Erhöhung der Konstruktreliabilität führt (zur Messung siehe nächster Abschnitt). Bei psychologischen latenten Variablen, die mit dem Multi-Item Ansatz gemessen werden, muss man sich zudem immer fragen ob durch die Löschung eines Items nicht die Gesamtlogik des Konstrukts an Güte verliert bzw. nicht mehr genau das misst, was eigentlich gemessen werden sollte. Ein einseitiger t-Test auf Signifikanz der Faktorladung kann diese Entscheidung unterstützen. EM:POWER wendet dieses Vorgehen an.

2. Konstruktreliabilität

Die Konstruktreliabilität ist das wichtigere Reliabilitätskriterium (Nitzl, 2010). Sie beschreibt im Gegensatz zur Indikatorreliabilität nicht die einzelnen Korrelationen der Indikatoren zum Faktor, sondern die Korrelation der Indikatoren untereinander. Diese sollten besonders hoch sein, da sonst eine zu große Gesamtvarianz in dem zugehörigen Faktor erzeugt werden würde, den dieser wiederum; und darum geht es in diesem Test; nicht abzudecken im Stande wäre (Götz, 2010). Auch hier gelten Schwellenwerte von 50% erklärter Gesamtvarianz, die sich je nach angewandtem Gütekriterium und der dahinter liegender Algorithmik anders darstellen. Bei dem beliebtesten Gütekriterium Cronbach's α gilt somit als Mindestwert wieder $\alpha > 0,7$

(Nunnally, 1978). Wird dieser Wert nicht erreicht können testweise diejenigen Indikatoren iterativ entfernt werden, die eine vergleichsweise geringe Korrelation aufweisen. Die Anwendung von Cronbach's α wird heute zunehmend auf konfirmatorische Studien beschränkt, da der Wert relativ sensibel auf eine große Anzahl von Items reagiert und aus technischer Sicht, bei Anwendung von PLS-SEM, dazu tendiert die Reliabilität systematisch zu unterschätzen (Chin, 1998). Hair et al. (2017) empfehlen für eine Studie wie die hier in EM:POWER vorliegende deshalb zusätzlich ein Alternative zu betrachten, die dazu neigt die Reliabilität zu überschätzen: die sogenannte Composite Reliability (CR). Der wahre Wert läge den Autoren zufolge zwischen den beiden Werten. CR ist ein Gütekriterium der konfirmatorischen Faktorenanalyse und gibt die geteilte Varianz unter den beobachteten Variablen an, die als Indikatoren für ein latentes Konstrukt verwendet werden (Fornell & Larcker, 1981). Auch hier gilt als konservativer Schwellenwert 0,7 (Nunnally, 1978) und als praktikable Mindestanforderung in der explorativen Forschung 0,6 (Bagozzi & Yi, 1988). Als drittes gängiges Maß der Konstruktreliabilität kann die durchschnittlich erfasste Varianz (engl. Average Variance Extracted AVE) angesehen werden. Der AVE ist die Summe der quadrierten Ladungen geteilt durch die Anzahl der Indikatoren. Ist dieser Wert größer als 0,5 zeigt dies an, dass das Konstrukt mehr Varianz erklärt als in den Fehlertermen der Indikatoren verbleibt.

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse nachdem drei Items gemäß hier beschriebenem schrittweisem Vorgehen (Wechselnde Prüfung von Konstrukt- und Indikatorreliabilität) entfernt worden sind. Andere Items, deren Ladungen unter 0,7 lagen wurden diesem Verfahren folgend zugunsten der Inhaltsvalidität behalten. Zu beachten ist, dass die Variablen *sozialer Einfluss* und *persönlicher Einfluss* aus Abwägungen zur Konstruktvalidität (siehe folgender Abschnitt) zusammengeführt wurden, da die Items offenbar auf einen gemeinsamen Faktor geladen hatten.

Tabelle 6. Reliabilität und Validität H2public

Variable	Indikator	λ	Cronbach's α	AVE	CR
Schwellenwert des Gütekriteriums		0,4 / 0,7	0,7	0,5	0,7
Verhaltensabsicht	NI1	0,93	0,93	0,84	0,94
	NI2	0,92			
	NI3	0,90			
	NI4	0,93			
Leistungserwartung	EN1	0,91	0,89	0,76	0,92
	EN2	0,81			
	EN3	0,86			
	EN4	0,91			
Aufwandserwartung	NF1	0,88	0,9	0,78	0,93
	NF2	0,88			
	NF3	0,88			
	NF4	0,90			
Normativer Einfluss	SE1	0,81	0,89	0,61	0,92
	SE2	0,70			

	SE3	0,77			
	SE4	0,85			
	PE1	0,83			
	PE2	0,86			
	PE3	-			
	PE4	0,65			
Kontroll- und Rahmenbedingungen	RB1	0,63	0,79	0,71	0,87
	RB2	0,81			
	RB3	0,92			
	RB4	0,80			
Innere Motivation	IM1	0,94	0,93	0,84	0,95
	IM2	0,90			
	IM3	0,95			
	IM4	0,89			
Preisbewertung	PB1	0,94	0,92	0,86	0,94
	PB2	0,93			
	PB3	0,93			
	PB3	0,93			
Vertrauen in Wasserstoff	VW1	0,85	0,93	0,83	0,95
	VW2	0,91			
	VW3	0,95			
	VW4	0,94			
Wahrgenommenes Risiko	R1	0,76	0,90	0,67	0,92
	R2	-			
	R3	0,77			
	R4	0,73			
	R5	0,89			
	R6	0,88			
	R7	0,87			
Transformatives Bewusstsein	ZM1	0,63	0,87	0,60	0,89
	ZM2	0,78			
	ZM3	0,81			
	ZM4	0,86			
	ZM5	0,72			
	ZM6	-			
	ZM7	0,84			
Markenaffinität	EA1	0,93	0,94	0,85	0,96
	EA2	0,91			
	EA3	0,93			
	EA4	0,93			

Quelle: Eigene Abbildung

3. Konstruktvalidität

Um zu prüfen ob ein Konstrukt schließlich nicht nur reliabel, sondern auch valide ist, muss für reflektive Messmodelle die Diskriminanzvalidität untersucht werden. Diskriminanzvalidität ist das Ausmaß, in dem sich ein Konstrukt (wünschenswerter Weise statistisch signifikant) tatsächlich von anderen Konstrukten im Modell unterscheidet. Dies impliziert, dass eine Variable statistisch einzigartig ist und z.b. kognitive Prozesse erfasst, die nicht auch durch andere

latente Operationalisierungen im Modell gemessen werden. Eine gängige Prüfung dieses Sachverhalts erfolgt unter Zuhilfenahme des Fornell-Larcker Kriteriums. Dieses besagt, dass die Quadratwurzel des AVE eines jeden Konstrukts viel größer sein sollte als die Korrelation des spezifischen Konstrukts mit einem der anderen Konstrukte im Modell und diese Quadratwurzel zumindest 0,70 betragen soll (Chin, 1998). Henseler et al. (2015) schlägt weiterhin vor zudem die sogenannte *heterotrait-monotrait ratio* HTMT zu untersuchen, da das Fornell-Larcker Kriterium dazu neigt, bei ähnlichen Faktorladungen der Indikatoren eines Konstrukts, Diskriminanzvalidität zunehmend unzureichend zu detektieren.

Tabelle 7. Korrelationen und Fornell-Larcker Kriterium H2public

Konstrukte	Markenaffinität	Leistungserwartung	Innere Motivation	Aufwandserwartung	Verhaltensabsicht	Preisbewertung	Rahmenbedingungen	Wahrgenommenes Risiko	Normativer Einfluss	Vertrauen in Wasserstoff	Transformatives Bewusstsein
Markenaffinität	0,92										
Leistungserwartung	0,12	0,91									
Innere Motivation	0,22	0,62	0,92								
Aufwandserwartung	0,17	0,56	0,72	0,89							
Verhaltensabsicht	0,24	0,58	0,76	0,68	0,92						
Preisbewertung	0,17	0,29	0,36	0,22	0,43	0,93					
Rahmenbedingungen	0,32	0,54	0,69	0,61	0,64	0,4	0,77				
Wahrgenommenes Risiko	-0,03	-0,39	-0,53	-0,48	-0,47	-0,22	-0,43	0,82			
Normativer Einfluss	0,24	0,56	0,76	0,59	0,75	0,51	0,64	-0,47	0,78		
Vertrauen in Wasserstoff	0,23	0,71	0,73	0,74	0,65	0,36	0,61	-0,57	0,7	0,92	
Trans. Bewusstsein	0,05	0,45	0,4	0,37	0,4	0,27	0,36	-0,23	0,5	0,5	0,78

Quelle: Eigene Abbildung

Durch die Analyse zeigte sich zunächst, dass zwei Items problembehaftet waren. So lud RB3 stark auf den Faktor innere Motivation und EN1 auf Vertrauen in Wasserstoff. Beide Items wurden iterativ gelöscht bis die Grenzen des HTMT eingehalten wurden. Als Zweites stellte sich weiterhin heraus, dass die Variablen sozialer Einfluss und persönliche Norm, die ursprünglich konzeptualisiert worden waren, dasselbe messen. Somit wurden die zugehörigen Items in einer neuen Variablen *normativer Einfluss* gebündelt. Diese zeigt sich demgegenüber hoch reliabel und valide (siehe Tabelle 6). Die abschließende Bewertung der Konstruktvalidität

des Messmodells auf Grundlage der Datenbasis H2public kann also zunächst mittels Tabelle 7 erfolgen. Hierbei zeigt sich das das Fornell-Larcker Kriterium (Werte auf der Diagonale alle $\sqrt{AVE} > 0,7$) voll erfüllt ist. Zudem sollten alle Korrelationen unterhalb der Diagonalen kleiner sein. Auch das ist erfüllt, so dass die Diskriminanzvalidität als etabliert angesehen werden kann. Dies bestätigt sich beim Blick auf die HTMTs, die aller unterhalb des liberalen Schwellenwerts 0,9 liegen. Bis auf eine Beziehung (Rahmenbedingungen-Innere Motivation = 0,86) liegen zudem alle Werte unterhalb des konservativen Schwellenwerts 0,85 (Henseler et al., 2015). Da hier jedoch keine inhaltliche Ähnlichkeit zwischen Fahrfreude und Rahmenbedingungen gesehen wird, kann dies geringfügige Abweichung als zu vernachlässigen angesehen werden.

Tabelle 8. Heterotrait-Monotrait Ratio HTMT H2public

Konstrukte	Markenaffinität	Leistungserwartung	Innere Motivation	Aufwandserwartung	Verhaltensabsicht	Preisbewertung	Rahmenbedingungen	Wahrgenommenes Risiko	Normativer Einfluss	Vertrauen in Wasserstoff	Transformatives Bewusstsein
Markenaffinität											
Leistungserwartung	0,14										
Innere Motivation	0,24	0,72									
Aufwandserwartung	0,18	0,66	0,78								
Verhaltensabsicht	0,26	0,67	0,8	0,73							
Preisbewertung	0,18	0,33	0,39	0,23	0,46						
Rahmenbedingungen	0,4	0,72	0,86	0,75	0,8	0,53					
Wahrgenommenes Risiko	0,04	0,45	0,57	0,53	0,51	0,24	0,54				
Normativer Einfluss	0,27	0,65	0,82	0,64	0,81	0,55	0,83	0,52			
Vertrauen in Wasserstoff	0,24	0,82	0,77	0,79	0,69	0,38	0,74	0,62	0,75		
Trans. Bewusstsein	0,1	0,53	0,4	0,38	0,4	0,29	0,42	0,23	0,51	0,51	

Quelle: Eigene Abbildung

5.3 Strukturmodell

Bei der Beurteilung der Güte des Strukturmodells werden als erstes die Pfadkoeffizienten (Vorzeichen, Ausmaß und Signifikanz) untersucht, um die in Abbildung 1 dargelegten Hypothesen zu überprüfen. Der Signifikanztest erfolgt in SmartPLS mit den sogenannten *bias-corrected bootstrap*. Dieser Algorithmus ist in der Lage Datenverzerrungen weitestgehend zu eliminieren. Hierfür wird ein Korrekturfaktor genutzt, der diejenigen Bootstrap-Schätzungen ändert, die kleiner oder größer sind als die normalverteilt beobachtete Statistik. Zudem werden die Konstrukte bezüglich Ihrer Aussagekraft durch die Größen Bestimmtheitsmaß R^2 und Effektstärken f^2 untersucht. Wir testen lineare Effekte, da es aus der Theorie des UTAUT heraus keinen Grund gibt andere Formen (wie z.B. quadratische Effekte) zu vermuten.

Allerdings haben sich bei der ersten Überprüfung der Daten und der explorativen Erkundung von Wirkpfaden in SmartPLS leichte Änderungen ergeben, auf die zunächst kurz eingegangen werden soll. Da es in SmartPLS leicht umzusetzen ist und in der Modellentwicklung empfohlen wird (Bagozzi & Yi, 1988), wurde das Verfahren der kompetitiven Modellierung rivalisierender Modelle genutzt vgl. (Herrero et al., 2017). Es wurde zunächst ein Modell A gebaut, das im Wesentlichen einem um *Transformatives Bewusstsein*, *Vertrauen in Wasserstoff*, *wahrgenommenes Risiko* und *Markenaffinität* erweitertes UTAUT2 darstellt. Es wurden zunächst stets nur direkte Effekte betrachtet. Als Zweites wurden dann ein Modell B betrachtet, dass nur die signifikanten Pfade des Modells A enthielt. Das Modell C war dann das hypothetisierte Modell aus Abbildung 1. Das letzte Modell D wiederum war das Modell C mit nur signifikanten Pfadverbindungen (in einem der beiden Datensätze). Der kompetitive Vergleich dieser vier Lösungsansätze erfolge unter Zuhilfenahme der von SmartPLS bereitgestellten Goodness-of-fit Indizes (siehe nächstes Kapitel) und dem Akaike Information Criterion (AIC). Den Kriterien von Sharma et al. (2019) folgend, stellte Modell D nach Auswertung die beste Lösung hinsichtlich der zu erwartenden Modell- und der zugehörigen Prognosequalität dar. Wie in Kapitel 6 ersichtlich, galt dies auch für den Datensatz H2user, was als Indiz für eine so erzielte hohe Modellvalidität angesehen werden kann. In folgenden Analysen wird also einheitlich mit dem Modell in Abbildung 4 gearbeitet.

1. Multikollinearität

Die Prüfung eines Modells hinsichtlich der Freiheit von Multikollinearität ist eine zwingende Voraussetzung zur Anwendung von Regressionsrechnungen. Für reflektive Messmodelle ist dies in SmartPLS zwar zunächst nicht erforderlich, jedoch für das Strukturmodell, da hier innerhalb des PLS-Algorithmus die Methode der OLS Regression (engl. ordinary least squares) angewandt wird. Wie bei der multiplen Regressionsrechnung können Pfadkoeffizienten einer zu schätzenden Variablen verzerrt werden, wenn ein kritisches Maß an Kollinearität zwischen den Prädiktorvariablen beobachtet wird (Hair et al., 2017). Die Verteilungen sollten somit ausreichend streuen und nicht gegenseitig linear aufeinander abbildbar sein. Als Schweregrad

der Multikollinearität müssen hierfür die sogenannten Variance Inflation Factors (VIFs) für jeden einzelnen Wirkzusammenhang untersucht werden. Der VIF ist der Quotient der Varianz in einem Wirkzusammenhang mit mehreren Indikatoren durch die Varianz desselben Modells mit nur einem Indikator. Als unkritisch werden VIF Werte unterhalb von 5 angesehen. Werte oberhalb von 10 deuten hingegen auf größere mit der Datenstruktur hin (Hair et al., 2013). Wie Tabelle 9 allerdings zeigt, kann das Problem der Multikollinearität in vorliegendem Fall allerdings ausgeschlossen werden.

Tabelle 9. VIFs im Strukturmodell H2public

Konstrukt Grenzwert VIF < 5	Leistungserwartung	Aufwandserwartung	Verhaltensabsicht	Rahmenbedingungen	Normativer Einfluss	Vertrauen in Wasserstoff
Markenaffinität				1,07	1,08	
Leistungserwartung			2,56			
Innere Motivation			3,71			
Aufwandserwartung	2,19		2,32			
Preisbewertung			1,4			
Rahmenbedingungen		1,61	2,25			
Wahrgenommenes Risiko				1,52	1,53	1,01
Normativer Einfluss			3,03			
Vertrauen in Wasserstoff	2,51	1,61		1,6	2,03	
Transformatives Bewusstsein	1,33				1,35	

Quelle: Eigene Abbildung

2. Bestimmtheitsmaß

Das Bestimmtheitsmaß R^2 gibt den Anteil der erklärten Varianz einer abhängigen Variablen im Verhältnis zur Gesamtvarianz an. Grafisch beschreibt R^2 wie gut die Datenpunkte der unabhängigen Variablen zu den Datenpunkten (der Kurve) der abhängigen Variablen passen (Nitzl, 2010). Das Zielkonstrukt in der Akzeptanzforschung ist stets die *Verhaltensabsicht* und die tatsächliche Nutzung. Zweitere kann jedoch nur im Sample H2User über die Variable Fahrzeugbesitz näherungsweise getestet werden und ist deshalb zunächst kein weiterer Analysegegenstand. Die Interpretation des R^2 der Verhaltensintention muss schließlich sorgfältig und in Relation zu anderen Ergebnissen im Forschungsumfeld erfolgen. Bei Modellen mit vielfältigen Einflussfaktoren (wie in vorliegendem Fall) geben Chin (1998) als Richtwert an, dass ein Wert $R^2 > 0,67$ als sehr gute und substantielle Erklärung bewertet werden kann. Je nach Disziplin und Methode können auch Werte unterhalb dieser Grenze positiv bewertet werden, was beim in Abbildung 4 ablesbaren Wert von 0,69 allerdings nicht nötig ist. In vorliegendem Fall können zusätzliche Benchmarks sowohl aus der Theorieentwicklung des UTAUT, als auch aus vergleichbaren Akzeptanzstudien genutzt. So erzielte das originale Modell von

Venkatesh et al. (2012) ein R^2 von 0,44 (nur direkte Effekte) für die Verhaltensintention. Das umfassende Wasserstoffmodell (Kombination von Theory of Planned Behavior (Ajzen, 1985) und Norm Activation Model (Schwartz, 1977)) von Huijts et al. (2013) erzielte bei Untersuchung zweier Samples ein maximales R^2 von 0,65 der Verhaltensintention sich für Wasserstoff einzusetzen.

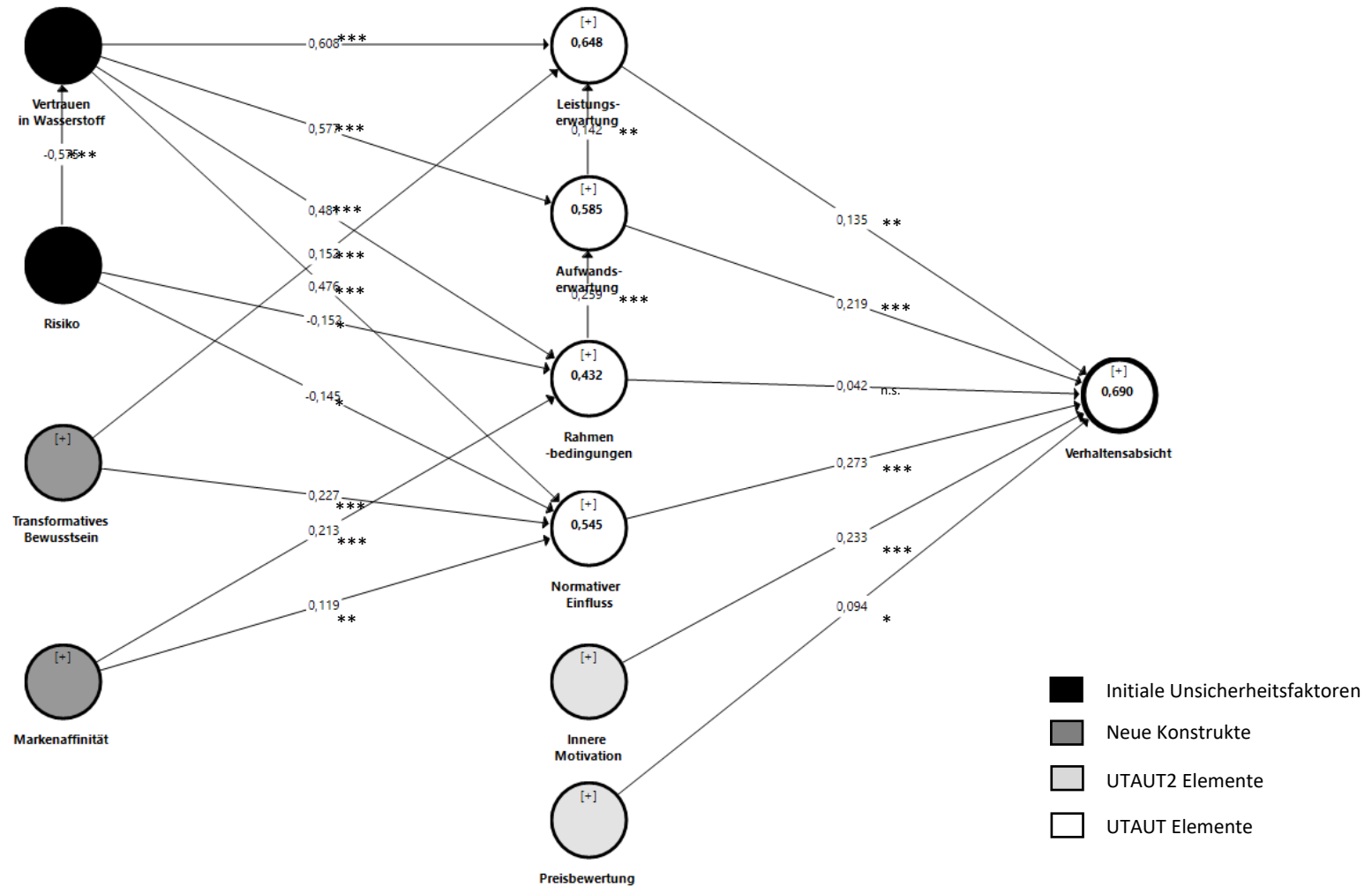
Zuletzt kann noch das bereinigte R^2_{adjusted} betrachtet werden. Dieses erweiterte Bestimmtheitsmaß berücksichtigt die Anzahl von Variablen und Datenpunkten in seiner Berechnung und ist immer kleiner oder gleich als R^2 . Wenn es deutlich kleiner ausfällt als ein zugehöriges R^2 kann man vermuten, dass das Modell für die Prognose nutzlose Variablen oder Daten enthält (Everitt & Skrondal, 2010). Bei einem hier vorliegenden Wert von $R^2_{\text{adjusted}}=0,68$ ist dies allerdings nicht der Fall. Somit kann das EM:POWER Modell insgesamt als eine Verbesserung bestehender Erklärungsansätze angesehen werden.

3. Pfadkoeffizienten und Signifikanz

Pfadkoeffizienten sind standardisierte Werte zur Beschreibung der aufgestellten Hypothesen im Strukturmodell. Ihre Werte liegen meist zwischen -1 und +1. Je näher an 0, desto schwächer ist die Beziehung. Ein positiver Wert sagt aus, dass eine Veränderung in der unabhängigen Variablen eine positive Veränderung der abhängigen Variablen nach sich zieht. Für negative Werte gilt dies vice versa. Die Größe der Pfadkoeffizienten sagt allerdings nicht direkt etwas über die Vorhersagekraft aus, denn ein Pfadkoeffizient ist ein relatives Maß bezogen auf die Standardabweichungen der zugrunde liegenden Verteilungen. Wenn sich der Indikator sich also um eine Standardabweichung ändert, ändert sich das vorgeseigte Konstrukt um β Standardabweichungen (wobei β der Pfadkoeffizient ist). Somit ist ein hoher Pfadkoeffizient ein guter Hinweis auf das Vorhandensein einer wahren Beziehung, kann aber zunächst nur relational, d.h. durch das in Bezug setzen verschiedener Pfadkoeffizienten zueinander interpretiert werden (Hair et al. 2013). Für eine korrekte Beurteilung der Güte des Strukturmodells ist zusätzlich die Betrachtung der Signifikanzen der Beziehungen notwendig.

Hierbei spielen die Anzahl der Beobachtungen und die Datenstruktur eine Rolle. Die Signifikanz bezieht sich auf die tatsächliche Aussagekraft der statistischen Beziehung. Sie bezeichnet die Tatsache, dass eine Beziehung zwischen zwei Variablen mit einer vordefinierten Wahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau) nicht aus einer zufälligen Verteilung der Daten resultiert, sondern aus einem tatsächlichen Unterschied in der Datenbasis. (Backhaus et al., 2008). In der Akzeptanzforschung sind Signifikanzniveaus von $p < 0,05$ (signifikant) bis $p < 0,001$ (hoch signifikant) üblich (Davis, 1989; Venkatesh et al., 2003). Der Wert p beschreibt hierbei die Wahrscheinlichkeit, dass die Nullhypothese (kein Unterschied zwischen tatsächlicher Verteilung und Zufallsverteilung) nicht verworfen werden kann. Zur Prüfung der Signifikanz in Smart-PLS empfehlen Hair et al. (2017) die Nutzung des 2-seitigen *bias-corrected and*

Abbildung 3. Akzeptanzmodell der Wasserstoffmobilität mit Pfadkoeffizienten und Bestimmtheitsmaßen
(n.s. nicht signifikant; * signifikant $p < 0,05$; ** sehr signifikant $p < 0,01$; *** hoch signifikant $p < 0,001$)



Quelle: Eigene Abbildung

accelerated (BCa) bootstrap mit 5000 subsamples. Die Ergebnisse dieses Prozedere können ebenfalls Abbildung 4 entnommen werden.

Aus dem so gewonnen Wissen um Pfadkoeffizienten und zugehörige Signifikanzniveaus kann eine Beurteilung des Strukturmodells und der Relevanz der einzelnen Beziehungen erfolgen. Sobald ein Pfad signifikant ist, kann eine aufgestellt Hypothese als bestätigt angesehen werden. Allerdings bedarf es zusätzlich einer relativen Einschätzung, da wie beschrieben eben nicht jede signifikante Beziehung auch die gleiche Bedeutung hat. Für das Akzeptanzmodell von EM:POWER bedeutet, dass für die Gruppe H2public folgendes:

Alle Faktoren des UTAUT2 außer den *Kontroll- und Rahmenbedingungen* tragen bedeutsam dazu bei, die Akzeptanz der Wasserstoffmobilität vorherzusagen. Die drei Variablen *normativer Einfluss*, *innere Motivation* und *Aufwandserwartung* zeigen die größten direkten Effekte. *Preisleistung* fällt im Vergleich hierzu als schwächstes Konstrukt deutlich ab und zeigt nur einen geringen Effekt. *Kontroll- und Rahmenbedingungen* haben keinen direkten Effekt auf die Verhaltensabsicht, sondern wirken indirekt dadurch, dass sie die Einfachheit der Nutzung (Aufwandserwartung) stark positiv beeinflussen. Dies deckt sich mit Resultaten von Venkatesh (2000), steht allerdings im Kontrast zu z.B. Herrero et al. (2017). Venkatesh et al. (2003) argumentieren in diesem Zusammenhang, dass die Aufwandsserwartung niemals signifikant sein kann, wenn die Rahmenbedingungen es sind und umgekehrt. Dies liegt daran, dass Aspekte, die mit der unterstützenden Infrastruktur zusammenhängen, in beiden Konstrukten erfasst werden. Wenn z. B. jemand Zugang zur noch spärlich gesäten Tankinfrastruktur hat, dann macht dies die Nutzung der Technologie für das Individuum einfacher. Gefen und Straub (2000) gehen davon aus, dass die Aufwandserwartung nur dann positiv ist, wenn die Technologie ein intrinsisches Momentum hat. Der hohe Einfluss sozialer Faktoren und der inneren Motivation (wahrgenommene Freude) passt hier also insgesamt sehr gut zu anderen Ergebnissen aus dem Bereich der zukünftigen Individualmobilität (z.B. Barth et al., 2016). Vereinfacht gesagt: Die Wasserstoffmobilität kann als beflügelt werden indem sie einfach zu nutzen ist (was maßgeblich an den Rahmenbedingungen hängt), Spaß macht (siehe der Erfolg Teslas im Elektromobilitätsbereich) und sozial-normativ erwünscht ist.

Weiterhin können zahlreiche indirekte Effekte entdeckt werden, die zunächst im aufgestellten Modell A (UTAUT2 Erweiterung) keinen Einfluss auf die Verhaltensabsicht ausgeübt hatten. So zeigt sich, dass die beiden (Un-)sicherheitsfaktoren *Vertrauen in Wasserstoff* und *Wahrgenommenes Risiko* den allerstärksten Effekt sowohl auf die direkten Akzeptanzfaktoren, als auch auf die Akzeptanz an sich (als Summe ihrer indirekten Einwirkung (siehe Abbildung 4)) ausüben. Vertrauen und Risiko verhalten sich dabei wie die beiden Antagonisten Perceived Usefulness und Perceived Ease of Use in Davis (1989) originalem Technologieakzeptanzmodell TAM. Der Effekt von Risiko wird durch Vertrauen weitestgehend mediert und so stellt Vertrauen das noch bedeutsamere Konstrukt dar, das alle Elemente des originalen UTAUT Models stark positiv beeinflusst. Risiko hingegen wirkt sich nicht direkt auf die *Leistungs-* und

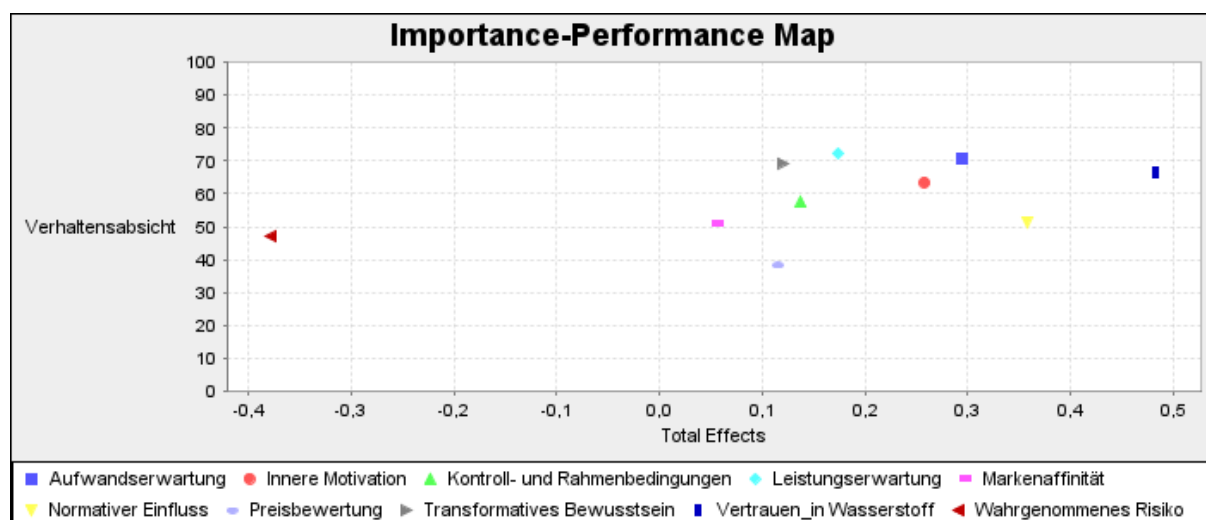
die *Aufwanderwartung* aus, sondern zeigt leichtere Effekte gegenüber der Wahrnehmung der Rahmenbedingungen und des normativen Einflusses. Ein höheres Risikoempfinden führt also direkt zu einer Abwertung der Rahmenbedingungen und einer steigenden Resistenz gegenüber sozial-normativer Anspracheformen. Durch den Abbau von Vertrauen führt Risiko zudem indirekt zu Wahrnehmung der Wasserstoffmobilität als weniger nützlich und schwerer zu nutzen.

Weitere weniger bedeutsame, aber dennoch signifikante, indirekte Wirkungen können mittels der beiden neuen Variablen *Markenaffinität* und *transformatives Bewusstsein* entdeckt werden. Das transformative Bewusstsein wirkt auf die wahrgenommene Leistung und den normativen Einfluss. Ökologie ist somit einerseits ein Leistungskriterium von Mobilität und (noch stärker) ein sozialer Faktor. Die Markenaffinität hat positive Effekte auf die Wahrnehmung der Kontroll- und Rahmenbedingungen. Die Verfügbarkeit von H2 Fahrzeugen einer favorisierten Marke erhöht also die Akzeptanz z.B. dadurch, dass sich gedankliche Barrieren der eigenen Handlungsfreiheit in der Gestaltung der eigenen Mobilität abbauen. Zum Zweiten steigt der normative Einfluss. Dies kann als Hinweis gesehen werden, dass das Image einer Marke innerhalb des sozialen Wertekontexts eines Individuums eine stimulierende Funktion hat.

4. Importance-Performance Mapping

Die Bedeutung der einzelnen Akzeptanzfaktoren lässt sich schließlich zusammenfassend über die Betrachtung der sogenannten *total effects* als Maß für die Wichtigkeit (*importances*) einzelner Variablen für ein Zielkonstrukt (hier: Verhaltensabsicht) beschreiben. Diese geben die Summe aus direkten Effekten (Pfadkoeffizienten) und indirekten Effekten durch Mediation (s. Field, 2013) an. Diese Dimension kann sodann über ein importance-performance mapping (IPMS) Verfahren mit den Durchschnittswerten der latenten Variablen (*performances*) kontrastiert werden (Höck et al., 2010).

Abbildung 4. IPMA der Variablen im Modell H2public (standardisierte Werte)



Quelle: Eigene Abbildung

Das Ziel der IPMA ist diejenigen Variablen zu identifizieren, die einerseits besonders wichtig sind, deren Performance aber noch verbessert werden kann (d.h. für vorliegendes Beispiel dass deren Werte auf der y-Achse noch relativen Spielraum nach oben (für positive Effekte) oder unten (für negative Effekte) bieten). Die Interpretation der Abbildung 3 zeigt somit, dass es sich besonders lohnt zu versuchen die Faktoren Normativer Einfluss und Risiko zu verbessern, da diese eben einen großen Effekt haben aber relativ gesehen noch schlechter performen als andere Akzeptanzindikatoren.

In einer detaillierteren Item-IPMA sieht man zudem, dass das am besten performende Item folgendes ist: „Ich erwarte, dass ein Brennstoffzellenfahrzeug genauso nützlich ist wie ein herkömmliches Fahrzeug.“. Auch das sagt einiges über die Wünsche der Menschen aus, den Status Quo am liebsten zu konservieren.

5. Effektstärken

In der Praxis wird zunehmend die Berücksichtigung von Effektstärken verlangt. Sie geben das tatsächliche Maß der Veränderung einer Zielvariablen durch die einzelnen Prädiktoren an, indem getestet wird wie sich das Bestimmtheitsmaß R^2 beim Herauslassen eines Prädiktors verändert. Üblich ist die Nutzung der Wertegrenzen $f^2 > 0,02$ (schwache Effekte) $> 0,15$ (mittlere Effekte) und $> 0,35$ (starke Effekte) (Cohen, 1992). Es konnten im EM:POWER Akzeptanzmodell analog zu den bereits beschriebenen Ergebnissen starke Effekte für die Variablen *Vertrauen* und *Risiko* ermittelt werden. Alle anderen Beziehungen zeigten schwache Effekte, was in der Psychologie durchaus üblich ist und zudem auf die hohe Gesamtzahl der im Forschungsmodell enthaltenen Wirkbeziehungen für die Verhaltensabsicht zurückzuführen ist. Der durchschnittliche Einfluss je Variable sinkt bei zunehmender Anzahl der Einflussvariablen (Fazel, 2014). Kein direkter Prädiktor der Akzeptanz aus dem UTAUT sticht hierbei besonders hervor, sondern alle sind ungefähr gleich bedeutsam. Für vorliegende Ergebnisse bedeutet das, dass die herausragende Rolle von Vertrauen und Risiko zur tatsächlichen und messbaren Erhöhung der Akzeptanz nochmals betont wird, da diese nun eben fast alle diese Faktoren gleichermaßen verändern können.

6. Prognoserelevanz

Chin (1998) empfiehlt die Güte eines gefundenen Modells zusätzlich zu dem Bestimmtheitsmaß R^2 (Angabe der erklärten Varianz) eines Zielkonstrukts auch durch die Prognoserelevanz Q^2 zu überprüfen. Besonders vorteilhaft sei dies für reflektive Messmodelle, da so geprüft wird ob ein theoretisches Modell von latenten Konstrukten auch unter Verwendung anderer als der verwendeten Daten funktionieren würde. Daraus könnte man schlussfolgern, dass das Modell die Fähigkeit besitzt übertragbare Schlussfolgerungen zu ziehen. Dies wird mittels der sogenannten Blindfolding-Prozedur herausgefunden. Dabei wird systematisch jeder x-te Wert (x bezeichnet die Auslassungsdistanz) in den Rohdaten ausgelassen, als fehlender Wert

behandelt und durch einen PLS-Schätzwert ersetzt. Die Auslassungsdistanz sollte hierbei zwischen 5 und 10 liegen und kein Teiler von N sein (Nitzl, 2010). Dies wird solange wiederholt, bis alle Werte des Modells nicht mehr aus realen, sondern aus geschätzten Daten bestehen. Diese realen und die rekonstruierten Daten werden anschließend anhand ihrer quadrierten Fehlerwerte verglichen und die Prognoserelevanz Q^2 gemäß der Formel von Stone & Geisser (Stone, 1974; Geisser, 1974)) berechnet. Ist der Wert positiv und kleiner als 1, gilt die Prognoserelevanz für ein Zielkonstrukt als etabliert. In vorliegendem Fall H2public beträgt der Wert von Q^2 zufriedenstellenderweise 0,58 für die Verhaltensabsicht und mindestens 0,27 für alle anderen abhängigen Variablen.

5.4 Güte des Gesamtmodells

Zur Beurteilung des Modells insgesamt (Mess- und Strukturmodell) werden bei varianzbasierten Verfahren wie der linearen Regressionsrechnung häufig globale Fit-Indizes wie der GFI (Goodness of Fit), X^2 (Model Chi-Square) oder RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) angegeben. Die verschiedenen Indizes bieten unterschiedliche Vor- und Nachteile und so wird üblicherweise empfohlen je nach Stichprobengröße, Untersuchungsmethodik und Kontext mehrere Kriterien zu verwenden (Wheaton, 1988). Ziel aller dieser Werte ist es global zu bewerten wie gut die vorliegenden Daten zur aufgestellten Theorie passen. Daraus resultiert auch die Option unterschiedliche Modell anhand dieser Model-Fits zu vergleichen. Grundvoraussetzung in Strukturgleichungsmodellen ist dabei allerdings eine ausreichende Datenidentifikation (Überidentifikation). Hierzu müssen positive Freiheitsgrade vorliegen. Dies berechnet sich über die Formel $df = (k^2 + k) / 2 - t$, wobei k die Anzahl an Konstrukten und t die Anzahl abhängiger Variablen beschreibt. U.a. aus den verfügbaren Freiheitsgraden (d.h. alternative Modellierungsoptionen mit voller Datenidentifikation) lassen sich sodann Model-fit-Indikatoren bestimmen (Backhaus et al., 2018). Chin (1998) schlägt aufgrund des prognoseorientierten Charakters von PLS zudem die Berücksichtigung von Q^2 als globales Gütekriterium vor (hier erfüllt).

Für kovarianzbasierte PLS Methoden existiert kein allgemein anerkanntes globales Gütemaß. Die Entwicklung und Anwendung entsprechender Indizes befindet sich derzeit in Arbeit und ist anhaltender Gegenstand wissenschaftlicher Auseinandersetzungen. Dennoch wurde SmartPLS vor wenigen Jahren den Wünschen der Forschungsgemeinde gerecht und bietet nun dennoch einige Indizes an (z.B. SRMR (Standardized Root Mean Square Residual), NFI (Normed-Fit Index) oder RMS-theta (speziell für PLS entwickelt)). Hair et al. (2017) werden jedoch nicht müde zu betonen, dass diese Werte aufgrund noch unzureichenden Wissens über deren Bewertung und zugehöriger Schwellenwerte nur sehr vorsichtig genutzt werden sollten. Ursprünglich wird vorgeschlagen die Bewertung des Gesamtmodells auf Basis vorher ermittelter Werte wie R^2 oder Q^2 vorzunehmen (Nitzl, 2010). Henseler (2018) versucht der Diskussion um Gütemaße und deren Interpretation in PLS etwas Struktur zu geben.

Demzufolge sollte die Bewertung des Modells mit dem Forschungsziel bzw. in der Praxis oft einer Mischung verschiedener Forschungszielen zusammenpassen. Es können vier relevante Forschungsziele von SEM-PLS und zu fokussierende Werte identifiziert werden:

1. Konfirmatorisches Forschungsziel – Überprüfung bestehender Theorie – Validierung von bekannten Ergebnissen – Fokus auf Model-Fit Indizes
2. Erklärendes Forschungsziel – Bestmögliche Erklärung einer Zielvariablen – Fokus auf R^2 und f^2
3. Exploratives Forschungsziel – Schnelles Feedback über Wirkbeziehungen in unterschiedlichen Zusammenhängen – Fokus auf Pfadkoeffizienten
4. Prognostisches Forschungsziel – Wie gut performt das Modell außerhalb der bestehenden Stichprobe? – Fokus auf Q^2 und q^2

Dementsprechend können Model-fit Werte für PLS zielführend sein, müssen es aber nicht zwangsweise wie z.B. bei LISREL. Diesen Gedanken möchte sich EM:POWER anschließen. Da im vorliegenden Fall das Forschungsziel zunächst explorativ und anschließend vor allen Dingen erklärend ist, kann die Modellgüte am besten über das Bestimmtheitsmaß R^2 und die signifikanten Pfadverbindungen bewertet werden. Wie beschrieben, sind all diese Werte substantiell und signifikant.

Abschließend kann eine Betrachtung von mindestens vier Gütekriterien, wie sie von Kline (2010) für Strukturgleichungsmodelle empfohlen werden, helfen eine erste konfirmatorische Bewertung des gefundenen Modells vorzunehmen. Wir nutzen also Model-Fits (SRMR, NFI und RMS theta) aus SmartPLS und berechnen den GFI (Tenenhaus et al., 2004) selbst. RMS theta (Henseler et al., 2014) eignet sich besonders für reflektive Messmodelle. Die Werte bewegen sich hierbei insgesamt in einem guten bis akzeptablen Rahmen. Der NFI erfüllt die Bedingungen des Model Fits allerdings nicht. Eine weitere konfirmatorische Validierung des EM:POWER Modells ist (z.B. mittels Methoden des CB-SEM) somit geboten.

Tabelle 10. Model Fit Indizes und Schwellenwerte

Indizes	SRMR	GFI	RMS Theta	NFI
Schwellenwert	< 0,08	> 0,36	< 0,12	> 0,9
Modell H2public	0,07	0,63	0,12	0,8

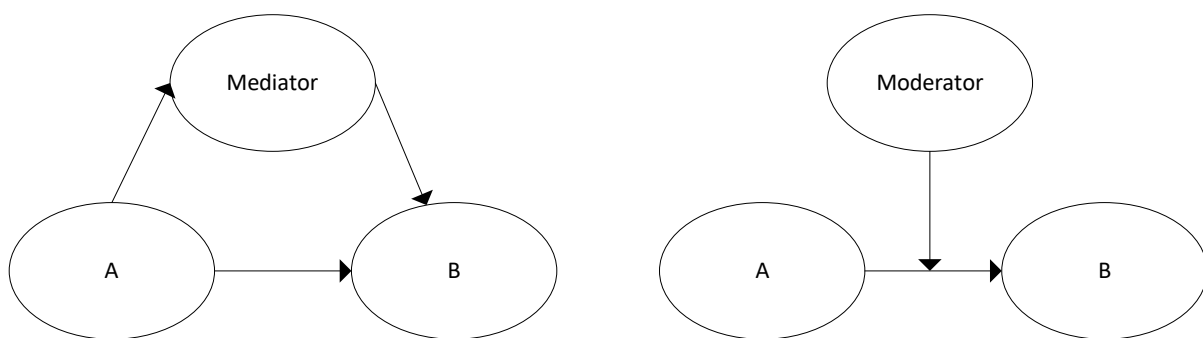
Quelle: Eigene Abbildung

5.5 Analyse von Gruppen

1. Moderation und Mediation

Die zwei wichtigsten Grundtypen von Interaktionen, die in Strukturgleichungsmodellen abseits „normaler“ Wirkbeziehungen untersucht werden können, sind Moderation und Mediation (Hair et al., 2017). Moderation beschreibt eine Situation, in der die Beziehung zwischen zwei Konstrukten nicht konstant ist, sondern von den Werten einer dritten Variablen abhängt. Bei der Mediation hingegen existiert eine Beziehung zwischen zwei Variablen dadurch, dass ein drittes Konstrukt als „Brückenvariable“ in den Prozess zwischengeschaltet ist. Beide Interaktionstypen helfen bei der Diskussion anspruchsvollerer Modelle und komplexerer Kausalbeziehungen.

Abbildung 5. SEM Mediation und Moderation



Quelle: Eigene Abbildung

Das EM:POWER Akzeptanzmodell beinhaltet eine Reihe von Mediationseffekten. Diese können mittels eines Bootstrapping getestet werden. Geprüft wird dabei die Signifikanz der indirekten Effekte auf das Zielkonstrukt „Verhaltensabsicht“. Die Mediatoren sind die vier Elemente des originären UTAUT (Venkatesh et al., 2003), die als Proxy der Effekte von Vertrauen, Risiko, transformativen Bewusstseins und Markenaffinität genutzt werden. Alle indirekten Effekte außer den durch Leistungserwartung meditierte Effekten von Rahmenbedingungen und Aufwanderwartung sind signifikant. Diese nicht signifikanten Effekte verlaufen anstelle der hypothetisierten Wirkung komplett durch die Aufwandserwartung und erhöhen deren Gesamteffekt auf die Verhaltensabsicht stark. Ein weiteres Beispiel für Mediation in vorliegendem Modell wäre z.B., dass eine Reduktion des Risikoempfindens eine Erhöhung der Verhaltensabsicht dadurch erzielt, dass die zwischengeschalteten Variablen Rahmenbedingungen und normativer Einfluss erhöht werden.

Das EM:POWER Akzeptanzmodell hypothetisiert zunächst keine speziellen Moderationseffekte. Im originalen UTAUT dienen allerdings die soziodemografischen Variablen *Geschlecht* und *Alter* sowie die Variable *Erfahrung* als vielfältige und wichtige Moderatoren. Im Verlauf der Akzeptanzforschung konnten diese allerdings nur selten reproduziert werden (Venkatesh et al., 2016). Sie scheinen somit technologie- und innovationsspezifisch unterschiedlich aufzutreten. SmartPLS bietet die Möglichkeit gruppenspezifische Unterschiede im Strukturmodell mittels einer sogenannten Multigruppenanalyse (MGS) durchzuführen. Dieses Verfahren

bietet den Vorteil nicht jeden Pfad einzeln testen zu müssen, sondern gleich die relevanten Unterschiede explorativ aufzudecken.

2. Multigruppenanalyse

Das EM:POWER Projekt möchte die Akzeptanz des Systems Wasserstoff besser verstehen und gruppenspezifische Ansprachewege für unterschiedliche Bevölkerungsgruppen detektieren. Es wird deshalb eine MGA durchgeführt, um die Moderationswirkung von Erfahrungswerten und demografischer Gruppenzugehörigkeit integriert zu untersuchen. Der Kern der MGA ist eine Prüfung auf Signifikanz der Unterschiede in den Pfadkoeffizienten von zwei oder mehr unterschiedlichen Subsamples einer Stichprobe. Seit 2016 ist sie in der Software SmartPLS integriert. Sie kann somit die beobachtbare Heterogenität anhand von kategorialen Variablen ausweisen.⁴ Um die Multigruppenanalyse anwenden zu können müssen allerdings drei Voraussetzungen der Invarianz des Messmodells hinsichtlich der Subsamples erfüllt sein. Die einzelnen Schritte bauen dabei inkremental aufeinander auf (Henseler et al., 2016):

1. Invarianz der Konfiguration: Inhaltliche Gleichheit der Konstrukte und deren Parametrisierung
2. Invarianz der Komposition: Konstrukte werden algorithmisch gleich gebildet
3. Gleichheit von Mittelwerten und Varianzen: Die Werte der Konstrukte sind statistisch nicht signifikant unterschiedlich in den Samples

Sobald Schritt 3 erfüllt ist, bedeutet das, dass die vollständige Messvarianz der Daten gegeben ist und sie gepoolt als ein Datensatz (z.B. mittels Moderationsbeziehungen) analysiert werden können. Sollte Schritt 3 nicht erfüllt werden, bedeutet das nur partielle Messvarianz der Daten gegeben. Es gibt also eine beobachtbare Heterogenität. Eine Multigruppenanalyse ist in diesem Fall vielversprechend. Es ist allerdings auf eine ausreichend große Samplegröße (statistische Aussagekraft 80%-Niveau) zu achten (s. Cohen, 1992).

Integriert geprüft werden kann die Invarianz durch das sog. measurement invariance of composite models MICOM Verfahren. Dies geschieht auf Basis des Permutationsalgorithmus. Dieser Permutationsalgorithmus erlaubt es zu testen, ob vordefinierte Datengruppen statistisch signifikante Unterschiede in ihren Parametern (z.B. Ladungen und Pfadkoeffizienten) aufweisen (s. Edgington & Onghena, 2007). Für unser Modell wird stets die gleiche Konfiguration verwendet, weshalb die Invarianz der Konfiguration als gegeben angesehen werden kann. In der MICOM Analyse zeigt sich, dass die Invarianz der Komposition für die im Folgenden betrachteten binären Gruppen Alter, Geschlecht und Einkommen ebenfalls gegeben ist, nachdem drei Items aus der Analyse entfernt wurden. Schritt 3 wird nicht voll erfüllt. Somit existiert

⁴ Zur Analyse der nicht-beobachtbaren Heterogenität können das FIMIX (finite mixture PLS) oder das POS (prediction-orientated segmentation) Verfahren angewendet werden. Durch die relativ hohe Anzahl an beobachtbaren Kontrollvariablen sollten anderweitige Unterschiede in der Datenstruktur jedoch kam vorfindbar sein. Eine Überprüfung der FIMIX Segmentierung und zugehöriger Entropiewerte bestätigte diese Vermutung (Matthews et al, 2016).

partielle Invarianz und die Durchführung der MGA ist empfohlen (Henseler et al., 2016). Eine Gruppierung nach Erfahrung kann aufgrund der Schiefe der Daten (sehr unerfahren) nicht erfolgen und wird somit wie geplant durch den Vergleich der Datensätze H2public und H2user erzielt (siehe Kapitel 6). Die MGA wird schließlich durch den Vergleich der Gruppen Männer (m) – Frauen (f), Menschen unter 40 (u40) – Menschen über 60 (ü60) und Menschen mit einem Durchschnittseinkommen unterhalb 1500 €/Monat (u1500) bzw. oberhalb 2500€/Monat (ü2500) durchgeführt. Es soll an dieser Stelle auf umfangreiche Statistiken verzichtet werden und nur die Ergebnisse der signifikante Gruppenunterschiede der Pfadkoeffizienten eingegangen werden. Diese sind:

- Geschlecht:
 - Risiko -> Vertrauen; $\beta(m)=-0,68$, $\beta(f)=-0,41$; $p(m)=0,00$, $p(f)=0,00$;
 $p_diff=0,00$;
- Alter
 - Risiko -> Vertrauen; $\beta(\ddot{u}60)=-0,61$, $\beta(u40)=-0,19$; $p(\ddot{u}60)=0,00$, $p(u40)=0,00$;
 $p_diff=0,01$;
- Einkommen
 - Risiko -> Vertrauen; $\beta(\ddot{u}2500)=-0,74$, $\beta(u1500)=-0,45$; $p(\ddot{u}2500)=0,00$,
 $p(u1500)=0,00$; $p_diff=0,00$;
 - Markenaffinität -> normativer Einfluss; $\beta(\ddot{u}2500)=-0,74$, $\beta(u1500)=-0,45$;
 $p(\ddot{u}2500)=0,00$, $p(u1500)=0,90$; $p_diff=0,00$;

Alle anderen 14 Modellbeziehungen weisen keine signifikanten Unterschiede ihrer Wirkpfade auf. Das ist erstaunlich eindeutig. Für eine gruppenspezifische Ansprache gilt es somit für Manager und Entscheider das Risiko in den Fokus zu nehmen. Die Akzeptanz reduzierende Wirkung von Risiko verstärkt sich für ältere Männer mit höheren Einkommen⁵. Dennoch ist dies die Gruppe mit der höchsten Nutzungsrate (H2user Stichprobe). In der Reduktion von Risiko liegt somit aus zwei Perspektiven ein Potential für eine Verbreitung der Wasserstoffmobilität.

Ein zweiter, gruppenspezifischer Unterschied findet sich in der Beziehung Markenaffinität -> normativer Einfluss. Hierbei ist in der einkommensschwachen Kontrollgruppe überhaupt kein signifikanter Einfluss messbar. Somit würde die Verfügbarkeit von Fahrzeugen der Lieblingsmarke (z.B. deutsches Fabrikat) nur die Akzeptanz von einkommensstärkeren Bevölkerungsschichten erhöhen. Man könnte beim Blick auf den derzeitigen Preis auch mutmaßen, dass man sich eine Markenvorliebe leisten können muss, bzw. dass nur in höheren

⁵ Es sollte hierbei erwähnt werden, dass die Eigenschaften Mann, hohes Einkommen und Alter in der Stichprobe H2public eine vergleichsweise geringe gemeinsame Menge (nur 20% der Männer sind über 60 und haben hohes Einkommen) aufweisen.

Einkommensschichten die Fahrzeugmarke als den sozialen Kontext der Akzeptanzentscheidung ändert. Hier spielt potentiell die Statussymbolik eine Rolle bei der Entscheidung.

5.6 Zwischenfazit

Die Ergebnisse der Modellbewertung für die Stichprobe H2public zeigen, dass das EM:POWER Akzeptanzmodell stabil validiert werden kann. Die holistischen Einflussfaktoren des UTAUT zeigen ihre Vorhersagekraft auch für die Wasserstofftechnologie. Besonders wichtige direkte Einflussfaktoren sind der normative Einfluss, die Aufwandserwartung als Mediator der Rahmenbedingungen und die innere Motivation. Dies deckt sich mit den Akzeptanzcharakteristika neuer Individualmobilität, wobei die Rolle der Einfachheit der Nutzung nochmals betont werden muss. Hier kann also der weitere Infrastrukturaufbau und techno-ökonomischer Fortschritt im Bereich der Fahrzeugtechnik als wichtig angesehen werden. Technische und wirtschaftliche Interventionen sollten allerdings durch klare normative Botschaften komplementiert bzw. flankiert werden, um den normativen Einfluss zur Akzeptanzsteigerung zu nutzen.

Im Status Quo befinden wir uns in der Frühphase der Marktdiffusion von Wasserstoffmobilität. Passend dazu kann vorliegende Studie zeigen, dass die stärksten Einflüsse auf die heutige Akzeptanz von Wasserstoffmobilität für unerfahrene Nutzer in einer Abwägung der sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren Vertrauen und Risiko liegen. Die Menschen sind auf der Suche nach mehr Informationen um Vertrauen zu bilden und Risiken einschätzen zu können. In der Evaluation gruppenspezifischer Auffälligkeiten (MAG) und in einer Form der Akzeptanzpotenzialanalyse zeigt sich, dass besonders in der Veränderung der Risikowahrnehmung ein starker Hebel zu finden ist. Aus den Ergebnissen lassen sich Ansprache-Strategien (Mix aus Information und Incentivierung) für unterschiedliche demografische Gruppen ableiten. Einen besonderen Fokus sollte von Entscheidern in Politik und Wirtschaft auf die Risikokommunikation gelegt werden. Passend zu anderen Studien (z.B. Ooi & Tan, 2016), resultiert die Unsicherheit der Menschen nicht aus technischen Ängsten, sondern aus einem Mangel an Klarheit über die kommenden Entwicklungen aus technopolitischer Ebene. „Es gibt noch zu viele offene Fragen rund um die Wasserstoffmobilität“ ist folgerichtig eines der stärksten Items in vorliegender Studie. Einflüsse der hypothetisierten, neuen Konstrukte transformatives Bewusstsein und Markenaffinität können ebenfalls nachgewiesen werden, fallen allerdings deutlich weniger stark ins Gewicht.

Eine Limitation unserer Untersuchung ist der Fokus auf die a-priori Akzeptanz unerfahrener Nutzer. Wir können somit nur die initiale Akzeptanz untersuchen, nicht aber die Veränderung der Akzeptanz im Adoptionsverlauf verstehen. Eine entscheidende Rolle spielt hierfür die meist sehr akzeptanzfördernde Variable *Erfahrung*, die allerdings wiederum in der Stichprobe H2public mangels Teilnahme bereits erfahrener Nutzer (und daraus folgend schiefen

Erfahrungsdaten) nicht betrachtet werden konnte. Weitere Forschung sollte sich unseren Resultaten folgend auf drei Aspekte konzentrieren:

1. Validierung des aufgestellten Akzeptanzmodells mit weiteren Datensätzen
2. Erforschung des Einflusses der Erfahrung auf die Akzeptanz
3. Vertiefende und fokussierte Untersuchung der Variablen Vertrauen und Risiko

6 Ergebnisse Nutzerakzeptanz

Tabelle 11. Vergleichende Übersicht Ergebnisse Akzeptanzstudie

		H2public (N=294)	H2user (N=258)	Vergleich und Bewertung
Datenqualität	Gelöschte Fälle	49%	15%	Gute aber demografisch schiefe Daten in H2user Stichprobe
	Ausgefallene Items	7/47	16/47	
	Schiefe	+	-	
	Kurtosis	+	-	
	Beobachtbare Heterogenität	demogra-	keine	Zu wenige Freiheitsgrade in Subsamples. Daten H2user nicht invariant. Keine MGA möglich. -> Test Erfahrung als Variable nötig
	Nicht-beobachtbare Heterogenität	gering	gering	
Pfade	Vertrauen -> Leistung	0,61***	0,47*	Siehe IPMA in Abbildung 6 für Einordnung
	Vertrauen -> Aufwand	0,58***	0,31***	
	Vertrauen -> Rahmen	0,48***	0,01	Mangelhafte Inhaltsvalidität (single-item)
	Vertrauen -> Norm	0,48***	0,63***	Siehe IPMA in Abbildung 6 für Einordnung
	Risiko -> Vertrauen	-0,58***	-0,52***	
	Risiko -> Rahmen	-0,15*	-0,11	
	Risiko -> Norm	-0,15*	-0,11	
	Transform -> Leistung	0,15***	0,01	Ökologie kein Leistungskriterium mehr
	Transform -> Norm	0,23***	0,27*	Bedeutung des Bewusstseins bleibt kon-
	Marke -> Rahmen	0,21***	-0,16	Marke hat für User keinen Einfluss mehr
	Marke -> Norm	0,12**	0,05	
	Leistung -> Verhalten	0,14**	0,45*	Utilitaristische Sichtweise der User
	Aufwand -> Verhalten	0,22***	0,15	Zugang und Einfachheit der Nutzung haben für User keinen Einfluss mehr
	Aufwand -> Leistung	0,14**	0,19	
	Rahmen -> Verhalten	0,04	0,15	
	Rahmen -> Aufwand	0,26***	0,19*	
	Norm -> Verhalten	0,27***	0,41*	Normativer Einfluss auch mit Erfahrung
	Motivation -> Verhalten	0,23***	-0,11	Spaß hat für User keinen Einfluss mehr
	Preis -> Verhalten	0,09*	0,02	Preis hat für User keinen Einfluss mehr
Messmo- dell	Indikatorreliabilität	+	+	Messmodell H2user trotz Datenschiefe gerade noch validierbar; Probleme mit Inhaltsvalidität im Konstrukt Rahmenbedingungen (single-item Messung nötig)
	Konstruktreliabilität	+	+	
	Konstruktvalidität	+	+	
	Diskriminanzvalidität	+	+	
Strukturmodell und Fit	Multikollinearität	+	+	Keine Verzerrung durch Multikollinearität
	CMB	+	+	Keine Verzerrung durch Methodik
	Q ²	+	+	Prognoserelevanz gegeben
	SRMR	+	-	Unzufriedenstellender Model Fit in der Stichprobe H2user
	RMS theta	+	-	
	GoF	+	-	
	NFI	-	-	
R ²	Verhalten	0,69	0,56	Bestimmtheitsmaße und somit Erklärungskraft des Modell H2user reduziert, aber noch im akzeptablen Bereich
	Vertrauen	0,32	0,28	
	Leistung	0,69	0,36	
	Aufwand	0,59	0,14	Mangelhafte Inhaltsvalidität (single-item)
	Rahmen	0,43	0,04	
	Norm	0,55	0,55	

Quelle: Eigene Abbildung

Die beiden ersten dieser Ziele werden in diesem Kapitel adressiert, indem die gleichen Untersuchungen nochmals mit dem Datensatz H2user durchgeführt werden. Die detaillierten Ergebnisse können hierzu Tabelle 11 entnommen werden. Es zeigt sich, dass eine Validierung des Modell Fits (wahrscheinlich) aufgrund schiefer Daten nicht möglich war. Alle genannten Bewertungen sind somit mit äußerster Vorsicht zu behandeln. Weitere empirische Untersuchungen sollten vorgenommen werden.

6.1 Deskriptive Ergebnisse

Das zweite Ziel der Untersuchung der Nutzerakzeptanz war es den Einfluss der Erfahrung auf die Akzeptanz aufzuzeigen. Die Durchführung einer Multigruppenanalyse ist mangels Messinvarianz nicht möglich. Deshalb können folgend zunächst die deskriptiven Statistiken als Vergleichsgrundlage H2user und H2public betrachtet werden. Setzt man diese in Bezug zu den Veränderungen der Pfadverbindungen zwischen den Stichproben und den Ergebnissen der IPMA für die Stichprobe H2user lassen sich potentiell Einflusswege der Erfahrung hypothetisieren und mittels Moderationsanalyse in einer möglichen Folgestudie mit gemischt erfahrener-unerfahrener Stichprobe testen. Denn zwar gibt es demografische Unterschiede (z.B. bei der Geschlechterverteilung) zwischen den Stichproben, allerdings ist der markanteste Unterschied doch das Erfahrungslevel. Wir betrachten hierzu zunächst die Unterschiede in den deskriptiven Ergebnissen. In Tabelle 12 wird ersichtlich, dass in der Stichprobe H2user alle relevanten Akzeptanzfaktoren erhöht, bzw. reduziert (Risiko) sind. Dies könnte auf den stark erhöhten Einfluss der Variablen Erfahrung zurückzuführen sein. Ein Chi-Quadrat Test Stichproben zeigt, dass das Zustandekommen der Unterschiede aufgrund des Zufalls ausgeschlossen werden kann. Besonders starke Veränderung können neben der Akzeptanz (bei Nutzern natürlich hoch) vor allem bei der Einfachheit, den Rahmenbedingungen und dem Risiko gemessen werden. Dass die beiden ersten in der Stichprobe insignifikant zeigt, dass sie schlicht als selbstverständlich wahrgenommen werden, ähnlich wie bei der heutigen verbrennungsbasierten Mobilität (Kauschke & Schulz, 2018).

Tabelle 12. Vergleich deskriptive Statistik

	Verhaltensabsicht	Leistungserwartung	Aufwandserswartung	Normativer Einfluss	Kontroll- und Rahmenbedingungen	Innere Motivation	Preisbewertung	Transformatives Bewusstsein	Markenaffinität	Vertrauen in Wasserstoff	Wahrgenommenes Risiko	Erfahrung
H2public	4,08	5,19	5,24	3,9	4,2	4,83	3,16	5,14	4,08	4,99	3,87	2,01
H2user	6,25	5,67	6,52	5,04	5,71	6,43	4,06	6,17	3,86	6,12	2,27	4,34
Differenz	2,17	0,48	1,28	1,14	1,51	1,6	0,9	1,03	-0,22	1,13	-1,6	2,33
Detail H2user												
H2 Fahrzeug Besitzer (n=50)	6,64	5,99	6,65	5,4	6,46	6,64	5,15	6,38	3,79	6,38	2,27	6,07
H2 Interessierte (n=208)	5,21	5,68	5,57	3,73	4,23	4,98	2,62	5,24	3,89	5,06	2,22	5,51
Differenz	-1,43	-0,31	-1,08	-1,67	-2,23	-1,66	-2,53	-1,14	0,1	-1,32	-0,05	-0,56

Quelle: Eigene Abbildung

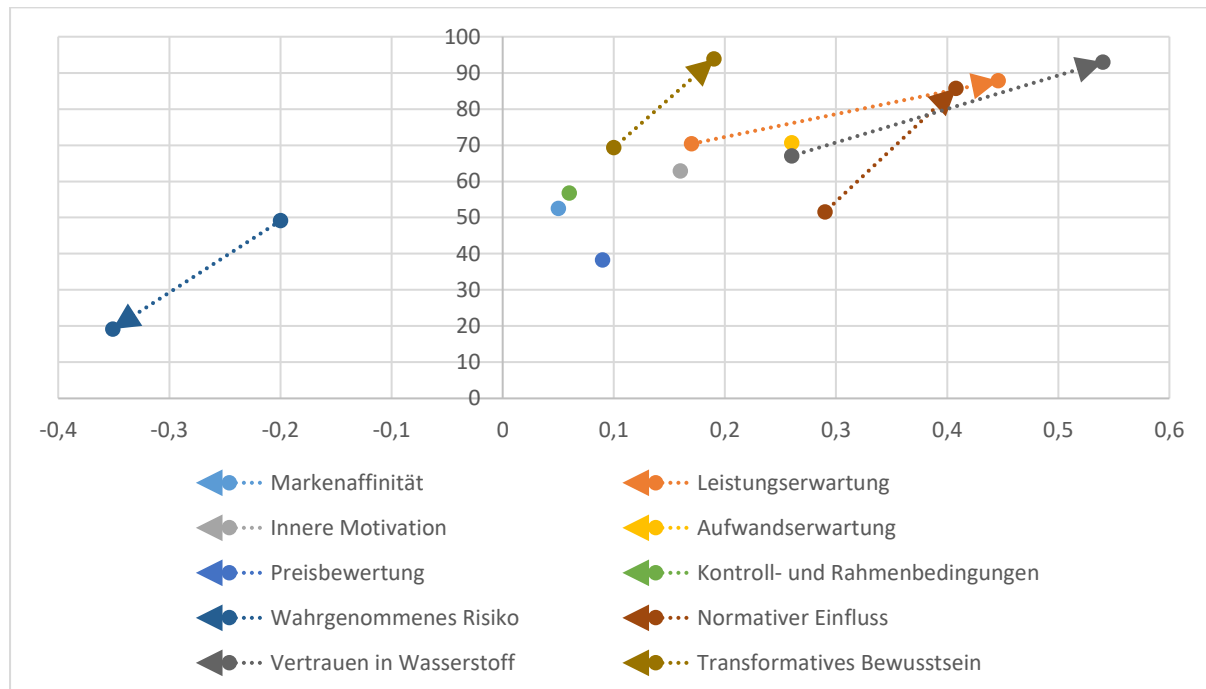
Einen interessanten Einblick in die Akzeptanz und den Einfluss der Erlebbarkeit bietet auch die vergleichende Analyse der deskriptiven Statistiken von Fahrzeugbesitzer und anderen H2.Live App Nutzern innerhalb der Stichprobe H2user. Die Akzeptanzwerte von Besitzern sind hierbei nochmals deutlich erhöht und rangieren fast am Maximum der 7er Skala. Spannend sind allerdings die Werte der H2 interessierten Nicht-besitzer (siehe Kapitel 3.3 für eine Einordnung). Der Grund warum diese Menschen trotz hoher Erfahrungswerte noch keine Besitzer sind, könnte in der vergleichsweisen schlechten Wahrnehmung der Rahmenbedingungen (-2,23), des normativen Einflusses (-1,67) oder der Preisbewertung (-2,58) liegen. H2 Interessierte haben Informationen bereits gesammelt und sich eine Meinung gebildet. Sie haben Vertrauen aufgebaut und können Risiken (-0,05) abschätzen. Sie sind somit schon eine Innovationsstufe nach Rogers (2010) weiter als die meisten Menschen in der Stichprobe H2public. Wie vorliegende Daten zeigen, lässt sich vermuten, dass neben der Erfahrung vor allem Preis, Rahmenbedingungen und das soziale Umfeld zentrale Hebel sind, um diese bereits interessierte Gruppe zum Kauf zu bewegen. In der Ansprache der Menschen gilt es dies zu berücksichtigen.

6.2 Dynamisches Importance-Performance Mapping

Moderationen sind nicht erfolgreich inter-sample mäßig testbar (Hair et al., 2013). Die Daten H2public und H2user sind wiederum zu schief bezogen auf den Erfahrungswert (H2public nur sehr wenig Erfahrung, H2user nur sehr viel) um innerhalb der Stichproben sinnvolle Ergebnisse zu bekommen (alle möglichen Moderationen wurden modelliert und getestet). Deshalb nutzt EMPOWER eine neu entwickelte dynamische IPMA, um den Einfluss der Erfahrung auf die Akzeptanz zwischen den Samples noch besser zu detektieren. Hierbei wurden die IPMA

Punkte (Zielkonstrukt Verhaltensabsicht) für die beiden Stichproben (nur signifikante Pfade berücksichtigt) als Pfeil (in Richtung mehr Erfahrung) eingetragen.

Abbildung 6. Dynamische IPMA - Vergleich der Stichproben



Quelle: Eigene Abbildung

Es zeigt sich, dass für alle effektstarken Beziehungen außer der Aufwandserwartung eine Veränderung nachweisbar sind. Wie bereits erwähnt gehen wir davon aus, dass die Einfachheit der Nutzung für H2user eine Selbstverständlichkeit geworden ist. Die dynamische IPMA liefert folgende Erkenntnisse bezogen auf die totalen signifikanten Effekte und deren Performances:

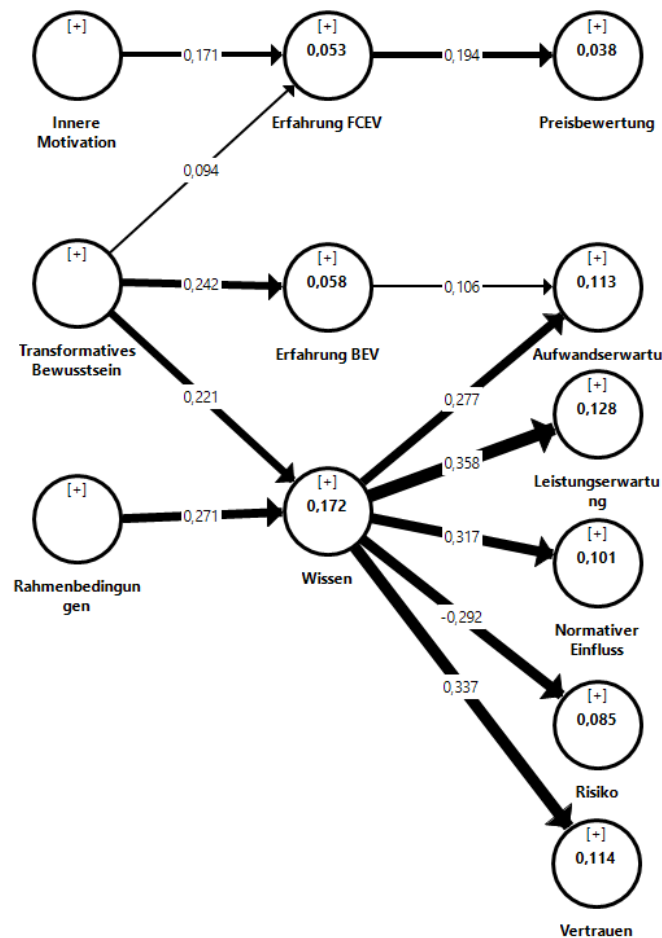
- Der Einfluss der Akzeptanzfaktoren wächst mit deren Performances (Mittelwerte).
- Die Performances für Nutzer sind am oberen Ende der Skala; Dies zeigt das Potential für H2public auf
- Mit steigender Erfahrung verlieren an relativer Bedeutung:
 - Innere Motivation
 - Preisbewertung
 - Markenaffinität
 - Aufwandserswartung
 - Rahmenbedingungen
- Mit steigender Erfahrung gewinnen an relativer Bedeutung (auf anderem Messniveau):
 - Leistungserwartung
 - Vertrauen und Risiko
 - Normativer Einfluss
 - Transformatives Bewusstsein

Für die initiale Akzeptanzentwicklung sind demnach andere Faktoren ausschlaggebend als für die kontinuierliche Erhaltung der Akzeptanz. Im Delta zwischen diesen beiden Orchestrierungen des Akzeptanzprozess liegt der Einfluss der Erfahrung. Zur Bewertung dieser Ergebnisse wird auf Kapitel 8 und 9 verwiesen.

6.3 Explorative Modellierung der Erfahrung

Es gibt also wie angenommen, einen starken Einfluss der Erfahrung. Um zu verstehen wie genau Erfahrung die Variablen beeinflusst wurde im Projekt explorativ (Henseler et al., 2018) noch ein weiteres Modell mit Fokus auf die Variable Erfahrung erarbeitet. Den Hypothesen zugrunde liegen die vorangegangenen Ergebnisse der dynamischen IPMA und der Eruiierung der deskriptiven Ergebnisse. Es wird hierbei angenommen, dass Erfahrung nichts ist was außerhalb des Modells vorhanden ist und einen moderierenden Einfluss hat, sondern dass Erfahrung eine latente Variable wie alle anderen auch ist, die sich durch andere Konstrukte bedingt und ihrerseits wiederum direkte und indirekte Effekt hervorruft. Wir konzeptualisieren und messen Erfahrung hierfür aus drei Perspektiven: (1) Wissen über FCEV; (2) Praktische Erfahrung mit FCEV und (3) Praktische Erfahrung mit BEV. Hierfür wurden insgesamt 10 Modellvarianten getestet.

Abbildung 7. Modellierung des Einflusses von Erfahrung



Quelle: Eigene Abbildung

Das beste Modell als Ergebnis dieses iterativen Vorgehens zeigt Abbildung 7 (alle Pfade signifikant, Wirkstärken durch Pfadstärken dargestellt). Getestet wurde die Stichprobe H2public. Für H2user sind die Effekte teils ebenso vorhanden, aber deutlich schwächer. Stabil bleiben insbesondere die Pfade *Motivation->Erfahrung->Preis* und *Rahmenbedingungen->Wissen->Aufwandserwartung*. Auch hier sollte in einer Folgestudie eine konfirmatorische Überprüfung der Ergebnisse mittels einer gemischt erfahrenen-unerfahrenen Stichprobe vorgenommen werden.

Diese Modellierung vertieft unsere bisherigen Resultate um sechs zentrale Punkte:

1. Wie vermutet, ist Wissen in der derzeitigen Frühphase der Innovation sogar noch wichtiger als praktische Erfahrung, denn wer mehr weiß, dessen Akzeptanzfaktoren sind alle signifikant erhöht.
2. Praktische Erfahrung mit FCEV verbessert nachweislich nur die Wahrnehmung der Preis-Leistung. Dies tut Wissen allein allerdings nicht.
3. Wer bereits Erfahrung mit BEV hat, für den erscheinen auch FCEV einfach zu nutzen. BEV Nutzer sind somit eine unerwartete Zielgruppe für Wasserstoffmobilität.
4. Das transformative Bewusstsein ist der stärkste Hebel zur Incentivierung von praktischer Erfahrung und zur Steigerung des Wissenslevel. Die Rolle dieser Variablen ist somit größer als das ursprüngliche Akzeptanzmodell alleine es suggeriert (vgl. Abbildung 3.)
5. Die hedonistische Motivation (erwartete Fahrfreude) ist in beiden Stichproben ein Prädiktor der praktischen Erfahrung, nicht aber der Wissensgenerierung.
6. Der Effekt der Rahmenbedingungen auf die Aufwandserwartung (vgl. Tabelle 11) wird über Wissen (H2public) und praktische Erfahrung (H2user) mediiert.

Die folgende Verknüpfung mit empirischen Statistiken und qualitativen Daten aus dem Feldtest kann uns helfen die Akzeptanz von Wasserstoff in der Mobilität weiter zu ergründen und die bestehenden Ergebnisse aus Kapitel 5 und 6 zu validieren.

7 Ergebnisse Feldtest

7.1 Daten aus dem Feldtest

Die Akzeptanzdaten der Teilnehmenden wurden jeweils eine Woche und nach der Teilnahme am Feldtest mittels des einheitlichen Online-Fragebogens erhoben, wie er auch für die Stichproben H2user und H2public zum Einsatz kam. Die Fragebögen konnten über eine Probanden-ID verknüpft und anonym verglichen werden. Da einige Fahrten schließlich aufgrund äußerer Umstände (z.B. defekte Tankstelle) nicht stattfinden konnten, gibt es etwa mehr Umfragen vor als nach dem Feldtest. Die Daten an sich zeigten eine sehr hohe Qualität, so dass außer dem Löschen unvollständiger Datensätze (z.B. Abbruch durch Nutzer und späteres Fortführen) alle Daten erhalten werden konnten. Insgesamt resultieren somit 33 vollständiger Teilnehmerdatensätze. Die Charakteristika dieser Stichprobe können Tabelle 13 entnommen werden. Man sieht eine relative gleichmäßige Verteilung von Frauen und Männer, sowie von nahe und entfernt von der Tankstelle wohnenden Menschen. Tendenziell waren die Teilnehmer entsprechend der saarländischen Alterspyramide meist älter als 50 Jahre.

Tabelle 13. Charakteristika der Feldtest-Probanten

Kriterium	Anzahl (N=33)	Prozent
Geschlecht		
Männlich	18	54,5 %
Weiblich	15	45,5 %
Alter		
Unter 30 Jahre	5	15,2 %
30-50 Jahre	13	39,4 %
Über 50 Jahre	15	45,5 %
Tankstellenbezug zum Wohnort		
In der Nähe*	16	48,5 %
Nicht in der Nähe*	17	51,5 %

* 20 km Umkreis Saarbrücken

Quelle: Eigene Abbildung

7.2 Deskriptive Ergebnisse

Das Akzeptanzniveau auf dem sich die Teilnehmer des Feldtests bewegen, ist am besten mit dem der Stichprobe H2user in Kapitel 6.1 vergleichbar. Alle Werte bewegen sich bereits auf sehr hohem Niveau, nur die Wissens- und Erfahrungswerte sind vergleichsweise gering. Man kann also spekulieren, dass es sich bei den Probanden um sehr neugierige und gespannte Menschen handelt, die der H2Mobilität grundsätzlich in vielen Belangen positiv gegenüberstehen.

Nach dem Feldtest zeigen die gleichen Probanden jedoch einige Abweichungen von ihrer initialen Einschätzung. Entgegen der gängigen Theorie der wachsenden Akzeptanz durch Erfahrungsgewinn (siehe Kapitel 5 und 6) sinkt die Akzeptanz der Teilnehmer signifikant, obwohl die Messungen für Wissen und Erfahrung starke Anstiege verzeichnen. Während die meisten anderen Werte keine statistisch signifikanten Auffälligkeiten zeigen, fällt der Wert für die wahrgenommenen Rahmenbedingungen und die Leistungserwartung (Nützlichkeit) zudem noch zusätzlich ab. Am besten erklärt sich dieser Effekt beim Betrachten der begleitenden Interviews dadurch, dass bei den Teilnehmern die anfängliche Begeisterung einer gewissen realen Ernüchterung ob der mangelhaften systemischen Strukturen der Wasserstoffmobilität weicht. Andere Faktoren, wie die angenommene Fahrfreude oder die Einfachheit der Nutzung werden hingegen in Ihrem hohen Ausgangsniveau auch nach dem Feldtest bestätigt.

Tabelle 14. Akzeptanzwerte vor und nach dem Feldtest

Variable	Vorher	Nachher	Differenz	Stat. Signifikanz
Verhaltensintention	5,89	5,26	-0,63	*
Nützlichkeit	6,14	5,86	-0,28	*
Einfachheit	6,34	6,37	0,03	
Risiko	2,93	2,74	-0,18	
Vertrauen	5,82	5,71	-0,11	
Rahmenbedingungen	5,42	5,01	-0,41	**
Preis	3,46	3,79	0,32	
Sozialer Einfluss	4,76	4,96	0,20	
Innere Motivation	6,21	6,24	0,03	
Markenaffinität	3,77	4,13	0,36	
Transformation	6,11	6,02	-0,09	
Erfahrung	1,03	3,15	2,12	****
Wissen	3,15	3,97	0,82	***

* α -Level 10%, ** 5%, *** 1%, **** 0,1%

Quelle: Eigene Abbildung

Die Verschiebungen oben zeigen sich besonders deutlich in der älteren Teilnehmergruppe Ü50. In der Gruppe U30 herrscht von Beginn an ein höheres Wissensniveau. Die positive Einschätzung von Performance und Rahmenbedingungen ändert sich bei den Jungen nicht durch den Feldtest, während sie bei den Älteren deutlich abfällt.

Eine weitere Verstärkung dieser Effekte tritt ein, wenn man den Wohnort der Teilnehmer betrachtet. Je weiter entfernt von der Tankstelle jemand wohnt, desto stärker verschlechtert sich die Akzeptanz, sowie die Wahrnehmung der Rahmbedingungen durch die Teilnahme am

Feldtest. Vor dem Feldtest gibt es kaum Abweichungen zwischen den Akzeptanzwerten von nah und entfernt wohnenden Menschen.

Geschlechtsspezifische Unterschiede wiederum zeigen in eine andere Richtung. So nehmen Frauen initial bspw. ein höheres Risiko wahr, denken aber auch eher, dass der Mirai sein Geld wert sei. Nach dem Feldtest kann man bei Frauen weiterhin einen signifikanten Zuwachs des Fahrspaß und des sozialen Einfluss erkennen, während der Risikowert sich dem der Männer angleicht. Männer geben an mehr zu wissen als Frauen und zeigen sich eher weniger Besonderheiten außer den beschriebenen generellen Verschiebungen wie sie auch in Tabelle 14 dargestellt sind.

7.3 Modellierung

Die Modellierung der Teilnehmerdaten in SmartPLS analog zu Kapitel 5.3 konnte erwartungsgemäß, auch aufgrund der sehr kleinen und nicht-repräsentativen Stichprobe nur wenige neue Erkenntnisse hervorbringen. Interessant ist es allenfalls zu sehen, dass die Rahmenbedingungen, das technologische Risiko und allen voran die Performance/Nützlichkeit (einziger signifikanter Pfad) für die Akzeptanz der Probanden nach dem Feldtest an Bedeutung gewinnen.

8 Diskussion und Fazit

Zur Akzeptanz der Wasserstoffmobilität wurde vor allem in den 2000 Jahren viel geforscht. Man hat herausgefunden, dass die Technologie als unproblematisch, moralisch richtig und somit initial positiv angesehen wird. Mögliche Probleme beim Tanken oder wahrgenommene technische Risiken im Umgang mit dem Gas konnten in Feldtests durch das Sammeln erster Erfahrungen leicht überwunden werden. Zielgruppe für Wasserstoffmobilität seien nicht zuletzt aufgrund des noch zu hohen Preises zunächst die sogenannten Early Adopter, d.h. gut gebildete, wohlhabendere Männer mittleren Alters. Zudem sollte ein Markt mit entsprechender Modellvielfalt etabliert werden und die Infrastruktur aufgebaut werden um das Vertrauen in das System zu steigern. Wichtige Hebel zur Akzeptanzsteigerung seien weiterhin der Aufbau von Wissen durch eine kluge und differenzierende Informationspolitik, sowie eine nachhaltige Produktion und Distribution des Wasserstoffs (siehe Tabelle 1).

Was bisher allerdings noch nicht betrachtet wurde, ist, wie all diese genannten Faktoren zusammenwirken und welche relative Bedeutung sie entfalten. Zudem könnte sich im Zeitverlauf die Akzeptanz der Öffentlichkeit verändert haben. Weiterhin ist zu vermuten, dass es gruppen- und kontextspezifische Unterschiede im Akzeptanzprozess gibt, die bisher aber noch nicht empirisch nachgewiesen konnten. EM:POWER greift dies Forschungsbedarfe auf und schafft ein erstes allgemeines Wasserstoff-Akzeptanzmodell auf Basis eines erweiterten UTAUT2 Modells. Getestet wird dieses Modell mit zwei unterschiedlichen Datensätzen, um eine hohe Modellintegrität zu validieren und Akzeptanzunterschiede zwischen Nutzern, Interessenten und Unbeteiligten am Thema Wasserstoffmobilität herauszuarbeiten.

Insgesamt können wir fast alle bereits erforschten Zusammenhänge bestätigen. Lediglich der Einfluss der Umwelteinstellung fällt geringer aus als erwartet, was sich allerdings dadurch relativiert, dass dieser Umwelteinfluss auf der anderen Seite ein entscheidender Stimulus zur Generierung von Wissen und Erfahrung ist (siehe Abbildung 7), was noch nicht jetzt aber in Zukunft zu Akzeptanz führen kann. Neben der Bestätigung bestehenden Forschungsergebnisse können in EM:POWER zahlreiche neue Erkenntnisse gewonnen werden, die nun gemeinsam mit praktischen und theoretischen Implikationen dargestellt werden sollen. Bezugnehmend auf die in Kapitel 2.2 aufgeworfenen Forschungsfragen kann festgehalten werden:

- Frage 1: Welche Faktoren eignen sich für ein umfassendes Akzeptanzmodell des FCHV?

In EM:POWER wurde ein Modell konzeptualisiert, dass in seinem Kern auf dem erprobten UTAUT2 Modell beruht. Zudem wurden diejenigen Faktoren als zusätzliche Variablen in das Modell aufgenommen, die in vorangegangenen Forschungen immer wieder als bestimmende Akzeptanzgrößen genannt wurden (Risiko, Vertrauen, Wissen und Erfahrung), für die etablierte Messskalen existieren, die aber gleichsam noch nicht im UTAUT enthalten waren (wie z.B. Preis). Aus der eigenen empirischen Forschung der htw saar wurden schließlich noch

experimentell ein eigenes Umwelteinstellungskonstrukt (*transformatives Bewusstsein*) und ein neues Marketing- bzw. Designkonstrukt (*Markenaffinität*) hinzugefügt. Damit sind alle bisher in der Forschung behandelten Dimensionen durch eine Variable repräsentiert (Alexandre et al., 2018).

All diese Faktoren können als geeignet angesehen werden, da signifikante Effekte auf die Verhaltensabsicht nachgewiesen werden können. Das Modell weist mit $R^2=0,70$ zudem eine substantiell verbesserte Bestimmtheit im Vergleich zum originalen UTAUT einerseits und Wasserstoff-Akzeptanzstudien andererseits auf. Auch das Messmodell kann voll validiert werden. Allerdings sind manche Konstrukte nur gerade so stabil und manche gemessene Effektstärken sehr klein. Es gibt also Raum für Verbesserungen und Re-Konzeptualisierungen von Konstrukten. Dies betrifft beispielsweise die Dimensionen Risiko, Rahmenbedingungen und Markenaffinität. Weitere geeignete Faktoren zur Akzeptanzmodellierung, die aufgrund der technologischen Frühphase noch nicht berücksichtigt werden konnten wären das tatsächliche Nutzungsverhalten (gemessen als manifeste Variable) und der Einfluss von bestehenden Mobilitäts-Gewohnheiten.

- Frage 2: Wie stark und auf welchen Wegen bestimmen diese Faktoren die Akzeptanz des FCHV?

Das Strukturmodell wurde aus dem Kern des UTAUT2 entwickelt. In Voranalysen zeigte sich, dass die neu hinzugefügten Variablen keine direkten, sondern indirekte Effekte auf die Verhaltensabsicht mit multipler Mediation durch die bestehende UTAUT Konstrukte aufwiesen. Aus der Theorie wurden mehrere neue Hypothesen hierzu entwickelt und getestet. Abbildung 4 visualisiert die einzelnen Einflussstärken in dem gefunden Modell am besten. Demzufolge sind Risiko und Vertrauen die wichtigsten Akzeptanzfaktoren im derzeitigen Status Quo. Sie stehen einerseits zueinander in Beziehung und beeinflussen die Akzeptanz dadurch, dass Menschen mit einer höheren Vertrauens-Risiko-relation auch eine bessere Leistung von und weniger Aufwand durch die Wasserstoffmobilität erwarten. Zudem werden die Menschen empfänglicher für soziale und normative Einflüsse, sobald ein gewisses Maß an Vertrauen etabliert ist. Schließlich nehmen Sie auch die Rahmenbedingungen als besser wahr und fühlen mehr Selbstkontrolle über ihr eigenes Handeln. All das stärkt wiederum die Akzeptanz.

Die weiteren wichtigen Prädiktoren der Verhaltensabsicht sind direkter Art. Normativer Einfluss, Aufwandserwartung und innere Motivation üben Effekte mit einer Stärke von $\beta > 0,2$ aus. Innere Motivation ist gleichsam auch ein Prädiktor für Erfahrung. Ähnlich wie Tesla bei BEVs könnte als die Betonung der freudestiftenden Merkmale eines FCEV im Status Quo ein sehr guter Akzeptanzhebel sein. Aufwandserwartung mediiert den Effekt der Rahmenbedingungen vollständig. Die hohe Bedeutung des Konstrukts und sein gleichzeitiges Ausblenden mit wachsender Erfahrung sind ein Hinweis, dass initial ein einfacher Zugang zur Wasserstoffmobilität (bspw. über Modellvielfalt und ausreichende Infrastruktur wichtig sind). Der sozial-normative Einfluss ist für ebenfalls hoch. Hier könnte eine Beeinflussung der

gesellschaftlichen Normen (bspw. durch Nudging) einen akzeptanzfördernden Effekt bringen (siehe Sunstein (2014) für Nudging-Optionen). Die IPMA in Abbildung 4 zeigt an, dass hier ein besonderes Potential liegt, da der Effekt zwar stark ist, die Variable aber noch nicht so gut performt wie andere starke Einflussfaktoren.

Mittelstarke direkte Effekte gehen auch von den direkten Konstrukten Leistungserwartung und Preisbewertung. Die Performances sind allerdings diametral zueinander. Während die Menschen eine hohe Leistung wahrnehmen, registrieren sie gleichzeitig eine schlechte Preisleistung. Man sieht zwei Dinge:

- (1) Die Öffentlichkeit schätzt FCEV als leistungsstark bzw. nützlich ein. Ihre Aufgabe (Mobilität) zu erfüllen. Gleichsam hat diese Nützlichkeit nur einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die Akzeptanz, was überrascht, ist das Konstrukt Leistungserwartung (performance expectancy bzw. perceived usefulness) doch regelmäßig der stärkste Prädiktor in vergleichbaren Akzeptanzmodellen für batterieelektrische Fahrzeuge (Emsenhuber, 2012; Wang, 2018b). Man könnte mutmaßen, dass beim FCEV eine Veränderung der wahrgenommenen, bereits hohen Leistung des Fahrzeugs keine besonders große Änderung der Akzeptanz mit sich bringt, da die Leistungskriterien (z.B. Reichweite) sich bereits auf einem für potentielle Nutzer zufriedenstellenden Niveau bewegen. Dennoch gibt es einen Effekt. Um diesen zu nutzen kann beispielsweise auch die Einfachheit der Nutzung verbessert oder das transformative Bewusstsein in der Bevölkerung gestärkt werden, denn beide Variablen wirken signifikant auf die Leistungserwartung. Bei der Einfachheit der Nutzung lässt sich dies leicht erklären, da beispielsweise die Tankgeschwindigkeit ein Einfachheits- sowie ein Leistungskriterium ist. Diese Wirkung deckt sich mit Wirkpfaden aus bekannten Modellen wie dem TAM (Davis, 1989). Dass eine positive kollektive Umwelteinstellung die wahrgenommene Leistung steigern kann, zeigt, dass neben der Bewältigung der Mobilität auch die Ressourcenschonung und Energieeffizienz ein Leistungskriterium eines modernen Fahrzeugs geworden ist.
- (2) Die Preisbewertung bietet in der IPMA ein hohes Potenzial verbessert zu werden. Allerdings ist die Wirkung des Preises relativ zu den anderen Faktoren deutlich kleiner als im Durchschnitt anderer UTAUT Studien (Tamilmani et al., 2020) oder gemeinhin für die Wasserstoffmobilität angenommen wird (Drennen & Rosthal, 2007). In der Gruppe der Nutzer hat der Preis keinen Effekt, was aber potentiell mit der bereits diskutierten Verzerrung in Richtung einkommensstarker, älterer Männer zu tun haben könnte. Es ist aber auch möglich, dass der Preis in der Stichprobe H2public „noch“ nicht relevant ist, und sich die Kaufentscheidung erst dann stellt, wenn ein Markt verfügbar ist und ein Individuum ausreichend Informationen gesammelt hat (zweite bzw. dritte Phase der Adoption (Überzeugung und Entscheidung) nach Rogers (2010)). Die Daten der H2 Interessierten aus der Stichprobe H2user bestätigen diese Annahme

zwar deskriptiv (siehe Tabelle 12) aber nicht durch eine signifikante Pfadbeziehung. Es sollten möglicherweise auch weitere Formen der Abbildung des Preises in Rahmen der Validierung des UTAUT erforscht werden. Fazel (2014) zeigt bspw., dass man nach Nutzungsformen differenzieren muss. So ist in seiner Studie der Preis hochrelevant für die Kaufabsicht, nicht aber für die Sharing-Variante. Ein Konstrukt, dass statt Preisleistung fixe und variable wahrgenommen Kosten bewertet könnte vielversprechend sein. Für vorliegende Studie könnte zudem ein Mangel an Informationen über den Preis eines Toyota Mirai zu einem schwächer wirkenden Konstrukt geführt haben.

Präzisere Forschung sollte diesen Aspekt gezielt unter die Lupe nehmen.

Relativ zu allen vorgenannten Effekten, ist der indirekte Einfluss der neu hypothetisierten Variablen Markenaffinität gering, aber dennoch signifikant. Durch die Variable sollte untersucht werden, ob die Verfügbarkeit von Fahrzeugen einer bestimmten Marke, die das Individuum derzeit im Allgemeinen bei der Fahrzeugwahl präferiert (in Deutschland oft deutsche Fabrikate (KBA, 2019)), einen Einfluss auf die Akzeptanz hat. Das kann bestätigt werden, denn Markenaffinität ist ein signifikanter Prädiktor der Kontroll- und Rahmenbedingungen, sowie des normativen Einflusses. Dies ist in gewisser Hinsicht logisch, da beispielsweise die Verfügbarkeit eines deutschen Fabrikats den wahrgenommenen eigenen Handlungsrahmen erhöht, wenn man besonders affin dieser Marke gegenüber ist. Zudem scheint Markenaffinität eine Eigenschaft zu sein, die sich in sozialen Systemen fortpflanzt, wie der Einfluss auf das Konstrukt normativer Einfluss nahelegt.

➤ Frage 3: Welche Rolle spielen Erfahrung und Demografie für die Akzeptanz?

EM:POWER leistet einen Beitrag um unser globales Verständnis über den Akzeptanzprozess der Wasserstoffmobilität insgesamt zu verbessern und an entscheidenden Stellen zu vertiefen. Hierbei wurden die demografischen Kontrollvariablen betrachtet und der Einfluss der Kontextvariablen Erfahrung (bestehend aus praktischer Erfahrung und Wissen) aufgespürt.

Die Analyse der demografischen Komponenten (vorrangig Geschlecht, Alter, Einkommen) erfolgt durch Vergleich der Stichprobenstrukturen und vertiefender Betrachtung des (deutlich repräsentativeren) Samples H2public. Aufgrund der Datenschiefe kann H2user nicht statistisch sinnvoll demografisch analysiert werden. Dennoch gibt auch diese Datenschiefe Hinweise auf demografische Charakteristika des Adoptionsprozesses. Bei Vergleich der Stichproben (siehe Tabellen 2 und 3) fällt eines besonders auf: Heutige Nutzer sind meist männlich, älter und einkommensstärker. Sie entsprechen damit annäherungsweise dem Ideal des Early Adopter einerseits und dem Stereotyp des Baby Boomers andererseits (Roberts, 2012). Diese komfort- und sicherheitsorientierte Generation steht potenziell einem disruptiven Wandel der Mobilität bezogen auf Nachhaltigkeit und Reduktion des Verkehrsaufkommens entgegen. Intergenerationale Konflikte in diesem Feld dürften sich also auch künftig intensivieren, wenn die Wasserstoffmobilität es nicht schafft, eine Mobilität für alle anzubieten. Wasserstoffmobilität braucht also neue Zielgruppen. Doch wie schafft man es wen anzusprechen?

Hierzu wurden in EM:POWER deskriptive Gruppenstatistiken für beide Stichproben und Multigruppen-Pfadanalysen für die Stichprobe H2public durchgeführt. Die fünf wichtigsten demografischen Erkenntnisse sind folgende:

- Die öffentliche Akzeptanz gegenüber Wasserstoffmobilität ist tendenziell höher, wenn man jung, einkommensstark und männlich ist. Dies entspricht den üblichen Interessen für moderne Fahrzeugtechnologie.
- In Anbetracht der bisherigen Nutzer (entspricht allerdings auch den üblichen Nutzern moderner Fahrzeugtechnologie) sollten neue Zielgruppen (z.B. junge Menschen, Frauen oder Menschen mit niedrigen Einkommen) wesentlich besser adressiert werden.
- Der Einfluss von Risiko wird von demografischen Variablen moderiert. Er ist potenziell höher für ältere und einkommensstarke Männer, dennoch ist genau das ja die heutige Nutzergruppe. Dies lässt sich als weiteres Indiz dafür bewerten, dass die Risikoreduktion (z.B. durch Wissen) akzeptanzfördernd ist, denn in der Nutzergruppe ist der Risikowert in seiner Performance entsprechend stark reduziert.
- Die Akzeptanz von Männern lässt sich möglicherweise eher durch Usability-faktoren, die von Frauen eher durch normative Aspekte erhöhen.

Vorangegangene Forschungen lassen vermuten, dass sich die Akzeptanz durch Erfahrung steigern lässt. Wie und wodurch ist allerdings bisher unklar. Neben dem explorativen Feldtest wurde in EM:POWER deshalb mit statistischen Mitteln versucht diesen Einfluss aufzuspüren. Die folgenden fünf wichtigsten Erkenntnisse wurden erzielt:

- Mit wachsender Erfahrung wird die Akzeptanz nutzenorientierter, d.h. die Systemleistung und Nutzerfreundlichkeit rückt in den Fokus, während Faktoren wie Markenaffinität, Fahrfreude oder der normative Einfluss in den Hintergrund treten.
- Für H2 Interessierte, die allerdings noch nicht selbst ein Fahrzeug besitzen sind der Preis und die Infrastruktur ein wichtiges Thema
- Für die unerfahrene Öffentlichkeit spielen zahlreiche Faktoren eine Rolle. Besonders ins Gewicht fallen allerdings die Ausbildung von Vertrauen und die Reduktion von wahrgenommenen Risiken
- Erfahrung und Wissen können durch innere Motivation, transformatives Bewusstsein und Rahmenbedingungen incentiviert werden
- Noch wichtiger als praktische Erfahrung erscheint im Status Quo das zur Verfügung stellen geeigneter Informationen, denn die Erfahrungskomponente Wissen erhöht die Akzeptanz derzeit stärker

Zusammenfassend kann die Forschungsfrage 3 wie folgt beantwortet werden: Sowohl demografische Faktoren, als auch die Erfahrung beeinflussen die Akzeptanz. Durch demografische

Variablen lässt sich die Akzeptanz besser beschreiben und mögliche Zielgruppen verstehen. Durch Erfahrung und Wissen wiederum kann die Akzeptanz direkt gefördert werden.

- Frage 4: Wie wirkt sich der Feldtest auf die Akzeptanz der Probanden aus?

Die Teilnehmer sind begeistert und finden den Feldtest aufregend. Nach der Teilnahme finden sie Ihre positiven Erwartungen gegenüber den verschiedenen Aspekten der Akzeptanz weitestgehend bestätigt. Nur im Bereich der Leistungsfähigkeit (z.B. Reichweite, Alltagstauglichkeit) und der Rahmenbedingungen (z.b. Infrastruktur, Wartung, Service) sammeln die Nutzer negative Eindrücke, die dann dazu führen, dass die Akzeptanz durch den Hinzuwinn an Wissen und Erfahrung sinkt.

9 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die diskutierten Ergebnisse sollen abschließend in Schlussfolgerungen und Empfehlungen für Theorie und Praxis überführt werden. Hierauf aufbauend kann EM:POWER einen wesentlichen Beitrag zum akademischen Diskurs leisten. Die praktischen Implikationen können so dann in leicht verständliche Handlungsempfehlungen für das Deliverable D2.4 und die Erweiterung der Kompetenzatlas übersetzt werden. Abschließend wird im Folgenden auch auf Limitationen der Untersuchung eingegangen und Möglichkeiten für künftige Forschungen aufgezeigt.

➤ Theoretische Bedeutung

Das UTAUT ist das bisher umfangreichste Modell zur Analyse des individuellen Technologieakzeptanzverhaltens; wurde aber Stand 2021 nur vergleichsweise selten im Mobilitätsbereich (Escobar-Rodriguez & Carvajal-Trujillo, 2014; Madigan et al., 2016) und nie für Wasserstoff (Schmidt & Donsbach, 2016) angewandt.

1. Es erweist sich in vorliegender Studie als ein stabiles Framework zur Analyse der Akzeptanz der Wasserstoffmobilität und wird durch die zahlreichen Einflussfaktoren dem systemischen Innovationscharakter besonders gerecht.
2. Moderationseffekte können wie üblich (Tamilmani et al., 2020) nicht nachgewiesen werden, allerdings finden sich dennoch direkte Effekte der Kontroll- und Kontextdimensionen, insbesondere Wissen und Erfahrung spielen eine zentrale Rolle um die Akzeptanz besser zu verstehen.
3. In diesem Zusammenhang muss die Bedeutung dieser Erkenntnis für die Weiterentwicklung der Akzeptanzforschung insgesamt betont werden. Akzeptanz sollte diesen Ergebnissen zufolge als Prozess verstanden werden, an dessen Beginn andere Faktoren wichtig sind, als an dessen Ende. Eine Anlehnung an das Adoptionsprozessschema von Rogers (2010) wie bspw. Barth et al. (2016) es vornehmen, ist vielversprechend. Dies hatten z.B. Venkatesh et al. (2016) selbst bereits in Gespräch gebracht.
4. Die Erweiterung des Modells mit den bekannten Variablen Vertrauen und Risiko liefert einen hohen Mehrwert, um die Akzeptanz in der Adoptionsfrühphase zu erklären und sollte sowohl theoretisch als auch für weitere praktische Anwendungsfälle vertieft werden. Der wichtigste Faktor der Akzeptanz von Wasserstoff im Status Quo ist im EM:POWER-Modell das indirekt wirkende Konstrukt Vertrauen. Der beste Faktor zur zielgerichteten Beeinflussung der Akzeptanz ist das Konstrukt Risiko, dass durch Vertrauen wirkt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen Zhang et al. (2019) und in großen Teilen mit den Ergebnissen von Slade et al. (2015). Beide Studie bestätigen die indirekte Wirkweise, vermuten allerdings unterschiedliche Pfadsysteme. Was wir bestätigen können ist, dass Risiko und Vertrauen die zentralen Größen für initiale Akzeptanz sind und indirekt auf bestehende

Konzeptionen aus UTAUT, TAM oder TRB wirken. Genauere Validierung um ein Akzeptanzmodell allgemeingültig um Vertrauen und Risiko zu erweitern stehen noch aus.

5. Das Konstrukt Rahmenbedingungen ist nicht signifikant. Dies liegt potentiell an der Gegenwart einer signifikanten Beziehung der Aufwandserwartung, die den Effekt der Rahmenbedingungen vollständig mediiert. Diese Unmöglichkeit der gleichzeitigen direkten Signifikanz beider Effekte hatten Venkatesh et al. (2003) bereits in Ihrem ersten UTAUT Modell herausgearbeitet und deshalb auch einen direkten Pfad von Rahmenbedingungen zu tatsächlichem Nutzen modelliert. Zudem hatten sie empfohlen die Beziehung der Konstrukte untereinander zu erforschen. Dieser Idee wurde durch die modellierte und nachgewiesene vollständige Mediation Rechnung getragen. Potentielle Nutzerinnen der Wasserstoffmobilität sehen somit die Rahmenbedingungen wie Infrastruktur, Modellverfügbarkeit und Support als ein Merkmal der Einfachheit der Nutzung an. Andere Studien wie die von Herrero et al. (2017) finden in Ihrer Untersuchung der Akzeptanz sozialer Netzwerke einen umgekehrten Mediationseffekt. Die Einfachheit der Nutzung ist hier ein Feature der Rahmenbedingungen. Weitere Meta-Analysen sollten herausarbeiten, in welchen Anwendungsfällen welches der beiden Konstrukte direkt und welches indirekt wirkt. Aus vorliegender Untersuchung und zugehöriger Literaturrecherche heraus lässt sich bspw. vermuten, dass im Bereich Services die Rahmenbedingungen und im Feld konkreter Produkte die Aufwandserwartung das direkte Konstrukt ist, dessen Manipulation die Akzeptanz verändert.
6. Die Preisleistung hat nur einen leicht positiven Effekt auf die Akzeptanz. Aus vorangegangenen Forschungen (Tamilmani et al., 2020) hätte man erwartet, dass bei höherpreisigen Gütern der Einfluss deutlicher ausfällt. Also entweder spielt der Preis keine so große Rolle wie in der Vorstudie in Kapitel 4 vermutet oder aber es gibt hier konzeptionelle Schwierigkeiten einem für die Mehrheit noch nicht verfügbaren Gut eine Leistung zu attestieren. Die Leistungserwartung ist zudem entgegen den meisten UTAUT Studien im Bereich Wasserstoff nicht der dominante Akzeptanzfaktor (s. Kapitel 5.3).

➤ **Implikationen für Politik und Praxis**

Insgesamt verspricht die Wasserstoffmobilität den Menschen eine Mobilität, die sehr nah an dem ist, was sie von heutiger Mobilität bereits kennen; nur eben mit Umweltvorteil und gutem Gewissen. Die Akzeptanzbarrieren dürften somit auf den ersten Blick gering sein. Dennoch ist das Akzeptanzniveau im Status Quo eher unterdurchschnittlich. Folgend soll auf Basis der Ergebnisse unseres Akzeptanzmodelles beleuchtet werden welche praktischen Maßnahmen helfen könnten dies zu ändern.

1. Die Basis für andauernde Akzeptanz ist ein funktionierendes Gesamtsystem

Die Grundvoraussetzungen damit Wasserstoffmobilität erfolgreich akzeptiert wird sind nicht zuletzt aus dem Aufbau des Systems der Elektromobilität bekannt. Dabei sollte vorrangig die Lösung des Henne-Ei Problem von Fahrzeugen und Infrastruktur im Fokus stehen. So bedarf es einer größeren Modellvielfalt am Markt und einer ausreichenden und zuverlässigen Tankinfrastruktur. All das wiederum muss zu marktfähigen Preisen angeboten werden wozu weiterer Fortschritt im Bereich der Fahrzeugtechnik und -produktion gefragt ist. Der Einstieg deutscher Hersteller in den Markt könnte sich dem Modell zufolge ebenfalls positiv auswirken, allerdings ist dieser Einfluss eher sekundär. Im Gegensatz zur Elektromobilität ist zudem auch ein zweites Henne-Ei Problem im Bereich von Produktion und Nachfrage des Wasserstoffes zu lösen, was allerdings für vorliegende Untersuchung zu weit greift. Geht man all die offenen Problemfelder an, kann ein ganzes Set von Maßnahmen (siehe Deliverable D1 für Beispiele) positiv auf die Technologiediffusion wirken, denn wie unser Modell zeigt, gibt es eine Reihe von utilitaristischen Einflussfaktoren der Systemakzeptanz, die sich durch ein funktionierendes und zuverlässiges Gesamtsystem potentiell verbessern würden: z.B. Preis und Leistung oder wahrgenommene Rahmenbedingungen und eine simple Nutzung. Durch den Test des Modells mit Daten von H2mobility konnte EM:POWER des Weiteren bestätigen, dass genau diese Aspekte besonders wichtig sind für Menschen, die bereits ein Wasserstofffahrzeug nutzen. Neben der initialen Akzeptanz auf die anschließend eingegangen wird, muss also diese Basis (Gesamtsystem mit entsprechender Servicequalität) gepflegt werden, um eine kontinuierliche Akzeptanz bei den bestehenden Nutzern aufrecht zu erhalten.

2. *Akzeptanz wird auch jenseits persönlicher Kosten-Nutzen-Abwägungen geschaffen*

Vorliegendes Modell zeigt, dass die Adoption der Wasserstoffmobilität durch mehr beeinflusst wird als vermeintlich hohe Kosten und unzufriedenstellende Infrastruktur. Diese Einflussgrößen sind meist serieller Natur und werden sich durch technischen Fortschritt und entsprechende staatliche Förderprogramme über kurz oder lang verbessern (siehe Elektromobilität). Was hingegen in der technologischen Frühphase noch zu wenig Berücksichtigung findet, ist der Einfluss persönlicher und sozialer Normen. Diese stellen in unserem Modell sogar den stärksten direkten Einflussfaktor dar. Der Mensch lebt nicht in einem sozialen Vakuum und die Art und Weise wie Andere ihre Mobilität gestalten, prägt uns. Zudem entwickeln sich in einer hochindividualisierten Gesellschaft immer stärkere säkulare persönliche Motive (z.B. Umwelt, Freiheit, Selbstdefinition), die wie unsere Studie zeigt, gemeinsam mit dem sozialen Umfeld unser Adoptionsverhalten prägen. Eine Schlussfolgerung wäre es also, dass technische und wirtschaftliche Interventionen durch klare normative Botschaften komplementiert werden sollten. Eine klare politische Leitagenda, die den Menschen überzeugend und Identifikation stiftend (z.B. ergänzend durch entsprechende öffentliche Kampagnen) vermittelt, dass Deutschland auf Wasserstoff setzt könnten hilfreich sein. In einem Strudel technologischer Neuheiten bedarf es Orientierung

und kluger kollektiver Entscheidungen (s. Weimann, 2013). Dennoch muss das Erleben von Selbstwirksamkeit in der Mobilität erhalten bleiben, was bedeutet, dass eine entsprechende Kampagne sorgfältig geplant sein will, damit die Menschen sich nicht bevormundet fühlen. Hier könnte auch das Schärfen eines transformativen Bewusstseins im Ganzen eine Rolle spielen, denn wie wir zeigen können, schärft dieses Bewusstsein den normativen Einfluss.

3. *Die Menschen benötigen Informationen*

Unser Akzeptanzmodell zeigt deutlich, dass Vertrauensbildung und Risikoreduktion im Status Quo der Innovationsfrühphase der Wasserstoffmobilität über alle Gruppen hinweg die effektivsten Akzeptanzhebel darstellen. Unser Erfahrungsmodell zeigt, dass es hierfür vor allen Dingen mehr Wissens bedarf. Dies ist im Einklang mit den Analysen von Schmidt & Donsbach (2016) und dem Meta-Review von Yetano-Roche et al. (2010). Die Menschen benötigen mehr Informationen um Vertrauen zu bilden und Risiken einschätzen zu können. Medienschaaffende und Entscheider in Politik und Wirtschaft sollten somit mehr, bessere und prominentere Informationen bereitstellen, sowie Chance und Risiken thematisieren. Zudem sollten Anreize gesetzt werden, damit Menschen selbst beginnen sich über die Zukunft der Mobilität zu informieren. Hier könnten lokale oder internetbasierte Bürgerdiskussionsforen hilfreich sein.

4. *Funktionierende Erfahrungsräume schaffen und emotionale Begehrlichkeit wecken*

Um wahrgenommen und akzeptiert zu werden, ist ein praktischer Kontakt sehr hilfreich. Studien (z.B. Fazel, 2013, Mohamed et al., 2018) zeigen, dass bereits die räumliche und visuelle Auseinandersetzung mit einer neuen Technologie einen wichtigen Stimulus darstellt. In der Modellierung von EM:POWER kann schließlich nachgewiesen werden, dass Erfahrung allgemein und holistisch akzeptanzfördernd wirkt, jedoch nur sehr wenig Menschen die Möglichkeit dazu haben. Es sollten also weitere Pilotprojekte im Bereich Wasserstoffmobilität etabliert werden, bei denen stets die öffentliche Wirkung und Erlebbarkeit als zentraler Aspekt implementiert ist. Weiterhin könnten regionale Testzentren geschaffen werden und z.B. die Idee von EM:POWER über einen längeren Zeitraum mit kürzeren Testperioden verstetigt werden.

Als Anreiz für potentielle Nutzer hat sich ein Aspekt als besonders wichtig erwiesen auf den bisher noch nicht eingegangen wurde: Fahrspaß und Fahrzeugdesign; konzeptualisiert durch die innere Motivation eines Individuums. EM:POWER kann zeigen, dass dieses hedonistische Motiv sowohl bei der Akzeptanz neuer Mobilität als auch beim Sammeln neuer Erfahrungen ein zentrales Argument ist. Somit kommt diesem Faktor in der bestehenden Phase der frühen Technologieverbreitung eine doppelte Bedeutung zu. Was bei konventionellen Fahrzeugen längst gemacht wird und bei Elektrofahrzeugen zuerst, und sehr erfolgreich; von Tesla umgesetzt wurde sollten auch im Bereich FCEV

gelten. Wasserstofffahrzeuge sollten eine ästhetische und emotionale Begehrlichkeit bezüglich der Fahrfreude und des vermittelten Lebensgefühls beinhalten. Dies muss natürlich auf die Zielgruppe zugeschnitten sein. Diese sind zunächst die Early Adopter (eher männlich und einkommensstärker).

5. Zielgruppen erweitern

Derzeit wird Wasserstoffmobilität vor allem von weißen, älteren und einkommensstärkeren Männern genutzt. Positiv konnotiert lässt sich diese Gruppe als Early Adopter begreifen. Eher abwertend wurde für diese Gruppe auch der aus der Soziologie stammende Begriff der Boomer verwendet. Diese steht für viele junge Menschen eher sinnbildlich für eine blockierende und bewahrende Generation, die sich echtem Wandel gegenüber tendenziell unaufgeschlossen zeigt. Wie auch immer man hierzu steht, sieht man, dass der Kundenkreis der Wasserstoffmobilität bisher recht eindimensional ist. Weitere Zielgruppen wie z.B. Frauen, Junge oder Einkommensschwache sollten durch entsprechende Maßnahmen seitens der Hersteller und Politik adressiert werden. EM:POWER konnte hierfür erste gruppenspezifische Ansprache-Strategien entwickeln. So könnten Frauen z.B. besonders gut durch normative Botschaften erreicht werden, währenddessen für Junge vor allem der Preis und mangelnde innere Motivation Akzeptanzbarrieren darstellen. Einkommensschwache Gruppen wiederum können mit Argumenten zur Umweltfreundlichkeit nicht erreicht werden. Die Akzeptanz älterer und einkommensstarker Menschen wiederum profitiert besonders von einer Reduktion des wahrgenommenen Risikos. All dies wären erste Ansätze; eine vertiefende und systematisierte Analyse ist geboten.

➤ Limitationen und Ausblick

Vorliegende Akzeptanzanalyse wurde auf Basis eines der besten derzeit bekannten Akzeptanzmodelle durchgeführt und mit der neusten Software gemäß den Vorgaben der Urheber präzise ausgewertet. Ungeachtet dieses umsichtigen Vorgehens, sollten die Ergebnisse auch im Licht einiger bedeutender Limitationen bewertet werden, die Raum für folgende Forschungen öffnen.

1. Messmodell

Die neu entwickelten Konstrukte transformatives Bewusstsein und Markenaffinität sollten weiterentwickelt werden. Beim transformativen Bewusstsein betrifft dies die verwendeten Items, die zwar statistisch einwandfrei funktionieren, die allerdings aufgrund ihres positiven Charakters Verzerrungen aufgrund von sozialer Erwünschtheit (Quelle) unterworfen sein könnten. Die Markenaffinität auf der anderen Seite funktioniert ebenso gut statistisch, enthält aber inhaltliche Schwächen, denn zwar sagt sie aus, ob und wie stark eine Markenbindung vorhanden ist, aber nichts darüber welche Marken gemeint sind. Hier könnte man eine Konzeptualisierung zweiter Ordnung nutzen oder auf ein formatives Messformat wechseln.

Zuletzt könnte die Variable Preisbewertung anstelle eines Preisbezug als wahrgenommen Kosten getestet werden, um dadurch auch etwaigen Leasing- oder Sharing-Konzepten gerecht zu werden.

2. Strukturmodell

Die Erklärungskraft des Modells insgesamt könnte vor allem durch die Integration der zwei absichtlich ausgelassenen UTAUT Variablen *tatsächliche Nutzung* und *Gewohnheiten* profitieren. Im ursprünglichen Forschungsdesign war nicht vorgesehen eine Stichprobe der tatsächlichen Nutzer bekommen zu können und somit wurden beide Faktoren weggelassen, da man in der Öffentlichkeit kaum nach Nutzung oder Gewohnheiten gegenüber einer noch kaum verfügbaren Technologie hatte fragen können. Dies sollte dringend nachgeholt werden um nicht nur die Verhaltensabsicht, sondern eben auch das tatsächliche Verhalten modellieren und vorhersagen zu können. In diesem Zusammenhang würden im Idealfall echte Messwerte und keine umfragebasierten Daten verwendet. Dies würde das Modell auf das nächste Level heben.

Das Modell hat mit seinen zehn Variablen den Rand einer praktikablen Größe erreicht. Dennoch sollte in manchen Richtungen weiter geforscht werden, denn die beiden wichtigsten Faktoren Risiko und Vertrauen selbst werden noch unzureichend erklärt. Man könnte diese beiden Aspekt also nochmal losgelöst in einem ausgeschnittenen UTAUT-Setup analysieren und neue Prädiktoren (z.B. aus anderen namhaften Theorien) testen.

3. Forschungskonzeption

Vorliegende Arbeit analysierte die Unterschiede einer erfahrenen und einer unerfahrenen Stichprobe. Allerdings gibt es statistische Verfahren, die nur in einem gemischt erfahrenen-unerfahrenen Sample angewandt werden können (z.B. Multigruppenanalyse für Wissen und Erfahrung). Bei einer wünschenswerten, konfirmatorischen Wiederverwendung des Modells sollte somit im nächsten Schritt ein integriertes Sample angestrebt werden.

4. Stichprobengröße des Feldtests

Für statistisch qualifiziertere Aussagen sollte ein Feldtest mit einer weit größeren Stichprobe (N=200) und unter verbesserten Rahmenbedingungen (Tankstellen) wiederholt werden.

VI. Literaturverzeichnis

Adell, E.; Nilsson, L.; Várhelyi, A. (2016): The Definition of Acceptance and Acceptability, in: Horberry, T. / Regan, M. / Stevens, A. (Hrsg.). Driver Acceptance of New Technology – Theory, Measurement and Optimisation. London und New York: Routledge Taylor & Francis Group, S.11-23.

Adell, E. (2009): Driver experience and acceptance of driver support systems. A case of speed adaptation. Lund: Lund University (Bulletin (Traffic & roads, Department of Technology and Society, Lund University), 251).

Adorff, C.; Kany, S., Kauschke, L. (2020): Deliverable D1: Wasserstoffmobilität im Praxistest - Ziele und Aufbau eines saarländischen Feldexperiments; htw saar, Saarbrücken, 03.12.2020, Verfügbar unter: kosmos-project.eu

Ajzen, I. and Fishbein, M. (1980): Understanding Attitudes and Predicting Social Behavior, Prentice Hall, New Jersey.

Ajzen, I. (1985): From Intentions to Actions - A Theory of Planned Behavior, in: Julius Kuhl und Jürgen Beckmann (Hg.): Action control. From cognition to behavior, Vol.34, S.11–39.

Alexandre, B.; Reynaud, E.; Osiurak, F.; Navarro, J. (2018): Acceptance and acceptability criteria: a literature review. In: Cogn Tech Work 20 (2), S. 165–177. DOI: 10.1007/s10111-018-0459-1.

Alonso-González, M. J.; Hoogendoorn-Lanser, S.; Van Oort, N.; Cats, O.; Hoogendoorn, S. (2020): Drivers and barriers in adopting Mobility as a Service (MaaS) – A latent class cluster analysis of attitudes, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 132, 2020, pp. 378-401, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.11.022>.

Altmann, M.; Schmidt, P.; Mourato, S.; O'Garra, T. (2001): ANALYSIS AND COMPARISONS OF EXISTING STUDIES.

Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Plinke, Wulff; Weiber, Rolf (2008): Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 12. Auflage, Berlin, Springer.

Bagozzi, Richard P.; Baumgartner, Hans (1994): The Evaluation of Structural Equation Models and Hypothesis Testing. In: Bagozzi, Richard P.: Principles of Marketing Research. Cambridge (Massachusetts), Blackwell Business, pp. 386-422.

Bagozzi, R.P., Yi, Y. (1998): On the evaluation of structural equation models. JAMS 16, pp. 74–94, DOI: 10.1007/BF02723327

Barth, M. (2016): Still underdetected – Social norms and collective efficacy predict the acceptance of electric vehicles in Germany. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 37, S. 64–77. DOI: 10.1016/j.trf.2015.11.011.

Bayer, O.; Stian B.; Tarigan, A.K.M. et al. (2012): Estimating determinants of public acceptance of hydrogen vehicles and refuelling stations in greater Stavanger, in: International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 37, Issue 7, S.6063-6073.

Becker, H.; Balac, M.; Ciari, F.; Axhausen, K. W. (2020): Assessing the welfare impacts of Shared Mobility and Mobility as a Service (MaaS). In: Transportation Research Part A: Policy and Practice 131, S. 228–243. DOI: 10.1016/j.tra.2019.09.027.

Bellaby, P.; Flynn, R.; Ricci, M. (2008): What do we know about public perceptions and acceptance of hydrogen? a critical review and new case study evidence, in: International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 33 (21), S. 5868-5880.

Bunch, D. S.; Bradley, M.; Golob, T. F.; Kitamura, R.; Occhiuzzo, G. P. (1993): Demand for clean-fuel vehicles in California: A discrete-choice stated preference pilot project, Transportation Research Part A: Policy and Practice 27(3): 237-253.

Callegati, F.; Giallorenzo, S.; Melis, A.; Prandini, M. (2018): Cloud-of-Things meets Mobility-as-a-Service: An insider threat perspective. In: Computers & Security 74, S. 277–295. DOI: 10.1016/j.cose.2017.10.006.

Cantuarias-Villessuzanne, C.; Weinberger, B.; Roses Alexis Vignes, L.; Brignon, J.-M. (2016): Social cost-benefit analysis of hydrogen mobility in Europe, International journal of hydrogen Energy, Vol.41,No.42,pp19304-19311.

Catenacci, M.; Verdolinie, E.; Bosetti V. and Fiorese, G. (2013) 'Going Electric: Expert Survey on the Future of Battery Technologies for Electric Vehicles', Energy Policy, Vol. 61, pp. 403-413

Chang, A. (2012): UTAUT und UTAUT 2: A Review and Agenda for Future Research, in: The Winners, Vol 13 No. 2, S: 106-114.

Chen, H.H. and Chen, S.C. (2009): 'The empirical study of automotive telematics acceptance in Taiwan: comparing three Technology Acceptance Models', International Journal of Mobile Communications, Vol. 7, no. 1, pp. 50-65

Chen, H. S.; Chen, Chia Y. (2013): A Study on Willingness to Pay of Hydrogen Energy and Fuel Cell Technologies. In: AMM 448-453, S. 4333–4337. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.448-453.4333.

Cheron, E. and Zins, M. (1997): "Electric vehicle purchasing intentions: The concern over battery charge duration." Transportation Research Part A: Policy and Practice 31(3): 235-243.

Chin, W. (1998): The Partial Least Squares Approach to Structural Equation Modeling, in: Marcoulides, G. (ed.): Modern Business Research Methods, New Jersey, pp. 295-336.

Cohen, Jacob (1992): A power primer, Psychological Bulletin, Vol. 112, pp. 155-159.

Cook, R. D.; Weisberg, S. (1980). Characterizations of an empirical influence function for detecting influential cases in regression. *Technometrics*, Vol.22, No. 4, pp. 495-508.

Davis, F.D. (1989): 'Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology', *MIS Quarterly*, Vol. 13, no. 3, pp. 319-340

Drennen, Thomas E.; Rosthal, Jennifer E. (2007): *Pathways to a hydrogen future*. 1st ed. Amsterdam, Boston, London: Elsevier.

Dudenhöffer, K. (2013): 'Why electric vehicles failed', *EconPapers*, Vol. 24, no. 2, pp. 95-124

Edgington, E., and Onghena, P. (2007). *Randomization Tests*, 4th Ed., Chapman & Hall: London.

Elnozahy A.; Rahman A.K.A., Ali H.H.; Abdel-Salam M.(2014): A cost comparison between fuel cell, hybrid and conventional vehicles. In: *Proceedings of the 16th International Middle-east Power Systems Conference—MEPCON 2014*; 2014 Dec 23–25; Cairo, Egypt; 2014.

Emsenhuber, E.M. (2012): *Determinants of the Acceptance of Electric Vehicles: An empirical analysis*, Department of Business Administration, Business and Social Sciences, Aarhus University.

Escobar-Rodríguez, T. and Carvajal-Trujillo, E. (2014): Online purchasing tickets for low cost carriers: An application of the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT) model, *Tourism Management*, Vol. 43, pp. 70-88.

Everitt, B. and Skrondal, A. (2010): *The Cambridge dictionary of statistics*; 4th edition, Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom.

Fazel, L. (2014): *Acceptance of electromobility: development and validation of a model considering the use of car sharing*, Springer, Wiesbaden.

Field, Andy (2013): Discovering statistics using SPSS, Fourth Edition, Sage Publications, CA.

Fischhoff, B.; Lichtenstein, S.; Slovic, P. (2005): Facts and fears: Understanding perceived risk, in: Policy and Practice in Health and Safety, S.181-216.

Fleury, S.; Tom, A.; Jamet, E. ; Cola-Maheux, E. (2017): What drives corporate Carsharing acceptance? A French case study, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 45, pp. 218-227.

Fornell, C., & Larcker, D. (1981). Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. Journal of Marketing Research, 18(1), 39-50.
doi:10.2307/3151312

Frei, C.; Hyland, M.; Mahmassani, H. S. (2017): Flexing service schedules: Assessing the potential for demand-adaptive hybrid transit via a stated preference approach. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies 76, S. 71–89. DOI: 10.1016/j.trc.2016.12.017.

Gefen, D. and Straub, D. (2000): The Relative Importance of Perceived Ease of Use in IS Adoption: A Study of E-Commerce Adoption. In: JAIS 1 (1), S. 1–30. DOI: 10.17705/1jais.00008.

Geis, I. and Schulz, W. (2017): Incentivizing modal change - exploring the effect of multimodal information and ticketing systems for medium and long distances in Europe, Journal of the Transportation Research Board, No. 2565, pp. 1–7.

Geis, I.; Kauschke, L.L.; Schulz, W.H. (2016): Improving Electric Mobility with ITS, Paper presented at the ITS European Congress, Glasgow.

Geisser, S. (1974): A Predictive Approach to the Random Effects Model, Biometrika, 61(1): 101-107.

Gläser, J. and Laudel, G. (2009): Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse – als Instrument rekonstruierender Untersuchungen. 3. Überarbeitete Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Goodhue, D.L. and Thompson, R.L. (1995): Task–technology fit and individual performance, MIS Quarterly, Vol. 19, no. 2, pp. 213-236.

Götz, Oliver; Kerstin, Liehr-Gobbers; Manfred, Krafft (2010): Evaluation of structural equation models using the partial least squares (PLS) approach; In: Esposito Vinzi (Hg.) 2010 – Handbook of Partial Least Squares, pp. 691-711;

Grube, T.; Kuckertz, P.; Linßen, J. et al. (2018): Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles. Band/Volume 408. Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH Zentralbibliothek, Verlag.

Günther, S.; Kache, M.; Müller, M. et al. (2015): Leitfaden Literaturrecherche. Dresden: Technische Universität Dresden.

Hair, F., Joseph; Black, C., William; Babin, J., Barry; Anderson, E., Rolph (2014): Multivariate Data Analysis; 7th edition, Pearson.

Hair, F., Joseph; Hult, G., Tomas; Ringle, M., Christian; Sarstedt, Marko (2017): A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM); 2nd edition, Sage.

Hardman, S.; Chandan, A.; Shiu, E.; Steinberger-Wilckens, R. (2016): Consumer attitudes to fuel cell vehicles post trial in the United Kingdom, International Journal of Hydrogen Energy, 41(15). <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.02.067>

Heiskanen, E., Hodson, M., Mourik, R. M., Raven, R. P. J. M., Feenstra, C. F. J., Alcantud, A., Brohmann, B., Daniels, A., Fiore, M. D., Farkas, B., Fritsche, U., Fucsko, J., Hünecke, K., Jolivet, E., Maack, M., Matschoss, K., Oniszk-Poplawska, A., Poti, B., Prasad, G., Schaefer, B. and Willemse, R. (2008): Factors influencing the societal acceptance of new energy technologies: Meta-analysis of recent European projects.

Henseler, J., Dijkstra, T. K., Sarstedt, M., Ringle, C. M., Diamantopoulos, A., Straub, D. W., Ketchen, D. J., Hair, J. F., Hult, G. T. M., and Calantone, R. J. (2014): Common Beliefs and Reality about Partial Least Squares: Comments on Rönkkö & Evermann, *Organizational Research Methods*, 17(2): 182-209.

Henseler, Jörg; Ringle, Christian M.; Sarstedt, Marko (2015): A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling; *Journal of the Academy of Marketing Science*, Vol. 43, No. 1, pp.115-135.

Henseler, J., Ringle, C. M., and Sarstedt, M. (2016): Testing Measurement Invariance of Composites Using Partial Least Squares. *International Marketing Review*, 33(3), pp. 405-431.

Henseler, J. (2018): Partial least squares path modeling: Quo vadis?. *Qual Quant* 52, pp. 1–8 .

Herrero, Ángel; San Martín, Héctor; Garcia-De los Salmones, María del Mar (2017): Explaining the adoption of social networks sites for sharing user-generated content: A revision of the UTAUT2. In: *Computers in Human Behavior* 71, S. 209–217. DOI: 10.1016/j.chb.2017.02.007.

Hildebrandt, L.; Temme, D. (2006): Probleme der Validierung mit Strukturgleichungsmodellen, in: *Die Betriebswirtschaft*, 66. Jg., H. 6, S. 618-639.

Ho, C. Q.; Hensher, D. A.; Mulley, C.; Wong, Y. Z. (2018): Potential uptake and willingness-to-pay for Mobility as a Service (MaaS): A stated choice study. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 117, S. 302–318. DOI: 10.1016/j.tra.2018.08.025.

Hooper, D.; Coughlan, J.; Mullen, M. (2008): Structural Equation Modelling: Guidelines for Determining Model Fit. *Electronic Journal of Business Research Methods*, Vol. 6, issue 1, 2008, pp. 53-60.

Horrey, W.J.; Lesch, M.F.; Strawderman, L. (2017): Assessing the utility of TAM, TPB, and UTAUT for advanced driver assistance systems, in: *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 108, S. 361-373.

Höck, C., Ringle, C. M., and Sarstedt, M. (2010): Management of Multi-Purpose Stadiums: Importance and Performance Measurement of Service Interfaces, *International Journal of Services Technology and Management*, 14(2/3), pp. 188-207.

Huijts, N.M.A.; Molin, E.J.E.; Van Wee, B. (2014): Hydrogen fuel station acceptance: A structural equation model based on the technology acceptance framework, *Journal of Environmental Psychology*, Volume 38, pp. 153-166, <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.01.008>.

Huijts, N.M.A.; Molin, E.J.E.; Steg, L. (2012): Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance: A review-based comprehensive framework, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.16, Issue 1, pp. 525-531, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.018>.

Huijts, N.; De Groot, J.; Molin, E.; Wee, G.P. (2013): Intention to act towards a local hydrogen refueling facility: Moral considerations versus self-interest. *Transportation Research Part A Policy and Practice*. 48a. 63-74. [10.1016/j.tra.2012.10.006](https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.10.006).

Ilja, N.; Werner, J.; Marrone, M.; Kolbe, L.M. (2018): Inaccuracy versus volatility – Which is the lesser evil in battery electric vehicles?, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 58, pp. 855-870, <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.016>.

Im, I.; Yongbeom, K.; Hyo-Joo, H. (2008): The effects of perceived risk and technology type on users' acceptance of technologies. In: *Information & Management* 45 (1), S. 1–9. DOI: [10.1016/j.im.2007.03.005](https://doi.org/10.1016/j.im.2007.03.005).

Jeekel, Hans (2017): Social Sustainability and Smart Mobility: Exploring the relationship. In: Transportation Research Procedia 25, S. 4296–4310. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.05.254.

Jittrapirom, P.; Marchau, V.; Van der Heijden, R.; Meurs, H. (2018): Future implementation of mobility as a service (MaaS): Results of an international Delphi study. In: Travel Behaviour and Society. DOI: 10.1016/j.tbs.2018.12.004.

Kauschke, L.; Schulz, H., W. (2018): Upgrading electric mobility with Intelligent Transport Systems - a technology acceptance perspective; Transportation Research Procedia. Paper presented at mobil.TUM 2017, TU München.

Kiemel, S.; Lehner, F.; Smolinka, T. et. al. (2018): Studie IndWEDe – Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme. 1. Aufl. Berlin: NOW GmbH.

King, William; He, Jun (2006): A meta-analysis of the technology acceptance model, Information & Management, Vol.43, No.6, pp.740-755, DOI: 10.1016/j.im.2006.05.003

Kline, Rex B. (2010): Principles and Practice of Structural Equation Modeling. 3. Auflage, New York, Guilford Publications.

Kortus-Schultes, D. (2008): Marketing. Es gibt viele gute Gründe gegen Unisex-Autowerbung. In: new business. Infodienst für Werbung, Marketing und Medien, Nr. 06/08; S. 32/33. ISSN 0342-4006; New Business Verlag, Hamburg (2008).

Kraftfahrtbundesamt (2019): Onlinequelle. Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Herstellern und Typen am 1. Januar 2019 – FZ 6.1. Erreichbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz6_b_uebersicht.html?nn=1146130. Abruf am: 20.11.2019.

Kraftfahrtbundesamt (2020): Onlinequelle. Altersstruktur von Neuwagenkäufern in Deutschland, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/39421/umfrage/altersstruktur-von-neuwagenkaeufern-in-deutschland/> , Abruf am: 18.01.2021

Kurani, K.S.; Turrentine, T.; Sperling, D. (1994): Demand for electric vehicles in hybrid households: an exploratory analysis. *Transport Policy* 1 (4), 244–256.

Kruse, J. (2014): *Qualitative Interviewforschung – Ein integrativer Ansatz*, 2. Auflage, Beltz Juventa, Weinheim & Basel.

Lamnek, S. (2010): *Qualitative Sozialforschung*, 5. überarbeitete Auflage, Beltz Verlag, Basel.

Lee, Y. and Larsen, Kai R.T. (2003): The Technology Acceptance Model: Past, Present, and Future. In: *CAIS* 12. DOI: 10.17705/1CAIS.01250.

Legrís, P.; Ingham, J.; Colletette, P. (2003): Why do people use information technology? A critical review of the technology acceptance model. In: *Information & Management* 40 (3), pp.191–204. DOI: 10.1016/S0378-7206(01)00143-4.

Lehmann, J. and Töpler, J. (2017): *Wasserstoff und Brennstoffzelle: Technologie und Marktperspektive*. 2. Aufl. Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland.

Lin, B. and Tan, R. (2017): Estimation of the environmental values of electric vehicles in Chinese cities. In: *Energy Policy* 104, S. 221–229. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.01.037.

Lin, R.; Qu, X.; Tao, D. et al. (2019): The roles of initial trust and perceived risk in public's acceptance of automated vehicles, in: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* Vol. 98, S. 207–220.

Lipman T.E. et al. (2018): Hydrogen fuel cell electric vehicle performance and user-response assessment: Results of an extended driver study, *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.172>

Liu, Y.; Bansal, P.; Daziano, R.; Samaranayake, S. (2018): A framework to integrate mode choice in the design of mobility-on-demand systems. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies. DOI: 10.1016/j.trc.2018.09.022.

Madigan, Ruth; Louw, Tyron; Wilbrink, Marc; Schieben, Anna; Merat, Natasha (2017): What influences the decision to use automated public transport? Using UTAUT to understand public acceptance of automated road transport systems. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 50, S. 55–64. DOI: 10.1016/j.trf.2017.07.007.

Matthews, Lucy & Sarstedt, Marko & Hair, Joe & Ringle, Christian. (2016): Identifying and treating unobserved heterogeneity with FIMIX-PLS: Part II – A case study. European Business Review. 28. 10.1108/EBR-09-2015-0095.

Martin, E.; Shaheen, S.A.; Lipman, T.E. et al. (2009): Behavioral response to hydrogen fuel cell vehicles and refueling: Results of California drive clinics, International Journal of Hydrogen Energy, 34(20). <https://escholarship.org/uc/item/20c342sp>

McKinsey & Company (2010): A portfolio of power-trains for Europe: A fact-based analysis. Verfügbar unter: https://www.eesi.org/files/europe_vehicles.pdf.

Meuser, M. and Nagel, U. (2002): ExpertInneninterviews — vielfach erprobt, wenig bedacht., in: Bogner, A. / Littig, B. / Menz, W. (Hrsg.). Das Experteninterview. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 71-93.

Mohamed, Moataz; Higgins, Christopher D.; Ferguson, Mark; Réquia, Weeberb J. (2018): The influence of vehicle body type in shaping behavioural intention to acquire electric vehicles: A multi-group structural equation approach. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice 116, S. 54–72. DOI: 10.1016/j.tra.2018.05.011.

Molin E. (2005): Causal analysis of hydrogen acceptance. Journal of the Transportation Research Board; pp1941:115-21.

Mourato, S.; Saynor, B.; Hart, D. (2004): Greening London's black cabs: a study of driver's preferences for fuel cell taxis. *Energy Policy*, Vol.32 (5): 685-695.

Mulley, C. and Kronsell, A. (2018): Workshop 7 report: The “uberisation” of public transport and mobility as a service (MaaS): Implications for future mainstream public transport. In: *Research in Transportation Economics* 69, S. 568–572. DOI: 10.1016/j.re-trec.2018.08.007.

Mumford, J. G. (2006): Improving risk communication - Strategies for public acceptance of new technology involving high impact low frequency risk. School of Management, University of Surrey. PhD.

Mustafa, M. A.; Zhang, N.; Kalogridis, G.; Fan, Zhong (2013): Smart electric vehicle charging: Security analysis. In: *ISGT 2013. Fourth Conference on Innovative Smart Grid Technologies: February 24-27, 2013 in Washington, District of Columbia, USA. 2013 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT 2013). Washington, DC, 2/24/2013 - 2/27/2013. [Piscataway, N.J.]: IEEE, S. 1–6.*

Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2018): Fortschrittsbericht 2018 – Markthochlaufphase – Nationale Plattform Elektromobilität. Berlin: Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (GGEMO)

Naderer, G. (2011): Auswertung und Analyse qualitativer Daten, in Balzer, E. & Naderer, G., *Qualitative Marktforschung in Theorie und Praxis - Grundlagen - Methoden - Anwendungen*, 2. überarbeitete Auflage, Gabler, Wiesbaden, S. 406-434.

Neumann, I.; Cocron, P.; Franke, T.; Krems, J.F. (2010): Electric vehicles as a solution for green driving in the future? A field study examining the user acceptance of electric vehicles, Paper presented at the European Conference on Human Interface Design for Intelligent Transport Systems, Berlin

Nitzl, Christian (2010): Eine anwenderorientierte Einführung in die Partial Least Square (PLS)-Methode, ISSN 1618-2952, Online verfügbar unter: <http://ssrn.com/abstract=2097324>

Nunnally, Jum C. (1978): An Overview of Psychological Measurement; In: Wolman (ed.) 1978 – Clinical Diagnosis of Mental Disorders, pp. 97-146, DOI: 10.1007/978-1-4684-2490-4_4.

O'Garra, T.; Mourato, S.; Pearson, P. (2005): Analysing awareness and acceptability of hydrogen vehicles: a London case study. International Journal of Hydrogen Energy 30(6), 649–659.

Ono, K. and Tsunemi, K. (2017): Identification of public acceptance factors with risk perception scales on hydrogen fueling stations in Japan, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.42, Issue 16.

Pakusch, C.; Bossauer, P.; Shakoar, M.; Stevens, G. (2016 - 2016): Using, Sharing, and Owning Smart Cars - A Future Scenario Analysis Taking General Socio-Technical Trends into Account. In: Proceedings of the 13th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications. International Conference on e-Business. Lisbon, Portugal, 26.07.2016 - 28.07.2016: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, S. 19–30.

Pangbourne, K.; Mladenović, M.N.; Stead, D.; Milakis, D. (2020): Questioning mobility as a service: Unanticipated implications for society and governance. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice 131, S. 35–49. DOI: 10.1016/j.tra.2019.09.033.

Paul, S.; Fischhoff, B.; Lichtenstein, S. (1980): Facts and fears: Understanding perceived risk. Societal risk assessment. Springer, Boston, MA, 1980. 181-216.

Paternoga, S.; Pieper, N.; Woisetschlager, D.M.; Beuscher, G.; Wachalski, T. (2013): Acceptance of electric vehicles – Hopeless venture or big chance?, P3 Group, Wolfsburg

Plötz, P.; Gnann, T.; Kühn, A.; Wietschel, M. (2013): Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge. Studie im Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE). Karlsruhe: Fraunhofer ISI

Polydoropoulou, A.; Pagoni, I.; Tsirimpa, A. (2018): Ready for Mobility as a Service? Insights from stakeholders and end-users. In: Travel Behaviour and Society. DOI: 10.1016/j.tbs.2018.11.003.

Rahman, M.M.; Lesch, M.F.; Horrey, W.J.; Strawderman, L. (2017): Assessing the utility of TAM, TPB, and UTAUT for advanced driver assistance systems, Accident Analysis and Prevention, Vol. 108, pp. 361-373.

Regan, M. A.; Stevens, A.; Horberry, T. (2014): Driver acceptance of new technology. Theory, measurement and optimisation. Burlington, VT: Ashgate Publishing Company (Human factors in road and rail transport). Online verfügbar unter <http://lib.myilibrary.com/detail.asp?id=578350>.

Ricci, M.; Bellaby, P.; Flynn, R. (2008): What do we know about public perceptions and acceptance of hydrogen? a critical review and new case study evidence. International Journal of Hydrogen Energy; 33(21).

Roberts, K. (2012): The end of the long baby-boomer generation, Journal of Youth Studies, 15:4, 479-497, DOI: 10.1080/13676261.2012.663900

Rogers, E.M. (2010): Diffusion of innovations. 4th edition, Simon and Schuster, New York

Sammer, G.; Meth, D.; Gruber, C.J. (2008): Electric vehicles-The user perspective, e & i Electronics and Information Technology, Vol. 125, pp. 393-400

Sarstedt, M.; Mooi, E., A.; (2014): A concise guide to market research; 2nd edition, New York, Springer.

Schäfer, M. and Keppler, D. (2013): Models for technology-oriented acceptance research, Center for technology and society, Berlin

Schikofsky, J.; Dannewald, T.; Kowald, M. (2020): Exploring motivational mechanisms behind the intention to adopt mobility as a service (MaaS): Insights from Germany. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice 131, S. 296–312. DOI: 10.1016/j.tra.2019.09.022.

Schmidt, A. and Donsbach, W. (2016): Acceptance factors of hydrogen and their use by relevant stakeholders and the media. International Journal of Hydrogen Energy, 41(8), 4509–4520. doi:10.1016/j.ijhydene.2016.01.058

Schmidtchen, U. and Wurster, R. (2017): Sicherheit in der Anwendung von Wasserstoff, in: Lehmann, J. / Töpler, J (Hrsg.). Wasserstoff und Brennstoffzelle: Technologie und Marktperspektive. 2. Aufl. Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland, S. 43-58.

Schneider, U. (2017): User perceptions of the emerging hydrogen infrastructure for fuel cell electric vehicles, In Proceedings of the ECEE Summer Study, Stockholm. pp.867-876.

Schneidewind, U. (2018): Transformative Literacy. Gesellschaftliche Veränderungsprozesse verstehen und gestalten. Ökologische Perspektiven in Natur-, Geistes- und Wirtschaftswissenschaften 22, S. 82–86.

Schwartz, S. H. (1977): Normative Influences on Altruism. In: Leonard Berkowitz (Hg.): Advances in Experimental Social Psychology, Bd. 10: Academic Press, S. 221–279.

Sharma, P. N., Sarstedt, M., Shmueli, G., Kim, K.H, and Thiele, K. O. (2019). PLS-Based Model Selection: The Role of Alternative Explanations in Information Systems Research, Journal of the Association for Information Systems, DOI: 10.17005/1.JAIS.00538

Slade, Emma L.; Dwivedi, Yogesh K.; Piercy, Niall C.; Williams, Michael D. (2015): Modeling Consumers' Adoption Intentions of Remote Mobile Payments in the United Kingdom:

Extending UTAUT with Innovativeness, Risk, and Trust. In: Psychol. Mark. 32 (8), S. 860–873. DOI: 10.1002/mar.20823.

Smith, G.; Sochor, J.; Karlsson, I.; MariAnne, C. (2018): Mobility as a Service: Development scenarios and implications for public transport. In: Research in Transportation Economics 69, S. 592–599. DOI: 10.1016/j.retrec.2018.04.001.

Statista (2020): Durchschnittseinkommen in Deutschland; Abruf am: 18.01.2021 Verfügbar unter: <https://de.statista.com/themen/293/durchschnittseinkommen/>

Still, Frank (2019): Interview zur Wasserstoffmobilität; 11.10.2019; Protokoll auf Anfrage verfügbar, Toyota Key Accounts.

Stone, M. (1974): Cross-Validatory Choice and Assessment of Statistical Predictions, Journal of the Royal Statistical Society, 36(2): pp 111-147.

Strömberg, H.; Rexfelt, O.; Karlsson, I.; MariAnne, C.; Sochor, J. (2016): Trying on change – Trialability as a change moderator for sustainable travel behaviour. In: Travel Behaviour and Society 4, S. 60–68. DOI: 10.1016/j.tbs.2016.01.002.

Sunstein, Cass R. (2014): Nudging: A Very Short Guide. In: J Consumer Policy 37 (4), S. 583–588. DOI: 0.1007/s10603-014-9273-1.

Tamilmani, Kuttimani; Rana, Nripendra P.; Dwivedi, Yogesh K. (2020): Consumer Acceptance and Use of Information Technology: A Meta-Analytic Evaluation of UTAUT2. In: *Inf Syst Front.* DOI: 10.1007/s10796-020-10007-6.

Tarigan, A.K.M.; Stian, B.; Bayer, O.; Langhelle, G. T. (2012): Estimating determinants of public acceptance of hydrogen vehicles and refuelling stations in greater Stavanger,

International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 37, Issue 7, pp. 6063-6073,
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.12.138>.

Tenenhaus, M., Amato, S., and Esposito Vinzi, V. (2004): A Global Goodness-of-Fit Index for PLS Structural Equation Modeling, Proceedings of the XLII SIS Scientific Meeting. Padova: CLEUP, pp. 739-742.

Tran, M.; Banister, D.; Bishop, J. D. K.; McCulloch, M. D. (2012): Realizing the electric-vehicle revolution. Nature Climate Change, 2(5), 328–333. doi:10.1038/nclimate1429

Rahm, Erhard; Do, Hong Hai (2000): Data cleaning: Problems and current approaches, IEEE Data Eng. Bulletin, Vol. 24, no.4, pp. 3-13.

Venkatesh, V. (2000): Determinants of Perceived Ease of Use: Integrating Control, Intrinsic Motivation, and Emotion into the Technology Acceptance Model. Information systems research 11, 342–365.

Venkatesh V. and Davis, F.D. (2000): A theoretical extension of the technology acceptance model: four longitudinal field studies, Management Science, Vol. 46, no. 2, pp. 186-204.

Venkatesh, V. and Bala, H. (2008): Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions, Decision Science, Vol. 39, no. 2, pp. 273–315.

Venkatesh, V.; Morris, M.; Davis, G.B.; Davis, F.D. (2003): User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View, MIS Quarterly, Vol. 27, no. 3, pp. 425-478.

Venkatesh, V.; Thong, J. Y. L.; Xu, X. (2012): Consumer acceptance and use of information - extending the unified theory of acceptance and use of technology, in MIS Quarterly Vol. 36 (1), S.157-178.

Venkatesh, Viswanath; Thong, James Y. L.; and Xu, Xin (2016): Unified Theory of Acceptance and Use of Technology: A Synthesis and the Road Ahead, Journal of the Association for Information Systems: Vol. 17: Iss. 5, Article 1.

Vidakovic, K. and Weiner, N. (2013): Electric vehicles in a business environment, Fraunhofer Institute for Industrial Engineering, Stuttgart.

Vivoda, J. M.; Harmon, A. C.; Babulal, G. M.; Zikmund-Fisher, B. J. (2018): E-hail (Rideshare) Knowledge, Use, Reliance, and Future Expectations among Older Adults. In: Transportation research. Part F, Traffic psychology and behaviour 55, S. 426–434. DOI: 10.1016/j.trf.2018.03.020.

Vlassenroot, S.; Brookhuis, K.; Marchau, V.; Witlox F. (2010): 'Towards defining a unified concept for the acceptability of Intelligent Transport Systems (ITS): A conceptual analysis based on the case of Intelligent Speed Adaptation (ISA) ', Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 13, pp. 218-227

Walter, S.; Ulli-Beer, S.; Wokaun, A. (2012): Assessing customer preferences for hydrogen-powered street sweepers: A choice experiment, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 37, Issue 16, 2012, pp. 12003-12014, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.05.026>.

Wang, J.; Wang, H.; Fan, Y. (2018a): Techno-Economic Challenges of Fuel Cell Commercialization, Engineering, Vol. 4, No.3, pp.352-360.

Wang, Yu; Wang, Shanyong; Wang, Jing; Wei, Jiuchang; Wang, Chenglin (2018b): An empirical study of consumers' intention to use ride-sharing services: using an extended technology acceptance model. In: *Transportation* 47 (1), S. 397–415. DOI: 10.1007/s11116-018-9893-4.

Warner, S. (1962): Strategic Choice of Mode in Urban Travel: A Study of Binary Choice, New York.

Weimann, Joachim (2013) Umweltökonomik: eine theorieorientierte Einführung. Springer-Verlag, Berlin.

Wheaton, B. (1988): Assessment of fit in overidentified models with latent variables. In: Long, J.S. (ed.): Common problems / proper solutions. Newbury Park, Ca.: SAGE, 1988, pp. 193 - 225

Wu, L.; Wei W.; Peng, J. (2019): Travel mode choice and their impacts on environment - a literature review based on bibliometric and content analysis, 2000-2018. o.O.

Yetano Roche, M.; Mourato, S.; Fischedick, M.; Pietzner, K.; Viebahn, P. (2010): Public attitudes towards and demand for hydrogen and fuel cell vehicles: A review of the evidence and methodological implications. In: Energy Policy 38 (10), S. 5301–5310.
DOI: 10.1016/j.enpol.2009.03.029.

Ziemann, A. (2009): Systemtheorie, in: Kneer G. / Schroer, M. (Hrsg.). Handbuch Soziologische Theorien. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 469-490.

Zimmer, R. (2013): HyTrust – Auf dem Weg in die Wasserstoffgesellschaft, Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V., Berlin & Halle.

Zimmer R., Zschiesche M., Holzinger N. (2009): The role of trust and familiarity in risk communication. In: International Conference on Hydrogen Safety.

Zhang, T.; Tao, D.; Qu, X.; Zhang, X.; Lin, R.; Zhang, W. (2019): The roles of initial trust and perceived risk in public's acceptance of automated vehicles. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies 98, S. 207–220. DOI: 10.1016/j.trc.2018.11.018.

VII. Anhang

Name	Nr.	Item-Text
Nutzungsabsicht	IU01	Ich würde gerne ein FCHV wie den Toyota Mirai nutzen.
	IU02	Ich denke, ich würde ein FCHV ganz normal in mein tägliches Leben integrieren.
	IU03	Ich erwarte in Zukunft mit einem solchen Wasserstofffahrzeug zu fahren.
	IU04	Ich kann mir insgesamt gut vorstellen, ein Brennstoffzellenfahrzeug zu fahren.
Leistungserwartung	PE01	Ich erwarte, dass ein Fahrzeug wie der Toyota Mirai genauso nützlich ist wie ein herkömmliches Auto.
	PE02	Mit einem Brennstoffzellenfahrzeug werde ich meine alltägliche Mobilität weiterhin sehr gut bewältigen können.
	PE03	Im Gegensatz zum Batteriefahrzeug, steht ein FCHV für Sicherheit und Freiheit.
	PE04	Ein FCHV ist sinnvoll für mich.
	PE05	Ich erwarte, dass ein FCHV die gleiche Ausstattung bietet wie ein vergleichbares konventionelles Fahrzeug heutzutage.
Nutzerfreundlichkeit	EE01	Zu lernen, wie man ein H2-Fahrzeug fährt, wird einfach für mich sein.
	EE02	Ich erwarte keine technischen Schwierigkeiten bei der Nutzung des Toyota Mirai.
	EE03	Ich denke, dass das Tanken leicht zu lernen sein wird.
	EE04	Ein FCHV ist wohl genauso einfach zu nutzen wie mein bisheriges Fahrzeug.
Sozial-ökologischer Einfluss	SI01	Experten und Medien sind sich einig darin, Wasserstofffahrzeuge wie den Toyota Mirai positiv zu bewerten.
	SI02	Menschen, die mein Verhalten beeinflussen, denken, dass ich irgendwann ein H2-Fahrzeug nutzen sollte.
	SI03	Die meisten Leute, die mir etwas bedeuten, würden es gutheißen, wenn ich ein FCHV nutzen würde.
	SI04	Mein Umfeld würde es gutheißen, wenn ich mich FCHV fahren würde.
	PN01	Ich empfinde die moralische Verpflichtung in Zukunft auf Wasserstoff umzusteigen.
	PN02	Wenn ich nach meinen inneren Prinzipien handeln würde, würde ich mich für mehr H2 in der Mobilität einsetzen.
	PN03	Ich habe starke Überzeugungen, wenn es um Wasserstofffahrzeuge geht.
	PN04	Ich fühle mich schuldig, wenn ich beim Thema H2-Mobilität keine Position beziehe.
Rahmenbedingungen	FC01	Ich habe die notwendigen Ressourcen, um ein Wasserstofffahrzeug zu nutzen.
	FC02	Ich habe die Fähigkeiten, um ein Wasserstofffahrzeug zu nutzen.
	FC03	Ein FCHV würde zu meinem Leben und meiner Mobilität passen.
	FC04	Ich denke, bei Schwierigkeiten mit dem H2-Fahrzeug oder der Infrastruktur könnte ich Hilfe bekommen.
	FC05	Das System der Wasserstoffmobilität zu nutzen wäre mir möglich.
Innere Motivation	IM01	Ich glaube ein FCHV wie der Toyota Mirai macht Spaß.
	IM02	Ich werde es genießen ein FCHV zu nutzen.
	IM03	Mit Wasserstoff zu fahren, ist aufregender als rein-elektrisch.
	IM04	Die Fahrfreude wird beim Wasserstofffahrzeug mindestens so groß sein wie bei einem konventionellen Fahrzeug.
Preis-Bewertung	PB01	Mit einem Preis von 699 € / Monat liegt der Mirai im Bereich eines BMW M5. Das finde ich gerechtfertigt.
	PB02	Ich denke, der Toyota Mirai hat ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis.
	PB03	Zum aktuellen Preis bieten H2-Fahrzeuge viel Leistung verglichen mit E-Autos.
	PB04	Ich bin bereit für ein FCHV mehr zu zahlen als für ein konventionelles Fahrzeug.
Gefühltas Risiko	PR01	Die Verwendung von FCHVs ist riskant.
	PR02	Es ist nicht sichergestellt, dass der Wasserstoff überhaupt nachhaltig produziert wird.
	PR03	Wasserstoffmobilität funktioniert möglicherweise nicht so gut wie die herkömmliche Automobilität und verursacht mir Probleme.
	PR04	Es gibt heute noch zu viele offene Fragen rund um das Brennstoffzellenfahrzeug.
	PR05	Ich habe gewisse Angst bezüglich der generellen Sicherheit der Wasserstofftechnologie.
	PR06	Die Konzepte für Speicherung und zum Transport von Wasserstoff erscheinen mir unsicher.

	PR07	Es macht mir Sorgen, dass sich der Wasserstoff z.B. bei einem Unfall, entzünden und das Fahrzeug explodieren könnte.
Vertrauen in das H2-System	TH01	Ich vertraue darauf, dass der Wasserstoff nachhaltig produziert ist.
	TH02	Ich vertraue darauf, dass die H2-Tankstellen sicher sind.
	TH03	Ich vertraue darauf, dass H2-Fahrzeuge und die -Tankstellen genauso gut und komfortabel funktionieren wie in der bestehenden (Auto-)Mobilität.
	TH04	Ich denke, H2-Fahrzeuge wie der Toyota Mirai sind zuverlässig.
	TH05	Insgesamt kann ich der Wasserstoffmobilität vertrauen.
Emotionale Reaktion auf das Fahrzeug	EA01	Ich fahre gerne einen Toyota.
	EA02	Den Toyota Mirai zu fahren zu können, stellt mich zufrieden.
	EA03	Einen Toyota Mirai fahren zu können, macht mich stolz.
	EA04	Ich würde lieber einen Mercedes als einen Toyota fahren. (-)
	EA05	Ich würde ein vergleichbares deutsches Fahrzeug gegenüber dem Mirai bevorzugen. (-)
	EA06	Der Toyota Mirai stimmt mich hoffnungsvoll für die Zukunft.
Transformative Überzeugung	TL01	Der menschengemachte Klimawandel ist für mich eine Gewissheit.
	TL02	Wir brauchen eine große Veränderung der bestehenden Mobilität, um globalen Herausforderungen begegnen zu können.
	TL03	Unsere Gesellschaft muss sich insgesamt zu einem nachhaltigen System transformieren.
	TL04	Vor dem Hintergrund des kommenden Wandels, ist mein Wille zu Veränderung und Innovation groß.
	TL05	Ich verstehe die Notwendigkeit zur Transformation des Gesamtsystems von Mobilität, Wirtschaft und Gesellschaft.
	TL06	Mir ist bewusst, dass Energie- und Verkehrswende genauso große ökonomische, institutionelle und kulturelle Herausforderungen sind, wie sie technische sind.
	TL07	Ich möchte zur Transformation von Gesellschaft und Verkehrssystem beitragen.

Quelle: Eigene Abbildung