

# ODD-Protokoll, Gruppe 6: E-Mobilität in Deutschland

Ariel Atsamo, Michael Mecklinger, Christoph Schröter, Florian Wisniewski

## Inhalt

---

<b>OVERVIEW .....</b>	<b>3</b>
PURPOSE .....	3
<i>Kurzbeschreibung des Modells .....</i>	<i>3</i>
<i>Frage .....</i>	<i>3</i>
<i>Modellcode .....</i>	<i>3</i>
ENTITIES, STATE VARIABLES, SCALES .....	3
<i>Knoten .....</i>	<i>3</i>
<i>Kanten .....</i>	<i>4</i>
<i>Umgebung .....</i>	<i>4</i>
<i>Zeiteinheit .....</i>	<i>4</i>
PROCESS OVERVIEW AND SCHEDULING .....	5
1. <i>Stop .....</i>	<i>5</i>
2. <i>Decide .....</i>	<i>5</i>
3. <i>Update .....</i>	<i>5</i>
4. <i>Output .....</i>	<i>5</i>
<b>DESIGN CONCEPTS .....</b>	<b>6</b>
MECHANISMS: TRA UND TAM .....	6
KURZDARSTELLUNG: TAM NACH DAVIS ET AL. (1989) .....	7
<i>Erklärung einzelner Bausteine .....</i>	<i>7</i>
EIGENE MODIFIKATION DES TAM .....	8
<i>Kurze Begründung und Erklärung der Modifikationen und Ergänzungen .....</i>	<i>8</i>
BASIC PRINCIPLES .....	9
<i>Fragen an das Modell .....</i>	<i>9</i>
<i>Hintergründe zu den basic principles .....</i>	<i>10</i>
<i>Aspekt der Dynamik .....</i>	<i>10</i>
ZU DEN DESIGNKONZEPTEN NACH GRIMM ET AL. (2011) .....	11
<i>Learning .....</i>	<i>11</i>
<i>Prediction .....</i>	<i>11</i>
<i>Objectives &amp; Adoption .....</i>	<i>11</i>
<i>Interaction .....</i>	<i>11</i>
<i>Sensing .....</i>	<i>11</i>
<i>Stochasticity .....</i>	<i>11</i>
<i>Observation .....</i>	<i>12</i>

<b>DETAILS .....</b>	<b>12</b>
INITIALIZATION .....	12
INPUT DATA.....	12
<b>BEHAVIOR SPACE: OPTIONEN UND SZENARIEN .....</b>	<b>13</b>
<b>QUELLEN AUS LITERATUR UND PRAXIS .....</b>	<b>13</b>
LITERATUR .....	13
BEREITS ERFOLGTE IMPLEMENTIERUNGEN UND INSPIRATION .....	15

## Overview

---

### Purpose

#### *Kurzbeschreibung des Modells*

**D**as SI-Modell betrachtet die Verbreitung einer Technologie (E-Fahrzeuge) in einem sozialen Netzwerk (angelehnt an die soziale Struktur Deutschlands) bestehend aus rationalen entscheidenden Individuen. Untersucht wird, welche grundlegenden Diffusionsergebnisse unter Berücksichtigung der angegebenen externen Faktoren und deren Gewichtung beobachtet werden können und welchen Einfluss die Netzwerkstruktur und die direkten benachbarten Akteure auf den Adaptionverlauf in einem sozialen Netzwerk haben.

#### *Frage*

Welchen Einfluss haben verschiedene Policies des Staates auf die Adaptionentscheidung eines Individuums (Kauf eines E-Autos) in einem sozialen Netzwerk auf Basis des TAM (Technology Acceptance Model)?

#### *Modellcode*

Der Code für das Modell liegt der Abgabe bei, kann jedoch auch online auf dem [zum Projekt zugehörigen GitHub](#) gefunden und abgerufen werden. Beim endgültigen Modell handelt es sich um die Datei mit dem Namen „TAM\_network\_final.nlogo“.

### Entities, State Variables, Scales

#### *Knoten*

- Knoten sind Individuen und werden durch Turtles abgebildet
- Ein Individuum hat folgenden Eigenschaften:
  - o *aoev*: Akzeptanz gegenüber Nutzung eines E-Fahrzeugs (Variable in % nach Wolf et al. (2015))
  - o *pupo*: Kaufkraft der Individuen (in %)
  - o *salary-group*: Zuweisung in Gehaltsklassen (über/unter 2.500€ mtl.)
  - o *pcs*: Wahrnehmung von E-Ladestationen (in %)
  - o *individual-thold*: individuell zugewiesener Schwellenwert für Adaptionentscheidung
  - o **Charakteristika der Akteure**: Typen nach Wolf (2015) → Charakterisierung von E-Mobility-Nutzern auf Basis von dessen empirischer Erhebung:
    - **Eco-oriented Opinion Leaders** → stärkste Tendenz, ein E-Fahrzeug zu kaufen

- **Innovation-oriented Progressives**
- **Comfort-oriented Individualists**
- **Cost-oriented Pragmatics** → schwächste Tendenz, ein E-Fahrzeug zu kaufen
- Ebenfalls Zuweisung zu *salary-group* nach Charakterisierung von E-Mobility-Nutzern auf Basis der Daten und Verteilung von Wolf
- Adaptionszugehörigkeit:
  - Grün: Verwendung E-Auto / *true*
  - Farbliche Unterscheidung nach Typ: keine Verwendung von E-Auto / *false*
    - Opinion Leaders = grün
    - Progressives = blau
    - Pragmatics = orange
    - Individualists = rot

#### *Kanten*

- Kanten bilden familiäre und freundschaftliche Beziehung der Knoten/Individuen ab
- Durchschnittlicher Wert für deutschen Bürger: drei Familienmitglieder und bis zu sechs enge Freunde
  - *average-node-degree* festgelegt auf 9
  - Information aus Gillespie et al. (2015) und Daten des ESS (2018)

#### *Umgebung*

- Sonstige Elemente der Entwicklungsumgebung (z.B. Patches) haben keinen Einfluss auf das Modell

#### *Zeiteinheit*

- Eine Zeiteinheit (tick) entspricht der Zeit, in der ein Individuum entscheidet, ob er sich für oder gegen die Adaption der E-Autos entscheidet
- Festes Zeitlimit für Modellablauf (30 ticks)

## Process overview and scheduling

### → **Anmerkung:**

Eine genaue Beschreibung/Dokumentation der Funktionsweisen aller Methoden findet sich im Info-Tab des Modells innerhalb von Netlogo!

#### 1. Stop

- Simulation wird nach max. 30 ticks automatisch beendet

#### 2. Decide

- jedes Individuum berechnet pro tick, ob *behavior-bi* über *individual-thold* liegt (*calculation*)
- Berechnung von *behavior-bi* durch Summe aus *utility-u*, *belief-e*, *aoev* sowie *adopted-neighbors* (alle Werte prozentual) → Ergebnis ist interpretierbarer Gesamt-Prozentwert für die Adaption: je höher *behavior-bi*, desto größer die Absicht des Individuums, ein E-Fahrzeug zu kaufen

#### 3. Update

- jedes Individuum führt *Decide* aus und entscheidet neu
- Individuum wird *adopted*, wenn *behavior-bi* > *individual-thold*

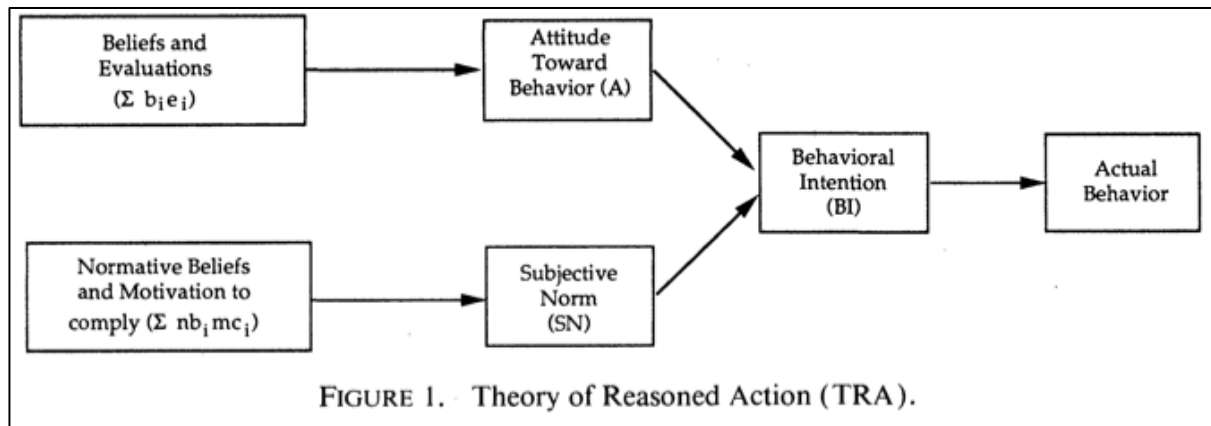
#### 4. Output

- Alle notwendigen Ausgabegrößen werden generiert und dargestellt  
Plotten von Adaptierenden (y-Achse) im Zeitverlauf (x-Achse), ähnlich Wolf et al. (2015)

## Design concepts

### Mechanisms: TRA und TAM

Grundlage des Technology Acceptance Models: Theory of Reasoned Action (TRA) nach Ajzen & Fishbein (1980) und Fishbein & Ajzen (1975)

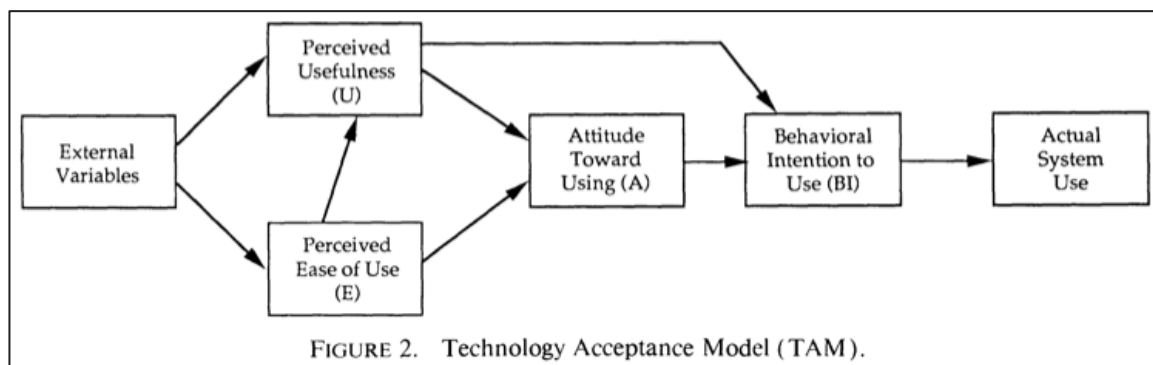


Darstellung der TRA nach Fishbein & Ajzen (1975) und Ajzen & Fishbein (1980), Abbildung aus Davis et al. (1989), S. 984

#### Anmerkungen:

- **Beliefs & Evaluations** → können bei Übertragung ins TAM in etwa interpretiert werden als Perceived Usefulness und Perceived Ease of Use
  - Usefulness im TAM: wie groß ist der Nutzen bei Adaption für ein Individuum?
    - Belief aus der TRA: Annahmen über Konsequenzen, wenn Verhalten ausgeführt werden
  - Ease of Use im TAM: Wie einfach ist die Nutzung der Innovation für ein Individuum bei Adaption? – Evaluations aus der TRA: Evaluation der Konsequenzen aus Belief
- Entfallen des Asts **Normative Beliefs & Motivation to comply** → **Subjective Norm** im TAM, da dieser in die psychologische Richtung abdriftet und von Davis, Bagozzi und Warshaw ausgelassen wurde

### TAM – originale Darstellung aus Davis et al. (1989)



Darstellung des TAM nach Davis et al. (1989), S. 985

### **Kurzdarstellung: TAM nach Davis et al. (1989)**

Das TAM stellt einen Ansatz für das Nutzungsverhalten eines Individuums gegenüber einer Innovation dar. Dabei werden die jeweiligen Einflüsse des wahrgenommenen Nutzens (U, „Utility“) und der Einfachheit der Nutzung (E, „Belief“ oder „Desire“) auf die damit verbundenen Absicht der Nutzung (BI) betrachtet. Eine gesteigerte Absicht der Nutzung resultiert schlussendlich in einer Nutzung jener Technologie.

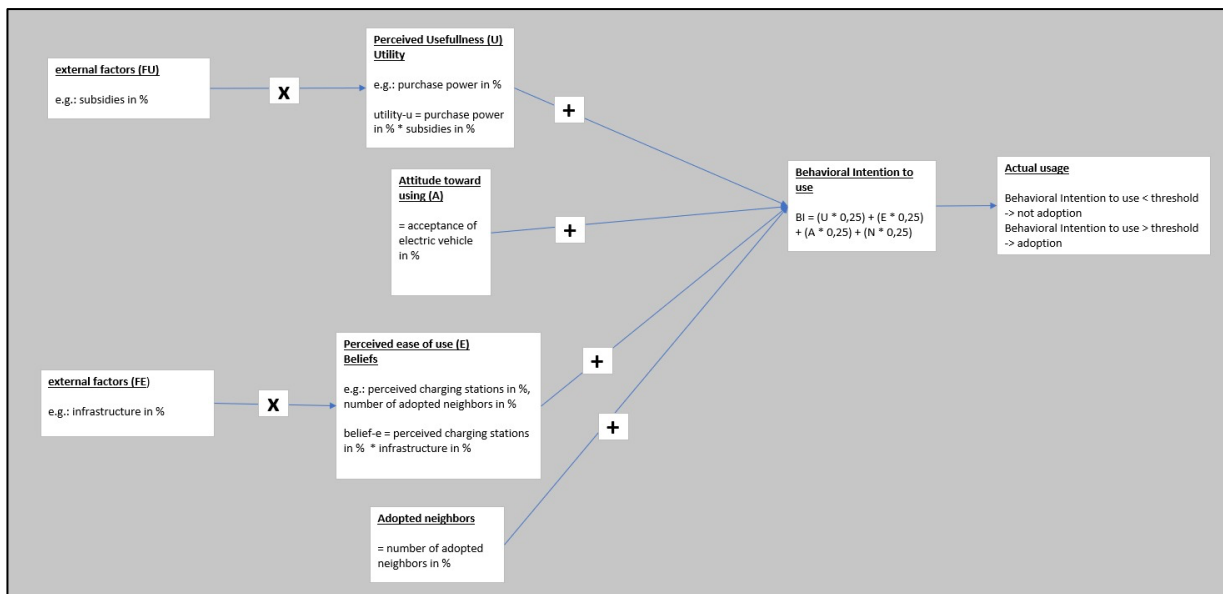
Die späteren Modelle des TAM 2 und des UTAUT gelten als weniger praxiserprobt und komplexer, weshalb sie nicht für vorliegende Simulation genutzt werden.

#### *Erklärung einzelner Bausteine*

- *External Variables* → wirken auf U und E ein
  - Beeinflussen, ob diese steigen oder sinken und damit auch, ob eine Innovation adaptiert wird
- *Perceived Usefulness (U)* → „wahrgenommene Nützlichkeit“; nach außen, **Utility**
  - Wahrnehmung eines Individuums: durch die Innovation wird Leben bereichert/verbessert/vereinfacht
  - Je größer der individuelle Nutzen eingeschätzt wird, desto höher U – je größer U, desto größer die Wahrscheinlichkeit der Adaption
  - „Was habe ich davon, wenn ich die Innovation adaptiere?“; Kosten-Nutzen-Abwägung; Aspekte von Rational Choice-Theorie
    - Zielt also eher auf z. B. Subventionen ab
- *Perceived Ease of Use (E)* → „wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit“; nach innen, **Belief/Desire**
  - Abwägung des Individuums: Größe des Aufwandes, den eine Technologieadaption mit sich bringen würde
  - Je geringer dieser Aufwand, desto höher E – je höher E, desto höher die Wahrscheinlichkeit der Adaption der Technologie
  - „Wie einfach wäre es für mich, wenn ich die Technologie adaptiere, auch mit ihr umzugehen?“; Marktsondierung
    - Zielt eher auf z. B. Infrastruktur oder auf die internen Motivationen/Charakteristika ab
- *Attitude toward Using (A)* → Voraussetzungen/Prädispositionen von Individuen (übersetzbar in Zahlenwert)

- *Behavioral Intention to Use (BI)* → Individuen denken genauer über die Durchführung Adaption nach
  - o Information: Das TAM geht davon aus (genau wie die TRA), dass wenn eine genügend große BI geformt wurde, Individuen auch zwangsläufig danach handeln (d. h. aus positivem BI ergibt sich zwingend auch *actual system use*)
- *Actual System Use* → eine Innovation wird vom Individuum adaptiert

### Eigene Modifikation des TAM



### *Kurze Begründung und Erklärung der Modifikationen und Ergänzungen*

#### Ergänzung von „Adopted neighbors“ als eigenen, unabhängigen Einflussfaktor:

- Begründung: adaptierte Nachbarn können durch bspw. sozialen Druck eine Adaption auslösen; möglich ist auch eine Form des „Herdentriebs“ des Menschen
- Korrespondenz zwischen *adopted-neighbors* im eigens modifizierten TAM und den Faktoren der **Normative Beliefs + Motivation to comply** aus der TRA bzw. deren Weiterentwicklung:
  - o Hierzu Albarracín & Ajzen (2007, S. 5): „A second type of consideration has to do with the perceived normative expectations of relevant referent groups or individuals. Such salient normative beliefs lead to the formation of a *subjective norm* – the perceived social pressure to perform or not to perform the action.“
  - o Weiterhin heißt es bei Albarracín & Ajzen (2007, S. 6): „Normative beliefs refer to the perceived behavioral expectations of important referent individuals or groups such as the person’s family, friends, coworkers [...].“



- Weiterer Bezug zur Literatur: bewusst keine Integration in E im vorliegenden Modell, obwohl diese auch denkbar gewesen wäre: angelehnt an TAM2 nach Venkatesh & Davis (2000) als Faktor „Image“, mit Begründung nach Moore & Benbasat (1991, S. 195): *Grad, in dem die Adaption einer Innovation zur Erhöhung des eigenen Status im sozialen System beiträgt*

#### Entfernen der Auswirkung von Ease of Use (E) auf Usefulness (U)

- kein praktischer Nutzen bzw. keine Erklärbarkeit im für uns relevanten Untersuchungsbereich
- Begründung: eher isolierte Wirkung von externen Faktoren auf U, sowie auf E zu untersuchen – dazu kommt die spätere Akkumulation der einzelnen Einflussfaktoren innerhalb von BI, aus welcher sich die Handlung des Individuums ergeben soll
- Durch diese Konstellation: bessere Erklärbarkeit von einzelnen Effekten UND einfachere Möglichkeit zur späteren Gewichtung einzelner Faktoren im TAM

#### Weitere Anpassungen

- Gewichtung der Faktoren U, E, A und „Adopted Neighbors“ mit jeweils 0,25 als Faktor für das Ausgangsmodell
- Spätere Angleichungen der Gewichtungen für die unterschiedlichen Szenarien im Behavior Space (genauer s. u. im zugehörigen Absatz)

#### → Ergibt als Formel zur Berechnung von behavior-bi:

$$U + E + A + AN = BI$$

Mit: AN = *adopted-neighbors*

#### Basic principles

*Fragen an das Modell*

1. Wie beeinflussen die beiden externen Faktoren „staatliche Subventionen“ und „Ausbau von Infrastruktur“ die Verbreitung der Innovation (abhängig von der jeweiligen Gewichtung)?
2. Ab welchem Punkt ist die erhöhte Verbreitung der Innovation über die externen Faktoren optimal (abhängig von der jeweiligen Gewichtung)?
3. Ab wann greift ein Netzwerkeffekt durch den Einfluss bereits adaptierter Nachbarn? Wann ist dieser am größten bzw. am stärksten zu beobachten?

### **Komplexes System / externe Faktoren**

- Modell als SI-Modell konzipiert: Akteure haben explizit nicht die Möglichkeit, die Innovation rückgängig zu machen (i. e. zurück zu einem konventionellen Antrieb zu wechseln)
- Wofür die externen Faktoren stehen (denkbare Auswahl, erweiterbar): Subventionen des Staats für E-Fahrzeuge, Vorhandensein von nötiger Infrastruktur und Ausbau dieser, Treibstoff-Besteuerung, erhöhter Preis für konventionelle Fahrzeuge, Verbot von Verbrennermotoren auf absehbare Zeit, ...
- Wahrgenommener Nutzen des E-Fahrzeugs im eigenen Netzwerk (i. e. enger Freundeskreis und Familie) bzw. sozialer Druck in Richtung Adaption über die bereits adaptierten Nachbarknoten (s. o.: besprochener Faktor der *adopted-neighbors*)

### *Aspekt der Dynamik*

#### **Dynamik entsteht durch:**

1. Unterschiedlich hohe Prädispositionen von Individuen in der Initialisierungsphase des Netzwerks
2. Unterschiedlich hohe Werte für den *individual-thold* für jede Typ-Gruppe nach Wolf et al. (2015)
3. Externe Variablen und deren Wirkkombination bzw. deren „Wichtigkeit“ (über die Faktoren gesteuert) → getestet in unterschiedlichen Szenarien, mit unterschiedlicher Gewichtung
4. Auswirkungen der Netzwerkstruktur (*adopted-neighbors*): wenn bereits viele E-Fahrzeug-Nutzer erzeugt wurden, stellt auch das einen Faktor dar, der den *behavior-bi* steigern kann
5. Wirkung des „Zufalls“ wird berücksichtigt: nicht alle Individuen sollen zu jedem Zeitpunkt Kosten-Nutzen-Abwägungen treffen und rational abwägende Akteure sein (→ Berücksichtigung dessen durch Ergänzung einer zufälligen Adaption von 0-2 Akteuren/Tick)
  - Führt potenziell über Änderung von *adopted-neighbors* zu Kaskaden in kleinerem Rahmen

## Zu den Designkonzepten nach Grimm et al. (2011)

### *Learning*

- Liegt nicht vor
- Kein Wissen der Akteure in der Vergangenheit
- Fokus auf die Gegenwart: Akteure sind sich nur tick-per-tick bewusst über Entscheidungen

### *Prediction*

- Kein probabilistisches decision making der einzelnen Akteure, sondern Reaktion auf äußeren Input (externe Faktoren) in Kombination mit eigenen Eigenschaften
- Statisches decision making: immer nach vorgegebener Formel (s. o.)
- Kein interner Mechanismus für Akteure, mathematisch die Zukunft zu bestimmen

### *Objectives & Adoption*

- Evaluation, ob Individuum adaptiert hat oder nicht
- Wenn adaptiert, dann Änderung der Farbe zu grün (in Form eines Autos). Wenn nicht, erneute Evaluation im nächsten tick.

### *Interaction*

- Interaktionen prinzipiell nur zwischen miteinander verbunden Knoten.

### *Sensing*

- Ein Individuum nimmt die Adaptionentscheidungen seiner benachbarten (mit Kanten verbundenen) Knoten wahr. Diese beeinflussen das Individuum (*adopted-neighbors*).
- Ein Individuum nimmt externe Faktoren (*infrastructure* bzw. *subsidies*) wahr, die mit seinen bestehenden Voraussetzungen (*pcs*, *pupo* und *aoev*) verrechnet werden.

### *Stochasticity*

- Zufälligkeit der Adaption auf Basis eines Entscheidungskoeffizienten, ergeben aus Charakteristika (*pcs*, *pupo* und *aoev*) verrechnet mit externen Faktoren und Netzwerk (*adopted-neighbors*).
- Initialisierung: „Welche Knoten starten mit einem E-Fahrzeug?“ (2,6%)

### Observation

- Z. B. einmal Vor-Simulation des Modells mit aktuellem Stand von Verbreitung der E-Fahrzeuge in Deutschland (Plug-In Hybride + komplettes E-Fahrzeug = 2,6%, Stand 2022, ADAC) an Opinion Leaders und Progressives

## Details

---

### Initialization

- Slider für Anzahl an Knoten im Modell (bis zu 1000)
- Kanten: entstehen aufgrund von Freundschafts-/Verwandtschaftsbeziehungen
  - o Benötigtes Wissen über die durchschnittliche Größe eines sozialen Netzwerks eines Individuums in Deutschland → Gillespie et al. (2015)
  - o Wie viele Kanten sind vorhanden? → *average-node-degree* von 9
- Slider für:
  - o *infrastructure* → Ausbau von E-Ladestationen (0.0 bis 1.0, Darstellung in %)
  - o *subsidies* → Subventionen durch den Staat (0.0 bis 1.0, Darstellung in %)
- Wie viele E-Autos zum Start? (vgl. ADAC Standardwert für 2022 = 2,6%)
  - o Verteilung auf Eco-oriented Opinion Leaders und Innovation-oriented Progressives als Vorreiter/early adopters

### Input Data

- Hauptsächlich basierend auf *Changing minds about electric cars: An empirically grounded agent-based modeling approach* von I. WOLF (2015): unterschiedliches Umweltbewusstsein und unterschiedlicher Pragmatismus von E-Fahrzeug-Adaptierenden (s. o.)
- Dazu kommen Informationen über familiäres Umfeld aus dem ESS 2018 (durchschnittliche Familiengröße), sowie aus Gillespie et al. (2015) zur durchschnittlichen Anzahl engerer Freunde eines Individuums

## Behavior Space: Optionen und Szenarien

---

Szenarien: Spätere Angleichungen der Gewichtungen für die unterschiedlichen Szenarien im Behavior Space, um mehr potenzielle Erklärungen herauszuarbeiten (Änderung per Slider):

1. Grundszenario: alle TAM-Faktoren zu  $\frac{1}{4}$  gewichtet
2. Gewichtung von U zu  $\frac{1}{3}$  und restliche  $\frac{2}{3}$  verteilen auf E, A und adopted-neighbors
3. Gewichtung von U und A jeweils zu  $\frac{1}{3}$ , restliche  $\frac{1}{3}$  verteilen auf E und adopted-neighbours
4. Gewichtung von E zu  $\frac{1}{3}$  und restliche  $\frac{2}{3}$  verteilen auf U, A und adopted-neighbors
5. Gewichtung von E und adopted-neighbors jeweils zu  $\frac{1}{3}$ , restliche  $\frac{1}{3}$  verteilen auf U und A
6. Gewichtung von adopted-neighbors zu 50% – restliche 50% verteilen auf U, E und A

## Quellen aus Literatur und Praxis

---

### Literatur

- [ADAC \(05.07.2022\). PKW-Neuzulassungen. Absatz im Juni 2022 weiter schwach.](#) (Stand: 05.07.2022).
- Albarracín, D., & Ajzen, I. (2007). Predicting and changing behavior: A reasoned action approach. *Prediction and Change of Health Behavior: Applying the Reasoned Action Approach*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, 3-21.
- Buchmann, T., Wolf, P., & Fidaschek, S. (2021). Stimulating E-Mobility Diffusion in Germany (EMOSIM): An Agent-Based Simulation Approach. *Energies*, 14(3), 656.
- Chang et al. (2021): Assess Electric Vehicle Adoption Through an Agent Based Approach.
- Davis, F. D. (1989), Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology, *MIS Quarterly*, 13 (3): 319–340, DOI: 10.2307/249008.
- Davis, F. D.; Bagozzi, R. P.; Warshaw, P. R. (1989), User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models, *Management Science*, 35 (8): 982–1003, DOI: 10.1287/mnsc.35.8.982.
- Ebrie et al. (2022): Investigating Market Diffusion of Electric Vehicles with Experimental Design of Agent-Based Modeling Simulation.
- European Social Survey (2019). ESS Round 9 (2018/2019) Technical Report. London: ESS ERIC.

- GESIS - Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften (2019): Allgemeine Bevölkerungsumfrage der Sozialwissenschaften ALLBUS 2018. *GESIS Datenarchiv*. Köln. DOI: 10.4232/1.13250.
- Gillespie, B. J., Lever, J., Frederick, D., & Royce, T. (2015). Close adult friendships, gender, and the life cycle. *Journal of Social and Personal Relationships*, 32(6), 709–736. <https://doi.org/10.1177/0265407514546977>
- Günther et al. (2018): An Agent-Based Simulation Using Conjoint Data: The Case of Electric Vehicles in Germany.
- Jensen et al. (2017): Automating agent-based modeling: Data-driven generation and application of innovation diffusion models.
- Kangur et al. (2017): An agent-based model for diffusion of electric vehicles.
- Kiesling et al. (2012): Agent-based simulation of innovation diffusion: a review.
- Klein et al. (2020): Home charging and electric vehicle diffusion: Agent-based simulation using choice-based conjoint data
- McCoy, D. & Lyons, S. (2014). Consumer preferences and the influence of networks in electric vehicle diffusion: An agent-based microsimulation in Ireland. *Energy Research & Social Science*, 3, 89-101.
- Moore, G. C., & Benbasat, I. (1991). Development of an instrument to measure the perceptions of adopting an information technology innovation. *Information systems research*, 2(3), 192-222.
- Plötz, P., Gnann, T., & Wietschel, M. (2014). Modelling market diffusion of electric vehicles with real world driving data—Part I: Model structure and validation. *Ecological Economics*, 107, 411-421.
- Ramsey et al. (2018): Diffusion of Electric Vehicles: An Agent-Based Modelling Approach.
- Silvia et al. (2016): Assessing the impact of policy interventions on the adoption of plug-in electric vehicles: An agent-based model.
- Stonedahl, F. & Wilensky, U. (2008). NetLogo Virus on a Network model. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/VirusonaNetwork>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Sun et al. (2019): The effects of public subsidies on emerging industry: An agent-based model of the electric vehicle industry.
- Venkatesh, V. (2000), "Determinants of perceived ease of use: Integrating control, intrinsic motivation, and emotion into the technology acceptance model", *Information Systems Research*, vol. 11, pp. 342–365.

- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478. <https://doi.org/10.2307/30036540>.
- Venkatesh, V.; Davis, F. D. (2000), A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies, *Management Science*, 46 (2): 186–204.
- Wolf et al. (2015): Changing minds about electric cars: An empirically grounded agent-based modeling approach..
- Wolf, I., Nuss, J., Schröder, T., & de Haan, G. (2012, September). The adoption of electric vehicles: An empirical agent-based model of attitude formation and change. In *Proceedings of the 8th Conference of the European Association for Social Simulation*, pp. 93-98.
- Wolf, I., Schröder, T., Neumann, J., & de Haan, G. (2015). Changing minds about electric cars: An empirically grounded agent-based modeling approach. *Technological forecasting and social change*, 94, 269-285.
- Xiao (2017): Forecasting new product diffusion with agent-based models.
- Zhang et al. (2019): Empirically grounded agent-based models of innovation diffusion: a critical review.
- Zhang, H. (2015): Data-Driven Agent-based Modeling of Innovation Diffusion.
- Zhang, H., Vorobeychik, Y. (2019). Empirically grounded agent-based models of innovation diffusion: a critical review. *Artif Intell Rev*, 52, 707–741.
- Zhuge et al. (2021): Exploring the role of technology innovations in the diffusion of electric vehicle with an agent-based spatial integrated model.
- Zsifkovits et al. (2015): Simulating resistances in innovation diffusion over multiple generations: an agent-based approach for fuel-cell vehicles.

### **Bereits erfolgte Implementierungen und Inspiration**

- [https://github.com/tobibuchmann/EMOSIM\\_basic](https://github.com/tobibuchmann/EMOSIM_basic) (Verweis auf: Buchmann et al., 2021)