

Modellierung von haushaltsseitigen Entscheidungsprozessen zur Adoption von Aufdach-Photovoltaik: Theorie und Umsetzung

Emily Schulte¹, Fabian Scheller², Simon Johanning¹

Highlights

- Für die Erstellung des Simulationsmodells PVact wird eine theoretisch und empirisch verankerte Logik für die Entscheidung von Haushalten für oder gegen die Installation einer Aufdach-Photovoltaikanlage entwickelt.
- Dazu wird der Literaturkörper zu Aufdach-Photovoltaik auf sein theoretisches Fundament und zentrale Einflussfaktoren untersucht.
- Nachdem Haushalte Bewusstsein über und Interesse an der Technologie erlangt haben, wird als nächster Prozessschritt eine Machbarkeitsprüfung durchgeführt, auf die bei positivem Ausgang eine Evaluierung mit anschließender Entscheidung folgt.
- Eine Aufdach-Photovoltaikanlage kann nur von Bewohnern von privaten 1-2 Familienhäusern adoptiert werden, die über ein ausreichendes Einkommen verfügen (Machbarkeit). Die individuelle Evaluierung berücksichtigt finanzielle, soziale und räumliche Überlegungen und das individuelle Umweltbewusstsein sowie die Innovativität.

¹Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement, Universität Leipzig

²Department of Technology, Management and Economics, Technical University of Denmark

Einleitung

Die Energieinfrastruktur, einschließlich der Produktion, der Verteilung und des der Nutzung, wird zunehmend komplexer. Diese Entwicklung wird unter anderem dadurch angetrieben, dass sich die große Gruppe der privaten Verbraucher, der Haushalte, verändert. Ihr vormals relativ gut prognostizierbares Verhalten wird durch den Einsatz von Niedrigemissionstechnologien wie z.B. energieeffizienten Haushaltsgeräten, Wärmepumpen, Elektroautos und Photovoltaikanlagen diversifizierter.³ Mögliche neue Lastspitzen durch das Aufladen von Elektroautos und Wärmepumpen, Einspeisung von Überschussstrom von Photovoltaikanlagen, sinkender Verbrauch aufgrund des Einsatzes moderner Technologien, verschobene Lastspitzen oder die zunehmend autarke Stromversorgung von Haushalten mit Photovoltaikanlagen und Batterien erschweren die langfristige Planung der gemeinsamen Energieinfrastruktur. Zwar werden auch heute die Versorgungsunternehmen in ihren Entscheidungen durch techno-ökonomische Energiesystemmodelle unterstützt, jedoch scheinen im Lichte der Entwicklungen Modelle, die nur wirtschaftliche Faktoren und rationale Entscheidungen berücksichtigen, nicht mehr auszureichen.⁴ Um dezentrale Entwicklungen in einem Versorgungsgebiet in Planungen einbeziehen zu können ist es deshalb nötig, Investitionen von Haushalten bezüglich Niedrigemissionstechnologien räumlich und zeitlich explizit zu simulieren.⁵

Um die beschriebene Problemstellung zu adressieren, wurde im Rahmen des Projektes SUSIC das Modell PVact entwickelt, das die vielfältigen Einflüsse auf die Investitionsentscheidungen von heterogenen Haushalten auf der Mikroebene abbildet. In einem nächsten Schritt kann das aggregierte Verhalten auf der Makroebene abgeleitet und dessen Wechselwirkung mit techno-ökonomischen Entwicklungen untersucht werden. Aufgrund der großen Unterschiede zwischen Niedrigemissionstechnologien, sowohl was ihr Anwendungsgebiet, ihre Wirkung, Kosten und Innovativität betrifft, kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Prozess hin zu einer Entscheidung bei allen Technologien gleich ausgeprägt ist. Um dieser Problematik zu begegnen, wurde die Aufdachphotovoltaikanlage als

³Vgl. IEA, 2022.

⁴Vgl. Kraan u. a., 2019; Li u. a., 2015.

⁵Z.B. Hesselink und Chappin, 2019; Niamir u. a., 2018.

Beispieltechnologie ausgewählt, anhand derer das Simulationsmodell entwickelt wurde.

Um das angestrebte Simulationsmodell zur Beschreibung der Investitionen von Privathaushalten in Aufdachphotovoltaikanlagen zu entwickeln, war es zunächst von zentraler Relevanz, die wichtigsten Einflussfaktoren auf die individuelle Investitionsentscheidung zu identifizieren. Danach mussten die Einflussfaktoren in einen Entscheidungsprozess, also einer Abfolge von Schritten hin zu einer möglichen Entscheidung, integriert werden. Dabei wurde einerseits bestehende empirische Literatur zur Adoption von Aufdachphotovoltaikanlagen hinzugezogen, andererseits wurden relevante Theorien in der Modellentwicklung berücksichtigt. Der Entscheidungsprozess musste zuletzt in eine für eine Agentensimulation handhabbare und verständliche Form gebracht werden.

Empirische Forschung und Entscheidungstheorien

Entscheidungstheorien im Kontext von privater PV-Adoption

Die ersten Studien über die Adoption von Photovoltaik(PV)-Anlagen in Privathaushalten wurden in den frühen 1980er Jahren durchgeführt.⁶ Dabei wurde die Diffusionsinnovationstheorie (DOI)⁷ zur Erklärung der Motive von frühen Adoptern angewandt. Seitdem ist ein umfangreicher Literaturkörper entstanden, der verschiedene konzeptionelle und methodische Ansätze verfolgt. Während einige Forscher die Entscheidung für oder gegen eine Photovoltaikanlage in einem theoretischen Vakuum analysieren,⁸ scheinen sich drei Verhaltenstheorien als theoretisches Fundament der Literatur etabliert zu haben: Die bereits genannte DOI, die Theorie des geplanten Verhaltens (TPB)⁹ und die Value-Belief-Norm Theory (VBN)^{10,11}

⁶z.B. Labay und Kinnear, 1981; Sawyer, 1982.

⁷Siehe Rogers, 2003.

⁸Vgl. Islam, 2014; Palm, 2018; Rai u. a., 2016.

⁹Siehe Ajzen, 1991, 2020.

¹⁰Siehe Stern, 2000.

¹¹Vgl. Alipour u. a., 2021; Wolske, Stern u. a., 2017.

Die DOI ist ein konzeptionelles Paradigma, welches verwendet wird, um zu verstehen, warum und wie Innovationen in einem sozialen System erfolgreich sind. Grundsätzlich wird angenommen, dass sich Innovationen über Kommunikationskanäle in einer Gesellschaft verbreiten, und dabei einer S-Kurve folgen. Wann und wie stark sich die Diffusion beschleunigt und wann Sättigung erreicht ist, hängt von der Innovation und dem sozialen System ab. In der DOI wird die Entscheidung für oder gegen eine Innovation in einem fünfstufigen Entscheidungsprozess (Wissen, Überzeugung, Entscheidung, Umsetzung, Bestätigung) abgebildet, der die komplexen inter- und intrapersonellen mentalen Prozesse rund um eine Entscheidung darstellen soll.¹² Der Prozess wurde bis heute wenig untersucht, da umfangreiche, wiederkehrende und damit schwer durchzuführende Studien in einem stabilen Umfeld notwendig wären, um seine Gültigkeit nachzuweisen.¹³ Stattdessen werden verschiedene Variablen aufgegriffen, die im Konzept der DOI auftauchen. Die Theorie legt nahe, dass die Geschwindigkeit der Diffusion einer Innovation nicht primär von ihren intrinsischen Eigenschaften abhängt, sondern davon, wie sie von potenziellen Adoptern wahrgenommen wird. Als relevant werden die Merkmale relativer Vorteil, Kompatibilität, Komplexität, Beobachtbarkeit und Erprobbarkeit genannt. Weiterhin hängt laut DOI der Zeitpunkt der Adoption eines Individuums innerhalb eines sozialen Netzwerks von individuellen Merkmalen ab, einschließlich soziodemografischer (z. B. Bildung, Einkommen) und psychografischer (z. B. Innovativität, Weltoffenheit) Maße, die zwischen den Erstanwendern, den so genannten Innovatoren, und den Nachzüglern, die die Innovation als Letzte annehmen, variieren. In einer Meta-Analyse zur Innovationsadoption konnte gezeigt werden, dass psychografische Merkmale wichtige Prädiktoren für Absichten und Verhalten sind, wohingegen soziodemografischen Merkmale keinen Einfluss zu haben scheinen.¹⁴

In VBN wird umweltfreundliches Verhalten durch individuelle Merkmale, die mit der Einstellung gegenüber der Umwelt zusammenhängen, vorausgesetzt.¹⁵ Dabei wird, ähnlich wie in der Anwendung von psychografischen und soziodemografischen Merkmalen in der DOI, kein Zusammenhang zwischen individuellen Merkmalen und der Einschätzung einer konkreten Verhaltensweise hergestellt. Stattdessen wird angenommen, dass Umwelt-

¹²Vgl. Rogers, 2003.

¹³Vgl. Ajzen, 1991; Rogers, 2003.

¹⁴Vgl. Arts u. a., 2011.

¹⁵Vgl. Stern, 2000.

bewusstsein (VBN) bzw. Innovativität (DOI) jedes umweltfreundliche bzw. innovative Verhalten direkt vorhersagen können. Diese Annahme ist jedoch schwer haltbar, denn es gibt keinen prototypischen grünen Verbraucher, und eine besonders innovative Person kann nicht gleichzeitig alle Innovationen annehmen.¹⁶

Während in der DOI fünf wahrgenommene Merkmale von Innovationen als zentral für deren Erfolg in einem sozialen System angenommen werden, bietet die TPB einen konkreteren analytischen Rahmen für das Verständnis des individuellen Verbraucherverhaltens.¹⁷ In TPB wird die individuelle Verhaltensabsicht durch die Konstrukte *Einstellung* gegenüber des Verhaltens, *subjektive Norm* und *wahrgenommene Verhaltenskontrolle* vorhergesagt. Verhaltensabsicht und Verhaltenskontrolle prognostizieren wiederum das Verhalten.¹⁸ Individuelle Merkmale (z.B. Alter, Bildung, Stimmung, Werte, Wissen) und soziale Faktoren (z.B. Religion, Kultur, Wirtschaft, Medien) werden als Hintergrundfaktoren beschrieben, die keinen direkten Effekt auf die Verhaltensabsicht oder das Verhalten haben, sondern die Bewertung der drei Konstrukte beeinflussen.¹⁹ Diese kausale Kette geht einher mit Aussagen von Arts und Wolske, die die Adoption von (umweltfreundlichen) Innovationen als einen zielgerichteten Prozess beschreiben, in dem Verhaltensweisen durch Individuen bewertet werden.²⁰

Einflussfaktoren auf die Adoption von PV-Anlagen

Aus den zahlreichen in der wissenschaftlichen Literatur untersuchten Einflussfaktoren für Haushaltsinvestitionen in Photovoltaikanlagen können vier relevante Themenbereiche abgeleitet werden.²¹

Finanzielle Überlegungen spielen eine zentrale Rolle bei der Entscheidung für oder gegen eine Photovoltaikanlage. Einerseits hängt deren Wirtschaftlichkeit von individuellen Gegebenheiten ab. Dazu gehört zunächst die generelle Entscheidungsgewalt eines Haushaltes über eine Dachfläche, die gegeben sein muss um eine Investition überhaupt in Betracht ziehen

¹⁶Vgl. Peattie, 2010.

¹⁷Vgl. Ajzen, 1991.

¹⁸Vgl. ebd.

¹⁹Vgl. Ajzen, 2020.

²⁰Vgl. Arts u. a., 2011; Wolske, Stern u. a., 2017.

²¹Vgl. Schulte, Scheller, Pasut u. a., 2022.

zu können. Die verfügbare solare Strahlungsmenge wird grundsätzlich durch die geographische Lage der Dachfläche bestimmt; weiterhin spielen die Dachneigung und -orientierung eine Rolle, da sie die Ausnutzung der verfügbaren Strahlungsmenge beeinflussen.²² Andererseits wird die Wirtschaftlichkeit durch techno-ökonomische und politische Rahmenbedingungen bestimmt, zu denen unter anderem Investitionskosten, Anlageneffizienz, die garantierte Einspeisevergütung, die steigenden Strompreise und der angenommene Zinsfuß zählen, die sich über die Zeit verändern. Ist eine Anlage rentabel, eignet sie sich als Investitionsobjekt. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass Haushalte mit höheren Einkommen eher dazu tendieren, eine Photovoltaikanlage zu installieren, als Haushalte mit niedrigen Einkommen.²³

Auch dem Themenbereich der **sozialen Norm** kommt große Aufmerksamkeit in der PV Adoptionsforschung zuteil. So konnte gezeigt werden, dass der Eindruck, das eigene soziale Netzwerk würde eine Investition in eine Photovoltaikanlage gut finden, einen positiven Einfluss auf die Investition hat.²⁴ In der Literatur wird dabei oftmals zwischen aktiven und passiven Peereffekte unterschieden. Einerseits steht die PV-bezogene Kommunikation mit relevanten Stakeholdern positiv mit der Adoptionsentscheidung in Verbindung.²⁵ Die Art der Kommunikation, die Einschätzung des Gegenübers und auch der Fortschritt im Entscheidungsprozess spielen dabei hinsichtlich der Einflusswirkung eine Rolle.²⁶ Eine weitere Komponente des sozialen Einflusses ist der passive Peereffekt.²⁷ So konnte in Studien gezeigt werden, dass mehr Photovoltaikanlagen im räumlichen Umfeld mit einer erhöhten Adoptionswahrscheinlichkeit zusammenhängen, wodurch es zu Clusterbildungen kommt.²⁸ Insgesamt ist es jedoch schwierig, die Effekte einzugrenzen und kausale Erklärungen für beobachtbare Zusammenhänge zu finden.²⁹

Zahlreiche Studien untersuchen zudem die Zusammenhänge zwischen den persönlichen Merkmalen **Umwelteinstellungen** und **Innovativität** und

²²Vgl. Galvin, 2020.

²³Vgl. Jacksohn u. a., 2019.

²⁴Vgl. Aggarwal u. a., 2019; Petrovich u. a., 2019.

²⁵Vgl. Mundaca und Samahita, 2020; Scheller, Doser, Schulte u. a., 2021.

²⁶Vgl. Scheller, Doser, Sloot u. a., 2020; Scheller, Graupner u. a., 2022.

²⁷Vgl. Bollinger und K. Gillingham, 2010.

²⁸Vgl. Baginski und Weber, 2019; Rode und Müller, 2019.

²⁹Vgl. Wolske, K. T. Gillingham u. a., 2020.

der Kaufabsicht bzw. dem Kauf. In einer Meta-Analyse von Studien zur Investitionsabsicht in Photovoltaikanlagen konnte gezeigt werden, dass beide Konstrukte durch die Einstellung gegenüber der PV-Anlage indirekt auf die Kaufabsicht wirken.³⁰

Entscheidungsverhalten in PVact

Basierend auf den obenstehenden Ausführungen wird die Entscheidung eines Agenten für oder gegen eine PV-Anlage im Agentenmodell als Prozess mit sechs Zuständen abgebildet (Z1 - Z6) (siehe Abbildung 3.1). Agenten entsprechen den zu Wohnzwecken genutzten Adressen im zu untersuchenden Gebiet - somit ist jeder bewohnten Adresse im Untersuchungsgebiet ein Agent zugeordnet.

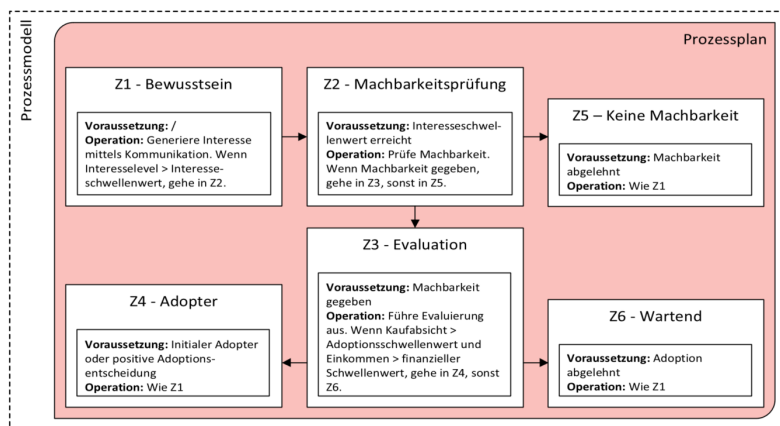


Abbildung 3.1.: Prozessplan für die Agenten in der Simulationssoftware PVact. Eigene Darstellung.

Der Prozess setzt am Bewusstsein über die Existenz von Aufdach-Photovoltaikanlagen (Z1) an. In Anlehnung an die DOI kommunizieren Agenten in diesem Zustand innerhalb ihres sozialen Netzwerkes und generieren

³⁰Vgl. Schulte, Scheller, Sloot u. a., 2022.

darüber Interesse an Photovoltaikanlagen.³¹ Je weiter die Kommunikationspartner im Entscheidungsprozess fortgeschritten sind, desto mehr Interessenpunkte erhält der andere Agent. Interessenpunkte addieren sich auf und bei Überschreiten des Interessenschwellenwertes gehen Agenten in den nächsten Zustand über. Mit Z₁ wird die Grundvorstellung der DOI, dass sich Innovationen mittels Kommunikation der klassischen S-Kurve folgend in einer Gesellschaft ausbreiten, integriert. Im zweiten Zustand (Z₂) prüfen Agenten, ob sie Entscheidungskompetenz in Bezug auf Photovoltaikanlagen haben. Entscheidungskompetenz ist gegeben, wenn sie in einem privaten Ein- oder Zweifamilienhaus leben. Agenten, die über keine Entscheidungskompetenz verfügen, verharren bis zum Ende der Simulation in Zustand 5 (Z₅), der dadurch gekennzeichnet ist, dass die Agenten sich genauso verhalten wie in der Bewusstseinsphase.³² Im dritten Zustand (Z₃) findet eine Produktevaluierung mit anschließender Entscheidung für oder gegen die Investition statt. Sie fasst also die Überzeugungs- und Entscheidungsphase aus der DOI zusammen. Zwei Komponenten fließen in die Entscheidung ein. Das Einkommen der Agenten stellt eine Verhaltenskontrolle dar - unterschreitet es einen finanziellen Schwellenwert, kann nicht adoptiert werden. Zudem wird das Produkt evaluiert, und das Evaluationsergebnis (Kaufabsicht) wird mit dem Adaptionsschwellenwert verglichen. Nur wenn beide Schwellenwerte überschritten werden, adoptieren Agenten und werden zu Adoptern (Z₄), ansonsten finden regelmäßige Re-Evaluationen statt (Z₆).³³ Die Evaluierung basiert auf der oben dargestellten TPB, die an den speziellen Anwendungsfall angepasst wurde.

Um die Kaufabsicht zu berechnen werden fünf gewichtete Komponenten herangezogen. Mithilfe der geographischen Lage, der Dachorientierung und -neigung des Agenten und den sich jährlich entwickelnden techno-ökonomischen Spezifikationen von PV-Anlagen wird die **finanzielle Komponente** berechnet. In dieser wird der agenten- und jahresspezifische Kapitalwert einer 1 kW_{peak} Anlage berechnet, in Relation zu

³¹Initiales Interesse ist normalverteilt und wird absteigend nach Innovativität zugeordnet.

³²Entscheidungskompetenz kann im Rahmen von Neubaumaßnahmen erlangt werden, wodurch Agenten Z₅ wieder verlassen können.

³³Re-Evaluationen folgen der gleichen Logik wie Evaluationen und finden zu Beginn, Mitte und Ende der Simulationsjahre statt. Dadurch werden jeweils Veränderungen des Agenten (Umweltbewusstsein, Innovativität, Neubau), seines räumlichen und sozialen Umfeldes (verändertes Netzwerk, neue (potentielle) Adopter) und der techno-ökonomischen Gegebenheiten (jährliche Aktualisierung der Rahmenbedingungen) eingebunden.

dem durchschnittlichen Kapitalwert über den Simulationshorizont gesetzt, und mithilfe einer logistischen Funktion auf eine Skala von 0 - 1 gebracht. Werte $>0,5$ sprechen für eine verhältnismäßig rentable, und Werte $<0,5$ für eine verhältnismäßig unrentable Anlage. Das **Umweltbewusstsein** und die **Innovativität** des Agenten gehen als zwei weitere Komponenten in die Berechnung ein.³⁴ Die soziale Norm wird über zwei Komponenten integriert. Im Rahmen des **räumlichen Druckes** wird die relative Durchdringung von PV-Anlagen in einem Radius von 2 km um den Agenten herum betrachtet. Eine Durchdringung von 1 ist gegeben, wenn alle potentiellen Adopter, also solche Agenten die über Entscheidungsgewalt und ausreichendes Einkommen verfügen, eine PV-Anlage adoptiert haben. Nach demselben Schema wird der **soziale Druck** berechnet, wobei hierbei die Durchdringung im sozialen Umfeld betrachtet wird.

Danksagung

Dieser Beitrag wurde finanziert durch das Projekt „Smart Utilities and Sustainable Infrastructure Change“ (Antragsnummer 100378087 (SAB)).

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.



DOI: <https://doi.org/10.30819/5413.03>

Literatur

- Aggarwal, A. K., A. A. Syed und S. Garg (2019). »Diffusion of residential RT solar – is lack of funds the real issue?« In: *International Journal of Energy Sector Management* 14.2, S. 316–334. ISSN: 1750-6220. DOI: 10.1108/IJESM-02-2019-0004.
- Ajzen, I. (1991). »The Theory of Planned Behavior«. In: *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 50, S. 179–211.
- Ajzen, I. (2020). »The theory of planned behavior: Frequently asked questions«. In: *Human Behavior and Emerging Technologies* 2.4, S. 314–324. ISSN: 2578-1863. DOI: 10.1002/hbe2.195.

³⁴Das individuelle Umweltbewusstsein und die Innovativität verändern sich bei Kommunikationsevents entsprechend des Relative Agreement Algorithmus (Vgl. Chattoe-Brown, 2014; Deffuant u. a., 2002). Zudem erhöht sich das Umweltbewusstsein der Agenten jährlich um einen festen Faktor, basierend auf Bauske und Kaiser, 2019.

- Alipour, M., H. Salim, R. A. Stewart und O. Sahin (2021). »Residential solar photovoltaic adoption behaviour: End-to-end review of theories, methods and approaches«. In: *Renewable Energy* 170, S. 471–486. ISSN: 09601481. DOI: 10.1016/j.renene.2021.01.128.
- Arts, J. W., R. T. Frambach und T. H. Bijmolt (2011). »Generalizations on consumer innovation adoption: A meta-analysis on drivers of intention and behavior«. In: *International Journal of Research in Marketing* 28.2, S. 134–144. ISSN: 01678116. DOI: 10.1016/j.ijresmar.2010.11.002.
- Baginski, J. P. und C. Weber (2019). *Coherent estimations for residential photovoltaic uptake in Germany including spatial spillover effects: Working Paper*. URL: <http://hdl.handle.net/10419/201585>.
- Bauske, E. und F. G. Kaiser (2019). *Umwelteinstellung in Deutschland von 1996 bis 2016: Eine Sekundäranalyse der Umweltbewusstseinsstudien*. Hrsg. von Angelika Gellrich. Dessau-Rosslau. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-10-17_texte_128-2019_sekundaera_nalyse-umweltbewusstseinstudie.pdf.
- Bollinger, B. und K. Gillingham (2010). *Environmental Preferences and Peer Effects in the diffusion of solar PV*. Hrsg. von Unpublished Manuscript. URL: https://blog.zeit.de/gruenegeschaeft/files/2011/04/BollingerGillingham_PeerEffectsSolar.pdf.
- Chattoe-Brown, E. (2014). »Using Agent Based Modelling to Integrate Data on Attitude Change«. In: *Sociological Research Online* 19.1, S. 159–174. ISSN: 1360-7804. DOI: 10.5153/sro.3315.
- Deffuant, G., F. Amblard, G. Weisbuch und T. Faure (2002). »How can extremism prevail? A study based on the relative agreement interaction model«. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 5.4. URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/4/1.html>.
- Galvin, R. (2020). »I'll follow the sun: Geo-sociotechnical constraints on prosumer households in Germany«. In: *Energy Research & Social Science* 65, S. 101455. ISSN: 22146296. DOI: 10.1016/j.erss.2020.101455.
- Hesselink, L. X. und E. J. Chappin (2019). »Adoption of energy efficient technologies by households – Barriers, policies and agent-based modelling studies«. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 99, S. 29–41. ISSN: 13640321. DOI: 10.1016/j.rser.2018.09.031.
- IEA (2022). *Unlocking the Potential of Distributed Energy Resources: Power system opportunities and best practices*. Hrsg. von International Energy Agency. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/3520710c-c828-4001-911c-ae78b645ce67/UnlockingthePotentialofDERs_Powersystemopportunitiesandbestpractices.pdf.
- Islam, T. (2014). »Household level innovation diffusion model of photo-voltaic (PV) solar cells from stated preference data«. In: *Energy Policy* 65, S. 340–350. ISSN: 03014215. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.10.004.
- Jackson, A., P. Grösche, K. Rehdanz und C. Schröder (2019). »Drivers of renewable technology adoption in the household sector«. In: *Energy Economics* 81, S. 216–226. ISSN: 01409883. DOI: 10.1016/j.eneco.2019.04.001.

- Kraan, O., S. Dalderop, G. J. Kramer und I. Nikolic (2019). »Jumping to a better world: An agent-based exploration of criticality in low-carbon energy transitions«. In: *Energy Research & Social Science* 47, S. 156–165. ISSN: 22146296. DOI: 10.1016/j.erss.2018.08.024.
- Labay, D. G. und T. C. Kinnear (1981). »Exploring the Consumer Decision Process in the Adoption of Solar Energy Systems«. In: *The Journal of Consumer Research* 8.8, S. 271–278. DOI: 10.1086/208865.
- Li, F. G., E. Trutnevyte und N. Strachan (2015). »A review of socio-technical energy transition (STET) models«. In: *Technological Forecasting and Social Change* 100, S. 290–305. ISSN: 00401625. DOI: 10.1016/j.techfore.2015.07.017.
- Mundaca, L. und M. Samahita (2020). »What drives home solar PV uptake? Subsidies, peer effects and visibility in Sweden«. In: *Energy Research & Social Science* 60, S. 101319. ISSN: 22146296. DOI: 10.1016/j.erss.2019.101319.
- Niamir, L., T. Filatova, A. Voynov und H. Bressers (2018). »Transition to low-carbon economy: Assessing cumulative impacts of individual behavioral changes«. In: *Energy Policy* 118, S. 325–345. ISSN: 03014215. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.03.045.
- Palm, J. (2018). »Household installation of solar panels – Motives and barriers in a 10-year perspective«. In: *Energy Policy* 113, S. 1–8. ISSN: 03014215. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.10.047.
- Peattie, K. (2010). »Green Consumption: Behavior and Norms«. In: *Annual Review of Environment and Resources* 35.1, S. 195–228. DOI: 10.1146/annurev-environ-032609-094328.
- Petrovich, B., S. L. Hille und R. Wüstenhagen (2019). »Beauty and the budget: A segmentation of residential solar adopters«. In: *Ecological Economics* 164, S. 106353. ISSN: 09218009. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.106353.
- Rai, V., D. C. Reeves und R. Margolis (2016). »Overcoming barriers and uncertainties in the adoption of residential solar PV«. In: *Renewable Energy* 89, S. 498–505. ISSN: 09601481. DOI: 10.1016/j.renene.2015.11.080.
- Rode, J. und S. Müller (2019). *I Spot, I Adopt! A Discrete Choice Analysis on Peer Effects in Solar Photovoltaic System Adoption of Households*. (2019) Available at SSRN: DOI: 10.2139/ssrn.3469548.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations*. 5th ed. New York: Free Press. ISBN: 9780743222099.
- Sawyer, S. W. (1982). »Leaders in change: solar energy owners and the implications for future adoption rates«. In: *Technological Forecasting and Social Change* 21. ISSN: 00401625. DOI: 10.1016/0040-1625(82)90050-6.
- Scheller, F., I. Doser, E. Schulte, S. Johanning, R. McKenna und T. Bruckner (2021). »Stakeholder dynamics in residential solar energy adoption: findings from focus group discussions in Germany«. In: *Energy Research & Social Science* 76, S. 102065. ISSN: 2214-6296. DOI: 10.1016/j.erss.2021.102065.
- Scheller, F., I. Doser, D. Sloot, R. McKenna und T. Bruckner (2020). »Exploring the role of stakeholder dynamics in residential photovoltaic adoption decisions: A synthesis of the literature«. In: *Energies* 13.23, S. 6283. DOI: 10.3390/en13236283.
- Scheller, F., S. Graupner, J. Edwards, S. Johanning, C. Bergaentzle und T. Bruckner (2022). »Social Influence Throughout the Photovoltaic Adoption Process: Explo-

- ring the Impact of Stakeholder Perceptions«. In: *Energy RESEARCH LETTERS* 3.Early View, S. 33903. DOI: 10.46557/001c.33903.
- Schulte, E., F. Scheller, W. Pasut und T. Bruckner (2022). »Product traits, decision-makers, and household low-carbon technology adoptions: moving beyond single empirical studies«. In: *Energy Research & Social Science* 83, S. 102313.
- Schulte, E., F. Scheller, D. Sloot und T. Bruckner (2022). »A meta-analysis of residential PV adoption: the important role of perceived benefits, intentions and antecedents in solar energy acceptance«. In: *Energy Research & Social Science* 84, S. 102339.
- Stern, P. C. (2000). »New Environmental Theories: Toward a Coherent Theory of Environmentally Significant Behavior«. In: *Journal of Social Issues* 56.3, S. 407-424. DOI: 10.1111/0022-4537.00175.
- Wolske, K. S., K. T. Gillingham und P. W. Schultz (2020). »Peer influence on household energy behaviours«. In: *Nature Energy* 5.3, S. 202-212. DOI: 10.1038/s41560-019-0541-9.
- Wolske, K. S., P. C. Stern und T. Dietz (2017). »Explaining interest in adopting residential solar photovoltaic systems in the United States: Toward an integration of behavioral theories«. In: *Energy Research & Social Science* 25, S. 134-151. ISSN: 22146296. DOI: 10.1016/j.erss.2016.12.023.