

Empirische Verankerung der Haushaltsagenten und ihres Photovoltaik-Investitionsverhaltens

Emily Schulte¹, Fabian Scheller²

Highlights

- Theoretisch fundierte Entscheidungslogiken erfordern im Rahmen praxisrelevanter Entscheidungssimulationen mit heterogenen Agenten eine empirische Fundierung.
- In Zusammenarbeit mit Sinus Sociovision wurde eine Umfrage (N=1800) durchgeführt, um Agentengruppen zu charakterisieren und die Entscheidungslogik zu parametrisieren.
- Sinus Milieus unterscheiden sich bezüglich ihrer Innovationsaffinität und Kommunikativität sowie der Größe ihrer sozialen Netzwerke.
- Die Absicht, eine PV-Anlage zu kaufen, wird maßgeblich durch die finanzielle Bewertung und die Innovationsaffinität bestimmt; zudem verfügen Haushalte mit hoher Kaufabsicht über höhere Einkommen als Haushalte mit niedriger Kaufabsicht.

Einleitung

Das im Rahmen des Projektes 'Smart Utilities and Sustainable Infrastructure Change' (SUSIC) entwickelte Modellframework IRPact soll dazu

¹Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement, Universität Leipzig

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

dienen, die dezentralen Entscheidungen von Haushalten über Niedrigemissionstechnologien innerhalb eines räumlichen Gebietes im Zeitverlauf abzubilden. In der daraus abgeleiteten, konkretisierten Modellinstanz PVact wird die Entscheidung eines Agenten für oder gegen eine PV Anlage als Prozess mit sechs Zuständen (Z1-Z6) abgebildet (siehe Kapitel zu Haushaltsentscheidungen in diesem Band). Eine vereinfachte Version des Prozesses ist in Abbildung 10.1 dargestellt. Die Wohnorte der betrachteten Agenten entsprechen den zu Wohnzwecken genutzten Adressen im zu untersuchenden Gebiet.

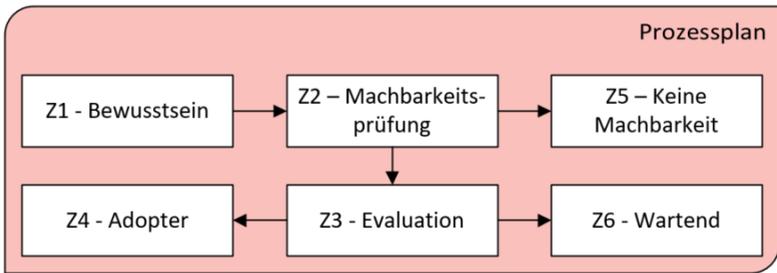


Abbildung 10.1.: Vereinfachter Prozessplan für die Agenten in der Simulationssoftware PVact. Eigene Darstellung.

Der Prozess beginnt mit dem initialen Wissen der Agenten darüber, dass Aufdach-Photovoltaikanlagen auf privaten Hausdächern installiert werden können (Z1). In diesem Zustand kommunizieren die Agenten innerhalb ihres sozialen Netzwerkes und generieren darüber möglicherweise ein grundsätzliches Interesse an Photovoltaikanlagen, das in seiner Ausprägung im Zeitverlauf wachsen kann. Überschreitet das Interesselevel (d.h. das Maß für die Ausprägung des aktuell vorhandenen Interesses an dem Erwerb einer PV-Anlage) den Interessenschwellenwert, prüft der Agent, ob er Entscheidungskompetenz in Bezug auf Photovoltaikanlagen hat (Z2). Über Entscheidungskompetenz verfügen im Kontext der von uns betrachteten privat zu errichtenden Anlagen nur private Ein- und Zweifamilienhäuser, welche nach erfolgreicher Prüfung eine Evaluierung vornehmen (Z3). Das Ergebnis wird mit einem für das Modell gesetzten Adoptionsschwellenwert verglichen. Zudem wird das Einkommen der Agenten mit einem finanziellen Schwellenwert verglichen. Überschreiten die Bewertung und

das Einkommen die Schwellenwerte, adoptiert der Agent (Z4). Die Evaluierung findet im Rahmen einer Nutzwertgleichung statt, welche die finanzielle Bewertung ($U_f(i)$), die Innovationsaffinität ($U_{ns}(i)$) und das Umweltbewusstsein ($U_{ec}(i)$) des Agenten, sowie den sozialen ($U_s(i)$) und räumlichen Druck ($U_l(i)$) eine PV-Anlage zu kaufen berücksichtigt. Das Ergebnis der Evaluierung ist der agentenspezifische gewichtete Nutzen der fünf Komponenten $U(i)$.

$$U(i) = w_{NPV} * U_f(i) + w_s * U_{soc}(i) + w_{loc} * U_l(i) + w_{ec} * U_{ec}(i) + w_{ns} * U_{ns}(i) \quad (10.1)$$

Während die Gewichte der Komponenten (w_{NPV} , w_{soc} , w_{loc} , w_{ec} , w_{ns}) einheitlich festgelegt sind, sind die Komponenten agentenspezifisch und zeitvariabel.

Verfügt ein Agent nicht über Entscheidungskompetenz, oder entscheidet er sich gegen eine Photovoltaikanlage, wird er in den Zustand Z5 (Keine Machbarkeit) oder Z6 (Wartend) versetzt. Beide Phasen sind ausgestaltet wie Z1, zusätzlich finden in Z6 regelmäßige Re-Evaluationen statt.

Um ein lauffähiges Modell zu erhalten, müssen die den dargestellten Mechanismen zugrunde liegenden Variablen erhoben werden.

Um dem Anspruch eines theoretisch und empirisch fundierten Modells mit heterogenen Agenten gerecht zu werden, werden die sogenannten Sinus Milieus³ hinzugezogen. Die aus der Sozial- und Marktforschung stammende Segmentierung basiert auf einem sozialen Milieuansatz, der Milieus, die als Gruppen von Gleichgesinnten bezeichnet werden können, anhand von sozialem Status, Lebensstil und Grundwerten gruppiert. Sinus Milieus eignen sich für die Verwendung in PVact, da sie als Schnittstelle zwischen räumlichen und empirischen Daten fungieren können. Im Rahmen des Projektes wurden adressspezifische Daten über Milieuzugehörigkeit und Einkommen der Bewohner und der Anzahl von Haushalten für den Modellierungskontext erworben, welche sich mit adressspezifischen Daten zu Gebäudecharakteristika und Eigentübertyp verschneiden lassen (siehe Kapitel zu den Fallstudien in diesem Band). Somit können fallstudien-spezifische, reale Daten in PVact integriert werden. Zudem gehört folglich jeder Agent in PVact zu einem Sinus Milieu, worüber den Agenten weitere

³Siehe <https://www.sinus-institut.de/>.

relevante Eigenschaften zugewiesen werden können, die im Rahmen einer empirischen Umfrage pro Milieu ermittelt werden. Dazu gehören Umweltbewusstsein, Innovationsaffinität, Kommunikativität, sowie die Größe und Homogenität des sozialen Netzwerkes.

Ziel: Um das Simulationsmodell nicht nur theoretisch (siehe Kapitel zu Haushaltsentscheidungen in diesem Band), sondern auch empirisch zu fundieren und heterogene Agenten zu erzeugen wird eine weitreichende empirische Verankerung der Modellparameter vorgenommen.

Dazu sollen im Rahmen einer repräsentativen Umfrage (1) heterogene Agentengruppen charakterisiert, (2) die Gewichte der Komponenten der Nutzwertfunktion und (3) der finanzielle Schwellenwert bestimmt werden.

Methoden

Aufgrund der beabsichtigten Integration von Sinus Milieus in PVact wurde die oben angesprochene empirische Fundierung auf der Basis einer Umfrage realisiert, die in Zusammenarbeit mit der SINUS Markt- und Sozialforschung GmbH durchgeführt. Die Online-Umfrage wurde von 1.800 Hauseigentümern, die an investitionsbezogenen Entscheidungen beteiligt und zwischen 18 und 75 Jahren alt sind, zwischen dem 13. und 31. Mai 2021 beantwortet. Diese nachfolgend vorgestellte zweite Umfrage baut dabei auf den Erkenntnissen einer ersten Umfrage und aus der Literatur auf.⁴

Durch einen statistischen Vergleich des Samples mit dem Best for Planning Tool⁵ konnte festgestellt werden, dass das Sample repräsentativ für die Gruppe von Gebäudeeigentümern in Bezug auf Altersgruppe, Geschlecht und Bundesland ist. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die Studie sich um eine innovative, kostspielige Technologie dreht, für die sich, sowohl nach der theoretischen Diffusionstheorie, als auch nach zahlreichen empirischen Studien eher Menschen aus gehobeneren sozialen

⁴Vgl. Scheller, Doser, Schulte u. a., 2021; Scheller, Doser, Sloot u. a., 2020; Scheller, Graupner, Edwards, Johanning u. a., 2022; Scheller, Graupner, Edwards, Weinand u. a., 2022; Schulte, Scheller, Pasut u. a., 2022; Schulte, Scheller, Sloot u. a., 2022

⁵Siehe <https://gik.media/best-4-planning/>.

Milieus interessieren.⁶ Da die Abweichung in der Milieuverteilung somit den Erwartungen der Wissenschaftler:innen entspricht, wird das Sample als hinreichend repräsentativ bewertet und kann für die weitere Analyse verwendet werden.

Zur Auswertung der Daten wurde Stata 14.2⁷ verwendet. Daten wurden mithilfe einer Likert-Skala von 1 (Ablehnung) bis 7 (Zustimmung) erhoben und im Rahmen der Berechnungen auf Werte von 0-1 skaliert.

Auswertung

Zunächst wurde untersucht, ob und wie sich die Sinus Milieus in ihrem **Umweltbewusstsein**, ihrer **Innovationsaffinität**, der **Größe und Homogenität** ihrer sozialen Netzwerke und ihrer **Kommunikativität** unterscheiden. Dazu wurden Methoden der Varianzanalyse verwendet, welche es erlauben, Unterschiede zwischen den Mittelwerten der unabhängigen Variablen zu erkennen. Dieses zeigte, dass sich die Mittelwerte zahlreicher Milieus signifikant voneinander unterscheiden ($p < 0,05$)⁸, dass also einzelne Milieus tatsächlich stärker oder weniger umweltbewusst oder innovationsaffin sind, unterschiedlich große soziale Netzwerke haben, und kommunikativer oder weniger kommunikativ sind. Wie in Tabelle 10.1 ersichtlich wird, geht eine stärkere Innovationsaffinität häufig mit größeren sozialen Netzwerken und einer ausgeprägteren Kommunikativität einher. In Bezug auf das Umweltbewusstsein sind weniger starke Unterschiede zu bemerken, die sich auch nicht in einen Zusammenhang zu den anderen drei Variablen bringen lassen.

Als zweites wurden die Gewichte der fünf Komponenten der Entscheidungsfunktion bestimmt. Die Entscheidungsfunktion ist eine Nutzwertfunktion, die sich aus der gewichteten Summe von fünf Komponenten (dem Umweltbewusstsein, der Innovationsaffinität, der finanziellen Bewertung einer PV-Anlage auf dem eigenen Dach, und dem räumlichen

⁶Vgl. Gellrich, 2016; Kleinhüchelkotten, 2005; Rogers, 2003.

⁷Siehe <https://www.stata.com/>.

⁸Der p-Wert zeigt, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass die untersuchten Unterschiede alleine auf Zufall beruhen. Üblicherweise wird ein p-Wert $< 0,05$ als signifikant interpretiert, d.h., die Unterschiede beruhen nicht auf Zufall.

Tabelle 10.1.: Mittelwerte der 10 Sinus Milieus, bezogen auf eine Skala von 0-1

	Innovations- affinität	Umwelt- bewusstsein	Netzwerk- größe	Kommuni- kativität
Performer	0,538	0,750	0,528	0,656
Adaptiv Pragmatische	0,494	0,738	0,480	0,663
Hedonisten	0,476	0,686	0,487	0,632
Konservativ Etablierte	0,470	0,722	0,510	0,627
Expeditive	0,459	0,747	0,469	0,646
Liberal-Intellektuelle	0,440	0,747	0,522	0,625
Bürgerliche Mitte	0,418	0,721	0,426	0,590
Sozial Ökologische	0,371	0,788	0,442	0,588
Traditionelle	0,336	0,746	0,397	0,533
Prekäre	0,334	0,695	0,366	0,444

und sozialen Druck) zusammensetzt. Eine lineare Regression⁹, in der der Einfluss der fünf Komponenten auf die angegebene Kaufabsicht berechnet wurde, konnte 40% der Varianz¹⁰ in der Kaufabsicht erklären (siehe Tabelle 10.2), was in einem ähnlichen Rahmen liegt wie die Analysen von Korcaj¹¹ und Engelken¹². Den stärksten Einfluss auf die Kaufabsicht hat die finanzielle Bewertung, gefolgt von der Innovationsaffinität. Die Anzahl von PV-Anlagen im räumlichen Umfeld spielt eine untergeordnete, aber spürbare Rolle. PV-Anlagen im sozialen Umfeld dahingegen scheinen keinen systematischen Einfluss auf die Kaufabsicht zu haben, wie der nicht signifikante p-Wert zeigt. Umweltbewusstsein hat einen sehr kleinen, wenn auch signifikanten negativen Einfluss auf die Kaufabsicht.

Die Ergebnisse passen zu der im Rahmen des Projektes durchgeführten Meta-Analyse zur Absicht von Haushalten, in eine PV-Anlage zu investieren, in der ebenfalls kein signifikanter Effekt von sozialer Norm und ein schwach negativer, bedingt signifikanter Effekt von Umweltbewusstsein ($\beta = -0,049$, $p = 0,078$) gezeigt wurde.¹³ Auch in der Meta-Analyse haben die Wahrnehmung von Vorteilen, einschließlich finanzieller Natur, und die Innovationsaffinität die stärkste Vorhersagekraft bewiesen.

⁹In einer linearen Regression wird versucht, eine beobachtete abhängige Variable durch eine oder mehrere unabhängige Variablen zu erklären.

¹⁰Die Varianz misst die Streuung einer Variable um ihren Mittelwert.

¹¹Vgl. Korcaj u. a., 2015.

¹²Vgl. Engelken u. a., 2018.

¹³Vgl. Schulte, Scheller, Slood u. a., 2022.

Tabelle 10.2.: Ergebnisse der linearen Regression der fünf Komponenten der Nutzwertfunktion auf die angegebene Kaufabsicht.

	Koeff.	Std. Fehl.	t	p-Wert	Beta
Innovationsaffinität	0,372	0,027	13,890	0,000	0,267
Umweltbewusstsein	-0,159	0,038	-4,200	0,000	-0,079
Finanzielle Bewertung	0,676	0,028	23,970	0,000	0,470
Sozialer Druck	0,011	0,024	0,440	0,659	0,008
Räumlicher Druck	0,181	0,028	6,520	0,000	0,126
Konstante	-0,077	0,031	-2,480	0,013	
Anzahl Beobachtungen	1800				
F(5, 1794)	238,76				
p-Wert	<0,001				
R ²	0,3996				

Insbesondere der fehlende Effekt von Umweltbewusstsein auf die Kaufabsicht wirkt überraschend, wird doch die Anschaffung von PV-Anlagen üblicherweise als grünes, umweltbewusstes Verhalten beschrieben.¹⁴ Einerseits könnte der fehlende Effekt im Design der Umfrage liegen, in der Menschen ihre Einstellung gegenüber der Umwelt selber bewerten müssen. Menschen haben die Tendenz, Umfragen auf eine sozial erwünschte Art und Weise zu beantworten, was als 'social desirability bias' bezeichnet wird.¹⁵ Dies könnte dazu führen, dass eine geringe Varianz im Sample entsteht, die wiederum einen Effekt von Umweltbewusstsein auf die abhängige Variable unwahrscheinlich macht. Andererseits konnte vielfach gezeigt werden, dass es für Akteure umso leichter ist, ihre Umwelteinstellung in entsprechende Verhaltensweisen umzuwandeln, je geringer der Kostendruck in einer Situation ist. Bei hohen Investitionskosten, wie sie auch mit der Anschaffung einer PV-Anlage verbunden sind, trägt laut der 'low-cost hypothesis' individuelles Umweltbewusstsein nicht dazu bei, Vorbehalte zu überwinden, und die Entscheidung wird von finanziellen Motiven dominiert.¹⁶ Schon in der Theorie des geplanten Verhaltens wird soziale Norm als zentraler Prädiktor für Verhaltensabsichten berücksichtigt.¹⁷ Bei der Adoption von Photovoltaikanlagen wird diese häufig in

¹⁴Vgl. Gava Gastaldo u. a., 2019; Schelly und Letzelter, 2020.

¹⁵Vgl. Grimm, 2010.

¹⁶Vgl. Trotta, 2018.

¹⁷Vgl. Ajzen, 1991, 2020.

einen aktiven und einen passiven Effekt zerlegt, wobei ersterer sich primär auf verbalen Austausch bezieht und zweiterer davon ausgeht, dass der visuelle Eindruck von PV-Anlagen zu einer wahrgenommenen sozialen Norm führt.¹⁸ In der vorliegenden Umfrage wurden die beiden Effekte operationalisiert, indem die Teilnehmer aufgefordert wurden, die absolute Anzahl von PV-Anlagen in ihrem räumlichen und sozialen Umfeld anzugeben, da sich diese Art der Messung auf das Agentenmodell übertragen lässt. Die Regression zeigt, dass die Anzahl von PV-Anlagen im räumlichen Umfeld einen direkten Effekt auf die Kaufabsicht hat, die Verbreitung im sozialen Netzwerk dagegen nicht. Ob die Einstellungen innerhalb des sozialen Netzwerkes gegenüber PV-Anlagen die Kaufabsicht beeinflussen, was eine konventionellere Art der Messung von sozialer Norm ist, wurde in diesem Rahmen nicht berücksichtigt.¹⁹ Dies geschah aus Gründen der Umsetzbarkeit im Modell, da sich die subjektive Wahrnehmung der sozialen Norm nur bedingt mit konkreten Modellparametern abbilden lässt.

Zuletzt wurde der finanzielle Schwellenwert berechnet, der als Kaufbarriere in PVact eingebaut wurde. Unterschreitet ein Agent den Schwellenwert, wird er an der Adoption gehindert, ungeachtet des Ergebnisses der Nutzwertfunktion. Um den Schwellenwert zu berechnen, wurde das Sample in zwei Gruppen geteilt: Solche Agenten mit geringer und solche mit hoher Kaufabsicht (1-4 und 5-7 auf einer 7-Punkt Likertskala). Die Gruppen wurden in Bezug auf ihr mittleres Einkommen verglichen, und ein statistisch hoch signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) von monatlich rund 250 € konnte festgestellt werden. Während die Gruppe mit hoher Kaufabsicht monatlich über 3.750€ verfügt, sind es in der Gruppe mit geringer Kaufabsicht nur 3.501€. Als finanzieller Schwellenwert wurde das arithmetische Mittel zwischen den beiden Durchschnittswerten gewählt, also 3.625€.

Schluss

Mithilfe einer großen Umfrage (N=1800), die in Zusammenarbeit mit der SINUS Markt- und Sozialforschung GmbH durchgeführt wurde, konnten die auf den Sinus Milieus basierenden Agentengruppen charakterisiert,

¹⁸Vgl. Bollinger und Gillingham, 2012; Rai und Sigrin, 2013.

¹⁹Siehe z.B. Engelken u. a., 2018; Korcaj u. a., 2015.

die Entscheidungsfunktion mit Gewichten versehen, und ein finanzieller Schwellenwert definiert werden. Durch die starke theoretische und empirische Fundierung, und die Nähe zum modellierten Kontext durch den Einbezug realer, räumlicher Daten, ist das Modell über die Veranschaulichung klassischer Modellmechanismen hinaus dazu in der Lage, tiefgehende Erklärungen für das simulierte Verhalten der Agenten zu liefern. Somit ist auch eine detailliertere und genauere Bewertung von Politikmaßnahmen und Transformationspfaden möglich.

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/10.30819/5413.10>

Literatur

- 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.
- Bollinger, B. und K. Gillingham (2012). »Peer Effects in the Diffusion of Solar Photovoltaic Panels«. In: *Marketing Science* 31.6, S. 900–912. ISSN: 0732-2399. DOI: 10.1287/mksc.1120.0727.
- Engelken, M., B. Römer, M. Drescher und I. Welpel (2018). »Why homeowners strive for energy self-supply and how policy makers can influence them«. In: *Energy Policy* 117, S. 423–433. ISSN: 03014215. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.02.026.
- Gava Gastaldo, N., G. Rediske, P. Donaduzzi Rigo, C. Brum Rosa, L. Michels und J. C. Mairesse Siluk (2019). »What is the Profile of the Investor in Household Solar Photovoltaic Energy Systems?«. In: *Energies* 12.23, S. 4451. DOI: 10.3390/en12234451.
- Gellrich, A. (2016). »Von der Minderheit zur Mehrheit? Psycho-soziale Einflüsse bei der Verbreitung klima-schonender Innovationen«. Diss. URL: <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/2016122151775>.

- Grimm, P. (2010). »Social desirability bias«. In: *Wiley international encyclopedia of marketing*.
- Kleinhückerlotten, S. (2005). »Suffizienz und Lebensstile«. In: *Ansätze für eine milieuorientierte Nachhaltigkeitskommunikation*, Berlin: Berliner Wissenschafts-Verlag GmbH.
- Korcaj, L., U. J. Hahnel und H. Spada (2015). »Intentions to adopt photovoltaic systems depend on homeowners' expected personal gains and behavior of peers«. In: *Renewable Energy* 75, S. 407–415. ISSN: 09601481. DOI: 10.1016/j.renene.2014.10.007.
- Rai, V. und B. Sigrin (2013). »Diffusion of environmentally-friendly energy technologies: buy versus lease differences in residential PV markets«. In: *Environmental Research Letters* 8.1, S. 014022. DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/014022.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations*. 5th ed. New York: Free Press. ISBN: 9780743222099.
- 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. Bergaentzlé und T. Bruckner (2022). »Social Influence Throughout the Photovoltaic Adoption Process: Exploring the Impact of Stakeholder Perceptions«. In: *Energy RESEARCH LETTERS* 3.Early View, S. 33903. DOI: 10.46557/001c.33903.
- Scheller, F., S. Graupner, J. Edwards, J. Weinand und T. Bruckner (2022). *Competent, trustworthy, and likeable? Exploring which peers influence photovoltaic adoption in Germany*. DOI: 10.1016/j.erss.2022.102755.
- Schelly, C. und J. C. Letzelter (2020). »Examining the Key Drivers of Residential Solar Adoption in Upstate New York«. In: *Sustainability* 12.6, S. 2552. DOI: 10.3390/su12062552.
- 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.
- Trotta, G. (2018). »Factors affecting energy-saving behaviours and energy efficiency investments in British households«. In: *Energy Policy* 114, S. 529–539. ISSN: 03014215. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.12.042.