

# Beschreibung der realen Fallstudien als Forschungsobjekt für die modellbezogenen Analysen

*Fabian Scheller<sup>1</sup>, Emily Schulte<sup>2</sup>, Simon Johanning<sup>2</sup>, Stefan Geyler<sup>2</sup>, Marie Moritz<sup>2</sup>, Thomas Bruckner<sup>2</sup>*

## Highlights

- Die Modell- und Validierungsanforderungen im Projekt SUSIC basierten auf ausgewählten Fallstudien und historischen Diffusions- bzw. Adoptionsdaten in kommunalen Räumen.
- Zur Bestimmung der Systementitäten und -dynamiken wurde die Diffusion von Aufdach-Photovoltaikanlagen (PV) in der Stadt Leipzig (sowie der Stadt Dresden) analysiert und historisch aufbereitet.
- Auf der Ebene von Postleitzahlengebieten zeigte die PV-Adoptionsrate bei Privathaushalten eine positive Korrelation mit dem Anteil an 1-2 Familienhäusern und mit ausgewählten Sinus-Milieus<sup>®</sup> der Bewohner.
- Zur Konkretisierung der Anforderungen an ein Konzeptmodell zur grundstücksbezogenen Regenwasserbewirtschaftung wurde die Variabilität der Governancebedingungen in Leipzig und Berlin analysiert.

---

<sup>1</sup>Department of Technology, Management and Economics, Technical University of Denmark

<sup>2</sup>Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement, Universität Leipzig

## Einleitung

Im Zuge des Klimawandels und der Klimaanpassung der Kommunen kommt Grundstückseigentümern eine steigende Bedeutung als Anbieter von Infrastrukturleistungen für das Gemeinwohl zu. Dies betrifft sowohl die Bereitstellung erneuerbarer Energien durch emissionsreduzierende Aufdach-Photovoltaikanlagen (PV) durch Ein- und Zweifamilienhausbesitzer als auch die Beiträge von Wohnungsunternehmen zur nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung. Diese Entwicklungen der vergangenen Jahre sowie die sie beeinflussenden Rahmenbedingungen und Faktoren sollten modellbezogen im SUSIC Projekt verstanden werden.

In diesem Zusammenhang stellen emissionsreduzierende Technologien wie z. B. PV innovative nachfrageseitige Technologien dar, die das Potenzial haben, die Nachhaltigkeit bzw. Treibhausgasemissionen von Wohnhäusern zu reduzieren.<sup>3</sup> PV stellt eine Technologie dar, die ebenso eine mögliche Lösung für den Kompromiss zwischen der Befriedigung des steigenden Energiebedarfs und die gleichzeitige Reduzierung der Treibhausgasemissionen bieten kann.<sup>4</sup> Ein Hauptanliegen der Politik stellt deren flächendeckende Verbreitung und damit die verbraucherseitige Adoption dar. In Deutschland variieren jedoch die Akzeptanzraten von PV für Privathaushalte stark zwischen Bundesländern, Regionen und Kommunen.<sup>5</sup> Führende Bundesländer in Deutschland sind Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Baden-Württemberg. Diesbezüglich soll das Akteursmodell IRPact ein vertieftes empirisches und modellgetriebenes Verständnis über die Adoptionsentscheidungen der PV-Technologie durch unterschiedliche Haushalte geben.

Als räumlicher Untersuchungsrahmen wurde dabei die Kommune gewählt, da verschiedene Trends Kommunen eine entscheidende Rolle für eine erfolgreiche Energiewende zuschreiben. Erstens zeigen die traditionell passiven Konsumenten ein wachsendes Bewusstsein für Nachhaltigkeitsthemen und reklamieren Partizipation. Darüber hinaus erfordert die zunehmende Nutzung erneuerbarer Energieerzeuger durch Privathaushalte eine Neubewertung der bestehenden kommunalen Infrastruktur. Schlussendlich

---

<sup>3</sup>Vgl. Geels u. a., 2018; Metta u. a., 2020.

<sup>4</sup>Vgl. Metta u. a., 2020.

<sup>5</sup>Vgl. Dewald und Truffer, 2012.

wirken sich gesetzliche Regelungen und Maßnahmen direkt auf die Haushalte und kommunale Unternehmen aus. Dabei kann die Planung und Umsetzung zu erheblichen regionalwirtschaftlichen Effekten führen. Bei einer entsprechenden Beeinflussung der Adoption durch die kommunalen Träger bieten sich somit diverse Vorteile.<sup>6</sup>

Da auch das Regenwassermanagement moderner Kommunen unter starkem Veränderungsdruck steht, setzten wir im SUSIC Projekt auf einen zweigleisigen Ansatz hinsichtlich der Fallbeispiele. Dies ermöglichte auch eine stärkere Generalisierung unseres Modellierungsansatzes. Im Zuge des Klimawandels steigen die Risiken durch Starkniederschläge, Trockenheit und Überhitzung. Zugleich wachsen die politischen Anforderungen, z. B. im Gewässerschutz. In den attraktiven Ballungszentren werden diese Effekte durch Nachverdichtung noch verstärkt.<sup>7</sup> Um diesen Herausforderungen zu begegnen, bietet sich die verstärkte Nutzung grundstücksbezogener Regenwasserbewirtschaftungsanlagen (gRWA), z. B. von Versickerungslösungen, Gründächern, Baumrigolen oder Ansätzen zur Regenwassernutzung an. Die Kommunen können hierbei das Adoptionsverhalten der Wohnungsunternehmen durch eine entsprechende Ausgestaltung der Governancebedingungen mit beeinflussen.

Die eingeführten Fallbeispiele stellten somit die empirische Referenz des SUSIC Projekts und des Akteursmodells IRPact dar. Ziel war einerseits die Ableitung und Beschreibung relevanter Akteure, Strukturen, Prozesse und Governancebedingungen sowie der zu betrachtenden technischen Gegebenheiten der Innovationen. Unter Berücksichtigung der modellierenden Problemstellung wurden außerdem die Diffusionsprozesse und Adoptionstreiber bzw. -barrieren herausgestellt. Andererseits dienten die historischen Diffusionsvorgänge und realen Adoptionsdaten in der Kommune Leipzig als Grundlage zur Demonstration der Funktionsfähigkeit des computergestützten Agentensystems sowie zur Validierung der empirisch erhobenen Akteursattribute und Systemdynamiken. In diesem Zusammenhang stellte, wie bereits kurz eingeführt, das Untersuchungsobjekt PV bei Privathaushalten den Fokus von IRPact dar. Zur Modularisierung und Generalisierung der Modellanforderungen wurde ebenso die Variabilität der Governancebedingungen in der Regenwasserbewirtschaftung betrachtet und in der Modellentwicklung berücksichtigt.

---

<sup>6</sup>Vgl. Weinszihr u. a., 2015.

<sup>7</sup>Vgl. Nickel u. a., 2014; Umweltbundesamt, 2019.

## Diffusion von Aufdach-Photovoltaikanlagen bei Privathaushalten in Leipzig und Dresden

Für die realitätsnahe Bearbeitung der energiewirtschaftlichen Fragestellung referenzierten wir die Modellierung im SUSIC Projekt auf die Verbreitung von Aufdach-PV bei Privathaushalten. Die besondere Aufmerksamkeit des Modells liegt auf den Adressen mit 1-2 Familienhäusern, da Haushalte hier in der Regel selbst Eigentümer sind und Verfügungsgewalt über die Dachnutzung haben. Somit sind die Hausbewohner fähig, Investitionsentscheidungen im Hinblick auf PV-Aufdachanlagen zu treffen. Um die auftretenden Unterschiede in der Adoption von PV zwischen Regionen und Einwohnern zu erklären, gibt die vorhandene Literatur verschiedene Faktoren an, welche als Charakterisierung für eine hohe bzw. niedrige PV-Diffusion dienen können. Die herangezogenen Faktoren beschreiben unter anderem technische Gegebenheiten wie die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage unter den gegebenen Kosten und der Sonneneinstrahlung, haushaltsbezogene Eckpunkte wie Durchschnittseinkommen und Haushaltsgröße sowie räumliche Gegebenheiten wie Wohndichte und auch Gruppen- oder Peer-Effekte. Weiterhin wurden verschiedene abhängige Variablen verwendet: relative Maße wie die Verbreitungsrate oder der Prozentsatz der Ein- oder Zweifamilienhäuser mit Aufdach-PV und absolute Maße wie die Anzahl oder Kapazität von PV-Systemen. Bei genauerer Begutachtung der Analysen ist zu benennen, dass die Auswahl der unabhängigen Variablen sowie die Ergebnisse der Analysen stark von der ausgewählten Region und der räumlichen Granularität beeinflusst werden. Der Grund ist, dass die Studien aufgrund der Region aber auch aufgrund des Detaillevels auf unterschiedliche Variablen zurückgreifen.<sup>8</sup> Zur besseren Parametrisierung führten wir somit eine eigene Analyse unter den festgelegten Modellgrenzen durch. Die Erkenntnisse der räumlichen Analyse verglichen und vervollständigten wir auch mit den Ergebnissen durchgeführter Fokusgruppen und Umfragen sowie Literaturanalysen.<sup>9</sup>

Im Einklang mit den genannten Untersuchungen wurde in diesem Projekt

---

<sup>8</sup>Vgl. Baginski und Weber, 2019; Bollinger und Gillingham, 2010; Dharshing, 2017; Müller und Rode, 2013; Rode und Müller, 2018; Thormeyer u. a., 2020.

<sup>9</sup>Vgl. 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

ein empirisch und theoretisch fundierter Ansatz innerhalb der agentenbasierten Modellierung gewählt. Das auf Verhaltenstheorien basierende Modell wurde mit feingranularen sozio-geografischen Daten angereichert, um eine möglichst realitätsgetreue Abbildung der Modellkommune zu erhalten. Hierfür waren eine Vielzahl sozio-ökonomischer Mikrodaten, detaillierte Gebäudedaten zu Dachausrichtung und -neigung, Eigentümerklassifizierung und Daten zu bereits installierten Solaranlagen aus verschiedenen Datenquellen nötig. Für die Modellvalidierung und die spezifischen Untersuchungen in diesem Projekt wählten wir die Kommune Leipzig in Sachsen. Da die meisten Akteursmodelle aus der Literatur einen eher nationalen Ansatz wählten, erforderte unsere Auswahl hinsichtlich der Kommune einen höheren Modellierungs- und Detaillierungsgrad für die Akteure und die Dynamiken. Für die Modellkalibrierung, also den Modellierungsteil, der nicht direkt bestimmbare Parameter setzt, wurde ein Modellgegenstand gewählt, der der Kommune *Leipzig* möglichst ähnlich ist. Hierbei fiel die Wahl auf die ebenfalls in Sachsen gelegene Stadt *Dresden*, die in Bezug auf den Modellierungskontext große Ähnlichkeiten zu Leipzig aufweist (siehe Tabelle 2.1). Die Abbildung beider Kommune stellt sicher, dass die Simulation den modellierten Gegenstand so weit wie möglich entspricht und dass die Parameter auch wirklich die Realität abbilden und nicht nur auf die gewählte Fallstudie angepasst wurden (siehe Beitrag zur Modellkalibrierung und den empirischen Ergebnissen).

Zunächst wurde der Diffusionsprozess für jede Stadt nachgebildet. Aus Datenschutzgründen sind Installationsdaten auf einer feineren Gliederungsebene in Deutschland nicht verfügbar. Wie in Tabelle 2.1 aufgeführt, hatten im Jahr 2020 in Dresden und Leipzig jeweils 1.405 bzw. 2.132 natürliche Personen eine PV-Anlagen adoptiert. Zusätzlich wurde für die Fallstudien ein Datensätze zu der Kaufkraft auf Adressebene erworben. Der Datensatz enthält Adressen sowie die adressenspezifische Anzahl der Haushalte, dominante Sinus-Milieus<sup>®</sup> und Haushaltseinkommen. Diesbezüglich ist ersichtlich, dass die beiden Kommunen in vielen Aspekten sehr ähnlich sind und mit Dresden eine geeignete Fallstudie für die Kalibrierungsstudie ausgewählt wurde. Deutliche Unterschiede zeigen sich nur in der Intensität der Durchdringung von PV-Anlagen und dem mittleren Jahreseinkommen von Haushalten, die 1-2 Familienhäuser bewohnen. Die PV-Sättigung der potenziellen Nutzer (Haushalte in (Doppel-) Einfamilienhäusern) lag in Dresden und Leipzig unter dem Bundesdurchschnitt.

Tabelle 2.1.: Übersicht über die Adressen, Haushalte und Einkommen in den Kommunen Dresden und Leipzig

	Dresden	Leipzig
Anzahl PLZ-Gebiete	29	34
Anzahl Adressen	68.294	69.504
Anteil 1-2 Familienhäuser	49%	51%
Anzahl Haushalte	310.273	308.068
Anteil Haushalte in 1-2 Familienhäusern	20%	20%
Mittleres Jahreseinkommen	40.106 €	38.052 €
Mittleres Jahreseinkommen von Haushalten in 1-2 Familienhäusern	49.838 €	39.275 €
Mittleres Jahreseinkommen anderer Haushalte	38.233 €	37.572 €
PV-Diffusion 2020 (Anzahl Anlagen)	1.405	2.132

Die Milieuverteilung in den beiden Kommunen ist ebenso ähnlich. Starke Unterschiede zeigen sich jedoch zwischen den Bewohnenden von Doppel- oder Einfamilienhäusern. Während 44% dieser Haushalte in Dresden dem Milieu der 'Konservativ-Etablierten' zuzuordnen sind, macht dieses Milieu in Leipzig nur 13% der Bevölkerung aus. In der Kommune Dresden weisen 'Konservativ-Etablierte' das höchste Durchschnittseinkommen auf, während in Leipzig die Milieus 'Bürgerliche Mitte', 'Liberal-Intellektuelle' und 'Performer' besser abschneiden. In beiden Kommunen sind dagegen die Einkommen bei den Milieus 'Liberal-Intellektuelle' und 'Performer' am höchsten, wenn diese in (Doppel-) Einfamilienhäusern leben.

### Charakterisierung der Diffusion von PV-Aufdachanlagen in den Kommunen Leipzig und Dresden

Die Anzahl installierter Anlagen wurde mittels des *Marktstammdatenregisters*<sup>10</sup>, einem zentralen Register von Strom- und Gaserzeugungsanlagen, aufgearbeitet. Hierzu wurden nur PV-Anlagen natürlicher Personen vor

<sup>10</sup>Siehe <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>.

dem 01.01.2021 in den Modellkommunen<sup>11</sup> berücksichtigt. Diese Daten umfassten die in der Tabelle 2.1 genannten 1.405 bzw. 2.132 Anlagen, deren Verlauf in Abbildung 2.1 dargestellt ist.

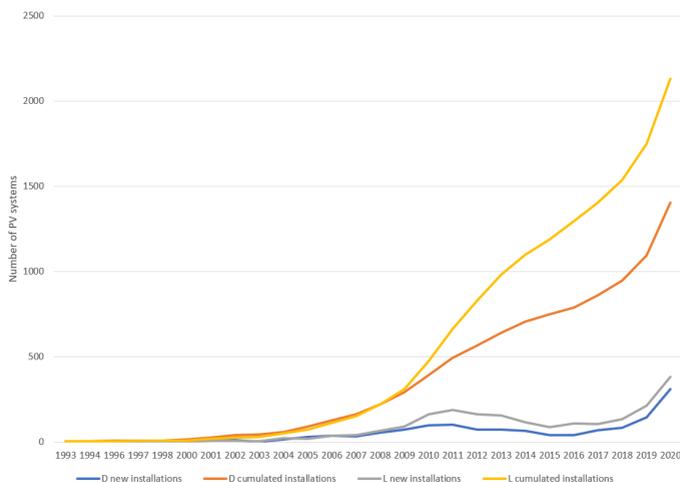


Abbildung 2.1.: Jährliche Installationen privater PV-Aufdachsysteme in den Modellkommunen Dresden (D) und Leipzig (L). Eigene Darstellung.

Eine Korrelationsanalyse der Adoptionsraten im Jahr 2020 auf Postleitzahlenebene zeigt, dass die absolute Verbreitung positiv mit der Anzahl der Adressen von Ein- bis Zweifamilienhäuser korreliert ist. Dies wird auch durch die positive Korrelation mit der relativen Anzahl von 1-2 Familienhäuser gestützt. Daneben deutet die Korrelation zwischen der PV-Sättigung und dem Anteil von Ein- bis Zweifamilienhäusern innerhalb eines Postleitzahlengebiets darauf hin, dass der Anteil potenzieller Adoptierer über das Postleitzahlengebiet hinweg von Bedeutung ist. So scheint ein größerer Anteil potenzieller Haushalte eine PV-Anlage zu installieren, wenn die Siedlungsstruktur von 1-2 Familienhäusern dominiert wird. Dagegen korreliert die Höhe des Einkommens auf Postleitzahlenebene nicht mit der Adoptionsrate.

<sup>11</sup>Mit Ausschluss der Kommunen Radebeul, Radeberg, Pirna, Moritzburg und Freital, die mit dem Gemeindegeschlüssel Dresdens gelistet wurden.

Saturation of private PV systems in Leipzig, Germany 

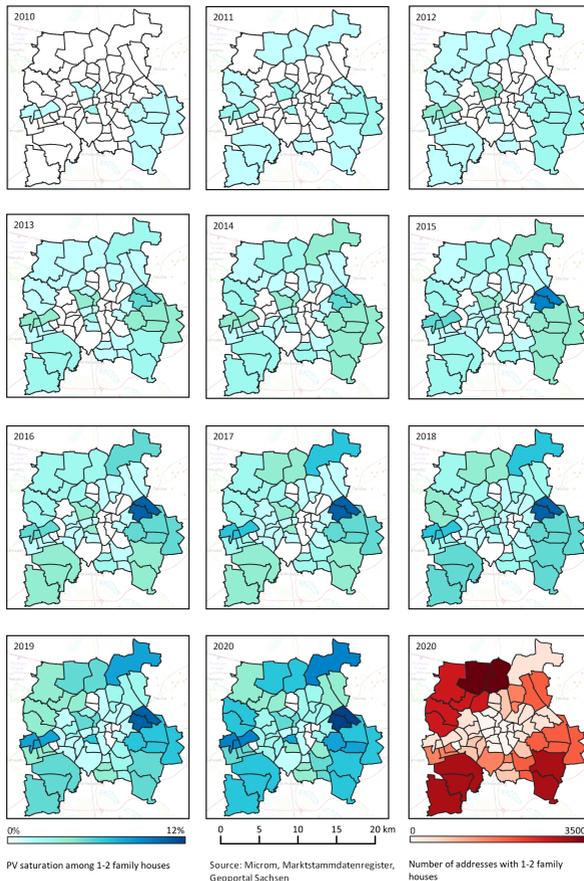


Abbildung 2.2.: Verbreitung von PV Aufdachanlagen Leipzig, zwischen den Jahren 2010 und 2020 nach PLZ (relativ). Eigene Darstellung.

Die zum Teil starke Differenzierung hinsichtlich der Installation von PV-Anlagen innerhalb der Modellkommunen ist beispielhaft für Leipzig in

Abbildung 2.3 dargelegt. Die Visualisierung innerhalb der Postleitzahlengebieten von Leipzig zwischen 2010 und 2020 zeigt, dass Postleitzahlen mit hohen Verbreitungszahlen typischerweise am Stadtrand liegen. Dies ist plausibel, da die Innenstadt im Gegensatz zum Stadtrand weniger 1-2 Familienhäuser aufweist. Ein ähnliches Muster ist für Dresden zu beobachten. Des Weiteren fasst die Abbildung 2.2 die Erkenntnisse zu PV-Sättigung, Einkommen und Wohnstruktur für Leipzig zusammen.

Daneben zeigen die mittleren und starken Korrelationen zwischen den Sinus-Milieus<sup>®</sup> der Bewohner und der PV-Sättigung die Wichtigkeit des Einbezugs der Lebensstile auf. Auf Postleitzahlenebene ist die Diffusion von PV positiv mit den Mitgliedern der Milieus 'Bürgerliche Mitte', 'Sozialökologische' und 'Liberal-Intellektuelle' assoziiert.

## Aufbereitung der Mikrodaten

Für die empirisch verankerte Modellierung wurden für die beiden Modellkommunen unterschiedlich granulare sozio-geografischen Daten aufbereitet, um die Entitäten und die Zusammenhänge abzubilden. Dieses betrifft georeferenzierte Daten<sup>12</sup>, Eigentümergeometrien, Anzahl der Haushalte an der Adresse, Milieuzusammensetzung an der Adresse, Dachorientierung und -neigung, sowie Gebäudekoordinaten. Diese wurden aus fünf Datenquellen extrahiert und miteinander verschnitten:

- Gebäudelayerdaten<sup>13</sup> der Stadt Leipzig,
- INSPIRE<sup>13</sup> Datensatz der Europäischen Kommission,
- LoD2<sup>13</sup> 3D Gebäudedatensatz des Bundesamts für Kartografie und Geodäsie,
- Flurstückdatensatz<sup>13</sup> der Stadt Leipzig sowie
- Microm<sup>14</sup> Sozio-Milieu Datensatz (vom Forschungsteam erworben).

---

<sup>12</sup>Adressen als geo-referenzierte Punkte, Gebäude als geo-referenzierte Polygone und Gebäudeinformationen als Attribute geo-referenzierter Polygone.

<sup>13</sup> mit adressspezifischer Granularität aus dem adress-spezifischen Datensatz Infrastructure for SPatial InfoRmation in Europe (Inspire), offener Geodaten des Landes Sachsen (3D-Gebäude layer mit *level of detail 2* (LoD2)) adressspezifischen Gebäude-Layer Daten, sowie eigentümerspezifische Daten auf Flurstück-Ebene der Stadt Leipzig.

<sup>14</sup>Erhalten von MB Micromarketing mit adressen-spezifischer Granularität für Leipzig und strassenabschnitts-spezifischer Granularität für Dresden.

PV saturation, housing and income in Leipzig, Germany (2020)

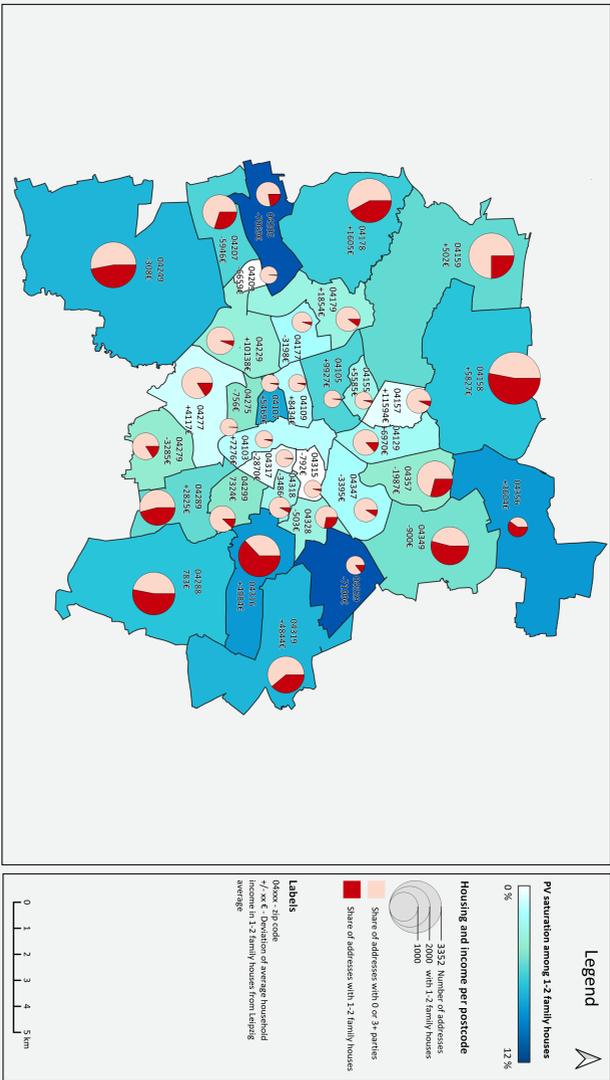


Abbildung 2.3: Wohnstruktur, Einkommensverteilung und PV-Adoptionen für das Jahr 2020 in den PLZ-Gebieten Leipzig (absolut). Eigene Darstellung.

Aus diesen Daten konnte ein Datensatz vollständiger Daten für Leipzig mit 47.731 Einträgen (69,64% aller Adressen) erstellt werden, der für das Modell verwendet wird. Für Dresden standen nur der LoD2, INSPIRE und Microm Datensatz zur Verfügung. Damit konnten 48.165 vollständige Einträge (72,44%) erstellt werden. Für die Umsetzung des Modells wurden aus diesen Quellen gebäudescharfe Daten mit folgenden Attributen zusammengestellt:

1. ID
2. Adresse (Strasse, Hausnummer, PLZ)
3. Gebäudepolygon
4. Eigentübertyp (1=privat, 0=andere)
5. Haushaltsstruktur<sup>15</sup>
6. Einkommen
7. Dominantes Milieu
8. Dachorientierung und -Neigung
9. x- und y-Koordinaten des Gebäudes<sup>16</sup>

Anhand der Fallstudie Dresden stellt Tabelle 2.2 dar, welche dieser Datenpunkte aus welcher der oben genannten Quellen stammt.

Tabelle 2.2.: Daten und deren Überlappung (insgesamt und prozentual) der für die Kalibrierung anhand der Fallstudie Dresden verwendeten Daten. Die Bezifferung in den rechten Spalten bezieht sich auf die obige Auflistung.

Datenquelle	Größe	Überlappung		2	3	4	5	6	7	8	9
		Total	%								
LoD2	141,772	141,772	100%		x					x	x
Inspire	72,428	51,395	36%	x							x
Microm	68,294	49,657	35%	x			x	x	x		

Zur Instanziierung von IRPact im Rahmen der Nachbildung des Fallbeispiels PV-Adoption wurde einerseits auf die bereits skizzierten Datensätze zurückgegriffen. Andererseits wurden weitere nötige Daten für die Kommune Leipzig ermittelt, welche in der Geoinformationssoftware QGIS verwendet werden konnten. Über die Online-Datenbank Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)<sup>17</sup> konnte ein

<sup>15</sup>Klassifizierung danach, ob es sich um 1 oder 2 Haushalte, mehr als 2 Haushalte oder ein nicht wohnlich genutztes Gebäude handelt.

<sup>16</sup>Mittels der koordinatenbasierten Verortung des *Zentroiden*.

<sup>17</sup>Siehe <https://www.geoportal.nrw/inspire>.

georeferenzierter Datensatz mit Adresspunkten heruntergeladen werden. Das Land Sachsen stellt georeferenzierte 3-D-Stadtmodelle in unterschiedlicher Detailtiefe zur Verfügung<sup>18</sup>, von denen das Level of Detail 2 (LoD2) Modell über Grundrisse und Dachinformationen verfügt. Weiterhin stellte die Stadt Leipzig den Projektpartnern einen Datensatz zur Verfügung, aus dem die Eigentübertypen von Gebäuden abgeleitet werden konnten. Abbildung 2.4 stellt vergleichend die Datensatzgröße des Microm Datensatzes und des fertigen Modelldatensatzes dar, in dem die Microm Daten mit dem georeferenzierten Datensatz verschnitten wurden.

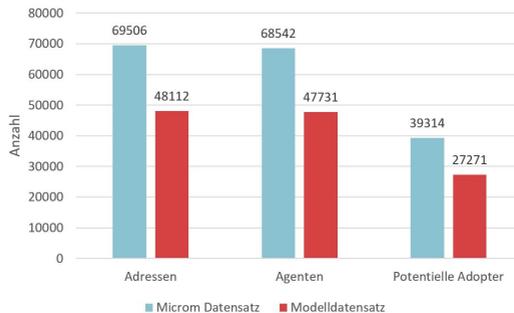


Abbildung 2.4.: Vergleichende Darstellung der Anzahl von Adressen in Leipzig, der Anzahl der davon als Wohnraum genutzten Adressen (Agenten), und der Adressen mit 1-2 Familienhäusern, die als potentielle Adopter im Modell eine zentrale Rolle spielen. Verglichen wird der gesamte Datensatz von Microm mit dem Modelldatensatz, der mit den georeferenzierten Daten verschnitten wurde. Eigene Darstellung.

Im Rahmen der Initialisierung können nun im Modell jedem Agenten in Abhängigkeit des Milieus weitere Eigenschaften zugeordnet werden.

---

<sup>18</sup>Siehe <https://www.geodaten.sachsen.de/downloadbereich-digitale-3d-stadtmodelle-4875.html>.

## **Variabilität der Rahmenbedingungen für die Nutzung von grundstücksbezogenen Regenwasserbewirtschaftungsanlagen durch Wohnungsunternehmen**

In Bezug auf die nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung nehmen Wohnungsunternehmen (WU) eine Schlüsselrolle ein, da sich ein großer Teil der Wohnungen und nicht-öffentlichen urbanen Flächen in ihrem Besitz befinden und die WU die größte geschlossene Gruppe von Anbietern am Wohnungsmarkt darstellen.<sup>19</sup> Anders als Private verfügen WU über mehr personelle und finanzielle Ressourcen, um die Immobilien und etwaige Mietverhältnisse zu verwalten. Diese Kapazitäten erleichtern auch Innovationen. Zudem agieren WU vergleichsweise rationaler und werden in ihren Entscheidungen weniger von subjektiven Bedürfnissen beeinflusst.<sup>20</sup> Für die gesamtstädtische Transformation der Regenwasserbewirtschaftung spielt es eine Rolle, ob und welche grundstücksbezogenen Regenwasserbewirtschaftungsanlagen (gRWA) durch die WU aufgegriffen werden. Die WU können z. B. zwischen Versickerungslösungen, Gründächern, Baumrigolen oder Ansätzen zur Regenwassernutzung wählen oder diese kombinieren. Alle Anlagen haben gemeinsam, dass sie das Regenwasser am Ort des Auftretens zurückhalten und so die öffentliche Kanalisation entlasten und zum Überflutungs- und Gewässerschutz beitragen. Hinsichtlich ihrer Zusatznutzen unterscheiden sie sich jedoch deutlich. Während die Grundwasserneubildung durch lokale Versickerung gefördert wird (z. B. Mulden-Rigolen), erhöhen Gründächer die Verdunstung. Zugleich verbessern die Anlagen die Lebensqualität in den Quartieren und die Biodiversität.<sup>21</sup> Technologie und Dimensionierung können den örtlichen Gegebenheiten und institutionellen Vorgaben angepasst werden. Dies ermöglicht eine kombinierte Nutzung von Anlagen und somit, Grundstücke teilweise oder vollständig vom zentralen System abzukoppeln.<sup>22</sup>

---

<sup>19</sup>Vgl. Hain, 2009; Statistisches Bundesamt, 2015.

<sup>20</sup>Vgl. Stengel, 2014; Weiß u. a., 2018.

<sup>21</sup>Vgl. Baumüller und Ahmadi, 2016; Hamburger Stadtentwässerung AöR und Stadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie, 2015; Matzinger u. a., 2017; Nickel u. a., 2014.

<sup>22</sup>Vgl. Geyler u. a., 2019; Stemplewski u. a., 2010; van Afferden u. a., im Erscheinen.

## Inter- und intrakommunale Unterschiede bei Rahmenbedingungen

Für eine koordinierte Weiterentwicklung der Niederschlagsbewirtschaftung ist es wichtig, das räumlich-zeitliche Nutzungsverhalten der WU zu verstehen. In welchen Teilräumen greifen WU vergleichsweise schnell gRWA auf, welche Ansätze, d. h. Versickerung oder/und Gründach, werden gewählt und werden die Grundstücke dabei vollständig oder teilweise vom Kanal abgekoppelt? Um diese Fragen zu beantworten, müssen die Wechselwirkungen zwischen den zahlreichen rahmensetzenden Steuerungssignalen, weiteren naturräumlichen und strukturellen Einflüssen und dem Nutzungsverhalten der WU verstanden werden. Die folgenden Beispiele zeigen jedoch, dass diese Aspekte zwischen den Kommunen, aber auch innerhalb einer Kommune deutlich variieren können. So haben WU in ostdeutschen Städten einen relativ höheren Wohnungsbestand (ca. 50 %) als in westdeutschen (<30 %).<sup>23</sup> Zugleich sind in ostdeutschen Städten innerhalb der WU die Wohnungsgenossenschaften vergleichsweise wichtiger und der Anteil an privatwirtschaftlichen WU niedriger (vgl. Abbildung 2.5).

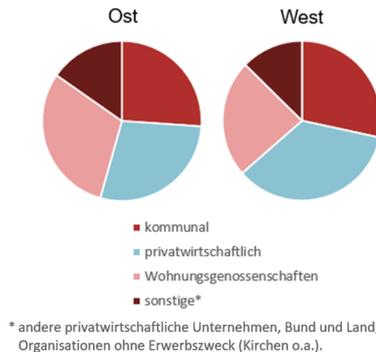


Abbildung 2.5.: Verteilung der Wohnungsunternehmen in den Stadtkreisen gegliedert nach Eigentumsform in Ost- und Westdeutschland. Eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt, 2015.

---

<sup>23</sup>Vgl. Statistisches Bundesamt, 2015.

Weiterhin haben die Kommunen ihren Governance-Gestaltungsspielraum in sehr unterschiedlichem Maße genutzt, um mittels ordnungsrechtlicher, finanzieller und informatorischer Ansätze die Wohnungsunternehmen zu beeinflussen. Tabelle 2.3 illustriert dies für Berlin und Leipzig anhand beispielhafter Aspekte.

Tabelle 2.3.: Übersicht der unterschiedlichen Gestaltung der Governancebedingungen für gRWA in Berlin und Leipzig. Eigener Entwurf.

Governance	Berlin	Leipzig
Regenwasserentgelt	1,80 €/m <sup>2</sup> a	0,94 €/m <sup>2</sup> a
Entgeltreduzierung für gRWA mit Notüberlauf an Kanal	Gründach 50%, Versickerungsanlage 50%	Gründach 50 %
Einleitbegrenzung in den Kanal	Über Wassergesetz, Rechtsverordnung und Hinweisblätter des Senats geregelt	unter Bezug auf gesetzliche Aufhebung des AuBZ für RW
Kommunale Kommunikation	Berliner Regenwasseragentur – breite Vernetzung öffentlicher und privater Akteure	KAWI-L – Vernetzung der Fachbereiche und Informationsangebote an private Akteure
Kommunale Förderprogramme (FRL)*	Gründach-FRL sowie 3 weitere FRL (spezifische Berechtigte; städt. Teilräume; technologieunabhängig; Forschung)	Gründach-FRL

Stand 2021; AuBZ – Anschluss- und Benutzungszwang; \* zusätzlich zu bundesweiten KfW-Programmen.

Beide Kommunen unterscheiden sich hinsichtlich Komplexität und Explizitheit der rechtlichen Verankerung von Ver- und Geboten (Beispiel Einleitbegrenzung) sowie finanzieller Anreize (Entgelthöhe, Reduktionsatbestände, Anzahl Fördermittel-Programme). Berlin hat zudem mit der Regenwasseragentur einen Kommunikationsakteur für die aktive Vernetzung von öffentlichen und privaten Akteuren, während Leipzig sich mit KAWI-L<sup>24</sup> innerhalb der Kommunalverwaltung vernetzt und bzgl. der privaten Grundstückseigentümer auf Informationsbereitstellung setzt. Um

<sup>24</sup>Siehe <https://www.1.de/wasserwerke/hauseigentuemmer-bauherren/starkregen/ka-wi-1>.

für Wohnungsunternehmen die verschiedenen Einflüsse bzgl. Geschwindigkeit der Nutzung von gRWA und Technologiewahl zu verstehen, wird im Rahmen dieses Projektes das Entscheidungsverhalten konzeptionell betrachtet.

## 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/10.30819/5413.02>

## Literatur

- 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>.
- Baumüller, J. und Y. Ahmadi (2016). *Beitrag von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen und freiraumplanerischen Gestaltungselementen zur Verbesserung des Stadtklimas: im Rahmen des Forschungsprojektes 'Stadt als hydrologisches System im Wandel. Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts'-(SAMUWA): SAMUWA Publikation*. URL: [https://www.samuwa.de/img/pdfs/baumueller\\_ahmadi\\_2016\\_rwb\\_massnahmen\\_und\\_stadtklima.pdf](https://www.samuwa.de/img/pdfs/baumueller_ahmadi_2016_rwb_massnahmen_und_stadtklima.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/gruenegeschaefte/files/2011/04/BollingerGillingham\\_PeerEffectsSolar.pdf](https://blog.zeit.de/gruenegeschaefte/files/2011/04/BollingerGillingham_PeerEffectsSolar.pdf).
- Dewald, U. und B. Truffer (2012). »The local sources of market formation: explaining regional growth differentials in German photovoltaic markets«. In: *European Planning Studies* 20.3, S. 397–420. DOI: 10.1080/09654313.2012.651803.
- Dharshing, S. (2017). »Household dynamics of technology adoption: A spatial econometric analysis of residential solar photovoltaic (PV) systems in Germany«. In: *Energy Research & Social Science* 23, S. 113–124. ISSN: 22146296. DOI: 10.1016/j.erss.2016.10.012.
- Geels, F. W., T. Schwanen, S. Sorrell, K. Jenkins und B. K. Sovacool (2018). »Reducing energy demand through low carbon innovation: A sociotechnical transitions perspective and thirteen research debates«. In: *Energy Research & Social Science* 40, S. 23–35. ISSN: 22146296. DOI: 10.1016/j.erss.2017.11.003.

- Geyler, S., N. Bedtke und E. Gawel (2019). »Sustainable Stormwater Management in Existing Settlements: Municipal Strategies and Current Governance Trends in Germany«. In: *Sustainability* 11.19, S. 1–23. DOI: 10.3390/su11195510.
- Hain, M. (2009). *Die Performance von öffentlichen Unternehmen am Beispiel von Wohnungsunternehmen in Deutschland*. Schriften zum europäischen Management. Wiesbaden: Gabler. DOI: 10.1007/978-3-8349-8792-1.
- Hamburger Stadtentwässerung AöR und Stadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie, Hrsg. (2015). *RISA Strukturplan Regenwasser 2030: Ergebnisbericht des Projektes RISA - RegenInfraStrukturAnpassung*. Hamburg.
- Matzinger, A. u. a. (2017). *Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung: Ergebnisse des Projektes KURAS*. Berlin.
- Metta, J., Y. An, H. Zheng und L. Zhang (2020). »Potentials and opportunities towards the low carbon technologies – From literature review to new classification«. In: *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 50.10, S. 1013–1042. ISSN: 1064-3389. DOI: 10.1080/10643389.2019.1642834.
- Müller, S. und J. Rode (2013). »The adoption of photovoltaic systems in Wiesbaden, Germany«. In: *Economics of Innovation and New Technology* 22.5, S. 519–535. DOI: 10.1080/10438599.2013.804333.
- Nickel, D., W. Schoenfelder, D. Medearis, D. P. Dolowitz, M. Keeley und W. Shuster (2014). »German experience in managing stormwater with green infrastructure«. In: *Journal of Environmental Planning and Management* 57.3, S. 403–423. DOI: 10.1080/09640568.2012.748652.
- Rode, J. und S. Müller (2018). *What drives peer effects in household technology adoption - Evidence from solar photovoltaic systems*. Hrsg. von Unpublished Manuscript.
- 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: 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.
- 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.

- Statistisches Bundesamt, Hrsg. (2015). *Gebäude- und Wohnungsbestand in Deutschland: Endgültige Ergebnisse*. URL: <https://www.statistikportal.de/de/veroeffentlichungen/zensus-2011-4>.
- Stemplewski, J., M. Becker und U. Raasch (2010). »Niederschlagswasser bewirtschaften statt beseitigen - ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll«. In: *KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall* 57.10, S. 1011–1019.
- Stengel, J. (2014). »Akteursbasierte Simulation der energetischen Modernisierung des Wohngebäudebestands in Deutschland«. Zugl.: Karlsruhe, KIT, Diss., 2014. Hannover und Karlsruhe. DOI: 10.5445/KSP/1000041854.
- Thormeyer, C., J.-P. Sasse und E. Trutnevyte (2020). »Spatially-explicit models should consider real-world diffusion of renewable electricity: Solar PV example in Switzerland«. In: *Renewable Energy* 145, S. 363–374. DOI: 10.1016/j.renene.2019.06.017.
- Umweltbundesamt, Hrsg. (2019). *Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. Dessau - Roßlau. URL: <https://www.klivportal.de/monitoringbericht2019>.
- van Afferden, M., G. Khurelbaatar und M. Ueberham (im Erscheinen). »Modellhafte Auswahl integrativer Regenwasser-Managementkonzepte«. In: *Wege zum abflussfreien Stadtquartier – Potentiale, Wirkungen und Rechtsrahmen des ortsnahen Schmutz- und Regenwassermanagements: FKZ 3716 15 333 0*. Hrsg. von Umweltbundesamt. Dessau - Roßlau, S. 36–61.
- Weinsziehr, T., M. Gröger, M. Verhoog und T. Bruckner (2015). »Multiple benefits as incentive for municipal climate mitigation efforts? The case of a German shrinking and aging middle size city«. In: *eccee Summer Study proceedings*, S. 487–497.
- Weiß, J., A. Bierwirth, J. Knoefel, S. März, J. Kaselofsky und J. Friege (2018). *Entscheidungskontexte bei der energetischen Sanierung: Ergebnisse aus dem Projekt Perspektiven der Bürgerbeteiligung an der Energiewende unter Berücksichtigung von Verteilungsfragen*. Berlin, Wuppertal. URL: <https://www.ioew.de/publikation/entscheidungskontexte>.