

Nutzerschnittstellengestaltung für regenerative Erzeugungsanlagen und Energiegemeinschaften

| | |
|----------------------|---|
| Autoren: | Döbelt, Susen; Kreußlein, Maria; Vasetska, Yelyzaveta; Korte, Ferdinand; Karg, Ludwig; Lutz, Maximilian |
| Organisation: | TU Chemnitz, Professur Allgemeine Psychologie und Human Factors |
| Arbeitspaket: | 1 |
| Datum: | 17.12.2025 |
| Version: | 6.4 |
| Status: | final |



EBeRE

Erzeugungssynchrone
Beteiligung an regenerativen
Erzeugungsanlagen

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 0. | Dokumentsteuerung..... | 1 |
| | Abkürzungen und Glossar..... | 1 |
| 1 | Modelle der kollektiven regenerativen Energieversorgung | 2 |
| 1.1 | Mieterstrommodell (nach EnWG §42a i. V. m. EEG §21, auch in einer WEG) | 4 |
| 1.2 | Gemeinschaftliche Gebäudeversorgung (nach EnWG §42b) | 5 |
| 1.3 | Strombilanzkreismodell | 7 |
| 1.4 | Energy Sharing Community (ESC) | 8 |
| 1.5 | Gemeinsame Nutzung elektrischer Energie nach §42c EnWG | 10 |
| 2 | Energiegemeinschaften menschenzentriert Gestalten – Ergebnisse aus der Forschung..... | 13 |
| 2.1 | Stärkung des sozialen Zusammenhaltes | 13 |
| 2.2 | Berücksichtigung individueller Charakteristika | 14 |
| 2.3 | Kommunikationsaspekte in der Bürgerbeteiligung | 15 |
| 3 | Wirtschaftliche Anreiz- und Verteilungsmodelle | 16 |
| 3.1 | Individuelle finanzielle Anreize..... | 17 |
| 3.2 | Gemeinschaftliche finanzielle Anreize, Wertschöpfung und Verteilmodelle | 18 |
| 4 | Ökologische Motivation..... | 19 |
| 5 | Menschenzentrierte technische Gestaltung von Energiegemeinschaften..... | 20 |
| 6 | Gestaltung von Nutzerschnittstellen für Energiegemeinschaften | 21 |
| 6.1 | Stärkung des sozialen Zusammenhaltes | 21 |
| 6.2 | Berücksichtigung individueller Charakteristika | 22 |
| 6.3 | Kommunikationsaspekte..... | 22 |
| 6.4 | Beispiele für Nutzerschnittstellen | 23 |
| 6.4.1 | Mobile Anwendungen für Betreibende von PV-Anlagen | 23 |
| 6.4.2 | Beispielhafte Desktop-Anwendung für Mitglieder von Energiegemeinschaften .. | 28 |
| 6.5 | Fazit..... | 31 |
| | Referenzen..... | 31 |

0. Dokumentsteuerung

Abkürzungen und Glossar

| Abk. | Definition |
|---------------|--|
| BIP | Bruttoinlandsprodukt |
| BHKW | Blockheizkraftwerk |
| CEC | Citizen Energy Community, Bürgerenergiegesellschaft |
| EE | Erneuerbare Energien |
| EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz |
| EMD / EMD III | Electricity Market Directive (Elektrizitätsbinnenmarktrichtlinie, zuletzt novelliert durch EMD III) |
| EnWG | Energiewirtschaftsgesetz |
| ERP | Enterprise Resource Planning (betriebswirtschaftliche Software) |
| ESC | Energy Sharing Community |
| EVU | Energieversorgungsunternehmen |
| iMSys | Intelligentes Messsystem |
| IZT | Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung |
| KMU | Kleine und mittlere Unternehmen |
| kW / kWp | Kilowatt / Kilowatt peak (Nennleistung von Erzeugungsanlagen, insbesondere PV) |
| LIC | Lugaggia Innovation Community |
| MWp | Megawatt peak |
| NIMBY | Not in my backyard: Befürwortung überregional bedeutsamer Infrastruktur, bei gleichzeitiger Ablehnung deren Errichtung in der Nähe des eigenen Wohnorts. |
| PV | Photovoltaik |
| REC | Renewable Energy Community (Erneuerbare-Energien-Gemeinschaft nach Art. 2 RED II) |
| RED II | Renewable Energy Directive II (Richtlinie (EU) 2018/2001 zur Regulation von erneuerbaren Energien) |
| VNB | Verteilnetzbetreiber |

Tabelle 1 Abkürzungen und Glossar

1 Modelle der kollektiven regenerativen Energieversorgung

Durch finanzielle Beteiligung an einer großen regenerativen Erzeugungsanlage können Bürger:innen unabhängig von der eigenen Wohnsituation monetär profitieren und einen direkten Beitrag zur Energiewende leisten. Rendite und ökologischer Nutzen hängen dabei einerseits von der gewählten Beteiligungsform ab, die von Nachrangdarlehen mit fixer Verzinsung bis zu Leasing oder Investments mit Gewährung von Genussrechten reicht.

In diesem Dokument richtet sich der Fokus auf alle Beteiligungsformen, die Ausschüttungen an die Geldgeber:innen in Abhängigkeit von deren Verbrauchsverhalten vornehmen. Kurz gesagt: Scheint die Sonne bzw. weht der Wind, ist der Verbrauch des von der Anlage erzeugten Stroms am günstigsten. Der wirtschaftliche und ökologische Output wird also genau dann maximiert, wenn sich das Verbrauchsverhalten möglichst an die Erzeugungsleistung anpasst.

Ein weiterer, mindestens genauso großer Hebel zur Optimierung des Anlagen-Outputs besteht in der (Geschäfts-)Beziehung, in der die einzelnen Investor:innen zueinander stehen. Das einfachste Modell besteht darin, diese als autarke Individuen zu betrachten. Sobald der Strom des eigenen Anlagenanteils verbraucht ist, wird die noch benötigte Restmenge zum Marktpreis beschafft. Nun ist es jedoch auch möglich, die beteiligten Personen gemeinschaftlich z.B. als Community aufzufassen. Mit mehr oder weniger rigiden Regeln können sich die Mitglieder so gegenseitig Strom zu günstigeren Preisen zur Verfügung stellen. Wenn der eigene Anteil aufgebraucht ist, springen andere Mitinvestor:innen ein, die ihren Anteil in diesem Zeitfenster nicht vollumfänglich nutzen können. Lediglich eine dann noch verbleibende Bedarfsmenge an elektrischer Energie wird vom Markt bezogen. Auch wenn der Marktpreis kurzfristig unter Umständen den größeren Erlös erzielen würde, kann es auf lange Sicht durchaus vorteilhaft sein, sich auf diese Weise gegen starke Preisschwankungen abzusichern. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn im Investorenkreis die Rollen von Nettoproduzent:innen und -konsument:innen wechseln und Phasen günstigen Bezugs und günstiger Abgabe einander abwechseln.

Unter „Energy Sharing“ versteht man eine Vielzahl von Modellen, die das „Energieteilen“ zwischen Erzeugenden und Verbrauchenden ermöglichen. Die generellen Motive für das Energieteilen lassen sich unter den folgenden Stichworten zusammenfassen:

- spart Geld;
- macht ein gutes Gefühl;
- erhöht Autonomie und Selbstbestimmung der Beteiligten;
- dient dem System (weniger Transport, mehr Flexibilität);
- schafft Wertschöpfung in der Region;
- stärkt den Bezug zur Energiewende.

Ob sich die Erwartungen an das Energy Sharing tatsächlich realisieren lassen, hängt maßgeblich von den gesetzlichen Rahmenbedingungen ab. Die EU-Kommission hat in diversen Richtlinien und Direktiven zum Ausdruck gebracht, dass sie kollektive Energieversorgung als einen zentralen Baustein des zukünftigen Energiesystems sieht. Dabei verfolgt sie auch übergeordnete Ziele wie

„Liberalisierung“ und „Demokratisierung“. Nennenswerte EU-Ansätze sind unter anderem das Konzept der „Active Customers“ in der Binnenmarktrichtlinie (EMD III, Art. 2 und Art. 5), die „Renewable Energy Communities“ (REC) in Art. 2 der Renewable Energy Directive (RED II) sowie die „Citizen Energy Communities“ (CEC) nach Art. 2 EMD. Alle diese Regelungen definieren jedoch keinen unmittelbaren Rechtsrahmen in Deutschland, sondern sollen bzw. müssen in nationales Recht umgesetzt werden.

Bereits vor der Veröffentlichung dieser EU-Regularien existierten in Deutschland Möglichkeiten, sich zum gemeinsamen Anlagenbetrieb zusammenzuschließen, etwa in Form von Bürgerenergiegesellschaften oder Erzeugungsgenossenschaften. Allerdings dien(t)en diese in der Regel nicht der Versorgung aus den eigenen Anlagen, sondern der Optimierung des Anlagenbetriebs und dem Absatz des Stroms. Eigenversorgung blieb weitgehend einzelnen Haushalten oder Gebäuden vorbehalten. Mit Modellen wie dem „Mieterstrom“ (siehe Kapitel 1.1) oder der „Gemeinschaftlichen Gebäudeversorgung“ (siehe Kapitel 1.2) fand der gemeinsame und koordinierte Stromverbrauch Einzug in die Systeme. Kommunen entwickelten für ihre Einrichtungen vereinzelt mit verbundenen Versorgern und Netzbetreibern spezielle Modelle der Eigenversorgung und des Bilanzkreismanagements (siehe Kapitel 1.3).

In diversen Untersuchungen und Modellprojekten wurde dann in den letzten Jahren das Stromteilen über das öffentliche Netz sowie zwischen ansonsten nicht verbundenen Liegenschaften erprobt, zuletzt in einem Projekt der *dena* (siehe Kapitel 1.4). Dabei war eine besondere Eigenschaft des deutschen Energierechts zu berücksichtigen: Die Versorgung über das öffentliche Netz ist Energieversorgungsunternehmen (EVU) vorbehalten, die umfassende Lieferanten- und Berichtspflichten zu erfüllen haben. Abgesehen davon, dass diese Anforderungen an neuartige „Energy Sharing Communities“ kaum zu erfüllen sind, ist es auch sinnvoll, solch komplexe Aufgaben etablierten Versorgern zu überlassen oder eng mit ihnen zusammenzuarbeiten. Erst mit der Einführung von §42c in das Energiewirtschaftsgesetz mit Beschluss des Bundestags vom 14.11.2025 (Inkrafttreten am 1.6.2026) wird es möglich, zumindest in beschränktem Umfang Strom von (privaten) Erzeuger:innen an sogenannte „Letztverbraucher“ zu verkaufen (siehe Kapitel 1.5).

Das Projekt EBeRE wird – unabhängig vom angewendeten Modell – den Erzeugern und Verbrauchern helfen, intelligent optimierte Erzeugungs-Verbrauchs-Prozesse zu etablieren:

- In den meisten Anwendungsfällen werden vorhandene Anlagen genutzt, nicht zuletzt solche, deren wirtschaftliche Grundlage durch das Auslaufen von Verträgen oder Änderungen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) für reine Einspeisemodelle entfallen ist. **EBeRE konzentriert sich hingegen auf neu zu errichtenden Anlagen und will optimierte Investitions- und Renditemodelle entwickeln.**
- Zwischen den beteiligten Erzeugern und Verbrauchern sowie den eingebundenen Versorgern bzw. Netzbetreibern werden bilaterale Verträge geschlossen, die traditionellen Mustern folgen und weitergehende Anreiz- und Honorierungsmodelle vor netz-, system- oder marktdienliches Verhalten kaum ermöglichen. Dies gilt im Kern auch für das Energy Sharing nach dem neuen §42c EnWG. **EBeRE wird daher unter dem Stichwort**

„Energierendite“ Vertragsmodelle entwickeln, die den Nutzen aus der mitfinanzierten Anlage an das tatsächliche Verbrauchsverhalten koppeln (Stichwort: Flexibilisierung).

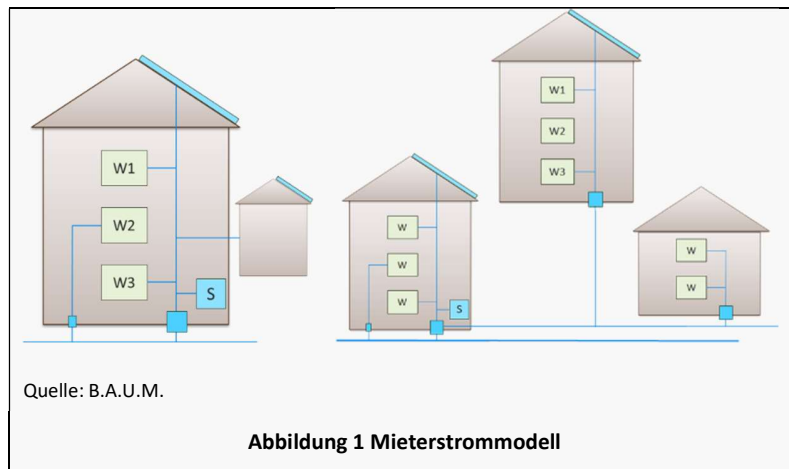
- Die praktizierten und zu erwartenden Konstellationen in den skizzierten Anwendungsmodellen sind nicht dazu ausgelegt, das Verhalten der gesamten Gruppe von Beteiligten zu optimieren. Modellversuche und wissenschaftliche Studien legen jedoch nahe, dass durch eine durch Gruppenbildung sowohl größere Potenziale erschlossen als auch wirksamere Anreize geschaffen werden können. **EBeRE wird durch wissenschaftliche Untersuchungen und in der Praxis zeigen, welche Erwartungen seitens der Beteiligten im Hinblick auf eine „kollektiv erwirtschaftete Energierendite“ bestehen und wie sie in den diversen Rahmenbedingungen gruppendynamisch und rechtssicher umgesetzt werden können.**

Während sich der Rest dieses Deliverables im Wesentlichen auf humanwissenschaftliche Aspekte von kollektiv optimierten Erzeugungs-Verbrauchs-Situationen konzentriert, werden im Folgenden (Kapitel 1.1 bis 1.5) vorab die diversen rechtlich-organisatorischen Modelle kurz beleuchtet.

1.1 Mieterstrommodell (nach EnWG §42a i. V. m. EEG §21, auch in einer WEG)

Auf einem oder mehreren Gebäuden wird Strom über eine PV-Aufdachanlage erzeugt. Anstatt den Strom in das örtliche Stromnetz einzuspeisen, wird der erzeugte Strom direkt an angeschlossene Letztverbraucher im Gebäude oder – über ein eigenes „Mikronetz“ ohne Nutzung des öffentlichen Netzes – an Verbraucher im Quartier abgegeben. Falls mehrere Gebäude angeschlossen sind, wird meist von „Quartiersstrom“ gesprochen. Überschussstrom wird an das öffentliche Netz abgegeben. Die Verbraucher:innen schließen einen Mieterstromvertrag ab – entweder mit dem Anlagenbetreiber oder mit einem Dritten („Lieferkettenmodell“), der mit dem Anlagenbetreiber vertraglich verbunden ist. Sofern eine Förderung in Anspruch genommen wird, muss der Mieterstrompreis mindestens 10 % günstiger als der des örtlichen Grundversorgers sein. In Zeiten, in denen die PV-Anlage keinen Strom produziert, muss seitens des Mieterstromlieferanten eine Strombelieferung weiterhin gewährleistet sein. Dieser schließt dazu mit einem Versorger einen Vertrag zur Reststrombeschaffung ab.

Neben dem geförderten Mieterstrom existieren diverse spezielle Modelle, bis hin zum sog. Pseudo-Mieterstrom, bei dem der Strom voll ins Netz eingespeist wird und die Bewohner:innen bzw. Gebäudenutzer:innen einen konventionellen, rabattierten Stromtarif abschließen.

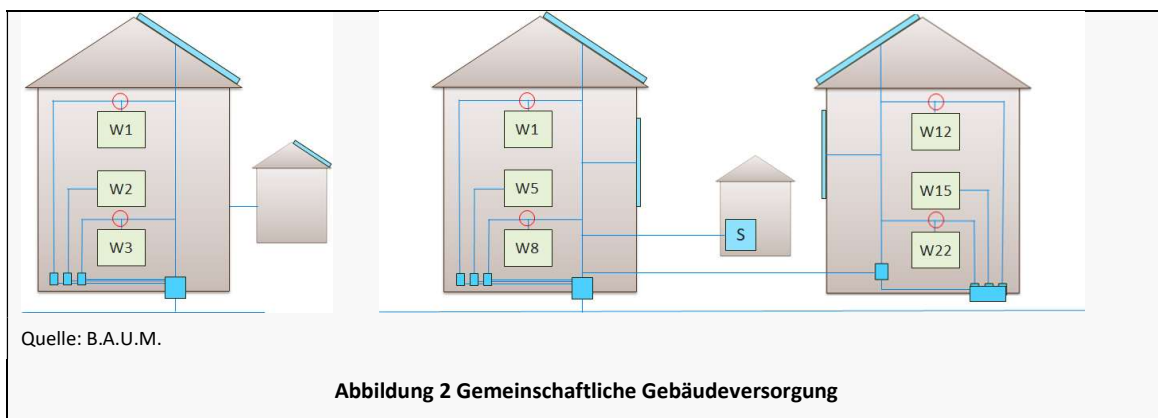


| Charakter der Beteiligung | Vorteile | Nachteile |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ Versorgung von Mieter:innen und/oder Eigentümer:innen und/oder Nutzer:innen von Wohngebäuden ❖ alle Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen über genau einen Netzverknüpfungspunkt an das öffentliche Netz angeschlossen ❖ Vollversorgung aller angeschlossenen Letztverbraucher, bei Bedarf Zukauf von Reststrom ❖ kaum Beziehung der Teilnehmenden zu „ihrer“ Anlage, in der Regel keine bedeutenden wirtschaftlichen Vorteile | <ul style="list-style-type: none"> + gesicherte Versorgung mit Ökostrom (bei gefördertem Mieterstrom) + Kostengünstige Stromversorgung, da Strompreis maximal 90 % des Grundversorgetarifs + keine Netzentgelte und Abgaben sowie in bestimmten Fällen keine Steuern + Einnahmen aus Mieterstromzuschlag und Steuerersparnis, je nach Modell + niedrigere Wohnnebenkosten + höherer Immobilienwert | <ul style="list-style-type: none"> – Anlagenbetreiber bzw. verbundener Dritter ist Lieferant im Sinne des EnWG, muss „voll“ versorgen und hat umfassende Meldepflichten – bei Bezug auf ein einziges Gebäude: Dimensionierung der PV-Aufdachanlage orientiert sich an der Anzahl der versorgten Bewohnenden, wodurch die potenzielle Dachfläche oftmals nicht vollends ausgeschöpft wird – Einschränkungen bei der Einbindung von Altanlagen (errichtet vor April 2024), z. B. Beschränkung auf genau ein Gebäude – Beschränkungen bezüglich max. Leistung der Anlagen (je Anlage maximal 100 kWp, gesamt 1 MWp) – kein Stromteilen über das öffentliche Netz (siehe „Energy Sharing“) |

1.2 Gemeinschaftliche Gebäudeversorgung (nach EnWG §42b)

Ähnlich wie beim Mieterstrommodell wird Strom auf oder an Gebäuden erzeugt und direkt, also ohne Nutzung des öffentlichen Netzes, an angeschlossene Letztverbraucher im gleichen oder einem verbundenen Gebäude abgegeben. Eine Erzeugungsanlage kann auch von einer Gemeinschaft der Wohnungseigentümer:innen betrieben werden. Zudem kann das gemeinschaftliche Gebäudeversorgungsmodell auf Gebäude ausgedehnt werden, an denen der Anlagenbetreiber Wohnungs- oder Teileigentum besitzt.

Der wesentliche Unterschied zum Mieterstrommodell: Der Anlagenbetreiber übernimmt keine Vollversorgung und keine damit verbundenen Lieferanten- und Mitteilungspflichten. Eine Zwischenspeicherung in einer Energiespeicheranlage ist dabei zulässig. Grundsätzlich ist es möglich, dass eine gemeinschaftliche Gebäudeversorgung nicht oder nicht nur mit erneuerbarem Strom funktioniert – beispielsweise durch die Kombination von PV-Anlage mit einem gasbetriebenen Klein-BHKW (Blockheizkraftwerk) zur Erzeugung von Wärme und Strom. Die Verbraucher:innen schließen mit dem Anlagenbetreiber einen Gebäudestromnutzungsvertrag zur Belieferung mit Strom. Reicht die Erzeugung nicht aus, wird der verfügbare Strom nach einem festgelegten Aufteilungsschlüssel verteilt und den fehlenden Reststrom beziehen die Letztverbraucher jeweils über einen eigenen Liefervertrag mit einem Lieferanten ihrer Wahl.



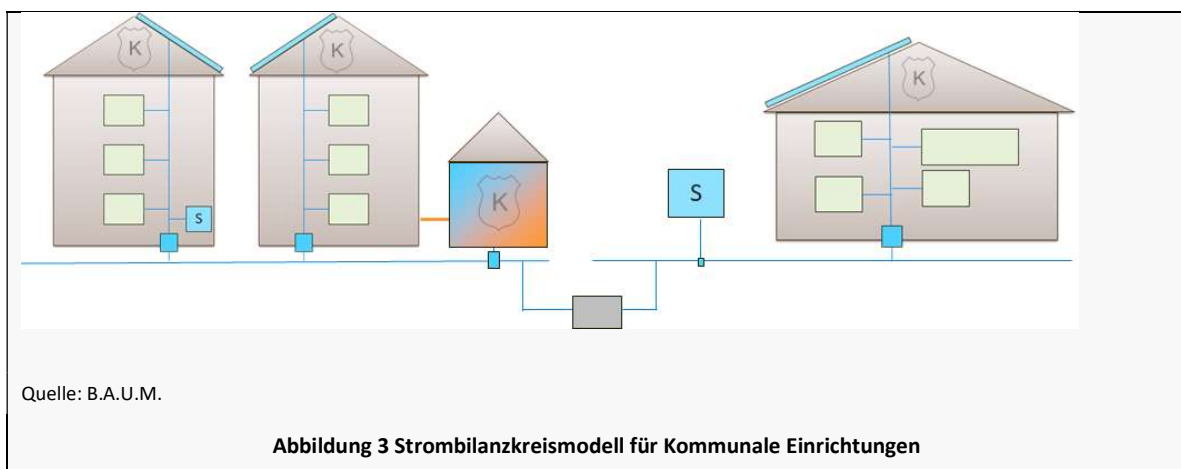
| Charakter der Beteiligung | Vorteile | Nachteile |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ Strom aus PV-Anlagen in, an oder auf demselben Gebäude, in dem er auch verbraucht wird, oder auf einer Nebenanlage, jedoch ohne durch öffentliche Netze zu fließen ❖ keine Vollversorgung der angeschlossenen Letztverbrauchenden; Zukauf von Reststrom individuell bei frei wählbarem Stromlieferanten ❖ viertelstündliche Messung und Abrechnung des Verbrauchs ❖ kaum Beziehung der Teilnehmenden zu „ihrer“ Anlage, ggf. wirtschaftliche Vorteile durch Mitnutzung von Anlagen auf anderen Gebäuden | <ul style="list-style-type: none"> + keine bzw. geringe „Lieferantenverpflichtung“, insbesondere reduzierte Mitteilungspflichten + weitgehend freie Vertragsgestaltung, wobei Verknüpfung mit dem Mietvertrag nur in Ausnahmefällen + keine Beschränkung auf EE-Anlagen | <ul style="list-style-type: none"> – keine Förderung – keine Mieterstromzulage – kein Stromteilen über das öffentliche Netz (siehe „Energy Sharing“) |

1.3 Strombilanzkreismodell

Dieses Modell wird in und mit kommunalen Gebäuden unter Berücksichtigung individueller Gegebenheiten der Kommune praktiziert, z. B. im Rahmen eines integrierten Klimaschutzkonzepts oder einer Machbarkeitsstudie. Anlagenstandorte für Produktion und Verbrauch müssen der gleichen Kommune zugeordnet sein, sind aber mindestens teilweise über das öffentliche Netz verbunden.

Der Eigenverbrauch im selben Gebäude ist häufig dadurch beschränkt, dass die Nutzungsgewohnheiten nicht zum Erzeugungsverlauf passen – z.B. bei einem Feuerwehrhaus mit PV-Anlage. Ein Bilanzkreissystem ermöglicht es, den Eigenstromverbrauch über mehrere Gebäude hinweg zu erweitern – sofern diese Gebäude im Besitz der gleichen juristischen Person sind, hier der Kommune. Dieses Modell ist dem weiter unten beschriebenen „Energy-Sharing unter Beteiligung eines Versorgers“ insofern ähnlich, als die Abwicklung der energiewirtschaftlichen Prozesse durch genau einen Partner erfolgt. Allerdings sind hier die Mitglieder der dort beschriebenen „Energy Sharing Community“ (ESC) ausschließlich kommunale Einrichtungen. Der verbundene Stromversorger nimmt den gesamten Strom ab, der von deren Erzeugungsanlagen produziert wird, und nutzt ihn für die Versorgung derselben Gruppe von Einrichtungen. Alle beteiligten Einrichtungen bilden einen Bilanzkreis, das heißt eine Gruppe, innerhalb derer für jede Viertelstunde festgestellt wird, ob Erzeugung und Verbrauch zusammenpassen. Ist die Erzeugung zu niedrig, stellt der Versorger Reststrom bei. Ist die Erzeugung höher als der Verbrauch, wird der Überschuss marktlich verwertet.

Durch ein komplexes Abrechnungsmodell entstehen über das Jahr wirtschaftliche Vorteile sowohl für die angeschlossenen kommunalen Einrichtungen als auch für den verbundenen Versorger und Netzbetreiber. Die Vorteile resultieren dabei vor allem aus geringeren Stromgestehungskosten und aus ersparter Mehrwertsteuer, da Verkauf und Einkauf des Stroms innerhalb des Bilanzkreises gegeneinander verrechnet werden. Nicht zuletzt deshalb setzt das Modell eine genaue rechtliche und regulatorische Abstimmung mit dem Netzbetreiber sowie geeignete Zähler- und Messtechnik voraus.



| Charakter der Beteiligung | Vorteile | Nachteile |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ Anlagenstandorte für Produktion und Verbrauch der gleichen Kommune zugeordnet, aber mindestens teilweise über das öffentliche Netz verbunden ❖ klare und geprüfte technische, wirtschaftliche, rechtliche und organisatorische Situation unter Berücksichtigung individueller Gegebenheiten einer Kommune | <ul style="list-style-type: none"> + virtuelle Verrechnung von Erzeugung und Verbrauch innerhalb eines dafür gebildeten Bilanzkreises + Integration weiterer Erzeugungs- und Speichereinrichtungen zur Flexibilisierung und Steigerung des Eigenverbrauchs + Vorbildwirkung durch technische und wirtschaftlich optimierte Nutzung regenerativer Energien | <ul style="list-style-type: none"> – Beschränkung auf Einrichtungen <u>einer</u> Kommune – keine optimierte Erzeugungs-Verbrauchs-Situation bei zu ähnlichen Lastprofilen der beteiligten Einrichtungen |

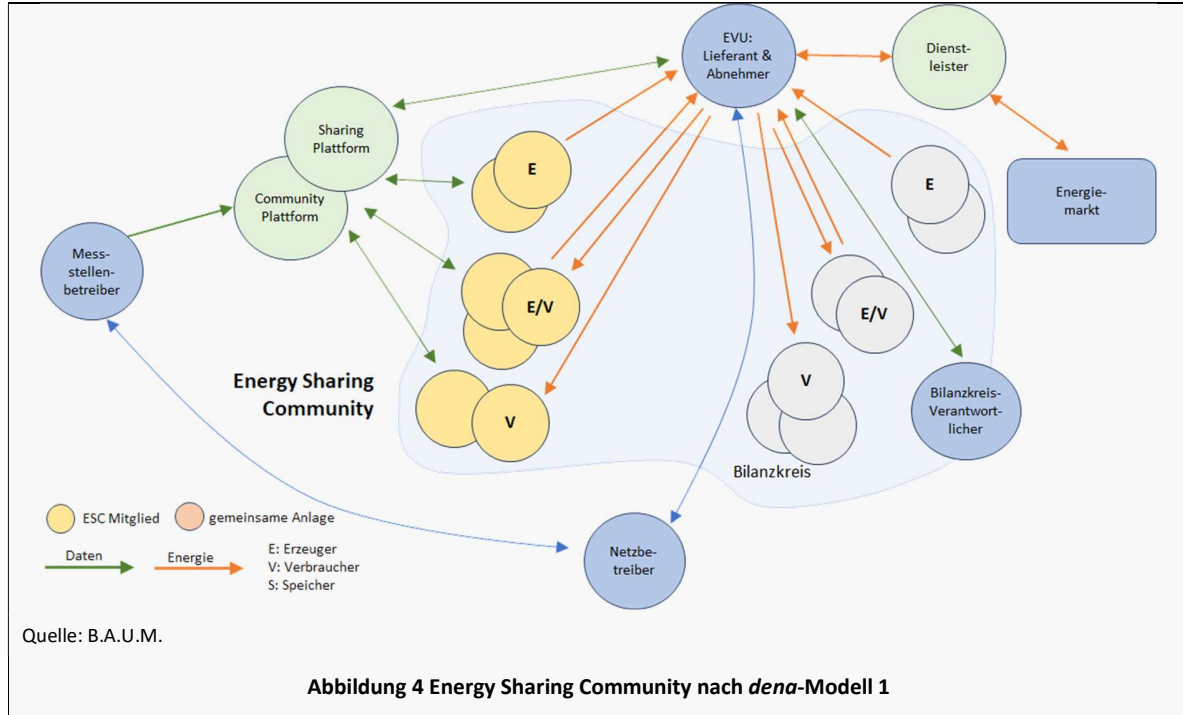
1.4 Energy Sharing Community (ESC)

Die Deutsche Energieagentur (*dena*) hat im Rahmen eines Wissenschaftsprojekts mit IZT und B.A.U.M. und in einem Pilotprojekt mit den Stadtwerken Wunsiedel Modelle erarbeitet, wie das „Stromteilen“ (Energy Sharing) über das öffentliche Netz sowohl im aktuellen als auch in jedem zukünftigen Rechtsrahmen möglich ist. In jedem denkbaren Modell können beliebige Betreiber:innen von erneuerbarer Erzeugungsanlagen (Private, Betriebe, auch Kommunen oder kommunale Einrichtungen) sich untereinander und andere über das öffentliche Netz bilanziell mit Strom versorgen, solange sie nicht selbst Lieferant nach dem Energiewirtschaftsgesetz werden. In dem Ende 2024 abgeschlossenen Modellprojekt in Wunsiedel schließen dabei sowohl Erzeuger:innen als auch Verbraucher:innen (das heißt die Mitglieder einer ESC) bilaterale Liefer- und Abnahmeverträge mit ein- und demselben Versorgungsunternehmen. Dieser Versorger erwirbt den Strom von den Anlagen der einzelnen Mitglieder der ESC und versorgt damit die verbrauchenden ESC-Mitglieder, einschließlich sowohl Prosumer als auch gegeben falls reiner Consumer. Überschüsse aus der ESC werden am Markt platziert oder zum Ausgleich des örtlichen, vom involvierten Versorger bedienten Bilanzkreises genutzt. Nicht in der ESC erzeugter Strom wird vom Versorger als Reststrom vom Markt zugekauft und an die Mitglieder der ESC geliefert. Ein geeignetes Tarifmodell schafft wirtschaftliche Anreize, sich der ESC anzuschließen.

Die ESC kann sich, wie im Pilotprojekt, zu einer Genossenschaft zusammenschließen. Verhält sich die Gruppe netz-, system- oder marktdienlich, etwa indem der Strom überwiegend zu Zeiten verbraucht wird, in denen er innerhalb der ESC erzeugt wird, kann sie vom beteiligten Versorgungsunternehmen Boni erhalten. Aus solchen Einnahmen kann die ESC z. B. gemeinsam betriebene Anlagen oder Speichersysteme anschaffen, um die Eigenversorgung über das öffentliche Netz weiter zu erhöhen.

Der Abgleich von Erzeugung und Verbrauch wird durch leistungsfähige Informations- und Kommunikationstechnologie sichergestellt, unter anderem durch 15-minütliche Messungen mit Intelligenten Messsystemen (iMSys) und Community- und Sharing-Software als Ergänzung zur beim Versorger bereits etablierten Software (ERP-System). Anlagen können über das iMSys oder

ergänzende Geräte angereizt oder angesteuert werden, um netz-, system- oder marktdienliches Verhalten zu unterstützen.



| Charakter der Beteiligung | Vorteile | Nachteile |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ Zusammenführung von Eigentümer:innen bestehender Erzeugungsanlage zum Zwecke der kollektiven Eigenversorgung ❖ keine Lieferantenpflichten seitens der Energy Sharing Community ❖ Zusammenarbeit mit einem (örtlichen) Versorger, der die energiewirtschaftlichen Prozesse abbildet und die ESC bei ihren kollektiven Prozessen unterstützt, z. B. bei der Optimierung und Aufzeichnung des Gruppenverhaltens | <ul style="list-style-type: none"> + hohe Eigenversorgungsquote einer (diversen) Gruppe, verbunden mit wirtschaftlichen Vorteilen entsprechend dem vereinbarten Tarifmodell + höhere Erlöse für Anlagen, die aus der EEG-Förderung fallen + kollektive, nachhaltige Nutzung regenerativer Energien auch über das öffentliche Netz + hohes Maß an Autonomie, das heißt Möglichkeiten zur Mitgestaltung der Energiewende auf kommunaler Ebene | <ul style="list-style-type: none"> - bisher nur wenige erfolgreiche Implementierungen - Abhängigkeit von der wohlwollenden Zusammenarbeit mit einem (örtlich zuständigen) Versorger - nicht zu vernachlässigende Investitionen für Technik und IT-Systeme |

1.5 Gemeinsame Nutzung elektrischer Energie nach §42c EnWG

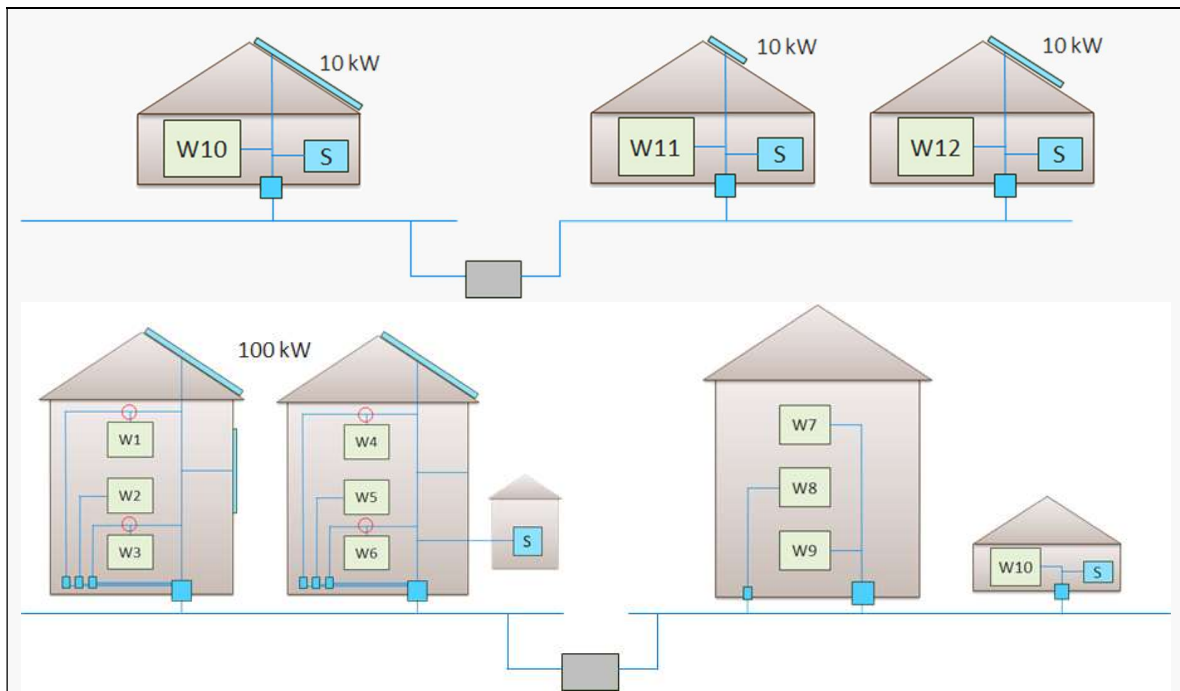
Das Konzept des Energy Sharings ist durch die Strombinnenmarktrichtlinie (Art. 15a in der Richtlinie (EU) 2024/1711) vorgesehen. Durch eine im November 2025 beschlossene Novelle wurde dem deutschen Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) ein „§ 42 c, Gemeinsame Nutzung elektrischer Energie aus Anlagen zur Erzeugung von Elektrizität aus erneuerbaren Energien“ hinzugefügt, der weitgehend den Anforderungen der Binnenmarktrichtlinie entspricht. Damit wird Energy Sharing im engeren Sinn erstmals nach deutschem Recht formal möglich sein.

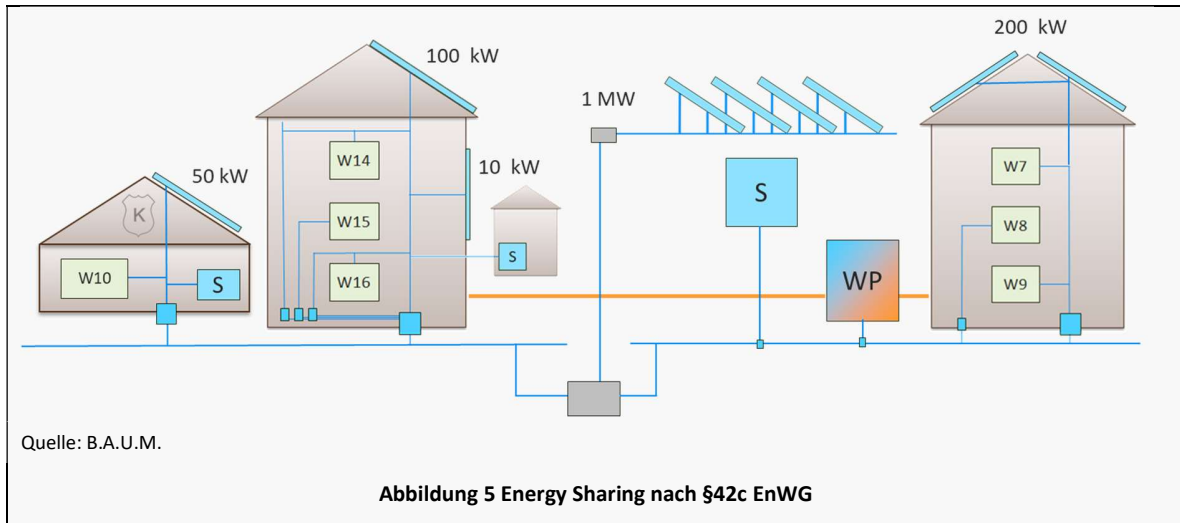
Energy Sharing nach §42c ermöglicht es Besitzer:innen von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien, innerhalb eines definierten Gebietes elektrische Energie unter Nutzung des öffentlichen Netzes direkt an einen oder mehrere Letztverbraucher zu verkaufen. Für die Betreiber der „gemeinsam genutzten Erneuerbare Energien-Anlagen“ ist von Vorteil, dass diese keine Vollversorgung der Letztverbraucher anbieten müssen. Ausdrücklich vorgesehen ist, dass Recht des Letztverbrauchers den ergänzenden Reststrom über einen Lieferanten ihrer Wahl beziehen können. In dieser Hinsicht ähnelt dieses Modell dem der gemeinschaftlichen Gebäudeversorgung. Das Gesetz orientiert sich deutlich an den Bedürfnissen von Haushalten und Gemeinschaftswohnanlagen. Kleinunternehmen, KMU sowie kommunale Einrichtungen können ebenfalls teilnehmen, wobei wesentliche Voraussetzungen für die Anwendung von §42c sind, dass weder der Betrieb der Erzeugungsanlage noch die Abnahme des erzeugten Stroms Haupttätigkeit des Betroffenen sind. Außerdem müssen sich die Erzeugungsanlage und die Verbrauchsstellen im gleichen VNB-Gebiet befinden (ab 1. Juni 2026 innerhalb des Bilanzierungsgebiets eines VNB, ab 1. Juni 2028 zusätzlich in einem direkt angrenzenden Gebiet der gleichen Regelzone). In diesem Fall hat der VNB eine gemeinsame Nutzung zu ermöglichen. Zwischen dem Betreiber der Erzeugungsanlage und allen Letztverbrauchenden muss es eine vertragliche Vereinbarung über die Lieferung von in der Anlage erzeugtem Strom geben. In den Verträgen muss mittels eines Aufteilungsschlüssels geregelt sein, welcher Anteil der Erzeugung jedem Letztverbrauchenden zusteht. Alle Erzeugungs- und Verbrauchsmengen sind mittels ¼-Stunden-Messungen zu erfassen. Auch wenn nicht im Gesetz vorgeschrieben, ergibt sich daraus in der Regel der Bedarf zur Installation von iMSys-Geräten.

Grundsätzlich werden die Betreiber von Erzeugungsanlagen nach §42c zu Versorgern im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes mit allen Verpflichtungen, die Energieversorgern auferlegt sind. Allerdings sieht das Energy Sharing nach §42c vor, dass §§ 5 und 40 bis 42, welche die Stromlieferantenpflichten detailliert regeln, nicht anzuwenden sind, wenn die Energy-Sharing-Teilnehmenden ausschließlich Haushaltskunden sind und die installierte Erzeugungsleistung max. 30 kW beträgt oder es sich um mehrere Haushaltskunden innerhalb eines Gebäudes handelt und die installierte Leistung 100 kW nicht übersteigt. Allerdings lässt das Gesetz hier noch einige Fragen zum Thema „Bündelung von Anlagen“ oder „Anlagenbetrieb als Gruppe“ offen. Entsprechend ist zwischen „kleinen“ §42c Modellen mit Befreiung von Lieferantenpflichten und „großen“ Modellen zu unterscheiden. Neben den beiden „kleinen“ Modellen ist in Abb. 5 ein Modell dargestellt, bei dem eine Energy-Sharing-Gemeinschaft eine große Freiflächen-PV-Anlage zur Stromversorgung und als Quelle für den Betriebsstrom ihrer großen Wärmepumpe betreibt.

Erwähnenswert sind zudem zwei weitere, im gleichen Gesetzgebungsverfahren beschlossene Neuerungen:

- Durch die Neufassung von § 20b (Gemeinsame Internetplattform für die Abwicklung des Netzzugangs) sollen die Netzbetreiber verpflichtet werden, eine gemeinsame und bundesweit einheitliche, zentrale Internetplattform für den Datenaustausch im Zusammenhang mit der Abwicklung des Netzzugangs zu etablieren. Die geplante IT-Plattform kann erhebliche Vorteile für eine technisch erleichterte und wirtschaftlich tragfähige Abwicklung von dezentralen Versorgungsmodellen wie dem Energy Sharing bedeuten.
- Die Änderung von § 118 Abs. 6, Artikel 1 EnWG erlaubt, dass nun neben rein netzdienlichen Speichern auch Speicher in Kombination mit Photovoltaikanlagen oder Kundenanlagen (Multi-Use-Speicher) von den Netzentgelten befreit werden können und damit wirtschaftlich eher umsetzbar sind.





| Charakter der Beteiligung | Vorteile | Nachteile |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ direkter Verkauf von Strom aus eigenen Anlagen an Letztverbraucher, auch über das öffentliche Netz ❖ stark ausgelegt auf Beteiligung von Haushalten in Ein- oder Mehrfamilienhäusern oder die Versorgung von Nachbarn aus einer (relativ kleinen) Erzeugungsanlage ❖ etablierte Versorger nicht als Intermediäre erforderlich, jedoch ggf. als Dienstleister | <ul style="list-style-type: none"> + Energy Sharing möglich über das öffentliche Netz + keine Versorgungspflicht, d. h. keine Verpflichtung zur Reststrombeschaffung + keine oder reduzierte Lieferantenpflichten bei kleinen Anlagen + Zulässigkeit der Übertragung von Dienstleistungen an Dritte (auch wenn sie die Aufgaben als Haupttätigkeit haben, sie jedoch diskriminierungsfrei und transparent erbracht werden): Installation und Betrieb der Anlage, einschließlich Messung und Wartung; Abrechnung mit mitnutzenden Letztverbrauchern; Dienstleistungen nach 14a EnWG | <ul style="list-style-type: none"> - Beschränkung der Anlagengröße auf 30kW bzw. 100 kW, um Lieferantenpflichten zu erlassen - keine Anreize im Sinne einer Prämie oder reduzierter Netzentgelte, die als Kompensation für administrativen und messtechnischen Aufwand dienen könnten - weiterhin Unklarheiten oder Hindernisse in der Marktkommunikation, speziell der Erfassung und Übergabe von Daten zwischen Verteilnetzbetreibern, Messstellenbetreibern und Anlagenbetreibern - unklare Teilnahmemöglichkeiten für Genossenschaften bzw. Bürgerenergiegesellschaften, wodurch Anreize für echte Gruppenbeteiligung begrenzt bleiben - mangelnde Digitalisierung und uneinheitliche Datenformate in der Praxis |

2 Energiegemeinschaften menschenzentriert Gestalten – Ergebnisse aus der Forschung

Energiegemeinschaften werden meist lokal und durch die Beteiligung einer Gruppe von Personen ermöglicht. Sowohl beim Aufbau als auch im späteren Betrieb einer Gemeinschaft gibt es – basierend auf aktueller Forschung – unterschiedliche Faktoren, die eine funktionierende Energiegemeinschaft begünstigen oder mögliche Barrieren verhindern können. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Nutzerforschung über Energiegemeinschaften zusammengefasst und drei zentralen Faktoren zugeordnet. Diese Ergebnisse betreffen vor allem:

- die **Stärkung des sozialen Zusammenhaltes**,
- die **Berücksichtigung von individuellen Charakteristika**,
- und die Adressierung verschiedener **Kommunikationsaspekte** in der Bürgerbeteiligung,

welche vor der Implementierung und während der Umsetzung einer Energiegemeinschaft besonders relevant sind.

2.1 Stärkung des sozialen Zusammenhaltes

Da Energiegemeinschaften auf die Formierung und Aufrechterhaltung einer physischen und oder digitalen Gruppe fokussieren, ist es wichtig den **Gemeinschaftssinn der Gruppe zu wecken bzw. zu stärken – am besten** frühzeitig und fortlaufend. Ein gemeinsames Anliegen zu formulieren, unterstützt den Gemeinschaftssinn und stärkt somit die Akzeptanz für eine Energiegemeinschaft. So konnten le Mairte et al. (2024) in einer experimentellen Befragung von Anwohner:innen in der Nähe eines Windparks in Irland zeigen, dass ein ausgeprägter Gemeinschaftssinn die Bereitschaft, ein weiteres Windkraftprojekt in der Nähe zu akzeptieren, signifikant erhöht. Zugleich zeigte sich, dass **wahrgenommene lokale sozioökonomische und ökologische Vorteile durch das Projekt**, wie zusätzliche Arbeitsplätze oder Umweltentlastungen, diesen Akzeptanzeffekt weiter verstärken.

Bergek und Palm (2024) konnten in ihrer Befragungsstudie mit 366 Mitgliedern die Bedeutung des Zusammenhalts im Rahmen von bestehenden Solar-Energiegemeinschaften bestätigen. Die große Mehrheit der Teilnehmenden bezeichnete sowohl das Gefühl des Miteinanders als auch gemeinsame Werte als mindestens wichtig; rund 80 Prozent hoben außerdem, ähnlich wie in der Befragung von le Mairte et al. (2024) die Schaffung lokaler Wertschöpfung hervor. Bemerkenswert ist dabei, dass weder geographische Nähe noch häufige persönliche Interaktion innerhalb der Energiegemeinschaft als ausschlaggebend wahrgenommen wurden. Das Gemeinschaftsgefühl gründete sich vielmehr auf den gemeinsamen Investitionen und dem Beitrag zur Energiewende: Eine **missionsbasierte Verbundenheit, die nicht auf bestehenden sozialen Beziehungen fußte**.

Diese Befunde decken sich mit der Literaturübersicht von De Simone et al. (2025), in welcher bestehende soziale Netzwerke, Vertrauen in lokale Institutionen und eine ausgeprägte Ortsidentität als zentrale Katalysatoren erfolgreicher Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften herausgearbeitet wurden.

Die zentrale Bedeutung des sozialen Zusammenhalts und damit verbundener **Konflikte** für den Erfolg bzw. Misserfolg von Energiegemeinschafts-Projekten wird durch die Fallstudie von Reusswig et al. (2016) zum Windenergievorhaben in Engelsbrand (Baden-Württemberg, Deutschland) unterstrichen. Trotz förderlicher Rahmenbedingungen wie einem transparentem Planungsprozess, positiven Gemeinderatsbeschluss und einer breit angelegten Dialogrunde, wurde hier durch eine lokale Oppositionsrunde das Projekt gestoppt. Im Kern des Konflikts lagen divergierende Deutungen des Gemeinwohls, insbesondere Fragen der öffentlichen Gesundheit, des Landschaftsbilds und der wirtschaftlichen Tragfähigkeit. Das klassische NIMBY-Phänomen (Not-In-My-Backyard) allein konnte das Scheitern des Projektes nicht erklären.

Systematische Evidenz für solche Konfliktodynamiken liefert die Literaturübersicht von Nieminen & Laitinen (2025), in der 60 Studien aus den Jahren 2014 bis 2024 aus Nordeuropa ausgewertet wurden. Konfliktpotentiale und **Opposition** ergeben sich demnach **nicht nur aus ökologischen und ästhetischen, sondern auch aus soziokulturellen Bedenken**, wie Gefährdung traditioneller Lebensweisen, Erinnerungen an historische Ungerechtigkeiten und Gesundheitsorgen. Als zentrale Ursachen dieser Bedenken identifizierten die Forscherinnen mangelnde Anerkennung lokaler Autonomie, geringe Priorisierung sozialen Wohlergehens, Mangel an Transparenz und frühen Konsultationen, sowie Vertrauensdefizite gegenüber den Behörden und Projektentwickler:innen. Diese Faktoren sollten daher bereits frühzeitig in der Planung von Beteiligungsprozessen adressiert werden, um Konflikten vorzubeugen und die Akzeptanz unter potentiell Betroffenen zu fördern.

2.2 Berücksichtigung individueller Charakteristika

Neben gruppenbasierten Prozessen sind auch individuelle Charakteristika ausschlaggebend für das Ausmaß der Beteiligung einzelner Mitglieder an der Energiegemeinschaft. Individuelle Merkmale bilden die Grundlage für die Ausprägung verschiedener Motivatoren.

Zahlreiche Studien zeigen, dass **umweltbezogene Werte** und eine positive Einstellung zur Energiewende maßgebliche Treiber sind (De Simone et al., 2025; Hübner et al., 2023; Conradie et al., 2021; Bergek & Palm, 2024; Fischer et al., 2021; Hoppe et al., 2019). Daneben spielen **politische Selbstwirksamkeit** und **persönliche Durchsetzungsstärke** eine wichtige Rolle: Personen mit hoher politischer Selbstwirksamkeit – also jene, die davon überzeugt sind, politisch etwas bewirken zu können, oder die sich selbst als durchsetzungsfähig einschätzen – beteiligen sich an oder engagieren sich für die tatsächliche Umsetzung (Ćetković & Bertemes, 2025; Hoppe et al., 2019). Auch wahrgenommene **Erwartungen aus dem sozialen Umfeld, Vertrauen in Mitmenschen und lokale Akteurinnen und Akteure** (z.B. Stadtwerke) sowie **altruistische Neigungen** fördern die Bereitschaft zur Teilnahme (Fischer et al., 2021; Hübner et al., 2023; le Maitre et al., 2023). Umgekehrt wirkt eine konservative politische Orientierung tendenziell hemmend (Fischer et al., 2021). Wer **Energieautonomie** anstrebt, zeigt laut De Simone et al. (2025) eine höhere Beteiligungsbereitschaft. **Fachwissen** über Energie erleichtert die aktive Teilnahme zwar (Ernst & Shamon, 2020), stellt aber **keine zwingende Voraussetzung** dar, solange Lern- bzw. Weiterbildungsmöglichkeiten geboten werden. Für einige kann gerade die Aussicht, neue Kompetenzen zu erwerben, motivierend sein (De Simone et al., 2025). Bürger:innen mit

umfangreichem themenspezifischen Wissen – etwa über Windenergie – tendieren dazu, sich aktiv beteiligen zu wollen (Langer et al., 2017). Die Vielfalt an Motivationen, die auf unterschiedlich ausgeprägten individuellen Charakteristika beruhen, machen es notwendig, **unterschiedliche (formelle und informelle) Beteiligungs-/Informations-/ und Kommunikationswege** (siehe auch folgendes Kapitel 2.3) für Bürger:innen anzubieten. Die Berücksichtigung von unterschiedlichen Fähigkeiten und Eigenschaften erweitert nicht nur die Breite der Zielgruppe, sondern erhöht zudem Diversität und Fairness der Energiewendebeteiligung. Zu dieser Schlussfolgerung kamen Četković & Bertemes (2025) im Rahmen einer quantitativen Querschnitterhebung in Deutschland. Sie stellten fest, dass beispielsweise physisch-stattfindende Beteiligungsformate wie Bürgerversammlungen eine gewisse persönliche Durchsetzungsstärke erfordern und schüchternere Personen daher abschrecken, während diese eher bereit sind, Fragebögen auszufüllen oder Informationsstände aufzusuchen.

In Bezug auf den Beteiligungszeitpunkt zeigte sich zudem, dass Alter, Erfahrung und Selbstwirksamkeit in Wechselwirkung stehen (Kluge et al., 2021). Ältere, protesterfahrene Personen mit hoher politischer Selbstwirksamkeit legen besonderes Gewicht auf einen möglichst frühen Informationszeitpunkt, wohingegen jüngere Menschen mit geringerer Protesterfahrung und politischer Selbstwirksamkeit vor allem auf die (unabhängige und vertrauenswürdige) Informationsquelle Wert legen.

2.3 Kommunikationsaspekte in der Bürgerbeteiligung

Aus der bisher dargestellten Forschung ging bereits hervor, dass eine möglichst **frühe und kontinuierliche** Auskunft und Einbindung von Bürger:innen in geplante Energieprojekte **von großer Relevanz sind** (le Mairte et al., 2023; Kluge et al., 2021). Vor allem prozedurale Merkmale (Informationen zum beteiligten Projektträger, Art der Einbindung während der Standortwahl und Bauphase) beeinflussten laut le Mairte et al. (2023) die Zustimmung und Akzeptanz gegenüber der Anlage stärker als die Fragen rund um Verteilung der finanziellen Erträge.

Einige Studien unterstreichen die besondere Bedeutung **ehrlicher Dialoge** und einer hohen **Glaubwürdigkeit der Informationsquellen** im Kontext von Energiegemeinschaften. **Persönliche Gespräche** zwischen Bewohner:innen und Projektentwickler:innen vor Baubeginn (z.B. bei Haustürbesuchen, Nachbarschaftscafés, Bustouren zum Gelände oder Sitzungen eines Bürgerbeirats) führen zu deutlich positiveren Bewertungen und einem höheren Fairness-Empfinden; rein formale Bekanntmachungen über Projekte blieben dagegen nahezu wirkungslos (Bessette et al., 2024). Bürger:innen bevorzugen Auskünfte von unabhängigen Energieexpertinnen und -experten gegenüber Aussagen anderer (lokaler) Projektbeteiligter, die ggf. selbst profitieren (Kluge et al., 2021). Dies deckt sich mit den Befunden von le Maitre et al. (2023), wonach Vertrauen in Bürgerdialogbeauftragte die Zustimmung nachhaltig stärkt. Bessette et al. (2024) kommen in ihrer Untersuchung von sieben Solarprojekten in den USA zu dem Ergebnis, dass eine nutzenorientierte Kommunikation, die sowohl **Vorteile** als auch mögliche **Nachteile** sowie die **Opportunitätskosten eines Verzichts** (also die entgangenen Chancen bei Nicht-Umsetzung), besonders wirksam ist.

Bergek und Palm (2024) zeigten, dass das Motiv zur Teilnahme der meisten Mitglieder bestehender Energiegemeinschaften vor allem darin begründet liegt **organisatorisch mitzuwirken und an strategischen Entscheidungen teilzuhaben**. Formate wie Seminare, Baustellenbesichtigungen oder Eröffnungsfeiern werden ebenfalls begrüßt, wenngleich daran nicht unbedingt partizipiert wird. Gleichzeitig zeigt dieselbe Studie, bestätigt durch Befunde von Kluge et al. (2021), dass viele Teilnehmende zwar aktive Mitsprachemöglichkeiten begrüßen, selbst jedoch **nicht aktive Management- oder Entscheidungsrollen** übernehmen möchten.

Ein hilfreiches Werkzeug zur Erhöhung der Glaubwürdigkeit und Transparenz in der Kommunikation ist die Einbindung von **Erfahrungsberichten anderer Gemeinden**, was die Verbreitung von Fehlinformationen und Gerüchten beschränkt (Bessette et al., 2024). Darüber hinaus können **innovative Vermittlungsformen** für noch mehr Transparenz sorgen: Caporale et al. (2024) zeigen in einem Experiment im italienischen Manfredonia, dass der Einsatz von Virtual-Reality-Technologien die Sorge vor landschaftlichen Veränderungen durch Windparks deutlich mindert und das Verständnis für die Auswirkungen von Windparkanlagen verbessert.

Interessanterweise richtete sich **Kritik** im Rahmen der Energie(gemeinschafts)-Projekte weniger gegen die implementierte Technik als solche, als gegen den Prozess und Intransparenz im Vorgehen (Bessette et al., 2024). Das bestätigen ebenfalls die Ergebnisse der systematischen Literaturübersicht von Nieminen & Laitinen (2025), welche schlussfolgerte, dass von oben gesteuertes Vorgehen bei erneuerbaren Energieinfrastrukturen ohne fortlaufende Einbindung der Bürger:innen in Entscheidungen, Misstrauen schürt und die Wahrscheinlichkeit für Konflikte erhöht. Reusswig et. al (2016) betonen aber auch, dass Partizipation an sich kein „Allheilmittel“ darstellt: Ohne sorgfältig abgestimmten Zeitpunkt und passende Ausgestaltung kann sie bestehende Spannungen sogar verstärken.

Die drei beschriebenen Faktoren: Förderung des sozialen Zusammenhaltes, Berücksichtigung individueller Charakteristika, sowie Kommunikationsaspekte in der Bürgerbeteiligung, welche für die Gestaltung von Energiegemeinschaften ausschlaggebend sind, ziehen sich mit unterschiedlich starker Bedeutsamkeit durch die verschiedenen Komponenten einer Energiegemeinschaft. Beginnend mit den verschiedenen Anreizmodellen (siehe Kapitel 3) als auch hinsichtlich der technischen Umsetzung (siehe Kapitel 5) inkl. der dazugehörigen Nutzerschnittstelle (Kapitel 6), welche wir im Folgenden beschreiben.

All diese Komponenten sollten jeweils darauf eingehen bzw. klar und verständlich vermitteln, welche Aspekte die Energiegemeinschaft für die beteiligte Gruppe als auch für das Individuum mit sich bringen.

3 Wirtschaftliche Anreiz- und Verteilungsmodelle

Sowohl individuelle als auch soziale Komponenten spielen bei der Ausgestaltung von Anreizmodellen für Energiegemeinschaften eine Rolle. Ganz grundlegend konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden, dass finanzielle Motive und Einsparungsmöglichkeiten (günstigerer Strompreis, Rendite auf Anteile) erheblich zur einer positiven Einstellung gegenüber Energiegemeinschaften beitragen bzw. die Akzeptanz von Energiegemeinschaften fördern.

3.1 Individuelle finanzielle Anreize

Studien aus Belgien und Deutschland zeigen, dass finanzielle oder wirtschaftliche Anreize einen der wichtigsten Faktoren für die Teilnahme an Energiegemeinschaften darstellen (Fischer et al., 2021, Conradie et al., 2021; Hübner et al., 2023). Interessanterweise sind finanzielle Anreize wie direkte finanzielle Beteiligungen, Ko-Eigentum neben wahrgenommenen positiven Effekten auf regionale Wertschöpfung **schon in der Planungsphase ein signifikanter Prädiktor** für die Projektakzeptanz – mit mittelstarken bis starken Effektgrößen (Hübner et al., 2023).

Die Ergebnisse von Fischer et al. (2021) aus einer repräsentativen Befragung deutscher Haushalte ($N = 4.210$) legt nahe, dass sowohl die Investitionsbereitschaft als auch Bereitschaft für ehrenamtliches Engagement in einer erneuerbaren Energiegemeinschaft höher sind, wenn nachhaltige Anlagen gegenüber konventionellen als renditestärker eingeschätzt werden. Gerade Personen mit konservativer politischer Identifikation, die laut Studie seltener eine hohe Teilnahmebereitschaft angeben, könnten daher über stärkere ökonomische Anreize angesprochen werden.

Die **Möglichkeit zur eigenen finanziellen Beteiligung** ist grundlegend für die Akzeptanz von Energiegemeinschaften. Breitschopf & Burghardt (2023) sahen in diesem Punkt jedoch auch eine zentrale Hürde für die Energiewende: aus Nutzer:innensicht zu hohe anfallende Kosten bzw. die einhergehende mangelnde Möglichkeit sich beteiligen zu können und der Ausschluss von Vorteilen, um von der Energiewende profitieren zu können. Da die bloße Miteigentümerschaft an einer Anlage schon deren Akzeptanz deutlich verbessert (Hogan et al. 2022, Langer et al. 2017) sollte laut Literatur **auch geringe finanzielle Beteiligungen ermöglicht werden**. Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen von Sirr et al. (2023) wider: In der Befragung ($n = 2.023$) bevorzugten irische Bürger:innen niedrige Investitionsbeträge von 500 bis 1.000 €, sowohl bei lokalen als auch nicht-lokalen Projekten. Die **Investitionsbereitschaft für lokale Projekte** lag dabei um 27 Prozentpunkte **höher** als für nicht-lokale Investments.

Für die Ausschüttung an Gewinnen bzw. Kompensationen ist zudem ein spezifisches Verständnis für Charakteristika der Beteiligten notwendig. Grundsätzlich empfehlen Ponnaganti et al. (2023), die Ausgestaltung der Vergütung für die Stromverbrauchsflexibilität der Nutzenden (also die Anpassung ihres Verbrauchs an das aktuelle Stromangebot) so verständlich wie möglich zu kommunizieren und dabei auf **explizite, einfache und stabile Preistarife** zu setzen, soweit dies mit dem erfolgreichen Betrieb einer Energiegemeinschaft vereinbar ist.

Überdies sollten Kompensationen und Benefits sollten nach van de Berg und Tempels (2022) sowie Neska & Kowalka-Pyzalska (2022) bedürfnisorientiert sein. Dabei sind oft **maßgeschneiderten Lösungen** gefragt, welchen **neben individuellen auch sozialen Zielen dienen können**. Im Folgenden wird daher detaillierter auf gemeinschaftliche Anreize und Verteilmodelle eingegangen.

3.2 Gemeinschaftliche finanzielle Anreize, Wertschöpfung und Verteilmodelle

Wie im vorherigen Kapitel erwähnt, sind neben individuellen Anreizen auch soziale Ziele und Faktoren bei der Gestaltung wirtschaftlicher Anreiz- und Verteilungsmodelle von Bedeutung. In den von van den Berg und Tempels (2022) beschriebenen Fallstudien wurden Gewinne z.B. zur Finanzierung von folgenden Gemeinschaftsprojekten genutzt: die Nachsorge ehemaliger Mülldeponien, Naturentwicklungsmaßnahmen, CO₂-Reduktion, Freizeitinfrastruktur wie Spazierwege, Bänke auf der Solaranlage und Ladestationen für E-Mobilität und Investitionen in Bildungsangebote. Werden **gemeinschaftsorientierte Maßnahmen bzw. Anreize an die Bedürfnisse der jeweiligen Energiegemeinschaft angepasst, steigen Akzeptanz und Zufriedenheit** der Bürger:innen und zusätzlich kann der Gemeinsinn (siehe Kapitel 1, 1.) der Energiegemeinschaft gestärkt werden.

Aber auch die **Betonung** von tatsächlich stattfindender **lokaler Wertschöpfung** und Effekte für die lokale Wirtschaft und Arbeitsplätze **in der Kommunikation** erzeugt Vorteile. Scheifele & Popp (2025) weisen in einer Untersuchung brasilianischer Solar- und Windprojekte nach, dass im ersten Betriebsjahr eines durchschnittlichen Solarparks das kommunale BIP um 23 % stieg, während 1,3 Arbeitsplätze pro Megawatt in der Bauphase entstanden und kommunale Steuereinnahmen um 18 % zunahmen. Sie empfehlen daher, diese lokalen wirtschaftlichen Werteschöpfungseffekte den lokalen Bürger:innen zu kommunizieren, um Akzeptanz zu fördern und Widerstände zu überwinden. Busch, Radtke & Islar (2023) illustrieren dies am Beispiel der dänischen Energieinsel Samsø, auf welcher die Gemeinschaft das Projekt als Chance, den Verlust lokaler Arbeitsplätze und wirtschaftlicher Aktivität auszugleichen, betrachtete. Die Marke „Energy Island“ erschloss zusätzlich Tourismus- und Schulungseinnahmen und ermöglichte es Wertschöpfung vor Ort zu halten, statt Ausgaben für fossile Energie ins Ausland zu verlagern. Das führte letztlich zur Akzeptanzsteigerung und Wahrnehmung des persönlichen Nutzens bei Bürger:innen. In der Studie von Standal et al. (2023) benannten die Akteur:innen in Energiegemeinschaften ebenfalls lokale sozioökonomische Vorteile als ergänzende Motivation zusätzlich zum Umweltschutz (siehe Kapitel 4). Konkret benannten die Teilnehmer:innen beispielsweise die Reduzierung der Abhängigkeit von großen Energieversorgern und damit verbundene Chancen für neue Arbeitsplätze sowie eine Stärkung der lokalen Wirtschaft.

Neben finanziellen sozialen Anreizen und Maßnahmen kann auch die gemeinschaftliche Organisation einer Energiegemeinschaft positive Effekte haben. So zeigten Guetlein und Schleich in einer aktuellen Studie aus dem Jahr 2024, dass kapitalbasierte Stimmrechte in einer Energiegemeinschaft die individuelle Investitionsbereitschaft mindern. Damit spricht die Evidenz für **demokratische Stimmrechte** (one-member-one-vote), wenn breite Bürgerbeteiligung und Vertrauen Priorität haben. Auch Santos et al. (2025) betonen in ihrer Analyse von portugiesischen erneuerbaren-Energiegemeinschaften, dass neben einem maximalen Selbstversorgungsgrad aus Erneuerbaren in einer Energiegemeinschaft **faire Verteilmodelle** angewandt werden sollten. Sie belegen für Portugal einen Zielkonflikt zwischen Effizienz und Fairness: Konsumproportionales Teilen von Energie maximiert den Eigenverbrauch und -versorgung, begünstigt aber Hochverbraucher, während feststehende Koeffizienten eine investitionsproportionale Verteilung und damit höhere Fairness, aber geringere Effizienz bieten. Sie schlagen daher Sozialfonds und

Mindestzuteilungen als Ausgleichsmechanismen vor, um beide Ziele in Einklang zu bringen und unterstreichen, dass Mess- und Abrechnungsdesign sowohl ökonomische Ergebnisse als auch Fairness bestimmen.

Verschiedene weitere Autorinnen fordern eine **prozedurale und distributive Gerechtigkeit** mit einer fairen Risiko- und Nutzenverteilung um die Akzeptanz von Energiegemeinschaften zu erhöhen (Shyu, 2025; Pfeiffer und Sonnberger, 2025). Dementsprechend werden auch unterschiedliche gemeinschaftsorientierte Geschäftsmodelle vorgeschlagen. Das Co-Eigentum durch Bürger:innen kann dabei in Form einer **Genossenschaft** oder in Form von **kommunaler Teilhabe** organisiert werden. So zeigten Hogan und Kolleginnen (2025) sowie Maitre (2023), dass die Beteiligung von halbstaatlichen Unternehmen zu einer höheren Akzeptanz führten und als gerechter empfunden wurden als rein privatwirtschaftlich geführte Projekte. Und auch schon partielle Gemeinschaftsbeteiligungen könnten eine vergleichbare Akzeptanz erreichen, wie erneuerbare Anlagen, die sich im vollständigen Gemeinschaftseigentum befinden (Hogan et al., 2025).

4 Ökologische Motivation

Wie im vorangegangenen Kapitel 3.2 an den Beispielen für gemeinschaftliche Anreize und beschriebene Maßnahmen angeklungen ist, stellen nicht nur finanzielle Anreize und Ausschüttungen, sondern auch der Umweltnutzen für viele Interessierte ein starkes Motiv für Beteiligung dar (Fischer et al, 2021; Conradie et al., 2021; Standal et al., 2023; Fejzulla et al., 2024). **Ökologische und ökonomische Argumente** sollten laut Fischer et al. (2021) in Kampagnen **ausgewogen kombiniert und kommuniziert** werden, da Umweltidentifikation fast ähnlich stark wie finanzielle Motive sowohl die Investitions- als auch die Beteiligungsbereitschaft beeinflusst und damit eine breite Zielgruppen erreicht wird. Umweltfreundliche Einstellungen waren auch bei Conradie et al. (2021) nach finanziellen Anreizen der zweitstärkste Prädiktor für die Bereitschaft zur Beteiligung. In der international (Norwegen, Spanien, Lettland und Portugal) angelegten Interviewstudie mit Akteur:innen in Energiegemeinschaften (darunter Vertreter:innen bestehender RECs, kommunale Verantwortliche, kleine und mittlere Unternehmen sowie zivilgesellschaftliche Gruppen) kommen Standal et al. (2023) zum Schluss, dass die Hauptmotivation für erneuerbare Energiegemeinschaften im Umweltschutz liegt. Dabei steht insbesondere die Produktion lokaler, grüner Energie im Vordergrund, um den lokalen Energiebedarf zu decken, fossile Energieträger zu ersetzen und intelligenter Netze in den jeweiligen Regionen zu ermöglichen sowie die lokale Umwelt zu verbessern. Eine ähnliche Rolle des Umweltnutzens zeigt sich auch in der Fallstudie von Fejzulla et al., (2024) zu Energiegemeinschaften in der Provinz Alberta (Kanada). Dort erhöhte eine ausgeprägte Umweltidentität die Wahrscheinlichkeit einer Mitgliedschaft in einer Erneuerbaren-Energie-Genossenschaft um 74,6 % und einer Investition um 64,5 %. In der Untersuchung von Fejzulla et al., (2024) rangiert das Umweltattribut direkt hinter den finanziellen Faktoren, wie Energiekosteneinsparungen und Renditeerwartungen, und stellt damit einen der wichtigsten Treiber für Energiegemeinschaften dar.

5 Menschzentrierte technische Gestaltung von Energiegemeinschaften

Energiegemeinschaften können sehr unterschiedlich umgesetzt werden: vom Mikrogrid über zentralisierte Modelle mit einem gemeinsamen Aggregator oder dezentralen Peer-to-Peer Lösungen. Um zu einer menschenzentrierten und letztendlich gut akzeptierten Lösung zu gelangen, sind die in Kapitel 1 erwähnten Faktoren sozialer Zusammenhalt, individuelle Charakteristika und Kommunikation auch im Rahmen der technischen Implementierung von Energiegemeinschaften ausschlaggebend. Energiegemeinschaften funktionieren nur, wenn deren Mitglieder diese mittragen. Die Teilnahmebereitschaft ist ausschlaggebend, denn selbst das modernste Energiemanagement-System nützt wenig, wenn die Community sich nicht aktiv beteiligt. Deshalb sollten diese technisch anspruchsvollen Vorhaben **sich nicht in diesen Details verlieren** und nicht nur auf eine gute Beziehung zur Gemeinschaft achten, sondern auch die **Funktionsweise verständlich gestalten**, um Vertrauen in Technologien aufzubauen und letztendlich die Partizipationsbereitschaft zu fördern.

In ihrer vergleichenden Analyse dreier Fallstudien aus den Niederlanden und Dänemark unterstreichen Neska & Kowalska-Pyzalska (2022), dass hohe Komplexität und gleichzeitige Einführung mehrerer Innovationen zu Fehlkommunikation und Entmutigung der Teilnehmenden führten. Zudem galt: Je komplexer das Design der Energiegemeinschaft, desto geringer die Beteiligung im Pilotstadium. Ein weiteres Ergebnis dieser Studie ist, dass automatisierte Plattformen im Kontext von Energiegemeinschaften, wie eine teilautomatische Laststeuerung durch einen Aggregator, die Alltagstauglichkeit von Verhaltensanpassungen erhöhten, da diese den täglichen Aufwand für die Mitglieder reduzieren und das Komforterleben erhöhen, verglichen mit rein verhaltensbasierten, preisinduzierten Anpassungen.

Weiterführend wird in verschiedenen Studien – wie schon in den vorangegangenen Kapiteln betont – grundsätzlich hervorgehoben, dass die jeweilige Lösung zur spezifischen Situation und den Bedürfnissen vor Ort passen sollte (Neska & Kowalska-Pyzalska, 2022; van den Berg & Tempels, 2022). Wenn Ausgleichs- oder Zusatzleistungen Bedürfnisse der Teilnehmer:innen verfehlen, sinkt das Vertrauen und der Widerstand steigt. In der Fallstudie zu Zeewolde (Niederlande) etwa bewerteten Bürger:innen den von den Projektentwickler:innen vorgesehenen Erholungsbereich im Solarpark als strategische „Verkaufsmaßnahme“. Diese Form von Multifunktionalität wurde nicht als echter Mehrwert wahrgenommen, sondern führte zu mehr Ablehnung und dem Vorwurf des „Greenwashing“ (van den Berg & Tempels, 2022).

Der Faktor Transparenz im Sinne von Verständlich- und Alltagstauglichkeit spielt gerade in der oft komplexen technischen Implementierung eine besonders wichtige Rolle. So betonen mehrere Forscher:innen (z. B. Sainz Salces, 2025; Neska & Kowalska-Pyzalska, 2022) die Notwendigkeit einer **klaren Kommunikation zu Datenpraktiken**, denn Datenfreigabe ist eine Grundvoraussetzung für digitale Energiegemeinschaften. Diese können nur dann messbare Vorteile für System und Verbraucher:innen liefern, wenn die Mitglieder der kontinuierlichen Erhebung und Steuerung ihrer feingranularen Verbrauchsdaten (z. B. Smart-Meter-Daten) zustimmen und Vertrauen in Datenschutz und Sicherheit haben. Auch Ponnangati et al. (2023) weisen darauf hin, dass freiwillige Datenfreigabe entscheidend ist, um (Verbrauchs-)Flexibilität der

Nutzer:innen bereitzustellen (zum Beispiel durch dynamische Energietarife, Speicher oder E-Mobilität), und so Lastverschiebungen und Kostensenkungen zu ermöglichen. Ohne geteilte Netzzustandsdaten können Netzbetreiber diese Flexibilität nicht gezielt einsetzen.

Darüber hinaus wird in der Literatur hervorgehoben, dass nutzerfreundlich gestaltete Schnittstellen bzw. Schulungen für diese Schnittstellen wichtig sind. Sainz Salces et al. (2025) zeigen, dass die Neuheit und geringe Verständlichkeit einer App zur Visualisierung des eigenen Energieverbrauchs deren Nutzung und Zufriedenheit zunächst einschränkte. Erst nach gezielten Schulungen stieg die Bewertung, und die meisten Nutzer:innen hielten die Tools für „nützlich“ und wollten sie weiterhin verwenden. Diese Erkenntnisse betonen die Wichtigkeit des entwicklungsbegleitenden human-centered Designansatzes und leiten zum nächsten Kapitel über, welches sich ausführlich der Gestaltung von Schnittstellen widmet.

6 Gestaltung von Nutzerschnittstellen für Energiegemeinschaften

Digitale Nutzeroberflächen für Energiegemeinschaften sollten die drei – bereits in den vorangegangenen Kapiteln erwähnten – Faktoren ansprechen: 1.) Stärkung des sozialen Zusammenhalts, 2.) Berücksichtigung individueller Charakteristika und 3.) bestimmte Kommunikationsaspekte. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Recherche dargestellt, um auf die jeweiligen Möglichkeiten in der Gestaltung von Nutzerschnittstellen einzugehen. In der Recherche wurden überwiegend als (mobile) Website oder auch als mobile App implementierte Nutzerschnittstellen identifiziert.

6.1 Stärkung des sozialen Zusammenhaltes

Auf den zentralen Übersichtsseiten können **Kennzahlen** präsentiert werden, die den **gemeinschaftlichen Charakter des Energieverbundes betonen**. Der Anteil des genutzten bzw. verkauften Stroms innerhalb der Gemeinschaft sowie die Gegenüberstellung von Eigen- und Gemeinschaftsverbrauch schaffen **Transparenz über das kollektive Handeln** (Glatz-Reichenbach et al., 2015; Gulbrandsen & Franang, 2015). Ergänzt werden kann dies durch aggregierte Indikatoren wie die tagesaktuell erzeugte PV-Energie und die seit Projektbeginn geteilte Gesamtmenge (Fadhilurrohman et al., 2020; Glatz-Reichenbach et al., 2015; Gulbrandsen & Franang, 2015; Lázaro et al., 2022).

Gamification-Ansätze können den Faktor Zusammenhalt nicht nur kognitiv, sondern auch **motivational fördern**: Ein Ranking, visualisiert über eine Baummetapher im *CoSSMunity* Projekt, fördert den Vergleich innerhalb der Gruppe. Als Vergleichskennzahl wird der sogenannte *CoSSMunity Score* herangezogen. Dieser setzt sich aus verschiedenen Energiegemeinschaftsaspekten zusammen, wie den vom Stromnetz bezogenen Strom, wie häufig der Stromverbrauch an die Stromerzeugung angepasst wurde und ob Strom an die Energiegemeinschaft abgegeben wurde. Je „grüner“ der Baum, desto höher der *CoSSMunity Score*. „Orange“ oder „rot“ zeigen dagegen Verbesserungspotenzial an und können so zu einer positiven Verhaltensänderung beitragen (Gulbrandsen & Franang, 2015).

6.2 Berücksichtigung individueller Charakteristika

Die zentrale Übersichtsseite liefert inhaltlich meist ein feingranulares, **personenbezogenes Monitoring**: Ein **Echtzeitreport des Verbrauchs** kann z.B. um prozentuale Anteile aus Netz, eigener PV, Batterie und Gemeinschaft sowie um aktuelles Lastniveau und Geräte-Detailverbrauch ergänzt werden (Aliberti et al., 2017; Fadhlurrohman et al., 2020; Glatz-Reichenbach et al., 2015; Gulbrandsen & Franang, 2015; Khan et al., 2024). Prognostische Elemente, wie wetterbasierte PV-Effizienz und die PV-Leistungskurve, unterstützen eine prospektive Lastverschiebung (Gulbrandsen & Franang, 2015; Lázaro et al., 2022).

Die Personalisierung setzt sich oft auf einer „**Historie**“-Seite fort, wo vergangene Erzeugungs- und Verbrauchsdaten abrufbar sind (Glatz-Reichenbach et al., 2015; Gulbrandsen & Franang, 2015). Nutzer:innen können häufig in die Graphen zoomen, Zeiträume frei wählen und im Landscape-Modus detailreichere Ansichten aktivieren (Aliberti et al., 2017; Khan et al., 2024; Lázaro et al., 2022). Der bereits im vorherigen Abschnitt erwähnte **Gamification-Ansatz** kann hier auch auf individueller Ebene als persönlicher Motivator eingesetzt werden: Das Ranking bleibt identisch, doch der Fokus verschiebt sich von der Gruppensicht auf den **individuellen Fortschritt**, etwa durch unmittelbares Echtzeit-Feedback bei Verhaltensänderungen (Gulbrandsen & Franang, 2015; Lázaro et al., 2022).

Individuelle Unterstützung bei der Nutzerschnittstellenbedienung finden sich meist auf einer separaten „Einstellungen“-Seite: Dort können Nutzer:innen die Sprache wechseln, sich durch Tutorials und Text-to-Speech durch die App führen lassen und FAQs abrufen (Lázaro et al., 2022). Schließlich sorgen **Benachrichtigungen für adaptive Unterstützung**: Prognosen zu Strompreisen und PV-Erträgen sowie Tipps zur optimalen Gerätenutzung können in Frequenz und Schwellenwert angepasst werden (Aliberti et al., 2017; Lázaro et al., 2022). Lázaro et al. (2022) validieren dabei bereits bei der ersten Anmeldung Nutzerdaten und fragen **individuell konfigurierbare Benachrichtigungsberechtigungen** ab.

6.3 Kommunikationsaspekte

Aspekte der Kommunikation stehen bei der Schnittstellengestaltung im Vordergrund und werden daher in Kapitel 6.4 detailliert mit Beispielen erläutert. Grundsätzlich empfehlen verschiedene Autoren (Gulbrandsen & Franang, 2015; Lázaro et al., 2022) die **inhaltliche Gruppierung verwandter Informationen** und das **Verwenden eines reduzierten und konsistenten Farbschemas** zur Erleichterung der Orientierung. Eine **permanent sichtbare Navigationsleiste** mit zentralen Menüpunkten wie z.B.: „Home, Energy, Equipment, Forecast“ oder in vereinfachter Form „Home, Power, Logout“ ist ebenfalls hilfreich um die dauerhafte Orientierung zu sichern (Fadhlurrohman et al., 2020; Lázaro et al., 2022).

Für die Stromverbrauchs und -erzeugungsdaten empfehlen die Studien **Grafiken mit wenigen, relevanten Variablen** sowie die Option, zwischen klassischen Verlaufs-Graphen und Kreisdiagrammen zur Analyse der einzelnen Verbraucher zu wechseln (Aliberti et al., 2017; Gulbrandsen & Franang, 2015; Lázaro et al., 2022). Indem die Nutzer:innen aktiv zwischen Darstellungsformen wählen, wird ihre Teilhabe am Analyseprozess gestärkt sowie individuelle Charakteristika der Nutzer:innen berücksichtigt. Ergänzende **informative Metaphern**, wie die

Vergleichsaussagen, dass die PV-Tagesstromproduktion zum ‚x-maligen‘ Laden eines E-Autos ausreichen würde, oder die Umrechnung in gepflanzten Bäumen, übersetzen abstrakte Kilowattstunden in alltagsnahe Größen. Dadurch können sie nicht nur die **Verständlichkeit erhöhen**, sondern auch **das Wir-Gefühl der Energiegemeinschaft stärken** (Gulbrandsen & Franang, 2015; Lázaro et al., 2022). Zudem werden dadurch **individuelle Umwelteffekte hervorgehoben** (Lázaro et al., 2022).

Schließlich trägt auch das bereits erwähnte Gamification-Ranking zur Transparenz bei. Die intuitive Farbcodierung macht Energieeffizienz für alle Beteiligten sofort verständlich und schafft so eine gemeinsame Diskussionsgrundlage über Verbesserungspotenziale.

6.4 Beispiele für Nutzerschnittstellen

6.4.1 Mobile Anwendungen für Betreibende von PV-Anlagen

Im Rahmen einer systematischen Analyse wurden drei kostenfreie, im Google Play Store als gut bis sehr gut bewerteten mobile Anwendungen für Nutzer:innen privater Photovoltaikanlagen untersucht (Stand: 18.07.2025). Die Auswahl umfasste die Apps *MySolarEdge* (4,4 von 5,0 Sternen, 174.433 Bewertungen, über 1 Million Downloads; SolarEdge Technologies (2019)), *PV Forecast: Solar Power & Gen* (3,2 Sterne, 3.062 Bewertungen, über 100.000 Downloads; NRG Labs (2019)) sowie *PV Calculator* (4,7 Sterne, 473 Bewertungen, über 100.000 Downloads; SusEnergy (2022)). Die Bewertung erfolgte unter besonderer Berücksichtigung der drei Usability-Dimensionen Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung gemäß DIN EN ISO 9241-11 (Deutsches Institut für Normung, 1999).

PV Calculator zeichnet sich durch einen nutzerfreundlichen Einstieg aus. Bereits beim erstmaligen Öffnen werden Nutzer:innen nach ihrer bevorzugten Sprache gefragt, zudem werden einführende Informationen sowie Begriffsdefinitionen angezeigt (siehe Abb. 6).

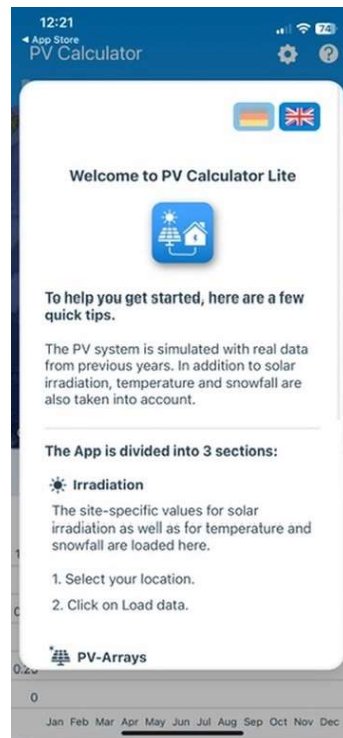


Abbildung 6 Anmeldeinformationen beim erstmaligen Öffnen der App

Ein Login ist für die Nutzung nicht erforderlich, was auch bei den beiden anderen Apps der Fall ist. Die Standortwahl erfolgt über eine interaktive Google-Karte, deren Darstellung jedoch ohne Ländergrenzen oder andere geographische Orientierungshilfen erfolgt, was die Lokalisierung erschwert. Diese Einschränkung beeinträchtigt die Effizienz der Nutzung, da zusätzliche Zeit zur Standortidentifikation nötig ist. Die Effizienzeinschränkung wurde bei *PV Forecast* durch die Einbindung von Landesgrenzen und weiteren kartografischen Merkmalen überwunden (siehe Abb. 7).

Für den gewählten Standort stellt *PV Calculator* Globalstrahlungsdaten in kW/m^2 bereit, unterteilt in „gesamt“ und „diffus“, wobei keine inhaltliche Erläuterung dieser Begriffe erfolgt. Dies schränkt die Effektivität ein, da Fachwissen vorausgesetzt wird. Die App bietet eine strukturierte Navigation über dauerhaft sichtbare Reiter am oberen Bildschirmrand („Dateien“, „Einstrahlung“, „PV-Arrays“, „Auswertung“, „Einstellungen“ und „Informationen“), die jeweils mit verständlichen Symbolen versehen sind. Diese klare Struktur unterstützt die Effizienz bei der Nutzung. Beim erstmaligen Öffnen eines Reiters wird ein erklärender Einführungstext eingeblendet, der bestätigt werden muss, bevor weitere Inhalte zugänglich sind. Dieser Schritt fördert die Zufriedenheit und Effizienz durch Hilfestellungen bei der Erstnutzung.

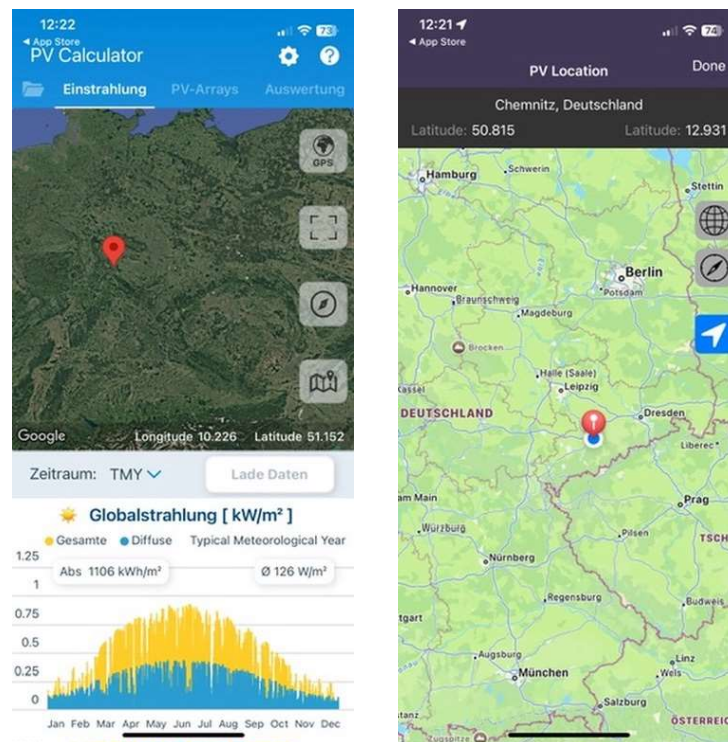


Abbildung 7 Standortidentifikation *PV Calculator* (links) und *PV Forecast* (rechts)

Das zentrale Dashboard von *PV Calculator* liefert eine Vielzahl technischer Kennzahlen, darunter die über den Tag gemittelte Leistung (W), monatlicher Energieertrag (Wh/Monat), aktuelle Photovoltaikleistung (W) sowie eine monatliche Energiebilanz (siehe Abb. 9). Die Jahresstrombilanz umfasst Angaben zur PV-Stromproduktion, Netzeinspeisung und Netzbezug (jeweils in Wh). Die Struktur der dargestellten Graphen erscheint dabei nicht selbsterklärend, insbesondere ist nicht ersichtlich, nach welchen Kriterien die Anordnung erfolgt. Auch die Datengrundlage zur Ermittlung von Netzbezug und Einspeisung bleibt unklar, da weder ein Login noch eine individuelle Konfiguration der PV-Anlage notwendig ist. Diese Punkte beeinträchtigen alle Usability-Kriterien wie Effektivität und Effizienz der Datennutzung als auch die Zufriedenheit durch fehlende Nachvollziehbarkeit. Zusätzlich werden Informationen zum Batterieladezustand und zur Anzahl jährlicher Vollzyklen angezeigt. Die graphische Darstellung erfolgt über Diagramme in einem Koordinatensystem, wobei ausschließlich der erste Quadrant zur Visualisierung genutzt wird – dies sorgt für eine aufgeräumte Darstellung, schränkt jedoch die Vergleichsmöglichkeiten bei negativ skalierten Werten ein. In den Einstellungen lassen sich das Farbschema (Hell-/Dunkelmodus) und die Sprache (Deutsch/Englisch) anpassen. Zudem werden Kontaktinformationen bereitgestellt. Diese Personalisierungsoptionen erhöhen die Zufriedenheit der Nutzer:innen, da auf individuelle Bedürfnisse eingegangen werden kann.

Im Gegensatz dazu weist die App *PV Forecast: Solar Power & Gen* eine geringere Strukturierung auf. Auch hier ist keine Anmeldung erforderlich. Allerdings ist die Navigation innerhalb der

Anwendung uneinheitlich, da keine dauerhaft sichtbaren Menüpunkte existieren und die Rückkehr zur Startseite nicht intuitiv möglich ist. Diese inkonsistente Struktur verringert sowohl die Effizienz als auch die Zufriedenheit bei der Nutzung, was durch eine hohe Anzahl eingeblendeter Werbeanzeigen verstärkt wird (siehe Abb. 8).

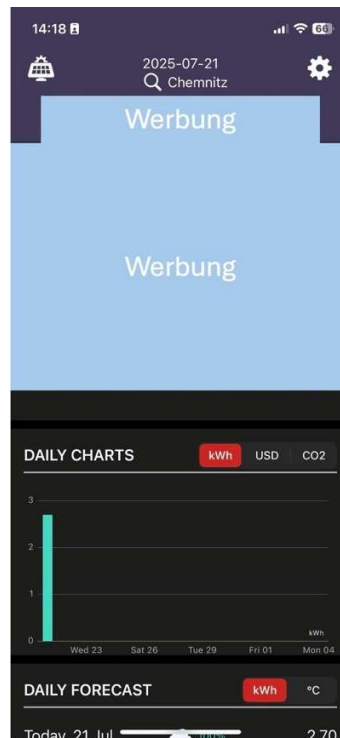


Abbildung 8 PV Forecast Werbeanzeigen

Die Startseite enthält eine Vielzahl meteorologischer Informationen, darunter UV-Index, Luftfeuchtigkeit, aktuelle Wetterlage, stündliche Wetterdiagramme sowie eine Tagesprognose (siehe Abb. 4, rechts). Diese Informationsdichte überlagert jedoch die zentralen PV-bezogenen Inhalte und erschwert die Fokussierung auf die eigentlichen Hauptfunktionen der App. Das wirkt sich negativ auf die Effektivität und Effizienz der Informationsaufnahme aus. Die grafische Darstellung ist zudem nicht eindeutig benannt: So wird der Begriff „Hourly Charts“ sowohl für Wetter- als auch Stromerzeugungsdaten verwendet; in anderen Fällen lassen sich Darstellungsoptionen wie kWh, US-Dollar oder CO₂-Ausstoß nur über kleine Auswahlfelder verändern. Auch die Menüleiste ist nicht in allen Fenstern konsistent sichtbar, was Nutzerführung beeinträchtigt. Die eingeschränkte Navigation und uneinheitliche Benennung verringern die Effizienz und Zufriedenheit erheblich.

Dennoch bietet *PV Forecast* einige zusätzliche Funktionalitäten, die in *PV Calculator* nicht enthalten sind: Unter „My PV System“ können Nutzer:innen Angaben zur eigenen PV-Anlage machen, darunter zur optimalen Neigung, Gesamtleistung der Solarmodule und Wechselrichter sowie zum Effizienzfaktor. Die Standortwahl erfolgt analog zu *PV Calculator*, jedoch mit verbesserter geografischer Visualisierung. Für den ausgewählten Ort wird die potenzielle solare Einstrahlung in kWh/m²/Tag angegeben. Die Menüleiste zeigt zudem in Echtzeit die aktuelle

Temperatur sowie die momentan erzeugte elektrische Leistung (kW) an. Diese Zusatzfunktionen erhöhen potenziell die Effektivität und Zufriedenheit, können aber aufgrund der Bedienprobleme ihre Wirkung nicht voll entfalten.

Die App *MySolarEdge* verfolgt wiederum einen stärker aggregierten Ansatz zur Informationsdarstellung. Auch hier ist kein Login erforderlich; stattdessen werden exemplarische Daten von beliebigen Anlagen angezeigt. Das Dashboard präsentiert die wichtigsten Leistungskennzahlen auf einen Blick: aktuelle Sonnenenergie (kW), Tagesproduktion, aktuelle Wetterbedingungen (in Form einer symbolischen Hausansicht mit visuellem Wetterhintergrund), Stromverbrauch des Haushalts, Batterieladezustand sowie Einspeisung in die Batterie (siehe Abb. 9, Mitte). Ergänzend werden kumulierte Produktionswerte auf Monats-, Jahres- und Lebensdauerbasis dargestellt. Im unteren Bereich der Dashboard-Ansicht findet sich eine detaillierte Energiebilanz, deren zeitliche Darstellung zwischen Tag, Woche, Monat, Jahr und einer „Abrechnungsansicht“ frei gewählt werden kann. Diese flexible Datenvisualisierung unterstützt die Effektivität bei der Zielerreichung und fördert die Zufriedenheit durch visuelle Klarheit. Anders als in den beiden anderen Apps erfolgt die Darstellung nicht über klassische XY-Diagramme, sondern über Säulendiagramme, die Produktion und Verbrauch jeweils aufgeschlüsselt darstellen.

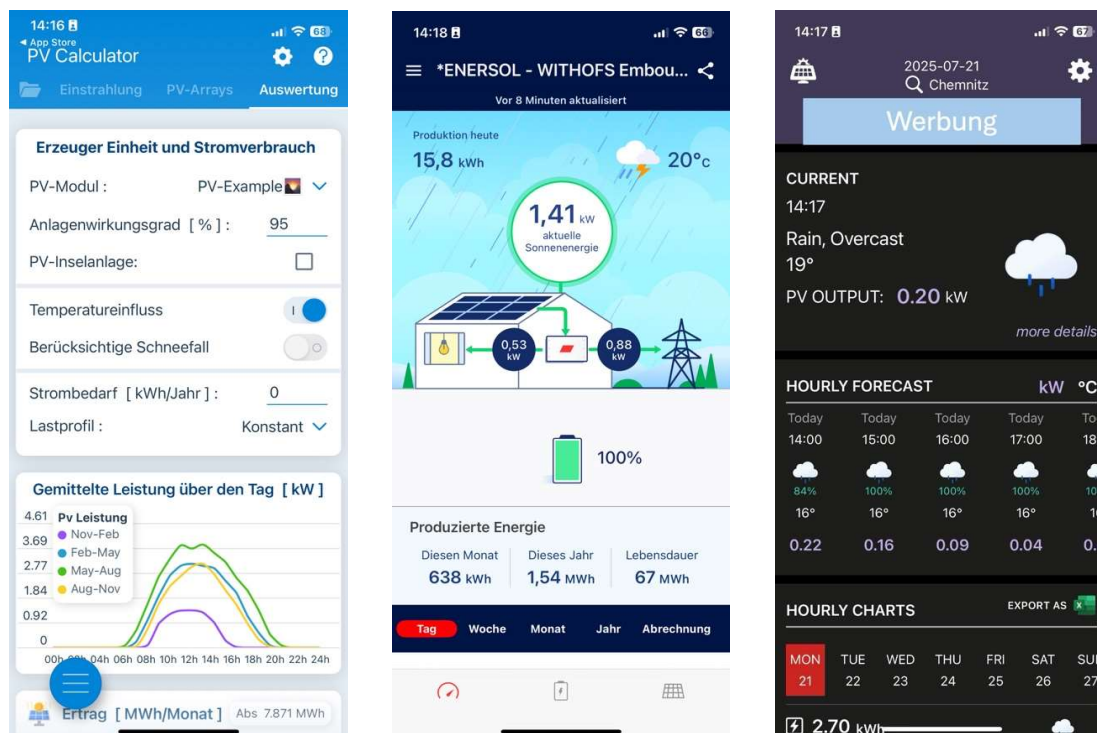


Abbildung 9 PV Calculator, MySolarEdge und PV Forecast Dashboard-Seite (von links nach rechts)

MySolarEdge bietet zudem weiterführende Visualisierungen, etwa zur Aufteilung von Produktion und Verbrauch (wählbar als kombinierte oder getrennte Diagramme), zur Speicherladung (inkl. Lade-/Entladezustand) sowie zum Vergleich der Stromproduktion über Monats-, Quartals- oder

Jahreszeiträume. Ein besonderes Merkmal ist die Rubrik „Vorteile für die Umwelt“, die die eingesparte CO₂-Menge sowohl in Zahlen als auch als Metapher und zwar in der Anzahl äquivalenter gepflanzter Bäume darstellt (siehe Abb. 10). Diese Gestaltungselemente stärken die Zufriedenheit und erzeugen ein positives und motivierendes Nutzungserlebnis. Die App verwendet dauerhaft sichtbare Symbole zur Navigation, etwa für das Dashboard, die Batterieansicht oder die Anlagenübersicht. Letztere bietet detaillierte Informationen zu einzelnen PV-Modulen (in Wh) und den jeweiligen Wechselrichtern, deren Werte ebenfalls über verschiedene Zeiträume hinweg abgerufen werden können. Die einheitliche, symbolbasierte Navigation fördert die Effizienz im Umgang mit der App.

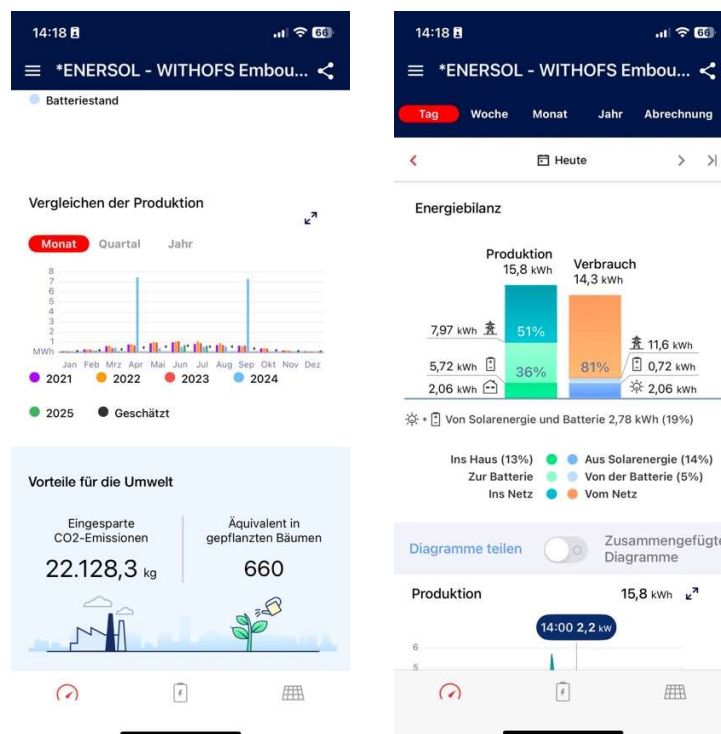


Abbildung 10 MySolarEdge CO₂ Äquivalenz und Energiebilanz

Insgesamt zeigen die drei Anwendungen unterschiedliche Ausprägungen in Bezug auf Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit – die zentralen Kriterien für Usability nach DIN EN ISO 9241-11. Während *PV Calculator* auf strukturierte technische Information ohne Anmeldung setzt, bietet *PV Forecast* eine breite meteorologische Datengrundlage bei gleichzeitigem Mangel an Klarheit in der Informationsstruktur. *MySolarEdge* hebt sich durch die visuell reduzierte, aber umfassende Darstellung relevanter Energiekennzahlen und eine stärker aggregierte Datenaufbereitung positiv ab.

6.4.2 Beispielhafte Desktop-Anwendung für Mitglieder von Energiegemeinschaften

Die Desktopanwendung von *HIVE Power*, die 2019 im Rahmen eines nationalen Forschungsprojektes Lugaggia Innovation Community (SUPSI (2019)) für eine Peer-2-Peer-Energiegemeinschaft in der Schweiz entwickelt wurde, zeichnet sich durch eine klare funktionale

Trennung in die Ansichten „Persönlich“ und „Gemeinschaft“ aus. Diese Strukturierung unterstützt die effektive Zielerreichung und unterstützt die Etablierung eines mentalen Modells, da Nutzer:innen gezielt zwischen individuellen und kollektiven Energiedaten wechseln können. Die Auswahl erfolgt über eine Breadcrumb-Navigation oder das Hauptmenü, wobei der aktuell aktive Menüpunkt stets hervorgehoben wird – was der Vermeidung von Navigationsfehlern dient und eine eindeutige Orientierung gewährleistet.

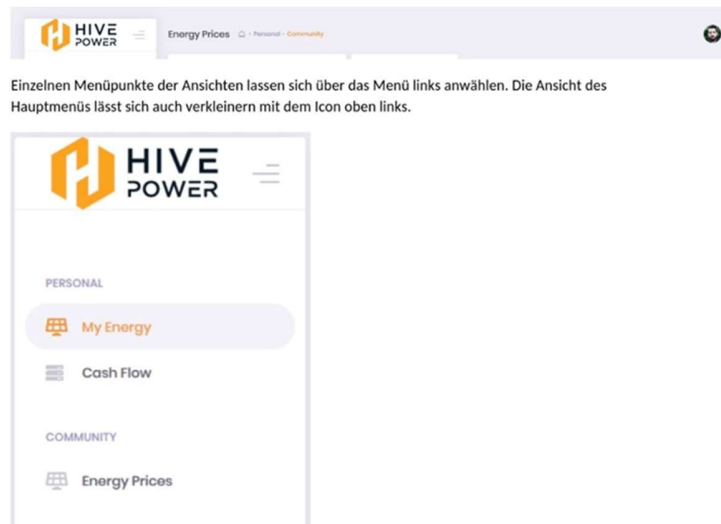


Abbildung 11 HIVE Power Startseite

Im Bereich „Meine Energie“ wird der Energieverbrauch des Haushalts über ein zentrales Liniendiagramm visualisiert. Die effektive Unterscheidung von Import- und Exportwerten erfolgt durch deren Positionierung oberhalb bzw. unterhalb des Ursprungs der y-Achse, kombiniert mit einer Farbcodierung, deren Legende unmittelbar unterhalb des Diagramms angezeigt wird. Diese Darstellung erlaubt eine präzise Zuordnung der Energieverbräuche. Ergänzend können Nutzer:innen durch Mouse-Over-Interaktionen konkrete Verbrauchswerte auf 15-Minuten-Basis abrufen, inklusive Informationen zu Strombezugsarten und zugehörigen Abgaben. Auch das unterhalb liegende Kreisdiagramm zur Aufschlüsselung der importierten und exportierten Energie erlaubt diese genaue Interaktion und folgt dem gleichen visuellen Prinzip, wodurch Konsistenz und Verständlichkeit sichergestellt werden. Der Menüpunkt „Geldfluss“ stellt Einnahmen und Kosten in einem farbkonsistenten Zeitverlaufdiagramm dar. Analog zu „Meine Energie“ werden positive und negative Werte in Bezug auf den Diagrammursprung visualisiert. Die Darstellung unterstützt eine schnelle und zugleich genaue Einschätzung finanzieller Aspekte der Energienutzung.

Im Bereich „Gemeinschaft“ beschränkt sich die Anwendung auf den Menüpunkt „Energie-Preise“. Hier ermöglicht ein Diagramm auf 15-Minuten-Basis die differenzierte Betrachtung von Ankaufts-, Verkaufspreis sowie dem innerhalb der Energiegemeinschaft realisierten Minimalpreis. Auch hier erfolgen eine klare Legendenzuordnung, konsistente Farbcodes und Mouse-Over-Funktionen für detaillierte Preisangaben. Die Desktopanwendung weist mehrere Merkmale auf, die die

Aufwandsminimierung und damit die Effizienz bei der Zielerreichung fördern. So ist die Navigation dauerhaft sichtbar, was die Notwendigkeit mehrfacher Klicks oder Suchvorgänge reduziert. Wiederkehrende Farbcodierungen, gleichbleibende Diagrammaufbauten und einheitliche Exportoptionen (Bild- und Datenexport) über eine Graphen unabhängige gleichbleibende Darstellung der Menüoption erhöhen die Wiedererkennbarkeit und Bediengeschwindigkeit, vor allem bei längerfristiger Nutzung. Es erschwert jedoch auch die eindeutige Orientierung.

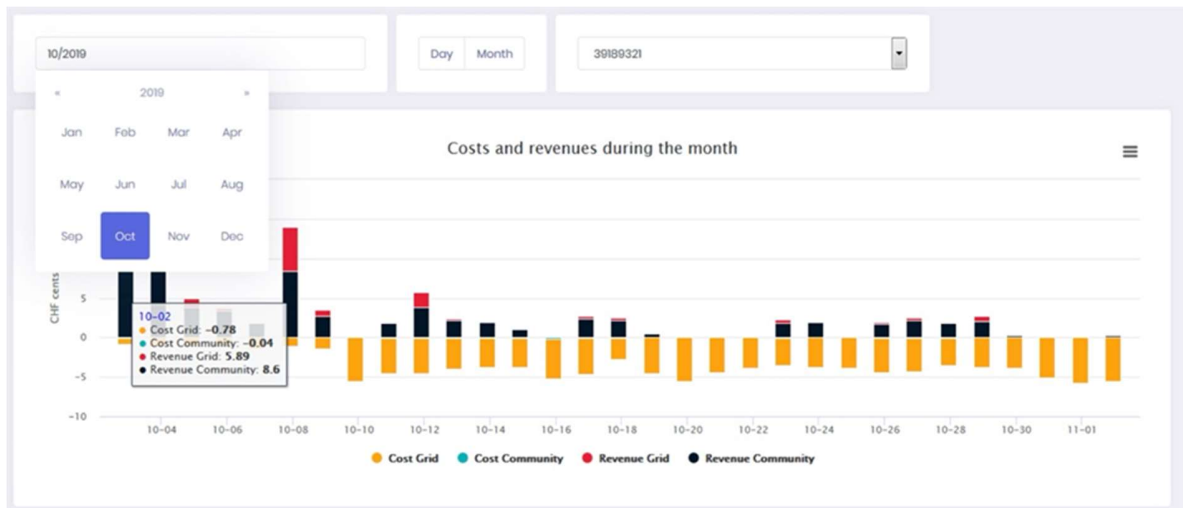


Abbildung 12 HIVE Power Mouse-Over-Funktionen, Legende und Zeitraum in Tagesansicht. Abgebildet sind Kosten (cost) und Einnahmen (revenue) im letzten Monat nach Gesamtnetz (grid) und Gemeinschaft (community).

Zeitintervalle wie Tag, Monat und Jahr lassen sich frei wählen, wobei stets klar gekennzeichnet ist, welcher Zeitraum aktuell betrachtet wird. Die automatische Unterdrückung nicht relevanter Diagramme – etwa bei fehlendem Energieimport oder -export – vermeidet unnötige visuelle Komplexität und erhöht damit die Bedienereffizienz. Gleichzeitig sorgt die Aggregationsebene (z. B. Tageswerte als Säulen im Monatsdiagramm) für eine effizientere Informationsaufnahme-möglichkeit.

Das Einloggen erfolgt direkt beim Start der Anwendung, während das Ausloggen über das Nutzericon (oben rechts am Bildschirm angeordnet) möglich ist, das gleichzeitig auch den Zugang zu Profildaten (Name, E-Mail, Adresse, Passwort) bereitstellt. Diese zentrale und gewohnte Platzierung verringert Suchaufwand und unterstützt damit die effiziente Nutzung. Die Anwendung schafft durch ihre aufgeräumte, übersichtliche Struktur und die konsequent angewendete visuelle Sprache eine kohärente und zufriedenstellende Nutzererfahrung. Die Reduktion auf relevante Informationen – etwa durch den bewussten Verzicht auf zusätzliche, potenziell ablenkende Daten wie Wetterinformationen oder Prognosen – trägt zur kognitiven Entlastung bei. Die Möglichkeit, detaillierte Verbrauchs- und Preisinformationen interaktiv abzurufen, fördert ein Gefühl der Kontrolle über die eigenen Energiedaten. Gleichzeitig ermöglichen die Exportfunktionen eine individuelle Weiterverwendung der Daten, was insbesondere für Nutzer:innen mit Analyseinteresse einen Mehrwert darstellt. Die deutliche Untergliederung in persönliche und

gemeinschaftliche Perspektiven sowie die konsistente Gestaltung erzeugen eine vertrauenswürdige und transparente Nutzungsumgebung.

Der Unterschied zu den bewerteten mobilen Apps liegt insbesondere in der größeren Informationsdichte, wodurch die Desktopanwendung gezielt auf Nutzer:innen ausgerichtet ist, die tiefergehende Auswertungen vornehmen möchten.

6.5 Fazit

Die aufgeführten Gestaltungsprinzipien zeigen, dass screen-spezifische Designentscheidungen ein zentraler Faktor für eine gebrauchstaugliche Nutzerschnittstelle in Energiegemeinschaften sind. Sie wirken auf sozialer, individueller und kommunikativer Ebene und schaffen so eine Balance zwischen gemeinschaftlichem Nutzen und persönlicher Relevanz. Zudem wurden anhand bereits bestehender Apps für PV-Anlagen Teilaspekte einer intuitiven Nutzung, wie etwa eine permanent sichtbare Navigationsleiste und Individualisierungsmöglichkeiten analysiert und bestehende Hindernisse, wie irrelevante Informationsdarstellungen und inkonsistente Menüführungen, identifiziert. Ebenfalls wurden Gestaltungskriterien, wie etwa Individualisierungsmöglichkeiten und die Unterdrückung nicht relevanter Diagramme bzw. fehlender Daten, einer Desktopanwendung vertiefend thematisiert. Im Unterschied zu mobilen Apps bieten Desktopanwendungen den Vorteil einer höheren Informationsdichte, wodurch diese gezielt auf Nutzer:innen mit Interesse an tiefergehenden Auswertungen ausgerichtet werden kann.

Referenzen

- Aliberti, A., Camarda, C., Ferro, V., Acquaviva, A., & Patti, E. (2017). A Participatory Design Approach for Energy-aware Mobile App for Smart Home Monitoring. In M. Helfert, C. Klein & B. Donnellan (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems* (pp. 158–165). SciTe. <https://doi.org/10.5220/0006299001580165>
- Bergek, A., & Palm, J. (2024). Energy communities in Sweden: challenging established ideas of aim, place and engagement. *Energy Research & Social Science*, 115, 103626. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103626>
- Bessette, D. L., Hoen, B., Rand, J., Hoesch, K., White, J., Mills, S. B., & Nilson, R. (2024). Good fences make good neighbors: stakeholder perspectives on the local benefits and burdens of large-scale solar energy development in the United States. *Energy Research & Social Science*, 108, 103375. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103375>
- Breitschopf, B., & Burghard, U. (2023). *Energy transition: Financial participation and preferred design elements of German citizens* (Working Paper No. S05/2023). Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI. <https://doi.org/10.24406/publica-1224>
- Busch, H., Radtke, J., & Islar, M. (2023). Safe havens for energy democracy? Analysing the low-carbon transitions of Danish energy islands. *Journal of Political Science*, 33, 227–251. <https://doi.org/10.1007/s41358-023-00347-5>

- Caporale, D., Sangiorgio, V., & De Lucia, C. (2024). Extended reality-based choice experiment to assess the impact of offshore wind turbines in historic center: The case of Manfredonia. *Journal of Environmental Management*, 349, 119454. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119454>
- Ćetković, S., & Bertemes, J. (2025). Do local parties only mind their own business? Explaining the deployment of large-scale solar energy projects in Germany. *Energy Research & Social Science*, 121, 103968. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2025.103968>
- Conradie, P. D., De Ruyck, O., Saldien, J., & Ponnet, K. (2021). Who wants to join a renewable energy community in Flanders? Applying an extended model of Theory of Planned Behaviour to understand intent to participate. *Energy Policy*, 151, 112121. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112121>
- De Simone, E., Rochira, A., & Mannarini, T. (2025). Individual and community catalysts for Renewable Energy Communities (RECs) development. *Current Opinion in Psychology*, 62, 101987. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2024.101987>
- Deutsches Institut für Normung. (1999). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit – Leitsätze* (DIN EN ISO 9241-11). Beuth.
- Ernst, A., & Shamon, H. (2020). Public participation in the German energy transformation: Examining empirically relevant factors of participation decisions. *Energy Policy*, 145, 111680. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111680>
- Fadhilurrohmah, F. N., Winarsih, N. A. S., Rohman, M. S., & Saraswati, G. W. (2020). User Interface Design for Solar Panel Monitoring System on Android Smartphones Using User-Centered Design Method. In *2020 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)* (pp. 625–629). IEEE. <https://doi.org/10.1109/iSemantic50169.2020.9234266>
- Fejzulla, A., Pare, J., & Parkins, J. R. (2024). *Knowledge, attitudes, and willingness to invest in renewable energy co-operatives in Alberta* (Report No. 24-01). University of Alberta. <https://ualberta.scholaris.ca/server/api/core/bitstreams/437eb1df-4ce6-4f27-82b1-578694c01a99/content>
- Fischer, B., Gutsche, G., & Wetzel, H. (2021). Who wants to get involved? Determining citizen willingness to participate in German renewable energy cooperatives. *Energy Research & Social Science*, 76, 102013. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102013>
- Glatz-Reichenbach, J., Lindkvist, C., Vilarinho, T., Minde, A., Cretella, G., & Wienhofen, L. W. M. (2015). End user centred interactive software architecture and design: The creation of communities for a smart energy use. In *2015 15th International Conference on Innovations for Community Services (I4CS)* (pp. 1–8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/I4CS.2015.7294484>
- Guetelein, M.-C., & Schleich, J. (2024). Empirical insights into enabling and impeding factors for increasing citizen investments in renewable energy communities. *Energy Policy*, 193, 114302. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114302>

- Gulbrandsen, H., & Franang, T. A. (2015). CoSSMunity: Applying Gamification to create Informed Energy Users within a Smart Grid Community. https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2353496/12329_FULLTEXT.pdf
- Hogan, J. L., Warren, C. R., Simpson, M., & McCauley, D. (2022). What makes local energy projects acceptable? Probing the connection between ownership structures and community acceptance. *Energy Policy*, 171, 113257. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113257>
- Hoppe, T., Coenen, F. H., & Bekendam, M. T. (2019). Renewable energy cooperatives as a stimulating factor in household energy savings. *Energies*, 12(7), 1188. <https://doi.org/10.3390/en12071188>
- Hübner, G., Leschinger, V., Müller, F. J., & Pohl, J. (2023). Broadening the social acceptance of wind energy—An Integrated Acceptance Model. *Energy Policy*, 173, 113360. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113360>
- Khan, H. R., Kazmi, M., Lubaba, Khalid, M. H. B., Alam, U., Arshad, K., Assaleh, K., & Qazi, S. A. (2024). A Low-Cost Energy Monitoring System with Universal Compatibility and Real-Time Visualization for Enhanced Accessibility and Power Savings. *Sustainability*, 16(10), 4137. <https://doi.org/10.3390/su16104137>
- Kluge, J., Offermann-van Heek, J., & Ziefle, M. (2021). How will I know about local energy projects? A conjoint-analysis of communication preferences in Germany. *Energy Research & Social Science*, 75, 102016. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102016>
- Langer, K., Decker, T., & Menrad, K. (2017). Public participation in wind energy projects located in Germany: Which form of participation is the key to acceptance?. *Renewable Energy*, 112, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.021>
- Lázaro, I., Diez, F. J., & Carballo, C. (2022). *Energy management advanced visualization (Deliverable D6.4)* [Project deliverable]. REACT: Renewable Energy for self-sustainable island Communities. <https://react2020.eu/download/d6-4-energy-management-advanced-visualization/>
- Le Maitre, J., Ryan, G., & Power, B. (2024). Do concerns about wind farms blow over with time? Residents' acceptance over phases of project development and proximity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 113839. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113839>
- Le Maitre, J., Ryan, G., Power, B., & O'Connor, E. (2023). Empowering onshore wind energy: a national choice experiment on financial benefits and citizen participation. *Energy Policy*, 173, 113362. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113362>
- Neska, E., & Kowalska-Pyzalska, A. (2022). Conceptual design of energy market topologies for communities and their practical applications in EU: A comparison of three case studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112921. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112921>
- Nieminen, G. S., & Laitinen, E. (2025). Understanding local opposition to renewable energy projects in the Nordic countries: A systematic literature review. *Energy Research & Social Science*, 122, 103995. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2025.103995>
- NRG Labs. (2019). *PV Forecast: Solar Power & Gen* (Version 2.5.64) [Mobile app]. Google Play Store. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.exigo.solcaster>

- Pfeiffer, M., & Sonnberger, M. (2025). Rushing for the gold of the energy transition: An empirical exploration of the relevance of landownership for the wind energy expansion in Germany. *Energy Research & Social Science*, 123, 104030. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2025.104030>
- Ponnaganti, P., Sinha, R., Pillai, J. R., & Bak-Jensen, B. (2023). Flexibility provisions through local energy communities: A review. *Next Energy*, 1(2), 100022. <https://doi.org/10.1016/j.nxener.2023.100022>
- Reusswig, F., Braun, F., Heger, I., Ludewig, T., Eichenauer, E., & Lass, W. (2016). Against the wind: Local opposition to the German Energiewende. *Utilities Policy*, 41, 214–227. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2016.02.006>
- Sainz Salces, F., Barney, A., & Polatidis, H. (2025). Islanders' perceptions of innovative energy solutions before and after engaging in energy transition projects. *Energy Reports*, 13, 2876–2891. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.02.023>
- Santos, J. B., Scharnigg, R., Monteiro, J., & Pacheco, A. (2025). Fair shares or smart savings? Exploring business models, justice and efficiency trade-offs in Portuguese energy communities. *Energy Research & Social Science*, 125, 104102. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2025.104102>
- Scheifele, F., & Popp, D. (2025). Not in my backyard? The local impact of wind and solar parks in Brazil. *Energy Economics*, 147, 108481. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108481>
- Shyu, C.-W. (2025). Energy justice-based community acceptance of local-level energy transition to solar photovoltaic energy. *Energy Reports*, 13, 609–620. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.12.029>
- Sirr, G., Power, B., Ryan, G., Eakins, J., O'Connor, E., & le Maitre, J. (2023). An analysis of the factors affecting Irish citizens' willingness to invest in wind energy projects. *Energy Policy*, 173, 113364. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113364>
- SolarEdge Technologies. (2019). *mySolarEdge* (Version 2.40.0.2400010) [Mobile app]. Google Play Store. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.solaredge.homeowner>
- Standal, K., Leiren, M. D., Alonso, I., Azevedo, I., Kudrenickis, I., Maleki-Dizaji, P., Laes, E., Di Nucci, M. R., & Krug, M. (2023). Can renewable energy communities enable a just energy transition? Exploring alignment between stakeholder motivations and needs and EU policy in Latvia, Norway, Portugal and Spain. *Energy Research & Social Science*, 106, 103326. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103326>
- SUPSI. (2019). *Lugaggia Innovation Community*. SUPSI. <https://www.supsi.ch/en/lugaggia-innovation-community>
- SusEnergy. (2022). *PVCalculator* (Version 2.5.3) [Mobile app]. Google Play Store. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pvstrom.pvcalculator>
- Van den Berg, K., & Tempels, B. (2022). The role of community benefits in community acceptance of multifunctional solar farms in the Netherlands, 122, 106344. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106344>