

Auswertung der Energieströme Q4 2025

(Bericht 5 – MS 1.8)

im Rahmen des Verbundvorhabens

EnQuaFlex - Energiewendeditienlicher Quartiersbetrieb durch
gemeinschaftliche Flexibilitätskoordination

Teilprojekt: Messtechnische Erfassung und Datenauswertung

Autoren:

Dipl.-Kfm. Denis Neiwert

Selvana Younes, B. Eng.

Lutz Meinecke, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Nicolei Beckmann

Lektorat und Korrektorat: Dipl.-Kfm. Denis Neiwert

Buxtehude, 12.02.2026

Hochschule 21
Harburger Str. 6
21614 Buxtehude

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	ii
Tabellenverzeichnis	ii
1 Vorstellung und aktueller Zustand des Quartiers	1
2 Energiefluss vom Quartier	2
2.1 Energieverbräuche und Leistungen des Quartiers (EZA-Regler)	2
2.2 Energiebezug, -lieferung und -bilanz des Quartiers im Detail	4
2.3 Saisonale Einordnung und Robustheit der Energieflüsse im Übergang von Q3 zu Q4 2025. 6	
3 Photovoltaikerzeugung	6
4 Analyse der Energieflüsse	9
5 Netzdienlichkeitsanalyse	11
5.1 Hintergrund und Zielsetzung: Netzdienlichkeit als Bewertungskriterium	11
5.2 Methodik: Versuchsaufbau und Bewertungssystematik	11
5.3 Ergebnisse der Analyse	12
5.4 Fazit Netzdienlichkeit	14
6 Gesamtfazit	15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Summierte aufgenommene und eingespeiste Wirkarbeit in kWh des Quartiers gemessen an dem EZA-Regler für alle Häuser im Quartiersnetz.....	3
Abbildung 2: Erfasste Leistung am EZA-Regler für Q4 2025.....	3
Abbildung 3: Energiebezug in Summe für die jeweiligen Monate für das Quartier.....	4
Abbildung 4: Energielieferung in Summe für die jeweiligen Monate für das Quartier.....	5
Abbildung 5: Bilanzierte Darstellung von Bezug und Lieferung pro Monat.....	5
Abbildung 6: Globalstrahlung auf geneigte Flächen, Institut Wohnen und Umwelt, Juni 2025	7
Abbildung 7: Energiefluss des Quartiers für Oktober.....	9
Abbildung 8: Energiefluss des Quartiers für November	10
Abbildung 9: Energiefluss des Quartiers für Dezember	10
Abbildung 10: Energiefluss des Quartiers für Quartal 4 2025.....	11
Abbildung 11: Gewichtete Bewertung des Bezugs und der Lieferung Anhang der Frequenz des Quartiersnetzes im Vergleich zur Zielfrequenz des Verbundnetzes für Q3 2025	13
Abbildung 12: Netzdienlichkeitsanalyse für Q3 2025 aufgeschlüsselt nach Monat	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: PV-Erzeugung, technische Anlagen und Wirkungsgrade	8
---	---

1 Vorstellung und aktueller Zustand des Quartiers

Der vorliegende Bericht dokumentiert die energetischen Entwicklungen und Beobachtungen im vierten Quartal 2025 für ein Wohnquartier mit 18 Gebäuden im ländlichen Raum Nordniedersachsens. Das Quartier besteht aus Ein- und Zweifamilienhäusern mit unterschiedlichen gebäudetechnischen Ausstattungen und verfolgt das Ziel einer weitgehend resilienten, quartiersintegrierten Energieversorgung. Im Betrachtungszeitraum waren weiterhin 14 der Gebäude bewohnt, vier Gebäude dienten als Musterhäuser. Zum Schutz personenbezogener Daten erfolgt die Darstellung der Gebäude weiterhin unter Verwendung pseudonymisierter Bezeichnungen.

Dieser Bericht ist Teil des dreijährigen Verbundforschungsprojekts *EnQuaFlex – Energiewendedienlicher Quartiersbetrieb durch gemeinschaftliche Flexibilitätskoordination* im Teilprojekt Messtechnische Erfassung und Datenauswertung. Ziel ist es, durch technische und systemische Maßnahmen ein quartiersbasiertes Lastmanagement zu analysieren und weiterzuentwickeln, das sich sowohl auf den lokalen als auch den übergeordneten Netzbetrieb positiv auswirkt.

Im Zentrum der Analyse für das vierte Quartal 2025 stehen die Auswertung der Energieflüsse auf Gesamtquartiersebene (Kapitel 2) sowie die detaillierte Bewertung der elektrischen Verbrauchs- und Einspeisemengen, insbesondere unter Berücksichtigung der saisonal typischen Heizperiode. Kapitel 3 analysiert die Stromerzeugung aus den installierten Photovoltaikanlagen, wobei technische Wirkungsgrade, Strahlungsdaten und Verluste einbezogen werden. Im Kapitel 4 werden die monatlichen und Gesamtenergieflüsse des Quartals vorgestellt. Die Ergebnisse der Netzdienlichkeitsbewertung auf Basis dynamischer Frequenz-Leistungs-Daten folgen in Kapitel 5. Der Bericht schließt mit einem Gesamtfazit (Kapitel 6), das zentrale Erkenntnisse bündelt und Handlungspotenziale für eine netz- und eigennutzungsoptimierte Betriebsweise aufzeigt.

2 Energiefluss vom Quartier

Die Energieflüsse des Quartiers setzen sich zusammen aus:

- den Verbräuchen der Häuser durch Wärmepumpen, Lüftungsanlagen, Wallboxen und Haushaltsverbraucher;
- der zusammengefassten, direkt ins Quartiersnetz eingespeisten PV-Produktion;
- den zwei zentralen Ladepunkten sowie
- dem ausgleichenden Bezug bzw. der Einspeisung über den Netzanschlusspunkt.

Seit Beginn des Berichtszeitraums ist zudem ein Quartiersspeicher mit einer Kapazität von 144 kWh und einer maximalen Lade-/Entladeleistung von 2 x 22 kW bereits installiert und technisch in Betrieb. Dessen Einfluss auf die Energieflüsse ist funktional bereits wirksam und beeinflusst die Netzbezugswerte durch Zwischenspeicherung von PV-Überschüssen sowie Lastverschiebungen.

Seit 25. Juli 2025 kann der Quartierspeicher mittlerweile mit den Basisdatenpunkten State of Charge (SoC) und Leistung Netzanschlusspunkt ausgelesen werden. Die Daten werden in der Projektdatenbank gespeichert und teilweise bereits auf der Projektwebseite enquaflex.de unter Forschungsergebnisse, Quartierdaten live abgebildet. Um belastbare, datenbasierte Aussagen über den Speicherbetrieb und dessen Beitrag zur Resilienzoptimierung des Quartiers treffen zu können ist die Datenbasis noch nicht hinreichend. Es bedarf weiterer, zusätzlicher Datenerschließung um sinnvolle Erkenntnisse generieren zu können. Momentan kann der Zeitpunkt der Umsetzung nicht abgeschätzt werden.

Die aus dem Verbundnetz aufgenommene elektrische Energie ergibt sich weiterhin aus der Differenz zwischen dem Bedarf im Quartier, der Einspeisung aus den PV-Anlagen und dem Beitrag des Quartierspeichers. Die Energieverbräuche im Quartier werden im ersten Unterkapitel behandelt. Im zweiten Unterkapitel folgt die detaillierte Analyse der monatlichen Energieflüsse, also des elektrischen Bezugs, der Netzeinspeisung sowie der daraus resultierenden Energiebilanz.

2.1 Energieverbräuche und Leistungen des Quartiers (EZA-Regler)

Die elektrische Wirkenergieaufnahme der betrachteten Smart-City-Siedlung mit insgesamt 18 Einfamilienwohneinheiten wurde im vierten Quartal 2025 kontinuierlich über den EZA-Regler erfasst. Der Auswertezeitraum beginnt am 01.10.2025 um 00:15 Uhr mit einem registrierten Zählerstand für den Energiebezug von 164.938,96 kWh und endet am 31.12.2025 um 23:45 Uhr bei einem Stand von 197.647,32 kWh. Daraus ergibt sich für den betrachteten Zeitraum ein kumulierter elektrischer Energiebezug von 32.708,36 kWh.

Die Erfassung umfasst – wie in den vorangegangenen Quartalen – den gesamten elektrischen Bedarf sämtlicher bewohnter und unbewohnter Einfamilienhäuser der Siedlung. Hierzu zählen auch jene Gebäude, die mit eigenverbrauchsoptimierten Photovoltaikanlagen ausgestattet sind. Der zeitliche Verlauf des Energiebezugs sowie der Energielieferung an das vorgelagerte Netz ist in Abbildung 1 dargestellt.

Im selben Zeitraum wurde eine elektrische Energielieferung in Höhe von 2.450,24 kWh in das vorgelagerte Netz registriert. Diese ergibt sich aus der Differenz zwischen dem ersten erfassten Zählerstand der Energielieferung am 01.10.2025 von 140.474,27 kWh und dem letzten Messwert am 31.12.2025 von 142.924,51 kWh. Die Einspeisung stammt aus den im Quartier installierten Photovoltaikanlagen, deren Überschüsse über den EZA-Regler erfasst und an das vorgelagerte Netz abgegeben werden.

Aufgrund der im vierten Quartal deutlich reduzierten Tageslängen sowie der überwiegend geringeren solaren Globalstrahlung ist die Energielieferung zeitlich auf wenige Stunden am Tag begrenzt.

Entsprechend überwiegt im dargestellten Zeitraum der elektrische Energiebezug gegenüber der Einspeisung.

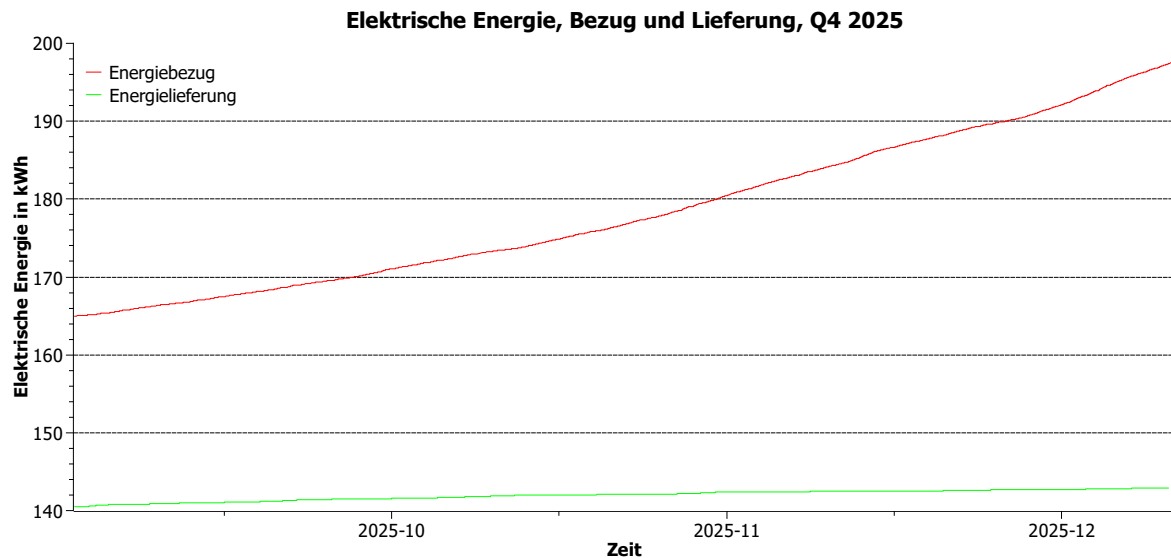


Abbildung 1: Summierte aufgenommene und eingespeiste Wirkarbeit in kWh des Quartiers gemessen an dem EZA-Regler für alle Häuser im Quartiersnetz

Abbildung 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der am EZA-Regler erfassten elektrischen Leistung im vierten Quartal 2025. Über weite Teile des Betrachtungszeitraums ist ein positiver Leistungsbezug aus dem vorgelagerten Netz erkennbar. Negative Leistungswerte, die eine Einspeisung elektrischer Energie kennzeichnen, treten nur noch vereinzelt auf und sind im Wesentlichen auf kurze Zeitfenster um die Mittagsstunden beschränkt.

In den Morgen- und Abendstunden sowie während der Nacht ist ein durchgängiger Leistungsbezug sichtbar, da in diesen Zeiträumen keine oder nur sehr geringe solare Erträge zur Verfügung stehen. Der elektrische Leistungsbedarf der Siedlung wird in diesen Phasen größtenteils über das vorgelagerte Netz gedeckt. Der Tagesverlauf ist dabei durch einen Anstieg der Leistung in den frühen Morgenstunden sowie durch ausgeprägte Lastphasen in den Abendstunden gekennzeichnet.

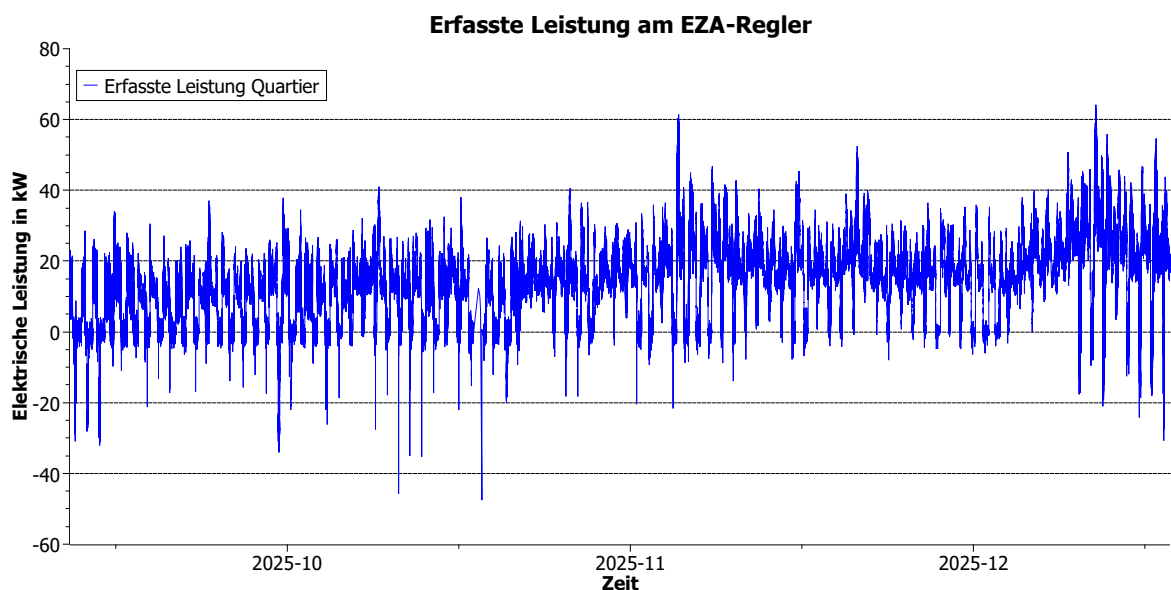


Abbildung 2: Erfasste Leistung am EZA-Regler für Q4 2025.

Wie bereits in den vorangegangenen Quartalen fließen auch im vierten Quartal die beiden zentralen Wallboxen zur Ladung der gemeinschaftlich genutzten Mietfahrzeuge mit einer jeweiligen maximalen Ladeleistung von 22 kW in die gemessenen Leistungs- und Verbrauchswerte ein. Da für diese Ladeinfrastruktur weiterhin keine separate Messung vorliegt, kann deren Anteil am Gesamtleistungsverlauf nicht eindeutig quantifiziert werden. Entsprechende Ladevorgänge können sich insbesondere in den Abendstunden sowie an Wochenenden in Form kurzzeitig erhöhter Leistungsbezüge im dargestellten Lastgang widerspiegeln.

2.2 Energiebezug, -lieferung und -bilanz des Quartiers im Detail

Die Energieflüsse des Quartiers werden im vierten Quartal 2025 analog zu den vorangegangenen Berichtszeiträumen differenziert nach Netzbezug (Abbildung 3) und Netzeinspeisung (Abbildung 4) dargestellt. Die monatliche Energiebilanz, definiert als Differenz zwischen bezogener und eingespeister elektrischer Arbeit, ist in Abbildung 5 zusammengefasst. Die Ergebnisse zeigen einen ausgeprägt saisonalen Verlauf, der maßgeblich durch den Übergang in die Heizperiode mit deutlich reduzierter solarer Einstrahlung und erhöhtem elektrischen Energiebedarf geprägt ist.

Im Oktober beträgt der elektrische Energiebezug 7.292,43 kWh, während gleichzeitig 1.228,35 kWh in das öffentliche Netz eingespeist wurden. Daraus ergibt sich eine positive Nettoenergiebilanz von +6.064,06 kWh, womit das Quartier in diesem Monat klar als Nettoverbraucher auftritt. Trotz weiterhin vorhandener PV-Erzeugung in den Mittagsstunden überwiegt bereits der Netzbezug, was auf kürzere Tageslängen sowie einen ansteigenden Energiebedarf in den Haushalten zurückzuführen ist.

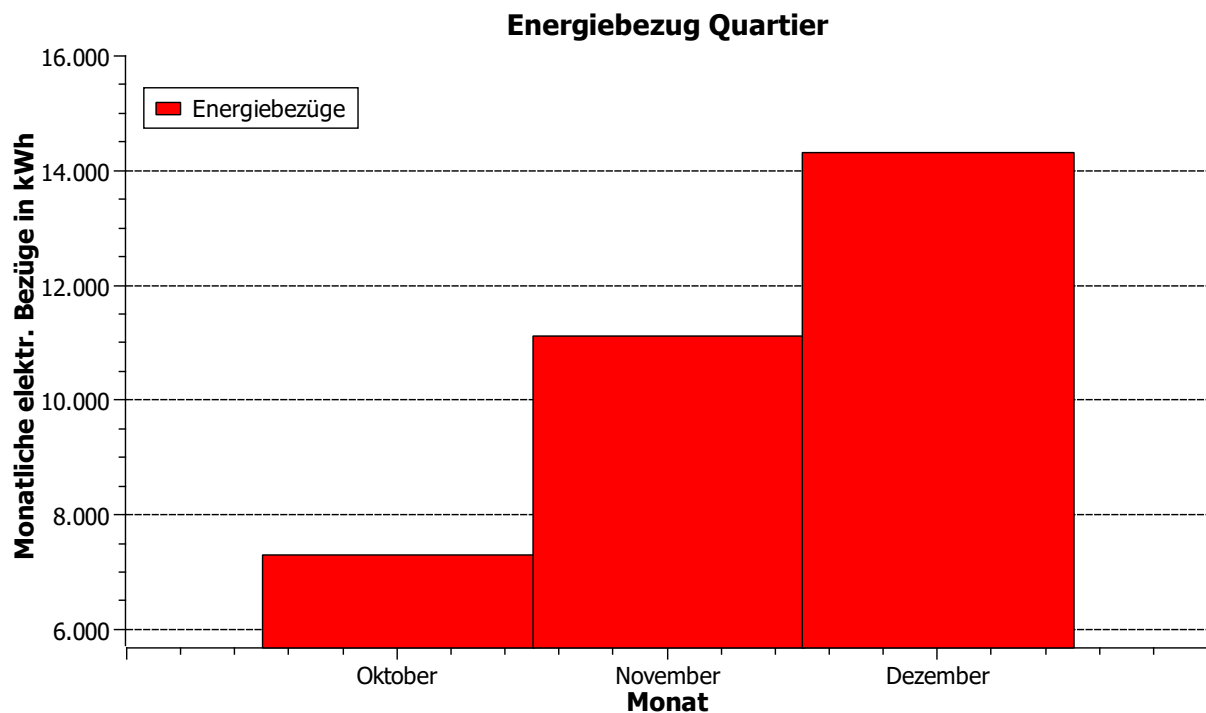


Abbildung 3: Energiebezug in Summe für die jeweiligen Monate für das Quartier.

Im November verstärkt sich dieser Trend deutlich. Der monatliche Netzbezug steigt auf 11.112,11 kWh, während die Einspeisemenge auf 720,59 kWh zurückgeht. Die resultierende Nettoenergiebilanz von +10.391,51 kWh spiegelt die fortschreitende Heizperiode wider, in der die solaren Erträge weiter

abnehmen und der elektrische Bedarf unter anderem durch Beleuchtung, Haushaltslasten und witterungsbedingte Zusatzverbräuche ansteigt.

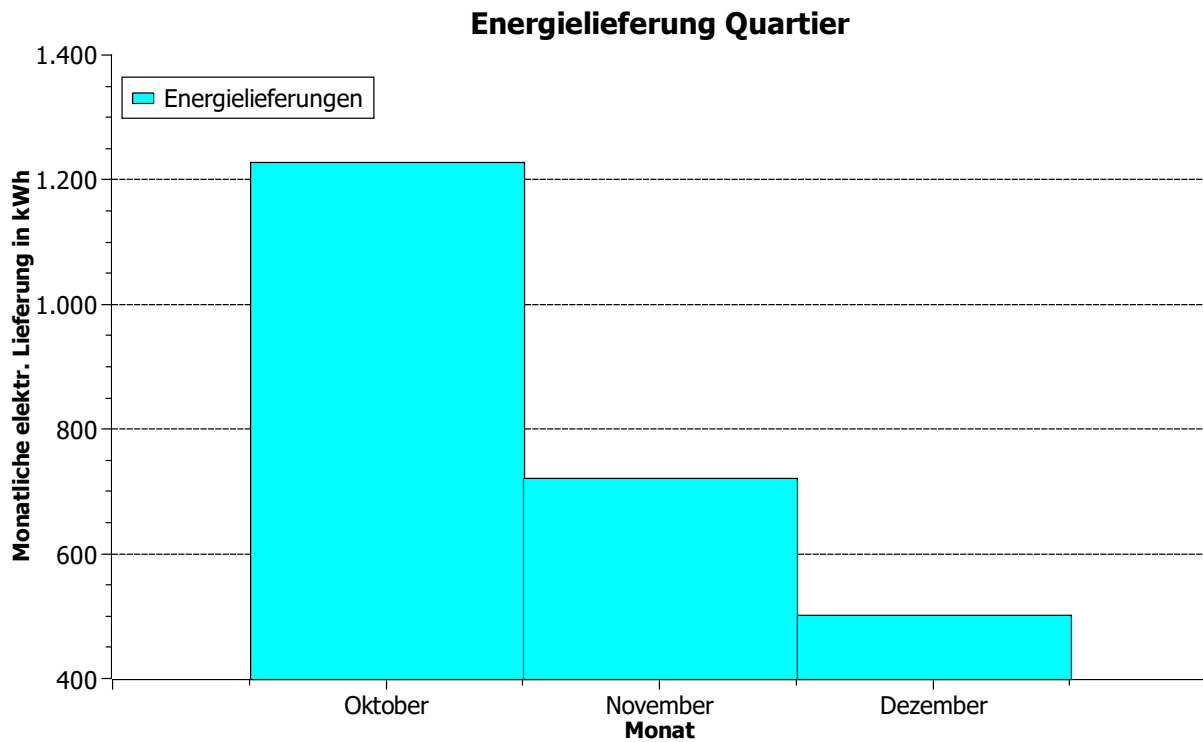


Abbildung 4: Energielieferung in Summe für die jeweiligen Monate für das Quartier.

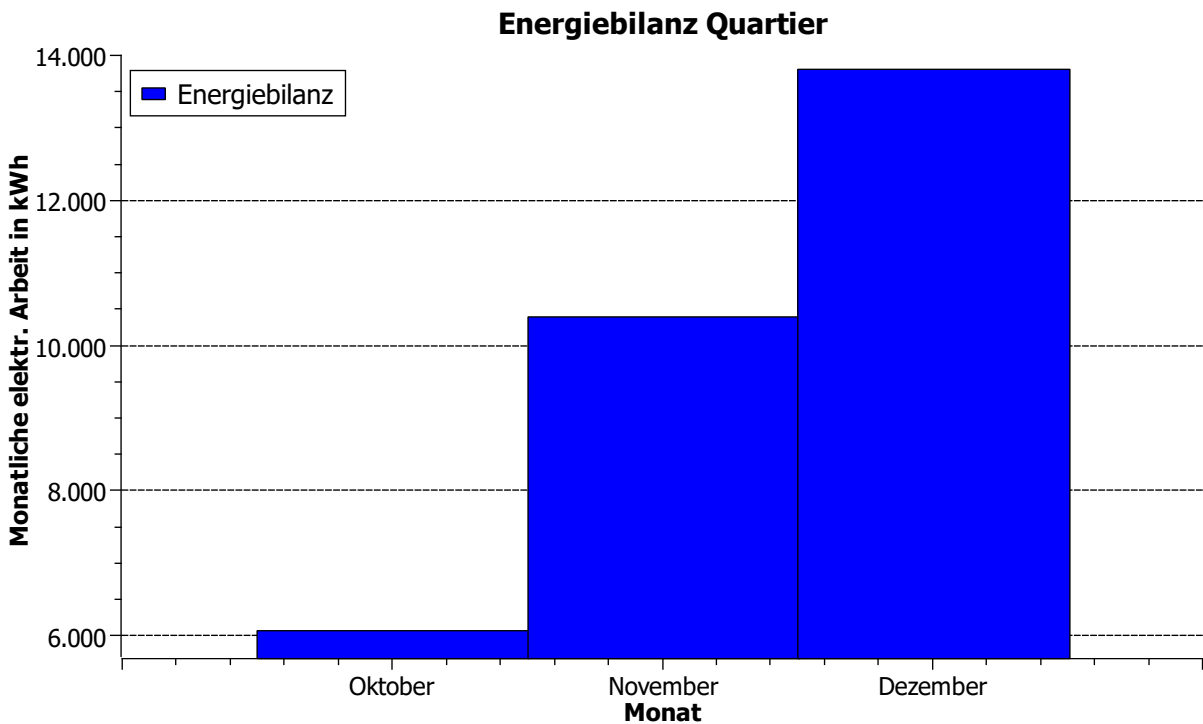


Abbildung 5: Bilanzierte Darstellung von Bezug und Lieferung pro Monat.

Im Dezember erreicht der Energiebezug mit 14.306,93 kWh seinen höchsten Monatswert im betrachteten Quartal. Demgegenüber steht eine Einspeisung von lediglich 501,26 kWh, was zu einer Nettoenergiebilanz von +13.805,66 kWh führt. Die Einspeisung beschränkt sich in diesem Monat auf wenige, kurzzeitige Ertragsfenster, während der elektrische Bedarf über nahezu den gesamten Tagesverlauf durch Netzbezug gedeckt wird.

Insgesamt zeigen die monatlichen Energieflüsse des vierten Quartals 2025 eine durchgängige Dominanz des Netzbezugs (vgl. Abbildung 5). Mit dem Eintritt in die Heizperiode verschiebt sich die Energiebilanz vollständig in Richtung eines Nettobezuges, wobei sowohl der kontinuierlich steigende Energiebedarf als auch die stark eingeschränkte PV-Erzeugung den saisonalen Charakter der Energieflüsse im Winterhalbjahr deutlich widerspiegeln.

2.3 Saisonale Einordnung und Robustheit der Energieflüsse im Übergang von Q3 zu Q4 2025

Der Vergleich zwischen dem dritten und vierten Quartal 2025 verdeutlicht die ausgeprägte saisonale Abhängigkeit der Energieflüsse im betrachteten Quartier. Während das dritte Quartal noch maßgeblich durch hohe solare Erträge und eine weitgehende Deckung des elektrischen Bedarfs aus der lokalen Photovoltaikerzeugung geprägt ist, verschiebt sich die Energiebilanz im vierten Quartal erwartungsgemäß in Richtung eines dominanten Netzbezugs.

Die Beobachtungen der Monate April bis August, insbesondere im zweiten und dritten Quartal, zeigen die hohe Leistungsfähigkeit der im Quartier installierten Photovoltaikanlagen. In diesem Zeitraum übersteigen die solaren Erträge regelmäßig den elektrischen Verbrauch, sodass ein signifikanter Anteil der erzeugten Energie in das öffentliche Netz eingespeist werden kann. Die Eigenversorgung erreicht dabei ein hohes Niveau, da sich Erzeugung und Verbrauch zeitlich deutlich stärker überschneiden als in den Wintermonaten. Dies bestätigt die grundsätzliche Robustheit der energetischen Versorgung des Quartiers durch erneuerbare Energiequellen außerhalb der Heizperiode.

Im dritten Quartal 2025 treten diese Effekte noch deutlich in Erscheinung: Während im Juli und August negative monatliche Nettoenergiebilanzen vorliegen und das Quartier bilanziell als Einspeiser auftritt, markiert der September mit einer positiven Nettoenergiebilanz von +1.045,40 kWh den saisonalen Übergang zum Nettobezug. Dieser Wechsel spiegelt bereits die abnehmende solare Einstrahlung bei gleichzeitig steigenden Grundlasten wider.

Im vierten Quartal setzt sich diese Entwicklung konsequent fort. Alle drei Monate weisen durchgehend positive Nettoenergiebilanzen auf, die von +6.064,06 kWh im Oktober über +10.391,51 kWh im November bis auf +13.805,66 kWh im Dezember ansteigen. Die Einspeisung reduziert sich in diesem Zeitraum auf kurze Zeitfenster mit geringer Intensität, während der elektrische Energiebedarf zunehmend über das vorgelagerte Netz gedeckt wird.

Diese Entwicklung ist als jahreszeitlich bedingt und systemimmanent zu interpretieren. Mit dem Eintritt in die Heizperiode nehmen sowohl die verfügbare solare Einstrahlung als auch die zeitliche Überdeckung von Erzeugung und Verbrauch deutlich ab, während gleichzeitig der elektrische Bedarf durch Beleuchtung, Haushaltslasten und witterungsbedingte Zusatzverbräuche ansteigt. Die im Sommerhalbjahr beobachtete energetische Robustheit des Quartiers gibt im Winterhalbjahr erwartungsgemäß nach, ohne jedoch die grundsätzliche Funktionsfähigkeit und Stabilität des Gesamtsystems infrage zu stellen.

3 Photovoltaikerzeugung

Die Bewertung der Photovoltaikerträge im betrachteten Quartier erfolgt im vierten Quartal 2025 weiterhin auf Basis einer Kombination aus meteorologischen Langzeitdaten und den gemessenen Erzeugungsdaten der installierten PV-Anlagen. Als meteorologische Referenz dient die vom Institut

Wohnen und Umwelt (IWU) veröffentlichte Übersicht zur Globalstrahlung auf geneigte Flächen (Stand Juli 2025), die in Abbildung 6 dargestellt ist. Die dort ausgewiesenen Einstrahlungswerte beziehen sich exemplarisch auf eine Modulneigung von 45°. In der vorliegenden Auswertung wurden jedoch die jeweils realisierten Neigungswinkel der einzelnen Dachflächen berücksichtigt (vgl. Tabelle 1). Für die Ableitung der Einstrahlungswerte wurde das langjährige Mittel der Jahre 2004 bis 2023 herangezogen.

Globalstrahlung auf geneigte Flächen		2024 / 2025							langjähriges Mittel *						
		45° geneigte Flächen mit Orientierung							45° geneigte Flächen mit Orientierung						
		O	SO	S	SW	W	NW	N	O	SO	S	SW	W	NW	N
Neigung gegen Horizontale:	45°	kWh/m²							kWh/m²						
Monat															
Jun 2024		151	170	155	169	149	113	92	155	173	159	173	153	116	94
Jul 2024		164	182	170	181	161	123	99	151	170	155	169	149	113	92
Aug 2024		132	152	149	152	131	99	81	125	145	140	145	124	93	77
Sep 2024		98	118	128	119	98	73	61	88	108	114	109	89	65	56
Okt 2024		52	69	78	71	53	38	34	49	66	73	68	50	36	32
Nov 2024		17	26	26	28	18	12	12	21	33	35	34	22	15	15
Dez 2024		9	16	16	17	10	6	6	12	21	23	22	13	9	8
Jan 2025		16	26	32	27	17	12	11	16	26	32	27	17	12	11
Feb 2025		33	47	58	49	34	24	22	32	46	56	48	33	23	21
Mrz 2025		88	108	143	109	88	65	55	71	90	111	91	72	52	45
Apr 2025		127	147	174	147	126	95	78	120	140	162	140	119	89	74
Mai 2025		164	182	191	181	161	123	99	147	166	169	166	146	110	90
Summe Jahr		1050	1243	1319	1250	1047	781	652	989	1185	1229	1193	988	733	617
Summe an Heiztagen**		358	452	528	459	361	263	228	348	446	508	453	352	255	223
**) Heizgrenztemp. 12°C									*) von 2004 bis 2023						

Abbildung 6: Globalstrahlung auf geneigte Flächen, Institut Wohnen und Umwelt, Juni 2025

Für das vierte Quartal 2025 ergibt sich gemäß Abbildung 6 eine deutlich reduzierte solare Einstrahlung. Die kumulierte Globalstrahlung auf geneigte Flächen beträgt im vierten Quartal rund 120 kWh/m² und liegt damit erheblich unter den Werten der Sommer- und Übergangsmonate. Diese jahreszeitliche Charakteristik prägt die Photovoltaikerzeugung maßgeblich und fällt zeitlich mit dem Beginn der Heizperiode zusammen, in der der elektrische Energiebedarf im Quartier ansteigt (vgl. Kapitel 2).

In die vorliegende Auswertung wurden sämtliche Gebäude des Quartiers einbezogen. Für einzelne Objekte lagen nicht alle erforderlichen Erzeugungsdaten vollständig vor; in diesen Fällen wurden fehlende Werte modelliert und auf Basis der jeweils installierten PV-Modulfläche in m² abgeschätzt. Die betrachtete Gesamtheit umfasst damit eine installierte PV-Modulfläche von insgesamt 1.288,63 m² mit einer Gesamtsitzenleistung von 231,75 kWp. Auf diese Weise wird die im Quartier installierte Photovoltaikleistung vollständig abgebildet, wobei die konsistente Datengrundlage eine vergleichende Bewertung der Anlagen erlaubt (vgl. Tabelle 1).

Die im vierten Quartal 2025 ermittelte elektrische Energieerzeugung der Photovoltaikanlagen beläuft sich auf insgesamt 12.393,32 kWh. Dieser Ertrag ist objektbezogen in Tabelle 1 aufgeschlüsselt und bildet die Grundlage für die Bewertung der Anlagenperformance unter winterlichen Randbedingungen. Die deutlich geringeren Erträge gegenüber den Sommer- und Übergangsquartalen stehen in Einklang mit der stark eingeschränkten solaren Einstrahlung sowie den flacheren Einstrahlungswinkeln in den Wintermonaten.

Tabelle 1: PV-Erzeugung, technische Anlagen und Wirkungsgrade

Objekt	Summe in kWh	PV-Fläche in m ²	Anlagentyp in kWp	Neigung	Globalstrahlung g pro m ²	Gesamt-wirkungs-grad
Alnwick	859,94	79,29	18	45	120	9,04%
Arundel	405,40	79,29	9,68	45	120	4,26%
Bodiam	1.226,39	71,5	14,58	45	120	14,29%
Caerphilly	1.161,60	71,7	15,75	45	120	13,50%
Carrickfergus	707,66	71,7	15,75	45	120	8,22%
Conwy	1.477,62	71,7	15,75	45	120	17,17%
Doune	359,66	53,57	9,68	30	115	5,84%
Dover	509,61	71,5	10,935	45	120	5,94%
Edinburgh	666,97	71,5	12,15	45	120	7,77%
Eilean	574,88	72,14	12,95	45	120	6,64%
Hampton	612,77	71,4	12,375	45	120	7,15%
Inveraray	584,66	71,7	11,25	45	120	6,80%
Leeds	1.279,53	71,15	12,375	30	115	15,64%
Ludlow	532,84	71,4	11,25	45	120	6,22%
Raby	642,27	71,4	15,75	45	120	7,50%
Stirling	386,52	53,3	7,92	30	115	6,31%
Warwick	247,34	71,7	8,73	45	120	2,87%
Windsor	157,68	92,69	16,875	30	115	1,48%
	12.393,32	1288,63	231,75			

Unter Berücksichtigung der langjährigen Globalstrahlungswerte für die relevanten Dachneigungen und Orientierungen (vgl. Abbildung 6) sowie der jeweiligen Anlagenparameter ergeben sich für das betrachtete Quartal die in der Tabelle 1 dargestellte reale Gesamtwirkungsgrade, die sämtliche systembedingten Verluste berücksichtigen.

Die in Tabelle 1 ausgewiesenen objektbezogenen Gesamtwirkungsgrade liegen im vierten Quartal 2025 zwischen 1,48 % (Windsor) und 17,17 % (Conwy). Während der überwiegende Teil der Anlagen Wirkungsgrade im Bereich von etwa 5 % bis 8 % aufweist, heben sich insbesondere die Anlagen in Windsor und Warwick mit vergleichsweise niedrigen sowie die Anlage in Conwy mit einem deutlich höheren Wirkungsgrad vom übrigen Kollektiv ab. Da die betrachteten Gebäude hinsichtlich Bauweise, Bauzeitraum und grundsätzlicher Auslegung weitgehend vergleichbar sind, lassen sich die beobachteten Abweichungen nicht unmittelbar auf strukturelle Unterschiede der Gebäude zurückführen. Die identifizierten Ausreißer stellen daher potenzielle Kandidaten für eine vertiefende Betrachtung dar. Eine weitergehende Analyse erscheint insbesondere dann sinnvoll, wenn sich dieses ausreißerhafte Verhalten im Rahmen einer geplanten Jahresauswertung als dauerhaft oder wiederkehrend bestätigt.

Die ermittelten Gesamtwirkungsgrade beinhalten sämtliche relevanten Verlustmechanismen, darunter Umrichter- und Leitungsverluste, temperaturbedingte Effizienzänderungen, Verschattungen sowie zeitweise reduzierte Betriebszustände einzelner Anlagen. Vor dem Hintergrund der geringen Globalstrahlung im vierten Quartal liefern die erzielten Erträge dennoch ein konsistentes Bild des Anlagenbetriebs unter winterlichen Bedingungen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Photovoltaikerzeugung im vierten Quartal 2025 in erster Linie durch die jahreszeitlich bedingte Reduktion der solaren Einstrahlung begrenzt ist. Die Ergebnisse bestätigen den erwarteten Rückgang der PV-Erträge mit Beginn der Heizperiode und stehen in einem

plausiblen Zusammenhang mit den im Kapitel 2 dargestellten Energiebezugs- und Lastentwicklungen. Die Photovoltaikanlagen leisten auch im Winterhalbjahr einen messbaren Beitrag zur elektrischen Versorgung des Quartiers, wobei ihr relativer Anteil an der Gesamtenergieversorgung saisonal bedingt deutlich geringer ausfällt als in den Sommermonaten.

4 Analyse der Energieflüsse

Zur systematischen Darstellung der Nutzung elektrischer Energie in den Sektoren Wärme, Mobilität und Haushaltsstrom wurde für das vierte Quartal ein Sankey-Diagramm erstellt. Die Darstellung basiert auf den vorliegenden Mess- und berechneten Daten aus insgesamt 18 Haushalten und visualisiert die Energieflüsse zwischen PV-Erzeugung, Netzbezug sowie den Verbrauchssektoren.

Nicht in allen Haushalten werden Wallboxen betrieben; der Strombedarf aus diesem Bereich entfällt auf vierzehn der achtzehn betrachteten Häuser. Mit dem zunehmenden Anteil an Elektrofahrzeugen ist künftig von einer weiteren Relevanz dieses Verbrauchssektors auszugehen. Die vorliegende Analyse fokussiert sich auf die aktuelle Verteilung der Energieflüsse im vierten Quartal, um die mit dem Beginn der Heizperiode verbundenen Veränderungen im Verbrauchsverhalten sachgerecht darzustellen.

Zur Sicherstellung einer konsistenten Datengrundlage wurden für das Haus Bodiam fehlende Messwerte rechnerisch ergänzt. Für das Haus Caerphilly konnten ausschließlich die Verbräuche der Wallbox sowie der Bezug des Hauses berücksichtigt werden. Die auf dieser Basis erstellten Energieflussdiagramme für das vierte Quartal bilden die Grundlage der vorliegenden Auswertung.

Die folgende Abbildung zeigt den Energiefluss des Quartiers für Oktober 2025:

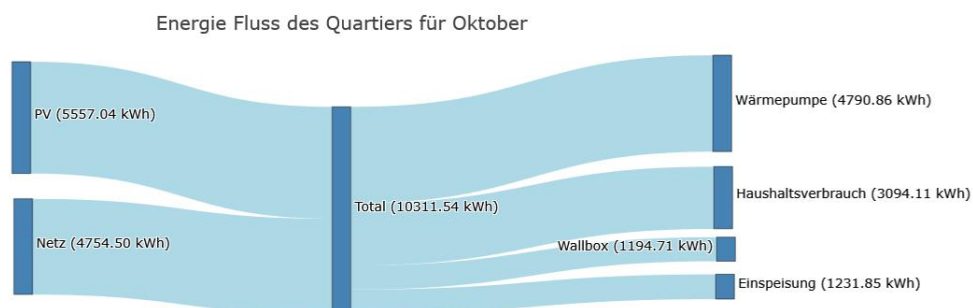


Abbildung 7: Energiefluss des Quartiers für Oktober

Im Oktober lag der Gesamtenergiebedarf des Quartiers bei 10.311,54 kWh. Die Wärmepumpen verbrauchten 4.790,86 kWh, der Haushaltsstrom 3.094,11 kWh und die Wallboxen 1.194,71 kWh. Die PV-Erzeugung betrug 5.557,04 kWh, wobei 1.231,85 kWh ins Netz eingespeist wurden. Der verbleibende Energiebedarf wurde über einen Netzbezug von 4.754,50 kWh gedeckt.

Die nächste Abbildung 8 zeigt den Energiefluss des Quartiers für November 2025:

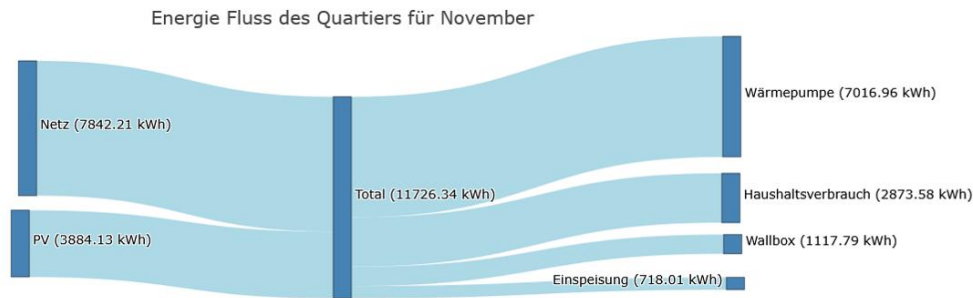


Abbildung 8: Energiefluss des Quartiers für November

Im November stieg der Gesamtenergiebedarf des Quartiers auf 11.726,34 kWh. Der Verbrauch der Wärmepumpen erhöhte sich auf 7.016,96 kWh. Der Haushaltsstrom lag bei 2.873,58 kWh und der Verbrauch der Wallboxen bei 1.117,79 kWh. Die PV-Erzeugung sank saisonbedingt auf 3.884,13 kWh, während der Netzbezug auf 7.842,21 kWh anstieg. Die Einspeisung betrug 718,01 kWh.

Im Dezember erreichte der Gesamtenergiebedarf des Quartiers 13.673,22 kWh. Davon entfielen 8.121,01 kWh auf die Wärmepumpen, 3.076,35 kWh auf den Haushaltsstrom und 1.977,86 kWh auf die Wallboxen. Die PV-Erzeugung belief sich auf 2.720,98 kWh, bei einer Einspeisung von 498,01 kWh. Der Netzbezug stieg auf 10.952,24 kWh und erreichte damit den höchsten Monatswert im Quartal siehe Abbildung 9:

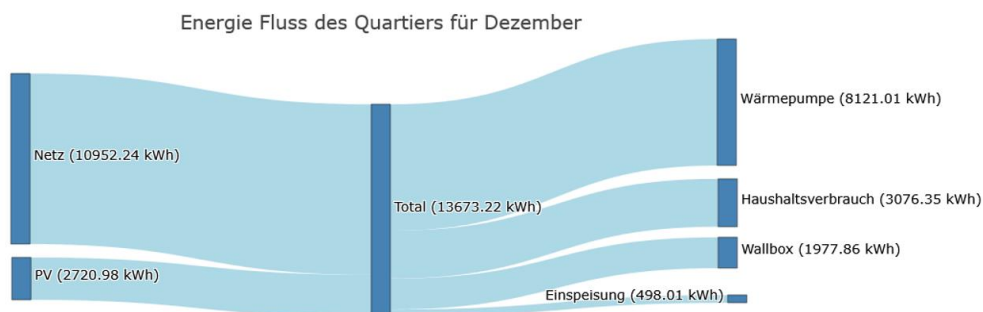


Abbildung 9: Energiefluss des Quartiers für Dezember

In der Gesamtbetrachtung des vierten Quartals ergibt sich ein kumulierter Energieverbrauch von 35.711,10 kWh. Davon entfielen 19.928,83 kWh auf die Wärmepumpen, 9.044,04 kWh auf den Haushaltsstrom und 4.290,36 kWh auf die Wallboxen. Die erzeugte PV-Energie betrug im betrachteten Zeitraum 12.162,15 kWh. Der Netzbezug belief sich auf insgesamt 23.548,95 kWh, während 2.447,87 kWh ins Netz eingespeist wurden, siehe Abbildung 10.

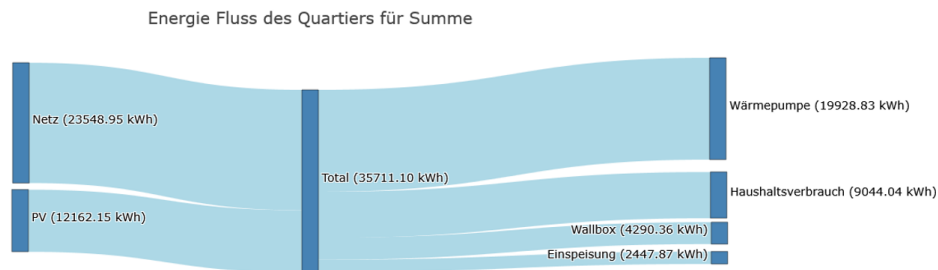


Abbildung 10: Energiefluss des Quartiers für Quartal 4 2025

Im Vergleich zum dritten Quartal zeigt sich im vierten Quartal ein deutlich höherer Gesamtenergieverbrauch. Diese Entwicklung ist im Wesentlichen auf den stark steigenden Strombedarf der Wärmepumpen zurückzuführen, der mit Beginn der Heizperiode einsetzte.

Der Haushaltsstromverbrauch blieb im Vergleich zu Q3 weitgehend konstant, während der Wallbox-Verbrauch in Q4 über den Sommerwerten lag. Die PV-Erzeugung ging im vierten Quartal deutlich zurück, was zu einem erhöhten Netzbezug führte.

Das vierte Quartal ist durch eine ausgeprägte saisonale Verschiebung der Energieflüsse geprägt. Der steigende Wärmebedarf führte zu einem dominanten Anteil der Wärmepumpen am Gesamtverbrauch, während die PV-Erzeugung witterungsbedingt deutlich abnahm. Insgesamt zeigt Q4 eine stärkere Abhängigkeit vom Stromnetz im Vergleich zum Sommerquartal.

5 Netzdienstlichkeitsanalyse

5.1 Hintergrund und Zielsetzung: Netzdienstlichkeit als Bewertungskriterium

Im Rahmen der Energiewende rückt die Rolle dezentraler Wohnquartiere zunehmend in den Fokus netztechnischer Bewertungen. Ziel dieser Untersuchung ist es, das Einspeiseverhalten eines Quartiers hinsichtlich seiner Auswirkungen auf die Stabilität des übergeordneten Verbundnetzes zu analysieren. Der Begriff der „Netzdienstlichkeit“ beschreibt dabei die Fähigkeit eines Quartiers, durch sein Stromverhalten – insbesondere Einspeisung und Bezug – positiv zur Netzfrequenzstabilität beizutragen.

Ein Quartier kann durch gezielte Einspeisung netzstützend wirken, etwa durch das Abfedern von Frequenzabfällen mit Energieeinspeisung. Umgekehrt wirkt sich ein übermäßiger Bezug in Niedrigfrequenzphasen oder das Einspeisen bei bereits hoher Netzfrequenz negativ auf die Netzstabilität aus. Vor diesem Hintergrund ist es Ziel des vorliegenden Konzepts, eine Wohnform zu etablieren, die nicht nur geringe destabilisierende Wirkungen entfaltet, sondern im besten Fall eine positive Rückwirkung auf das Netz hat. Sollte dieses Konzept verstärkt Einzug in die urbane Planung halten, soll es sich im Vergleich zu herkömmlichen Haushaltsstrukturen als ressourcenschonender und netzkompatibler erweisen.

5.2 Methodik: Versuchsaufbau und Bewertungssystematik

Für die Bewertung wurde ein automatisierter Analyseprozess entwickelt, bei dem paarweise Zeitdaten von Frequenz (f) und Leistung (P) mit einer zeitlichen Schrittweite von 10 Sekunden verarbeitet wurden. Als Basis dienten CSV-Dateien mit Messwerten über den Zeitraum vom 01.10.2025 bis zum 31.12.2025. Der maximale absolute Leistungswert im betrachteten Zeitraum lag bei 64.144 kW und bildete den Normierungsfaktor der Bewertungsskala.

Die Bewertung erfolgt gemäß folgender Logik, die Frequenzbereiche mit zugehörigem Energiefluss in eine Skala von 0 bis 100 überführt:

- Frequenz < 49,98 Hz:
 - *Liefern* (Einspeisung) → netzdienlich (Wert 75–100)
 - *Beziehen* → destabilisierend (Wert 0–24)
- 49,98 Hz ≤ Frequenz < 50 Hz:
 - *Liefern* → leicht netzdienlich (50–75)
 - *Beziehen* → leicht destabilisierend (50–24)
- 50 Hz ≤ Frequenz < 50,02 Hz:
 - *Beziehen* → leicht netzdienlich (50–75)
 - *Liefern* → leicht destabilisierend (50–24)
- Frequenz ≥ 50,02 Hz:
 - *Beziehen* → netzdienlich (75–100)
 - *Liefern* → destabilisierend (0–24)

Die kontinuierlichen Bewertungswerte wurden anschließend in drei Kategorien unterteilt:

- 0–24: destabilisierend
- 25–74: neutral
- 75–100: netzdienlich

5.3 Ergebnisse der Analyse

Für das vierte Quartal 2025 wurden insgesamt 128.864 Zeitfenster à 10 Sekunden ausgewertet. Die Verteilung der Bewertungswerte ist in Abbildung 11 dargestellt und ergibt folgendes Bild:

- Destabilisierend (rot): 24,4 % – 31.416 Zeitfenster
- Neutral (gelb): 67,5 % – 86.937 Zeitfenster
- Netzdienlich (grün): 8,2 % – 10.511 Zeitfenster

Aus diesen Anteilen ergibt sich ein Netzdienlichkeitsindex von 43,601. Damit liegt das Quartier im vierten Quartal deutlich unterhalb der Neutralmarke von 50. Gegenüber dem dritten Quartal ist ein Rückgang des Index erkennbar, was auf die veränderten energetischen Randbedingungen im Winterhalbjahr hinweist. Die im Quartal gemessene maximale elektrische Leistung beträgt 64,144 kW und liegt damit im Bereich der im Heizbetrieb typischen Lastspitzen.

Netzdienlichkeit

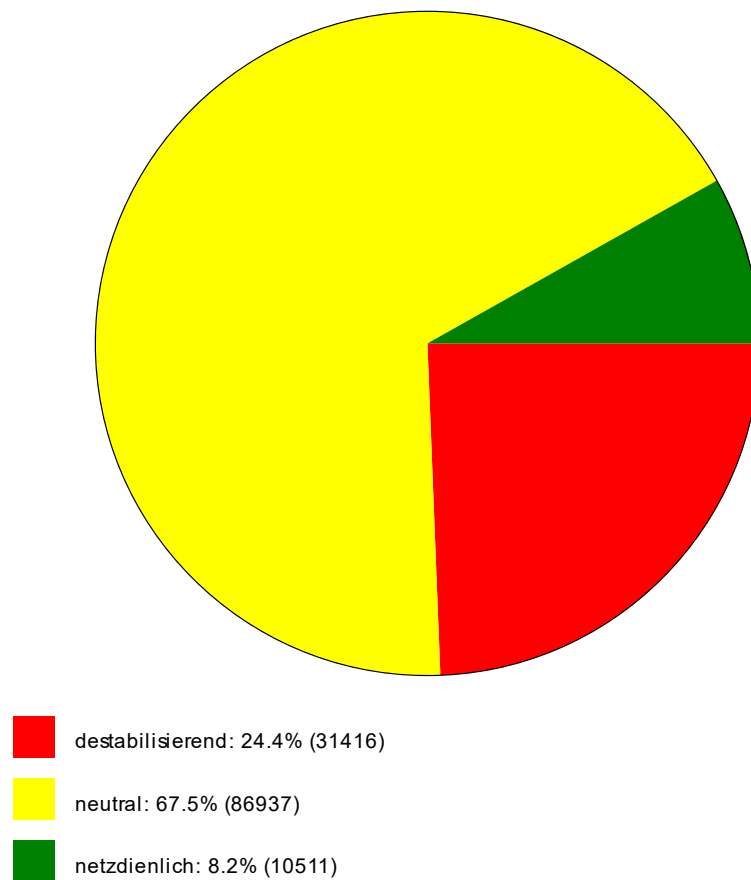


Abbildung 11: Gewichtete Bewertung des Bezugs und der Lieferung Anhang der Frequenz des Quartiersnetzes im Vergleich zur Zielfrequenz des Verbundnetzes für Q3 2025

Die monatsweise Betrachtung der Netzdienlichkeitsanteile (vgl. Abbildung 12) zeigt folgendes Bild:

- Oktober: destabilisierend 24 %, neutral 65 %, netzdienlich 11 %
- November: destabilisierend 24 %, neutral 69 %, netzdienlich 8 %
- Dezember: destabilisierend 26 %, neutral 69 %, netzdienlich 6 %

Damit zeigt sich ein für die Heizperiode typisches Muster. Bereits im Oktober liegt der Anteil netzdienlicher Zeitfenster deutlich unter den Werten der Sommer- und Übergangsmonate, während der destabilisierende Anteil gegenüber Q3 spürbar zunimmt. In den Monaten November und Dezember verstärkt sich dieser Effekt weiter: Der netzdienliche Anteil sinkt auf bis zu 6 %, während der destabilisierende Anteil auf bis zu 26 % ansteigt. Der neutrale Anteil bleibt über alle drei Monate hinweg dominant und bewegt sich stabil im Bereich von rund 65 % bis 69 %.

Netzdienstlichkeitsanalyse

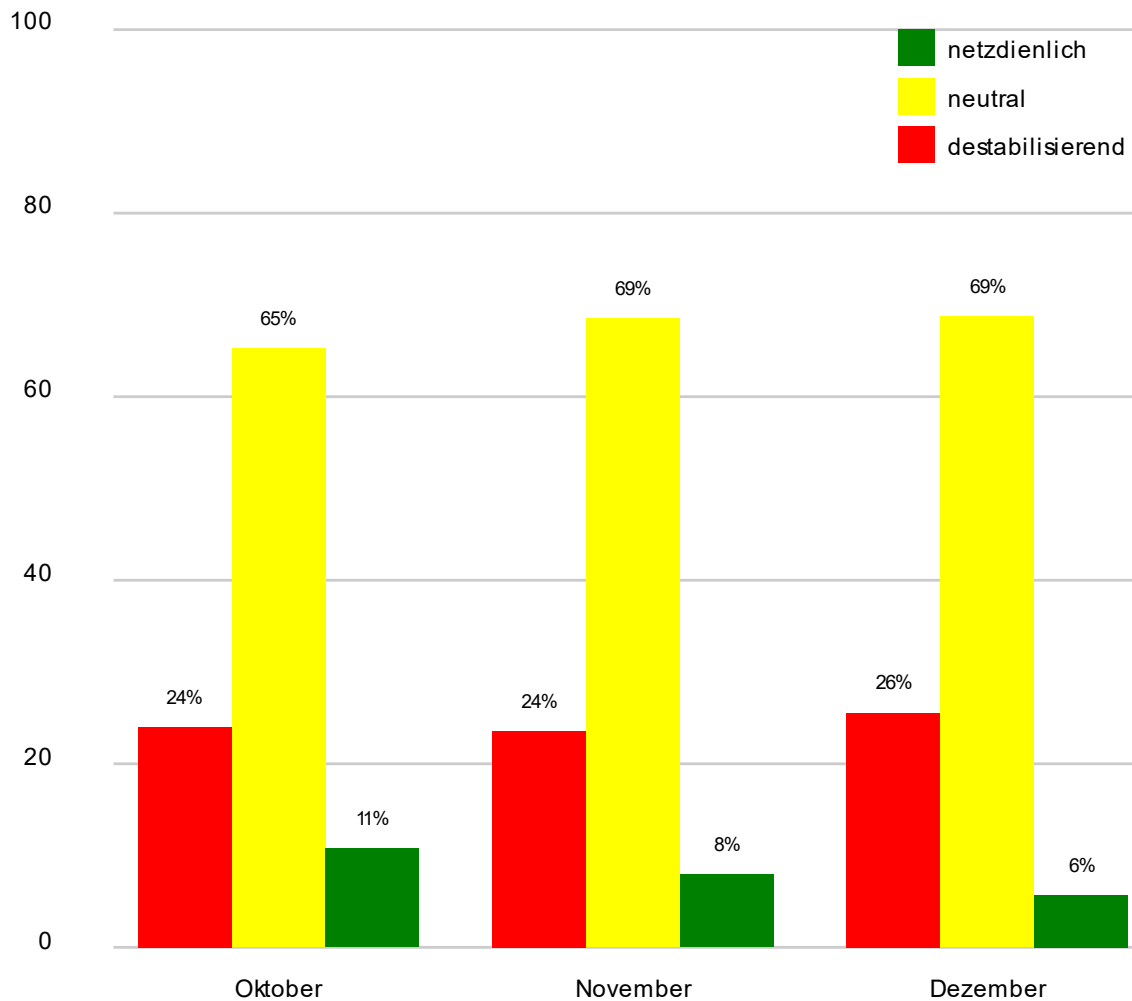


Abbildung 12: Netzdienstlichkeitsanalyse für Q3 2025 aufgeschlüsselt nach Monat

Diese Entwicklung korrespondiert mit den im Energiemonitoring beobachteten Veränderungen im vierten Quartal. Die stark reduzierten PV-Erträge, der vollständige Übergang des Quartiers zum Nettobezug sowie höhere und zeitlich konzentrierte Lasten in den Morgen- und Abendstunden führen zu einem Betriebsverhalten, das aus netzanalytischer Sicht seltener als aktiv netzstützend eingestuft wird.

Insgesamt zeigt das Einspeise- und Bezugsverhalten des Quartiers im vierten Quartal ein überwiegend neutrales, jedoch im Vergleich zu Q3 deutlich weniger netzdienstliches Profil. Die Verschiebung ist saisonal erklärbar und stellt keine strukturelle Verschlechterung dar, sondern spiegelt die veränderten Rahmenbedingungen des Winterbetriebs wider.

5.4 Fazit Netzdienstlichkeit

Die Ergebnisse des vierten Quartals 2025 zeigen ein weiterhin überwiegend neutrales Einspeise- und Bezugsverhalten des Quartiers, jedoch mit einer gegenüber dem dritten Quartal deutlich reduzierten

Netzdienlichkeit. Mit 8,2 % netzdienlichen, 67,5 % neutralen und 24,4 % destabilisierenden Zeitfenstern sowie einem Netzdienlichkeitsindex von 43,601 liegt das Quartier klar unterhalb der Neutralmarke. Diese Entwicklung ist vor dem Hintergrund der Heizperiode und der stark eingeschränkten PV-Erzeugung als erwartungsgemäß einzuordnen.

Die quartalsübergreifende Betrachtung verdeutlicht einen konsistenten saisonalen Verlauf: Während im Sommerhalbjahr – insbesondere in Q2 und Q3 – erhöhte PV-Erträge und eine bessere zeitliche Überdeckung von Erzeugung und Verbrauch zu höheren netzdienlichen Anteilen führen, verschiebt sich das Verhältnis im Winterhalbjahr deutlich. Im vierten Quartal dominieren Phasen erhöhten Netzbezugs, insbesondere in den Tagesrandstunden, wodurch destabilisierende Zeitfenster häufiger auftreten.

Zugleich bleibt festzuhalten, dass auch im vierten Quartal der überwiegende Teil des Betriebs als neutral eingestuft wird. Dies deutet darauf hin, dass das Quartier trotz erhöhter Lasten und reduzierter Eigenerzeugung keine ausgeprägten netzbelastenden Extremzustände aufweist. Die gemessenen Lastspitzen und Leistungsflüsse bewegen sich im erwartbaren Rahmen eines winterlichen Wohnquartiers mit elektrifizierten Haushaltslasten.

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse, dass die Netzdienlichkeit des Quartiers stark von saisonalen Faktoren abhängt. Während in den Sommer- und Übergangsmonaten ein messbar netzstützender Betrieb möglich ist, gibt das System im Winterhalbjahr erwartungsgemäß einen Teil dieser Robustheit ab. Für eine belastbare Gesamtbewertung ist daher eine ganzjährige Betrachtung unerlässlich, die sowohl sommerliche Einspeisephasen als auch winterliche Hochlastsituationen integriert.

Vor diesem Hintergrund liefern die Ergebnisse des vierten Quartals einen wichtigen Referenzpunkt für die untere Bandbreite der Netzdienlichkeit des Quartiers. Sie bilden damit eine wesentliche Grundlage für die bevorstehende Jahresauswertung, in der beurteilt werden kann, inwieweit sich die saisonalen Schwankungen über das Gesamtjahr hinweg ausgleichen und welche strukturellen Potenziale zur weiteren Erhöhung der Netzdienlichkeit bestehen.

6 Gesamtfazit

Der vorliegende Bericht analysiert die energetischen Entwicklungen im vierten Quartal 2025 für ein Wohnquartier mit 18 Ein- und Zweifamilienhäusern im ländlichen Raum Nordniedersachsens. Ziel war es, die Energieflüsse auf Quartiersebene unter winterlichen Randbedingungen zu untersuchen und deren Auswirkungen auf Energiebezug, Eigenerzeugung sowie Netzdienlichkeit einzuordnen. Die Ergebnisse der Kapitel 1 bis 5 zeigen ein in sich konsistentes Bild der saisonal geprägten Betriebsweise des Quartiers.

Mit dem Übergang in das vierte Quartal ist eine deutliche Verschiebung der Energieflüsse zu beobachten. Die Analyse der Gesamtenergieverbräuche (Kapitel 2) verdeutlicht einen signifikanten Anstieg des elektrischen Energiebedarfs, der maßgeblich durch den Beginn der Heizperiode und den damit verbundenen erhöhten Einsatz der Wärmepumpen verursacht wird. Während Haushaltsstrom- und Mobilitätsverbräuche im Quartalsvergleich vergleichsweise stabil bleiben, dominiert der wärmebedingte Strombedarf zunehmend die Laststruktur des Quartiers. Infolge dessen steigt der Netzbezug im Verlauf des Quartals kontinuierlich an und erreicht im Dezember seinen höchsten Monatswert.

Parallel hierzu zeigt die detaillierte Betrachtung von Energiebezug, Einspeisung und Energiebilanz (Kapitel 2.2), dass das Quartier im gesamten vierten Quartal bilanziell als Nettoverbraucher auftritt. In allen drei Monaten überwiegt der Netzbezug deutlich gegenüber der Einspeisung in das vorgelagerte Netz. Die monatlichen Nettoenergiebilanzen nehmen von Oktober bis Dezember stetig zu, was den

ausgeprägt saisonalen Charakter der Energieflüsse unterstreicht. Die im Sommerhalbjahr beobachtete teilweise autarke Versorgung kann unter winterlichen Bedingungen erwartungsgemäß nicht aufrechterhalten werden.

Die Analyse der Photovoltaikerzeugung (Kapitel 3) bestätigt diese Entwicklung. Aufgrund der deutlich reduzierten solaren Einstrahlung, kürzerer Tageslängen und ungünstiger Einstrahlungswinkel sinken die PV-Erträge im vierten Quartal erheblich. Trotz der vollständigen Abdeckung der im Quartier installierten PV-Leistung und der Berücksichtigung modellierter Erzeugungswerte für einzelne Anlagen bleibt der Beitrag der Photovoltaik zur Deckung des elektrischen Gesamtbedarfs begrenzt. Die ermittelten Gesamtwirkungsgrade der Anlagen liegen im erwarteten Bereich für winterliche Betriebsbedingungen, wobei einzelne Objekte durch vergleichsweise hohe oder niedrige Wirkungsgrade auffallen und potenzielle Ansatzpunkte für weiterführende Analysen bieten.

Die in Kapitel 4 dargestellte Analyse der Energieflüsse mittels Sankey-Diagrammen verdeutlicht die sektorale Verteilung der elektrischen Energie im Quartier. Insbesondere der hohe Anteil der Wärmepumpen am Gesamtverbrauch prägt die Struktur der Energieflüsse im vierten Quartal. Die Visualisierung macht zudem deutlich, dass die lokal erzeugte PV-Energie überwiegend zeitlich begrenzt zur Verfügung steht und nur in geringem Umfang zur Deckung der Lastspitzen in den Abend- und Nachtstunden beitragen kann. Der Quartierspeicher ist technisch zwar in Betrieb, kann jedoch aufgrund der derzeit begrenzten Datenbasis noch nicht abschließend hinsichtlich seines Beitrags zur Lastverschiebung und Resilienz bewertet werden.

Die Netzdienlichkeitsanalyse (Kapitel 5) zeigt schließlich, dass die Energieflüsse des Quartiers im vierten Quartal überwiegend durch einen kontinuierlichen Netzbezug geprägt sind. Während im Sommerhalbjahr durch hohe Einspeisungen zeitweise netzentlastende Effekte auftreten können, reduziert sich dieser Einfluss im Winter deutlich. Dennoch erfolgt der Energiebezug weitgehend gleichmäßig und ohne ausgeprägte Extremwerte, was auf einen insgesamt stabilen und vorhersagbaren Netzanschlusspunktbetrieb hinweist.

Zusammenfassend bestätigt die Auswertung des vierten Quartals 2025 die starke saisonale Abhängigkeit der Energieflüsse im Quartier. Die Photovoltaikanlagen leisten auch im Winterhalbjahr einen messbaren Beitrag zur elektrischen Versorgung, können den erhöhten Energiebedarf jedoch nicht kompensieren. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit den erwarteten physikalischen und nutzungsbedingten Rahmenbedingungen der Heizperiode und belegen die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des Quartiersystems unter winterlichen Bedingungen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen bietet insbesondere eine jahreszeitübergreifende Gesamtbetrachtung das Potenzial, Aussagen zur energetischen Robustheit, zur Optimierung des Speicherbetriebs sowie zur weiteren Steigerung der Netzdienlichkeit des Quartiers fundiert abzuleiten.