wärmewende nordwest

Neuausrichtung der Gebäudesanierung städtischer Liegenschaften zur Klimaneutralität

Autoren: Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff
M. Eng. Katharina Gebhardt
(als Bietergemeinschaft)
Braunschweig / Biederitz

31.12.2025

Erstellt für:

Stadt Oldenburg

Gefördert durch:

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

Konzept im Auftrag der Stadt Oldenburg

Neuausrichtung der Gebäudesanierung städtischer Liegenschaften zur Klimaneutralität

vorgelegt dem Amt für Klimaschutz und Mobilität der Stadt Oldenburg

Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff
M. Eng. Katharina Gebhardt
(als Bietergemeinschaft)

Braunschweig / Biederitz
31.12.2025

Impressum

Titel des Konzeptes:
Neuausrichtung der Gebäudesanierung städtischer Liegenschaften zur Klimaneutralität

Verfahren:
2025OL000168

Projektausschreibung:
Stadt Oldenburg (Oldb)
Schlossplatz 25/26
26122 Oldenburg

Projektfinanzierung:
Stadt Oldenburg (Oldb)

Projektlaufzeit:
28.07.2025 – 31.12.2025

Verantwortliche Berichtverfasser:
Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff
Albertstraße 3
38124 Braunschweig

Katharina Gebhardt, M. Eng.
Am Schwanengraben 13
39175 Biederitz

Datenstand:
Braunschweig/Biederitz, 31.12.2025

Allgemeiner Hinweis zur Schriftfassung:
Im Rahmen der schriftlichen Ausführungen dieses Konzeptes wird zur Mehrzahlbildung von Personengruppen (bei Unkenntnis der Gruppenzusammensetzung) das generische Maskulinum verwendet. Zudem nennen sich die Autorinnen und der Autor in diesem Sinne vereinfachend „Autoren“ (auch in Kenntnis der Geschlechter dieser Dreiergruppe).

Quelle Titelfoto:
Stadt Oldenburg

Verwendungshinweise aller anderen Grafiken und Tabellen:
Für alle Grafiken, die aus fremder Literatur direkt übernommen wurden, liegen Veröffentlichungsgenehmigungen vor, für welche sich die Autoren bei den Fachkollegen ausdrücklich bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Impressum 2
Inhaltsverzeichnis 3

Prolog 6

1 Einführung und Aufgabenstellung 8

1.1 Fragestellung 8
1.2 Herangehensweise 10
1.3 Ermittlung von Kennzahlen 11
1.4 Maßnahmen zur Verbesserung der Objekte 12
1.5 Bilanzielle CO_2-Neutralität 13
1.6 Energetische Amortisationszeit und CO_2-Bilanz von Einzelmaßnahmen 15
1.7 Umsetzung des Konzeptes 16
1.8 Excel-Werkzeuge im Überblick 16
1.9 Fazit zu einer möglichen Strategie 17

2 Hinweise für die Vorplanungsphase und zur Priorisierung 19

2.1 Ersteinschätzung der Gebäude 19
2.1.1 Einschätzung mit dem H-Wert-Rechner 19
2.1.2 Einschätzung mit der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) 20
2.1.3 Ideen zur Einführung von Gebäudesteckbriefen 21
2.2 Verbesserungsmaßnahmen an der Gebäudehülle 22
2.3 Verbesserungsmaßnahmen an der Heizungstechnik 24
2.3.1 Zukünftige Elektrifizierung durch Wärmepumpen im Vergleich zu anderen Alternativen 24
2.3.2 Mikro-Nahwärmenetze 31
2.3.3 Zentrale vs. dezentrale Warmwasserbereitung 31
2.3.4 Heizungsoptimierung und hydraulischer Abgleich 32
2.3.5 Inbetriebnahme und Betriebsoptimierung 33
2.4 Ausbau der Eigenstromerzeugung und -Nutzung 33
2.4.1 PV-Felder 33
2.4.2 Batteriespeicher 34
2.5 Ansätze zur systematischen Portfolioanalyse 36
2.5.1 Verfolgte Ziele und Zeitschiene 36
2.5.2 Datenermittlung und Datenhaltung 36
2.5.3 Datenbestand für Portfolioanalysen 37
2.5.4 Datenbestand der Einzelprojekte 39
2.5.5 Nachverfolgung und „Rollende Planung“ 40
2.5.6 Priorisierungsidee 1: Photovoltaikausbau und energetische Verbesserung der Dächer 40
2.5.7 Priorisierungsidee 2: Wärmepumpeneinbau, Kesselausbau und Idee der Reservekessel 40
2.5.8 Priorisierungsidee 3: Obere Geschossdecken, Kellerdecken und Einblasdämmung 41
2.5.9 Weitere Maßnahmen 41
2.5.10 Berücksichtigung der Gebäude- bzw. Projektgröße 41

3 Vorstellung der Beispielprojekte 43

3.1 Kindertagesstätten: Kita Ernst-Löwenstein-Straße 56 43
3.2 Grundschulen 44
3.2.1 Grundschule Küpkersweg 16 44
3.2.2 Grundschule Alexanderstraße 500 44
3.3 Weiterführende Schulen: IGS Kreyenbrück 45
3.4 Berufsschulen: Berufsbildende Schule III Am Heidbrook 10 46
3.5 Sporthallen: Sporthalle Feststraße 10 47
3.6 Verwaltungsgebäude: Neues Rathaus (Bürgerbüro) Pferdemarkt 14 47
3.7 Restcluster und Überblick 48

4 Excelanwendung und Planung der Einzelprojekte 50
4.1 Erklärung der relevanten Kennwerte 50
4.1.1 Beheizte Nutzfläche 50
4.1.2 Wärmedurchgangskoeffizient U 50
4.1.3 Heizlast, Netto-Heizlast und Brutto-Heizlast 50
4.1.4 Heizgrenztemperatur 51
4.1.5 Temperaturbezogene Wärmeverlustleistung H-Wert 51
4.1.6 Temperatur- und nutzflächenbezogene Wärmeverlustleistung h-Wert 52
4.2 Datenbasis für einzelne Projekte 53
4.2.1 Checkliste Datenbeschaffung 53
4.2.2 Gebäudedaten der Stadt Oldenburg 55
4.2.3 Datenbasis für H-Wert-Rechner 56
4.2.4 Datenbasis für Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) 57
4.2.5 Datenbasis für Wärmepumpendimensionierung mit WP_DIM (im Exceltool „EAV“) 57
4.2.6 Datenbasis für Lastprofilgenerator 57
4.2.7 Datenbasis für „SunnyDesigner“ 58
4.3 H-Wert-Rechner zur Bewertung der Gebäudehülle 58
4.3.1 Abbildung des Bestandes 58
4.3.2 Sonderfall Mikro-Nahwärme / inhomogene Liegenschaft 60
4.4 EAV zur Verbrauchsdatenauswertung 62
4.4.1 Deckblatt 62
4.4.2 Vorgaben 63
4.4.3 Verbrauchsdaten und Eingabe in das Blatt „Zähler“ 64
4.4.4 Witterungskorrektur 66
4.4.5 Auswertung EAV für Brennstoff 67
4.4.6 Auswertung EAV für Wärmeproduktion 68
4.4.7 Sonderfall zentrale Trinkwassererwärmung 68
4.4.8 Sonderfall Mikro-Nahwärme 71
4.4.9 Auswertung EAV für Strom 71
4.5 H-Wert-Rechner zur Untersuchung von Verbesserungsmaßnahmen an der Gebäudehülle 72
4.5.1 Untersuchung baulicher Verbesserungsmaßnahmen 72
4.5.2 Sonderfall Mikro-Nahwärme / inhomogene Liegenschaft 75
4.6 EAV zur Wärmepumpenauslegung 75
4.6.1 Ermittlung der Nettoheizlast 75
4.6.2 Wärmepumpenauslegung im Blatt „WP_DIM“ 76
4.6.3 Auslegung von Kaskaden 79
4.6.4 Sonderfall Trinkwassererwärmung mit Wärmepumpe 81
4.6.5 Sonderfall Mikro-Nahwärme 81
4.7 EAV zur Erfolgskontrolle von Maßnahmen 82
4.8 Das Exceltool Lastprofilgenerator 83
4.8.1 Eingabedaten Stundenprofil 83
4.8.2 Optionale Daten Jahresprofil 85
4.8.3 Optionale Eingabedaten Tages- und Wochenprofil 86
4.8.4 Datenauszug einer CSV-Datei 87
4.9 Das Online-Tool SunnyDesigner 89
4.9.1 Einloggen und Projekt laden 89
4.9.2 Projektdaten 89
4.9.3 Verbrauchsprofil 90
4.9.4 PV-Anlage 91
4.9.5 Zusatzoptionen 93
4.9.6 Kosten und Preise 94
4.9.7 Ergebnisse 96
4.9.8 Bericht Backup 98

5 Mögliche Gebäudeentwicklung bis zur Klimaneutralität 99
5.1 Bestandsdaten 99
5.2 Varianten 99
5.2.1 Variante 1: Elektrifizierung und Photovoltaik 100
5.2.2 Variante 2a: zusätzlich Dämmung 101
5.2.3 Variante 2b: Kompromiss 102
5.2.4 Variante 2c: zusätzlich erhöhter Ausbau von Photovoltaik 104
5.3 Ergebnisse für alle Gebäude 105
5.3.1 Endenergie 105
5.3.2 Emissionen 106
5.3.3 Investitionskosten 106
5.3.4 Jährliche Kosten 107
5.3.5 Äquivalenter Emissionspreis 108
5.4 Ergebnisse der Gebäudecluster 109
5.4.1 Endenergie 109
5.4.2 Emissionen 111
5.4.3 Jährliche Kosten 113
5.4.4 Äquivalenter Emissionspreis 115
5.5 Annahmen und Randdaten 117
5.5.1 Investitions- und Energiekosten 117
5.5.2 Gebäudehülle, Wärmebedarf und Wärmeerzeugerleistung 118
5.5.3 Warmwasserbedarf und Warmwasserleistung 120
5.5.4 Anlagentechnische Effizienzen 121
5.5.5 Photovoltaik 122
5.5.6 Emissionen 123
5.6 Anknüpfung an die IBP-Studie 123
5.7 Empfehlungen 124

6 Verzeichnisse und Übersichten 125
6.1 Verzeichnis wichtiger Formelzeichen und Abkürzungen 125
6.2 Literaturverzeichnis 127
6.3 Abbildungsverzeichnis 127
6.4 Tabellenverzeichnis 129

Prolog

Seit Einführung der Energieeinsparverordnung im Jahre 2002 haben die Autoren Kati Jagnow und Dieter Wolff in fast jährlichem Abstand Vorschläge veröffentlicht, wie das Energiesparrecht durch reale Verbrauchsauswertung anstelle theoretischer Bedarfsrechnungen drastisch vereinfacht werden könnte. Seit 2020 haben die Autoren dies mit dem Tool „Standardbilanz“ für Wohngebäude weiterentwickelt.

2020 konnte als Ergebnis eines Gutachtens für den Deutschen Bundestag [↗] der Nachweis geführt werden, dass der vorrangige Einbau von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Wohn- und Nichtwohngebäuden anstelle des bisherigen Standards „Gas-Brennwertkessel“ eine wirtschaftliche „No-Regret-Maßnahme“ darstellt; v.a. auch in Bestandsgebäuden, gegenüber anderen Alternativen wie Holzpelletkessel oder einem Anschluss an Nah- oder Fernwärme. Der Schwerpunkt der damaligen Untersuchung war der Wohnungsbau, der mithilfe eines Excel-Tools typisiert wurde als „Standardbilanz“ zur Abbildung des mittleren Deutschen Ein- und Zweifamilienhauses und Mehrfamilienhauses.

Bedauerlicherweise wurde das Gutachten erst im Sommer 2022 für die Veröffentlichung vom Deutschen Bundestag freigegeben – also mitten in der „Energiepreiskrise“ – und wenig bis gar nicht beachtet. Die Autoren halten die Ergebnisse dieses Gutachtens noch immer für hochaktuell in der Diskussion zum zukünftigen „Gebäudemodernisierungsgesetz“ 2026 (GMG) zur Abschaffung des „Heizungsgesetzes“ (GEG), das es nie gegeben hat. Stellvertretend für Veröffentlichungen der Autoren dieser Studie Gebhardt/Jagnow/Wolff steht ein Artikel [↗], veröffentlicht im Sommer 2023, als die „heiße“ Diskussion des seit 2024 geltenden und noch immer gültigen Gebäudeenergiegesetze GEG begann und in das Jahr 2026 von der derzeitigen Bundesregierung verschoben wurde.

Die Autoren sehen die vorliegende Studie für die Stadt Oldenburg und das damit verfolgte Konzept „Wärmepumpen + Photovoltaik first“ als praktische Anwendung des oben genannten Gutachtens für den Deutschen Bundestag [↗] „Energiespareffekte und Kosten-Nutzen-Relationen der energetischen Gebäudesanierung“ und Übertragung auf den Gebäudebestand der Stadt Oldenburg und damit auch auf den Nichtwohnbau. Die 2021 vom Fraunhofer IBP erstellte Studie: „Szenarien-Bewertung gemäß BEG 40 EE-Standard“ [1] dient dabei als Referenzstudie mit dem Schwerpunkt „Effizienz first“.

Durch den Auftrag der Stadt Oldenburg konnte die „Standardbilanz“ um einen großen Teil städtischer Nichtwohngebäude mit dem hier vorgestellten neuen Tool „H-Wert-Rechner“ ergänzt werden.

Im Gutachten der Autoren Jagnow/Wolff für den deutschen Bundestag 2020 [2] wurden Vorschläge zum Thema „Erreichen von Klimaneutralität“ unterbreitet: entscheidend ist das Einhalten eines heute noch verfügbaren Emissionsbudgets, um evtl. das Pariser Klimaziel von max. 2°C einzuhalten. Das 1,5°C-Ziel ist bereits im Jahr 2024 überschritten worden. Das Konzept der Autoren für die Stadt Oldenburg strebt daher die schnellstmögliche Einhaltung des noch verbliebenen CO_2-Emissionsbudgets zur Klimaneutralität an; unter ökologischen („Graue Energie“) und v.a. unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten (Minimierung der Gesamt- und Klimafolgekosten).

Der Konzeptvorschlag der Autoren kommt zu dem Ergebnis, dass eine Sanierung des gesamten Gebäudebestandes (345 Gebäude, Nettogrundfläche 419 205 m²) auf ein Effizienzgebäudeniveau „EG40+“ sehr aufwändig und zeitintensiv wäre sowie bis 2035 zeitlich nicht realisierbar ist. Vorgeschlagen wird deshalb eine Strategie einfach umsetzbarer Maßnahmen mit geringem Kosten- und Zeitaufwand und guter CO_2-Bilanz zu identifizieren.

Wird der Gebäudebestand der Stadt Oldenburg zunächst vereinfacht durch ein mittleres Gebäude abgebildet, hat dies folgende Eigenschaften: Nettogrundfläche 1276 m², Endenergie Wärme: 101 kWh/(m² a), Endenergie Strom: 23 $kWh_{el}/(m^2a)$. Es kann in verschiedenen Sanierungsszenarien betrachtet werden, Gesamtinvestitionen, gesamte Jahreskosten und äquivalente CO_2-Preise werden ermittelt. Anders als bei der IBP-Studie [1] werden dabei keine „vorgezogenen“ Maßnahmen zur Berechnung eines EG40+ Standards durchgeführt. Der überwiegende Teil des städtischen Gebäudebestands ist bereits heute „wärmepumpentauglich“ - so auch das mittlere Gebäude. Es könnten weiterhin alle – und nicht nur zur Kompensation (vgl. IBP-Studie [1]) – vorhandenen Flächen mit Photovoltaik ausgestattet werden. Mit der Strategie der Autoren wird v.a. der Einsatz grauer Energie minimiert.

Nach erster Abschätzung unterscheidet sich das Verhältnis der äquivalenten Treibhausgasemissionen für Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung zwischen der IBP-Studie und dem hier vorgestellten Vorschlag der Autoren um den Faktor 3.

Der Hauptteil der Studie beschreibt die Vorgehensweise anhand aller 6 Clustergebäude (das mittlere Nichtwohngebäude dient der Veranschaulichung). Diese werden zunächst einzeln mit frei zugänglichen Exceltools untersucht und anschließend wird auf den Gesamtbestand hochgerechnet.

Es wurde in Erweiterung des Auftrags für den gesamten Gebäudebestand eine Abschätzung der mit dieser Strategie verbundenen Gesamtinvestitionen sowie der jährlichen Gesamtkosten und des äquivalenten CO_2-Preises als die beiden, aus Sicht der Autoren wichtigsten Optimierungskriterien durch vier Variantenrechnungen durchgeführt.

Das Ergebnis ist: realistisch sind unter Berücksichtigung der Zeitschiene von nur noch knapp 10 Jahren die Varianten „2b“ (Kompromiss weitgehender PV-Ausbau und wirtschaftliche bauliche Sanierungsmaßnahmen) und „2c“ (erhöhter PV-Ausbau ohne nennenswerte bauliche Sanierungsmaßnahmen) umsetzbar. Die beiden Varianten unterscheiden sich durch einen unterschiedlichen Bedarf an Flächen für den PV-Ausbau (ein erhöhtes Dämmniveau führt zu geringeren Photovoltaik-Flächen). Beide Varianten benötigen jedoch mehr Fläche als auf den Gebäudedachflächen abgeschätzt verfügbar ist. Unter diesen Voraussetzungen wäre bereits bei aktuellen Energiepreisen für Gas und Wärmepumpen-Strom eine Wirtschaftlichkeit für den Einbau von Heizwärmepumpen auch ohne Förderung gegeben.

Das vorliegende Konzept der Autoren liefert eine Strategie, welche die Mitarbeiter der Stadt Oldenburg befähigt, die „Planungsphase 0“ für alle Gebäude eigenständig umzusetzen. Die Autoren streben eine schnellstmögliche Einbindung der Mitarbeiter für Schulungen und für die Bereitstellung von Verbrauchsdaten für Wärme und Strom an.

Das Konzept berücksichtigt die Idee der einheitlichen CO_2- oder Kohlenstoff-Bepreisung und ist dahingehend zukunftstauglich. Bereits 2007 – noch vor der Finanzkrise – wurde von Dr. Gerd Eisenbeiß, einem Berater der EU und von Bundeskanzlerin Angela Merkel -, der Vorschlag einheitlicher Kohlenstoffzertifikate [↗] als Zusammenführung für einen sektorenübergreifenden Emissionshandel gemacht; ähnlich wie dem für 2028/29 für die EU geplanten ETS II-Handel. Dieser fast zwanzig Jahre alte Vorschlag sollte aktuell wieder aufgegriffen werden [↗].

Diese Idee wurde 2020 im Gutachten für den Deutschen Bundestag [2] mit der Annahme eines alle Sektoren übergreifenden CO_2-Preis von durchschnittlich 400 €/Tonne CO_2 bereits berücksichtigt und im dafür entwickelten Standardbilanz-Tool eingearbeitet und in dieser Studie auf städtische Nichtwohngebäude erweitert.

Die Einführung eines einheitlichen CO_2- oder C-Preises würde lang andauernde und zähe Diskussionen über unterschiedliche Stromsteuern, Netzentgelte und weitere Preisbestandteile für unterschiedliche fossile Energieträger und für Strom erübrigen, wie sie aktuell für die Bundeshaushalte 2025/26 bis 2029 zu verfolgen waren. Die EU-weiten Zertifikate-Handel ETS I und ETS II könnten damit ab 2028/29 als Kohlenstoff-C-Zertifikate-Handel zusammengeführt werden. Weiterhin wäre damit eine einfache kontinuierliche Überprüfung des Klimaschutzgesetzes (2021) KSG und eine Vereinfachung des für das nächste Jahr 2026 geplanten Gebäudemodernisierungsgesetzes inclusive einer Anpassung des Wärmeplanungsgesetzes gegeben.

1 Einführung und Aufgabenstellung

Das einleitende Kapitel beleuchtet zunächst die Fragestellung dieser Untersuchung näher: Wie lässt sich das geplante Ziel eine Klimaneutralität der städtischen Liegenschaften Oldenburg tatsächlich erreichen? Anschließend wird die Herangehensweise bei der Problemlösung vorgestellt, die eingesetzten Excel-Tools werden kurz erläutert und abschließend - im Sinne einer Zusammenfassung – bereits ein Fazit zu einer möglichen Sanierungsstrategie gegeben.

1.1 Fragestellung

Aus energie- und klimapolitischer Sicht kommt der Reduzierung des Energieverbrauchs im Gebäudebereich hohe Bedeutung zu. Insbesondere im Bestand von Wohn-, Büro- und Verwaltungsgebäuden werden hohe Einspareffekte gesehen. Um hier Investitionsmittel effektiv einzusetzen, bedarf es robuster und realistischer Daten. Bewertet werden dabei das Energieeinspar- und CO_2-Minderungspotenzial unterschiedlicher Technologien und Maßnahmen.

Die Stadt Oldenburg ist mit der folgenden Fragestellung an die Autoren dieser Studie herangetreten [Zitat]:

Untersuchung zur Neuausrichtung des Sanierungspfads zur Klimaneutralität der Stadt Oldenburg bis 2035

Idee zur Neuausrichtung

Die Stadt Oldenburg hat sich zum Ziel gesetzt, die stadteigenen Gebäude bis zum Jahr 2035 in der Gesamtbilanz klimaneutral zu sanieren. Dazu wurde vom Fraunhofer Institut eine Studie [1] erstellt, die einen ambitionierten Sanierungspfad aufzeigt, bei dem der BEG 40 EE-Standard bzw. der weitreichendste Förderstandard nach BEG die Grundlage zur Sanierung der städtischen Gebäude bildet. Der verbleibende Energiebedarf soll durch den Ausbau von Photovoltaik auf den Dächern (und gegebenenfalls an den Fassaden) der städtischen Gebäude kompensiert werden.

Es zeigt sich, dass umfangreiche Sanierungen sehr zeitintensiv sind und personelle Ressourcen über einen langen Zeitraum binden, so dass das Ziel der Klimaneutralität bis 2035 gefährdet ist. Darüber hinaus sind die Gebäude fortwährend an die Bedürfnisse der Nutzenden anzupassen, wodurch ein Großteil der Ressourcen bereits für sonstige, nicht energetische Maßnahmen in Anspruch genommen wird. Um das Ziel dennoch weitreichend erfolgreich zu verfolgen, wird nach einer neuen Herangehensweise gesucht, bei der mit dem geringsten notwendigen Aufwand, der größte Effekt bei der Einsparung von Treibhausgasen erreicht wird.

Angeregt durch den Inhouse-Vortrag von Herrn Prof. Wolff soll geprüft werden, welche Auswirkungen die primäre Umstellung der Wärmeerzeugung auf Elektro-Wärmepumpen, bei gleichzeitigem Ausbau der regenerativen Stromversorgung, auf die Klimaziele der Stadt Oldenburg hat.

Die Idee einer Neuausrichtung der Sanierungsstandards würde demnach einen Pfad beschreiben, der weggeht vom derzeit vorgegebenen höchstmöglichen Förderstandard hin zu einer Entwicklung, die zunächst den Fokus auf das Austauschen der Wärmeerzeugung legt. In einem nächsten Schritt würde eine Rangfolge der stufenweise geeignetsten Maßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle und der technischen Gebäudeausrüstung erfolgen.

Aufgaben und Fragestellungen zur Konzeptionierung

- Sollte der Fokus eher auf die Einsparung von THG oder auf die Einsparung von Energie ausgerichtet sein, wenn das Ziel der Klimaneutralität erreicht werden soll?
- Welche Änderungen treten auf, wenn wir statt einer Vollsanierung vorrangig die Wärmeerzeugung unserer städtischen Gebäude von einer fossilen zu einer strombasierten Technik umrüsten, bei gleichzeitigem Ausbau von Photovoltaik?
- Wie ändern sich Aufwand und zeitliche Umsetzung?
- Wie wirtschaftlich ist diese Strategie? Klimafolgekosten sind mit einzubeziehen.
- Welche THG-Einsparungen sind, bezogen auf Cluster und gesamt zu erwarten?
- Wie groß ist die erforderliche Gesamt-PV-Fläche bzw. die notwendige Gesamtleistung, um Klimaneutralität zu erlangen?
- Welche Vorteile/ Nachteile entstehen im Bereich Grauer Energie (THG-Emissionen für Herstellung, Betrieb, Instandsetzung und Entsorgung)?
- Ist ein vollständiger Strategiewechsel mit der oben beschriebenen minimalistischen Herangehensweise sinnvoll oder sollten parallel auch Vollsanierungen wie bisher stattfinden?
- Gesucht werden praktikable Lösungen, die Akzeptanz bei den beteiligten Bau-schaffenden (sowohl intern als auch extern der Stadtverwaltung) finden.

Vorschlag zur Konzeptionierung

Die Bilanzierung der Klimaneutralität findet auf insgesamt ca. 345 stadteigene Gebäude Anwendung. Zur Bewertung der unterschiedlichen Gebäudetypen, wurden diese in der Studie des Fraunhofer Instituts in sechs Cluster mit gleichen oder ähnlichen Nutzungsprofilen unterteilt. Pro Cluster wurde ein Typgebäude ausgewählt, welches stellvertretend für die Gebäude in dem Cluster steht.

Zur Erarbeitung eines Konzeptes könnten z. B. die konkreten Typgebäude mit den delta-q-Tools zur „Energieberatung 2.0“ bewertet und für eine Eignung zum Wärmepumpenbetrieb ausgelegt werden. Dabei sind insbesondere auch die zu erwartenden Einsparungen der Treibhausgasemissionen gegenüber dem unsanierten Zustand herauszustellen. Die verbleibenden THG-Emissionen sollen in der Bilanz durch den Ausbau der Photovoltaik so weit kompensiert werden, dass eine Klimaneutralität erreicht wird.

In einem weiteren Schritt sind diese Erkenntnisse dann auf die jeweiligen Cluster hochzuskalieren, um so zu einer richtungsweisenden Gesamtaussage zu gelangen. Zusätzlich sollen auch für ausgewählte Worst-Performing-Buildings (WPB) entsprechende Bewertungen wie oben beschrieben durchgeführt werden.

Es wäre zu diskutieren, ob diese vereinfachte Betrachtungsweise zu sinnvollen Ergebnissen führt oder ob die Skalierung einzelner Ergebnisse zu einer Gesamtaussage zu ungenau, unbrauchbar oder nicht geeignet ist.

Wie könnte andernfalls anhand der städtischen Liegenschaften anschaulich belegt und dargestellt werden, dass ein Strategiewechsel wie oben beschrieben sinnvoll ist, um schneller Fortschritte auf dem Weg zur Klimaneutralität zu erzielen?

Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Kennzahlen als Ergebnis der vorliegenden Studie und sollte für sich selbst sprechen bzw. wird später in Kapitel 1.5 erläutert. Die Zusammenstellung wurde neu erstellt und korrigiert gegenüber einer ersten Abschätzung der Autoren in einem Seminar Anfang Oktober 2025 nach Auftragserteilung durch die Stadt Oldenburg.

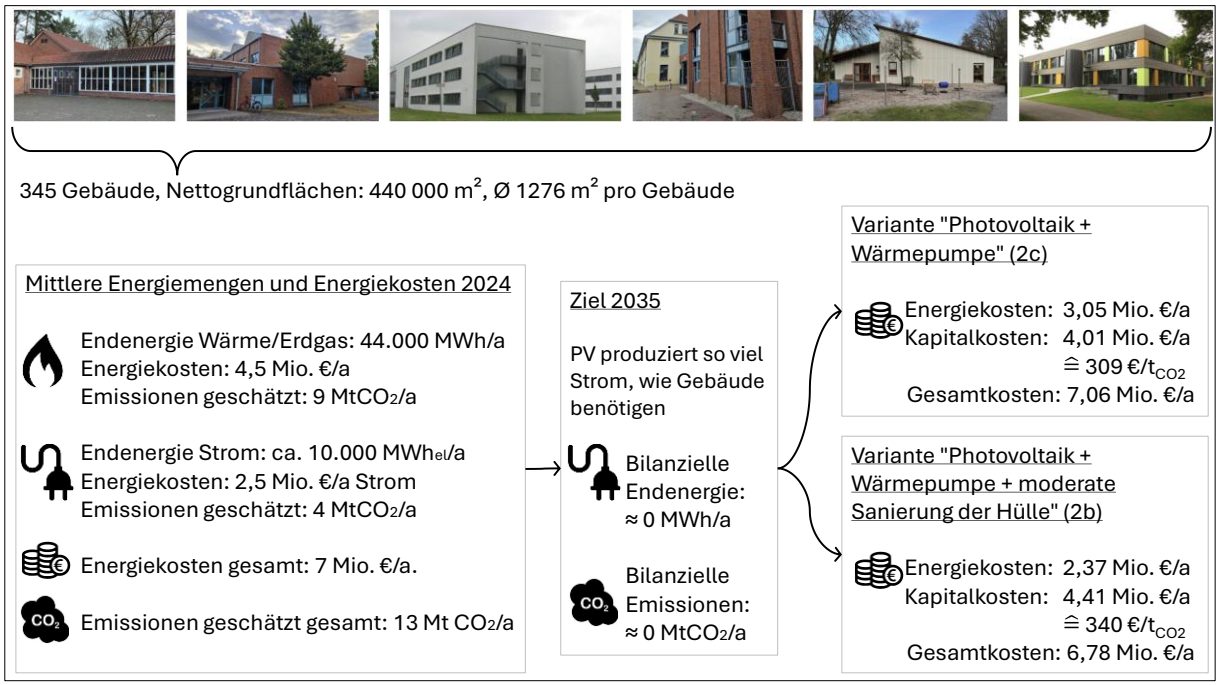


Abbildung 1 Mittlere Energiekosten für Wärme und Strom der städtischen Gebäude Oldenburg

Langfristig können heutige Energiekosten für fossiles Erdgas und Strom durch Kapitalkosten für Investitionen in den „autarken Elektropfad“: „Wärmepumpe+ Photovoltaik + Batteriespeicher“ ersetzt werden.

Über einen realistischen Zeithorizont von 20 Jahren für den „autarken Elektropfad“, also bis zum Jahr 2045, sind zum Erreichen des Ziels „Klimaneutralität bis 2035“ der Stadt Oldenburg theoretisch vereinfacht in erster Priorität der beschleunigte Ausbau von Photovoltaik auf allen verfügbaren Dächern und Flächen sowie parallel von Wärmepumpen und einzelnen baulichen Maßnahmen vorzusehen. Dies kann somit für ältere Gebäude gleichzeitig mit einer sowieso anstehenden Sanierung des oberen Gebäudeabschlusses verbunden werden.

Optimierungskriterium ist dabei bis zum Jahr 2035 die erforderliche Installation von Photovoltaik zum Erreichen der „langfristigen Klimaneutralität 2045“ nach der in Kapitel 5.2 beschriebenen Variante 2 (PV + WP + bauliche Verbesserung). Hierbei werden in dieser Studie durch Berechnung von drei Untervarianten 2a, 2b und 2c ein kostenoptimierter Mix aus den Einzelmaßnahmen Photovoltaik, Wärmepumpen und bauliche Verbesserung ermittelt.

Dafür würden bis 2035 Investitionskosten nur für Photovoltaik von geschätzt 20,2 Mio. € bzw. jährliche Kapitalkosten (ohne Kalkulationszins und Preissteigerung) von 2 Mio. €/a erforderlich.

1.2 Herangehensweise

Die Bewertung und Hochrechnung der erreichbaren Ziele orientiert sich an den in der Studie „Szenarien-Bewertung gemäß BEG 40 EE-Standard“ des Fraunhofer Instituts IBP [1] genutzten sechs Clustern sowie den Restgebäuden:

- Kindertagesstätten
- Grundschulen
- Weiterführende Schulen (z. B. Gymnasien, Realschulen, Hauptschulen, etc.)
- Berufsschulen
- Sporthallen
- Verwaltungsgebäude

Für jedes Cluster wurden durch die Stadt Oldenburg Gebäudedaten eines Typgebäudes zur Verfügung gestellt, welches die typischen Eigenschaften dieses Clusters im Gebäudebestand der Stadt Oldenburg stellvertretend abbildet.

Für die Auswertung der Gebäudedaten und die Untersuchung sinnvoller Maßnahmen im Typgebäude werden im Wesentlichen drei von den Autoren dieser Studie entwickelte Excel-Tools genutzt:

- „Energieanalyse aus dem Verbrauch“ (EAV),
- „Standardbilanz“ bzw. ein auf Basis dieses Tools angepasster „H-Wert-Rechner“,
- „Lastprofilgenerator“.

Das vorliegende Konzept strebt die schnellstmögliche Einhaltung des noch verbliebenen CO_2-Emissionsbudgets zur Klimaneutralität an; unter ökologischen (Graue Energie) und v. a. unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten (Minimierung Gesamt- und Klimafolgekosten bzw. äquivalenter CO_2-Preise als Verhältnis jährlicher Kapitalkosten zu eingesparten Emissionen).

Anstelle des vom Fraunhofer IBP verfolgten Ansatzes „Effizienz first“ [1] wird hier das Konzept „Wärmepumpen + Photovoltaik first“ verfolgt, da eine Sanierung des gesamten Gebäudebestandes (345 Gebäude, Nettogrundfläche 419.205 m²) auf ein Effizienzgebäudeniveau „EG40+“ sehr aufwändig und zeitintensiv wäre sowie bis 2035 nicht realisierbar ist. Anders als bei der IBP-Studie [1] werden dabei keine „vorgezogenen“ Maßnahmen zur Erreichung eines EG40+ Standards durchgeführt. Dieser Standard kann sich jedoch nach 2035 bzw. 2045 „von allein“ einstellen, nachdem das letzte Hüllbauteil im regulären Sanierungszyklus optimiert wurde.

Im Zuge der Elektrifizierung der Energieversorgung von Gebäuden sollte auf sämtlichen geeigneten Dachflächen (insbesondere bei Neubauten und Dachsanierungen, aber auch im Bestand und ggf. sogar durch Überdachung von Parkplätzen oder Freiflächennutzung) die größtmöglich erreichbare Stromerzeugungsleistung installiert werden.

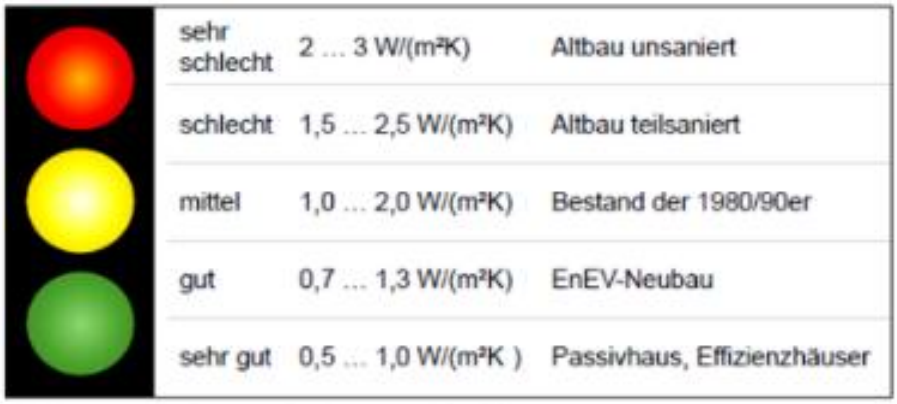
1.3 Ermittlung von Kennzahlen

Die Untersuchung der Typgebäude (stellvertretend für ein Gebäudecluster) erfolgt dabei nach der folgenden Systematik:

Zunächst erfolgt eine Auswertung von ca. monatlichen Verbrauchsdaten (Energiemengen) mit der „Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV). Hier ist ein Zeitraum der letzten 1 … 3 Jahre für Brennstoffzähler und ggf. vorliegende Messungen aus Wärmemengenzählern (z. B. für Heizung und Warmwasser getrennt) sinnvoll. Dies ermöglicht die Ermittlung der wesentlichen Kennzahlen:

- außentemperaturbezogene Wärmeverlustleistung aus Transmission und Lüftung (H-Wert in W/K bzw. kW/K) als „Fingerabdruck“ des Gebäudes
- gemessene Heizlast des Gebäudes in kW („Nettoheizlast“) als Produkt aus H-Wert und Temperaturdifferenz zwischen Heizgrenze und kältestem Tag am Standort Oldenburg
- nutzflächen- und außentemperaturbezogene Wärmeverlustleistung (h-Wert in W/(m²K))
- Grundleistung in W bzw. kW („Sommersockel“ aus Warmwasserbereitung, Netzverlusten von Mikro-Nahwärmenetzen zwischen Gebäuden einer Liegenschaft und ggf. Sommerheizung)
- Heizgrenztemperatur in °C

Der h-Wert ist die entscheidende Größe zur Bewertung der Gebäudehüllenqualität unter den typischen Nutzungsbedingungen der städtischen Cluster-Gebäude und kann gut zur Identifizierung der Worst-Performing-Buildings (WPB) des Bestandes herangezogen werden. Er ermöglicht eine Grundaussage zur Wärmepumpentauglichkeit des Gebäudes (Abbildung 2). Die maximale Heizlast ist dann die entscheidende Größe zur (bivalenten) Auslegung eines neuen Wärmeerzeugers.



sehr schlecht	2 … 3 W/(m²K)	Altbau unsaniert
schlecht	1,5 … 2,5 W/(m²K)	Altbau teilsaniert
mittel	1,0 … 2,0 W/(m²K)	Bestand der 1980/90er
gut	0,7 … 1,3 W/(m²K)	EnEV-Neubau
sehr gut	0,5 … 1,0 W/(m²K)	Passivhaus, Effizienzhäuser

Abbildung 2 Ampel zur Beurteilung des h-Wertes

Gebäude mit sehr guter bis guter Gebäudehülle (niedrigem h-Wert) wären ohne Einschränkungen wärmepumpentauglich, Maßnahmen an der Gebäudehülle sind unter diesem Gesichtspunkt nicht notwendig.

Bei Gebäuden mittleren Standards ist die Wärmepumpentauglichkeit grundsätzlich gegeben. Dennoch sollte geprüft werden, ob Sowieso-Maßnahmen im Sanierungszyklus anstehen, die die Heizlast in näherer Zukunft senken würden. Der Wärmeerzeuger kann dann auf den späteren Bedarf ausgelegt werden. Im Zuge des geplanten Photovoltaik-Ausbaus ist mindestens das Dach zu untersuchen und – falls erforderlich – zu verbessern. Dies ist ebenfalls bei der Auslegung der Wärmepumpen zu berücksichtigen.

Für Gebäude mit schlechter oder sehr schlechter Gebäudehülle, also hohem h-Wert, gilt: vor Einbau eines Wärmeerzeugers ist zu überprüfen, ob es wirtschaftlich sinnvoll ist, den Bedarf und somit die Heizlast zu senken, um als vorgezogene Maßnahme das vorhandene Energieeinsparpotenzial einer Modernisierung der Gebäudehülle zu heben und eine (spätere) Überdimensionierung des Erzeugers zu vermeiden. Dies wird in der Ergebnisauswertung dieser Studie berücksichtigt.

Die Überprüfung, welches Einsparpotential sich aus möglichen Einzelmaßnahmen ergibt, kann im nächsten Schritt wiederum mit dem H-Wert-Rechner erfolgen. Durch die Eingabe weniger Gebäudedaten für den Ausgangsfall (mit Abbildung bzw. Abgleich des aus dem Verbrauch ca. gemessenen h-Wertes) und Anpassung von Gebäudedaten für einen möglichen Sanierungs- oder sogar Modernisierungsfall ergibt sich ein prognostizierter h-Wert für den sanierten bzw. modernisierten Zustand. Aus diesem kann die mögliche Absenkung der Heizlast abgeleitet werden. Gleichzeitig werden dazu Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt.

1.4 Maßnahmen zur Verbesserung der Objekte

Zur Erreichung der Emissionsfreiheit zu einem bestimmten Zeitpunkt wird nachfolgende Strategie verfolgt. In der Annahme, dass Erdgasverbrauch und die daraus entstehenden Emissionen langfristig nicht möglich sind, werden alle Gebäude einer Elektrifizierung durch Einbau von Wärmepumpen (mit der Quelle: Außenluft) unterzogen. Der nun ausschließlich vorhandene Energieträger Strom kann bilanziell kompensiert werden durch selbstproduzierten Strom mit einer Photovoltaikanlage. Die zur Verfügung stehenden Dachflächen werden maximal mit Photovoltaik bestückt. Dies entspricht der Variante 1, die noch keine Klimaneutralität erzielt.

Ausgehend von dieser Vorüberlegung wird zunächst in zwei Richtungen überlegt: sukzessive werden die Gebäude energetisch verbessert bis zur Klimaneutralität (Variante 2a „maximale Dämmung“). Alternativ wird die Photovoltaikfläche bis zur Klimaneutralität vergrößert, auch über die zur Verfügung stehenden Dachflächen hinaus (Variante 2c „maximale Photovoltaik“).

Zuletzt entsteht ein Kompromiss, der die Gebäude nur so weit verbessert, wie es eine vermutete Wärmepumpentauglichkeit erfordert, anschließend wird die Photovoltaikfläche so weit erhöht, bis die Klimaneutralität eintritt (Variante 2b „Kompromiss“).

Hinsichtlich der Gebäudehülle werden untersucht: eine Fassadendämmung, der Fenstertausch, die Dämmung an Dach oder oberster Geschossdecke sowie die Dämmung an der Bodenplatte oder Kellerdecke.

In allen Gebäuden können additiv Qualitätssicherungsmaßnahmen betrieben werden: Heizungsoptimierung, incl. Temperaturanpassung, hydraulischer Abgleich, Pumpenersatz, Herstellung einer Luftdichtheit und Wärmebrückenminimierung. Die Qualitätssicherungsmaßnahmen werden nicht gesondert im Rahmen dieser Studie untersucht.

1.5 Bilanzielle CO_2-Neutralität

Nachfolgende Darstellung in Abbildung 3 zeigt als Auszug aus dem „Vorbericht zum Haushalt 2025“ der Stadt Oldenburg von 2021 die Entwicklung des Ergebnishaushaltes der Jahre 2018 bis 2028 und damit die absehbare Verschuldung der Stadt Oldenburg ab dem Jahr 2024. Sie liefert den Einstieg zur Erreichung der „bilanziellen Emissionsfreiheit“.

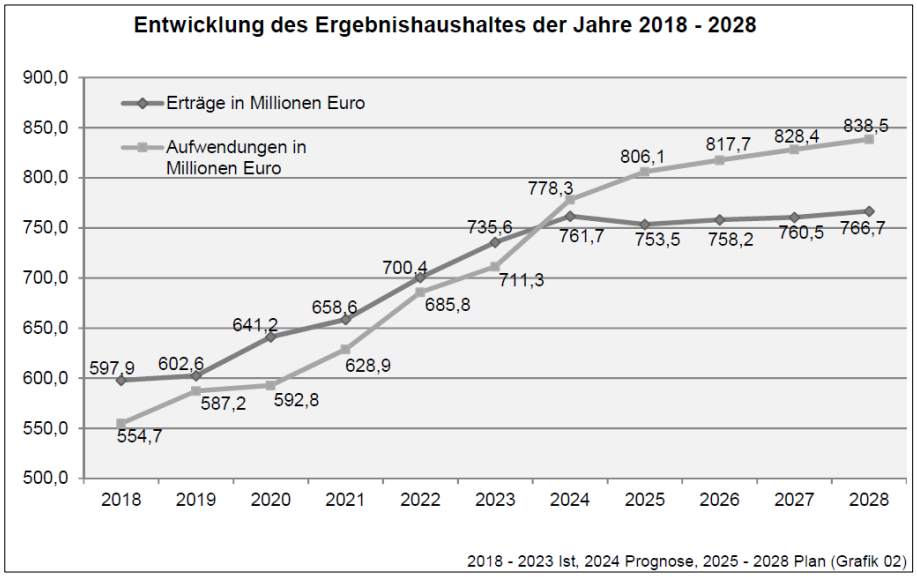


Abbildung 3 Entwicklung des Ergebnishaushaltes der Jahre 2018-2028 [3]

Bestandsbilanz

Von den Autoren geschätzt werden für alle städtischen Nichtwohngebäude für das Jahr 2024 folgende Daten ermittelt:

- Gesamte Energiekosten: ca. 7,0 Mio. €/a
  - Wärmekosten: ca. 4,5 Mio. €/a für Wärme/Heizenergie/Erdgas
  - Stromkosten: ca. 2,5 Mio. €/a für Strom
- Gesamtemissionen: ca. 13.000 t CO_2/a
  - für Wärme: ca. 9.000 t CO_2/a
  - für Nutzerstrom: ca. 4.000 t CO_2/a

Diese Emissionen im laufenden Betrieb der Gebäude (also ohne die Emissionen der Bauprodukte, in die investiert wird) sollen bis zum Jahr 2035 bilanziell auf 0 t CO_2/a reduziert werden. Bilanziell meint dabei: innerhalb eines Jahres. Innerhalb des Jahresverlaufs, aber auch auf Ebene eines Tages kann es zu Bezug von Energie (z.B. Strom aus dem Netz) kommen und damit zu Emissionen, wenn zu anderen Zeiten Überschüsse ins System geliefert werden (z.B. Strom ins Netz gespeist wird), die zu einer gleich großen Emissionsminderung führen.

Langfristig müssen heutige laufende Energiekosten für fossiles Erdgas und Strom durch Kapitalkosten (in die Selbstversorgung mit Energie und/oder die Energieeinsparung) ersetzt werden.

In den von der Stadt Oldenburg vorgegebenen 10 Jahren bis zur Klimaneutralität 2035 fallen demnach kumuliert 70 Mio. € für Energie an (vereinfacht ohne Preissteigerung oder -verfall). Ein Teil davon steht zur Umwidmung in Kapitalkosten zur Verfügung, der Rest deckt weiterhin die laufenden Energiekosten.

Definition des Zielpfades

Es eignen sich Investitionen in den „autarken Elektropfad“, d.h. eine Abkehr vom Energieträger Erdgas. Hintergrund ist die seitens der Stadt angestrebte Zeitschiene. Es ist nicht zu erwarten, dass bis 2035 in Oldenburg grüner Wasserstoff oder andere biogene oder künstliche Gase mit Emissionsfreiheit zu akzeptablen Preisen und in ausreichenden Mengen auf dem Markt verfügbar sind.

Diese Vorüberlegung erleichtert die Bilanzierung und stellt die Weichen für das Konzept. Wenn alle Gebäude nur noch den Energieträger Strom aufweisen sollen, müssen sie Wärmepumpen erhalten. Wenn dieser Stromverbrauch zu einer bilanziellen Emissionsfreiheit geführt werden soll, muss eine gleich große Menge Strom produziert werden.

Im Verlauf eines Jahres werden also die bilanzierten Strommengen (Endenergie) sowie die daraus resultierenden Emissionen null sein. Wenn im Sommer eine Überschussmenge Strom in das Netz eingespeist wird, generiert dies Gewinne, wenn sie im Winter wieder bezogen wird, ergeben sich Ausgaben. Mit einem gleich hohen Einspeise- wie Bezugspreis wären auch die Energiekosten null. Davon ist aber nicht auszugehen, daher ergeben sich laufende Energiekosten.

Dieser „autarke Elektropfad“ erfordert Investitionen, mindestens in Wärmepumpen (WP) und Photovoltaik (PV), evtl. zusätzlich in Batteriespeicher und auch in die Verbesserung der Gebäude.

Ausbau der Photovoltaik

Dies spricht in erster Priorität für den beschleunigten Ausbau von PV auf allen verfügbaren Dächern und Flächen und kann für ältere Gebäude gleichzeitig mit einer sowieso anstehenden Sanierung des oberen Gebäudeabschlusses oder anderen gering investiven baulichen Verbesserungen verbunden werden.

Auf den Dächern der städtischen Bestandsgebäude stehen Flächen für ca. 20.000 kW_{Peak} bzw. zur Verfügung. Mit den Investitionskostenansätzen dieser Studie von 1000 €/kW_{Peak} liegt die notwendige Investitionssumme bei ca. 20 Mio. € bzw. es ergeben sich jährliche Kapitalkosten (ohne Kalkulationszins und Preissteigerung) von 2 Mio. €/a bis 2035.

Aus der Photovoltaikleistung und dem typischen Kollektorertrag von 852 kWh_{el}/(kW_{Peak} a) resultieren Solarerträgen von ca. 17.000 MWh_{el}/a. Damit ließen sich etwa 6.800 t CO_2/a vermeiden, wenn für den Strom eine äquivalente CO_2-Emission von 0,400 t/MWh_{el} angenommen wird.

Es kann konservativ davon ausgegangen werden, dass nur 25 % des PV-Stroms selbst genutzt werden können (und Kosten für den Stromeinkauf vermeiden, also die Haushalte entlasten), aber 75 % eingespeist werden (und wiederum Gewinne durch den Verkauf generieren, also die Haushalte entlasten). Die erzielbaren Erträge liegen bei:

- 0,25 · 17.000 MWh_{el}/a · 250 €/MWh_{el} = 1.062.500 €/a verminderter Strombezugskosten
- 0,75 · 17.000 MWh_{el}/a · 80 €/MWh_{el} = 1.020.000 €/a Einspeisevergütung
- Summe: ca. 2 Mio. €/a verminderte Ausgaben insgesamt.

Somit ist die effektive Belastung der Haushalte bis zu diesem Punkt gegeben, nur die Klimaneutralität noch nicht.

Umbau auf Wärmepumpen

Das entspricht noch nicht der bilanziellen Emissionsfreiheit. Unterstellt man, dass diese Emissionsminderung zunächst dem Anwenderstrom zugutekommt, sind die dort festzustellenden 4.000 t/a aus der Bestandsbilanz gut abgedeckt. Es bleibt ein Rest von 2.800 t/a für den Sektor „Wärme“. Dort fallen heute 9.000 t/a durch Erdgasverbrauch an. Diese sind durch den Umbau auf Wärmepumpen und bauliche Maßnahmen abzubauen.

Eine Wärmepumpe erzeugt Wärme mit weniger Emissionsanfall als ein Kessel. Durch die günstige Effizienz von ca. 3,0 (angenommene Arbeitszahl) gegenüber einem Kessel mit einer Effizienz von 0,9 (angenommener Nutzungsgrad) sinkt der Endenergieeinsatz. Ungünstig für die Wärmepumpe ist der Betrieb mit Strom. Es stehen äquivalente CO_2-Emission für Strom von 0,4 t/MWh_{el} einem Wert von 0,2 t/MWh für Gas gegenüber. Insgesamt ergibt sich aber das Verhältnis von 0,2/0,9 ⇔ 0,4/3 (also: 222 : 133).

Die oben ermittelten heutigen Emissionen des Wärmeverbrauchs von 9.000 t/a aus Gaseinsatz ließen sich somit im Verhältnis 222:133 mindern. Haben alle Gebäude Wärmepumpen, lägen die Emission somit bei nur noch 5.400 t/a.

Minderung des Wärmeverbrauchs der Gebäude durch Dämmung

Das zeigt aber auch, dass eine Minderung des Wärmebedarfs erforderlich ist, wenn der Zielwert von 2.800 t/a für den Sektor „Wärme“ im Raum steht. Der Bedarf der Gebäude muss sich etwa halbieren. Diese Minderung ist erreichbar, auch ohne eine Vollmodernisierung aller Gebäude!

Zeitschiene

Es ist unrealistisch, dass die genannten Maßnahmen „Einbau von Wärmepumpen in alle Gebäude“ und v.a. „Halbierung des Wärmebedarfs der Gebäude“ bis 2035 umgesetzt sind. Aber die Vorüberlegung zeigt, dass zum Erreichen der „langfristigen Klimaneutralität“ eine Lösung „PV + WP + geringfügige bauliche Verbesserung“ grundsätzlich geeignet ist. Eventuell heißt ein realistisches Ziel deshalb „**Klimaneutralität 2045**“.

Der Zielpfad: „**Klimaneutralität 2035**“ ist aus Sicht der Autoren nur realistisch, wenn im Zeitraum bis 2035 nicht nur alle Dachflächen mit Photovoltaik belegt werden, sondern zusätzliche PV-Leistung auch auf sonstigen Flächen installiert wird, wie im vorangegangenen Kapitel 1.4 beschrieben.

Zusammenfassung der Vorüberlegungen

Zusammengefasst: werden im Zeitraum bis 2035 in erster Priorität ca. 20.000 kW_{Peak} für Photovoltaik installiert und die daraus resultierenden Solarerträge von ca. 17.000 MWh_{el}/a mit Null-Emissionen bewertet, wäre das Ziel „Klimaneutralität bis 2035“ bilanziell noch nicht erreicht, aber der Zielpfad manifestiert.

Parallel müsste der Einbau von Wärmepumpen hochlaufen und die Halbierung des Wärmebedarfs starten. Könnte dies auch bis 2035 abgeschlossen werden, ist das Ziel erreicht. Dauert dies länger, ergibt sich die Klimaneutralität entsprechend später.

Dies sind aus Sicht der Autoren realistische und akzeptable Investitionsbeträge, wenn sie im Vergleich zur obigen Darstellung aus dem „Vorbericht zum Haushalt 2025“ der Stadt Oldenburg von 2021 für die zukünftig zu erwartende Entwicklung des Ergebnishaushaltes der Jahre 2018 bis 2028 als eine mögliche Entlastung eingeordnet werden.

1.6 Energetische Amortisationszeit und CO_2-Bilanz von Einzelmaßnahmen

Bei der Auswahl von Einzelmaßnahmen sollten solche mit einem niedrigen äquivalenten Energiepreis (Verhältnis aus Investitionskosten zu eingesparter kWh) und niedrigem äquivalenten CO_2-Preis (Verhältnis aus Investitionskosten zu eingesparter CO_2-Emission) priorisiert werden. Dazu gehören z. B. bei entsprechenden baulichen Voraussetzungen die Dämmung der Kellerdecke, die Dämmung der obersten Geschossdecke sowie bei zweischaligen Außenwänden die Hohlraumdämmung.

Zur Identifizierung dieser möglichen Einzelmaßnahmen wäre eine entsprechende Datenbasis von Vorteil, in der für den gesamten Gebäudebestand diese Zustandsdaten erfasst sind (Bauteil vorhanden ja/nein, Bauteil gedämmt ja/teilweise/nein, ggf. Bauzustandsstufe).

Die Umsetzbarkeit dieser Maßnahmen ermöglicht eine sinnvolle Teilsanierung der individuellen Gebäude ohne eine umfangreiche Komplettsanierung. Ziel der Teilsanierung ist die Verbesserung des h-Wertes der Gebäudehülle (Definition Kapitel 4.1.6) und somit eine Senkung der Heizlast, nach Möglichkeit vor Einbau des neuen Wärmeerzeugers oder aber zeitnah im Anschluss (bei vorheriger Dimensionierung der Wärmepumpe auf den Bedarf nach Teilsanierung).

Über die energetische bzw. emissionsbezogene Amortisation von Einzelmaßnahmen wie Dämmung gibt es umfangreiche Veröffentlichungen, weshalb die positive CO_2-Bilanz nicht im Einzelnen thematisiert und rechnerisch belegt werden soll.

So wird z. B. die energetische Amortisationszeit, d. h. die Zeitspanne, in der die Herstellungsenergie des Dämmstoffes durch die erzielte Energieeinsparung ausgeglichen ist, durch Dr. Kerstin Paschko in [4] am Beispiel einer Geschossdeckendämmung mit einer Verbesserung des U-Wertes von 1,4 auf 0,14 W/(m²K) auf Basis von Daten des Ipeg-Institutes in 0,5 Monaten (Zellulose) bis 17 Monaten (XPS-Platte) angegeben. Die Nutzungsdauer der Bauteile übersteigt also die energetische Amortisationszeit um ein Vielfaches.

Die vorgeschlagene Strategie hat den Vorteil, dass im Bereich Grauer Energie durch die gezielte Auswahl sinnvoller Einzelmaßnahmen weniger Ressourcen für Herstellung, Austauschzyklen und Entsorgung eingesetzt werden. In Bezug auf die Betriebsphase wird der Fokus nicht auf eine größtmögliche Reduktion des Energiebedarfes gelegt (durch minimale U-Werte bei höherem Materialeinsatz), sondern auf eine Deckung des verbleibenden Bedarfes durch den Einsatz erneuerbarer Energien (Wärmepumpen und Photovoltaik).

1.7 Umsetzung des Konzeptes

Das Konzept soll eine Strategie liefern, welche die Mitarbeiter der Stadt Oldenburg befähigt, die „Planungsphase 0“ für alle Gebäude eigenständig umzusetzen. Hierfür wurde eine Reihe von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Stadt Oldenburg am 06.10.2025 in einer ganztägigen Schulung mit der Strategie und den Excel-Tools vertraut gemacht.

Für eine nennenswerte Anzahl der Liegenschaften liegen gebäudescharfe, unterjährige Energieverbrauchsdaten vor. Der Zeitaufwand für die Vorplanung eines Gebäudes liegt bei etwa 1 Tag (näheres siehe Kapitel 2.5.2).

Dies umfasst die Bereitstellung von gebäudeweisen Datengrundlagen aus verschiedenen internen Quellen der Stadt Oldenburg, die Auswertung der Verbrauchswerte, die Nachbildung des baulichen Standards der Hülle und Ableitung möglicher gering investiver Maßnahmen, die Dimensionierung von Wärmepumpen auf Basis des Verbrauchs, die Vorplanung einer Photovoltaikanlage mit Ertragsermittlung.

Durch die wenig zeitaufwändige Ermittlung von Kennzahlen und den Abgleich mit Sowieso-Maßnahmen kann zügig eine Beurteilung der Wärmepumpentauglichkeit bzw. das Ableiten von sinnvollen Maßnahmen gebäudescharf vorgenommen werden. Die Exceltools eignen sich ebenso zur Erfolgskontrolle nach erfolgten Verbesserungsmaßnahmen.

1.8 Excel-Werkzeuge im Überblick

Die Excel-Werkzeuge werden bei Bedarf weiterentwickelt und um aktuelle Daten (z. B. Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes DWD) ergänzt.

Die aktuelle Version der Exceltabelle zur Energieanalyse aus dem Verbrauch steht im Internet als Freeware [↗] zur Verfügung. Umfangreiche Schulungsvideos zu den kostenfreien Excelwerkzeugen sind ebenfalls online abrufbar [↗].

1.9 Fazit zu einer möglichen Strategie

Die Kernfrage „Sollte der Fokus eher auf die Einsparung von Treibhausgasen oder auf die Einsparung von Energie ausgerichtet sein, wenn das Ziel der Klimaneutralität erreicht werden soll?“, lässt sich zusammenfassend wie folgt beantworten:

- Weist ein Gebäude bereits einen sehr guten oder guten bis mittleren h-Wert auf (siehe Kapitel 2.1.1), ist es aus Sicht des Dämmstandards für einen Wärmepumpeneinbau ohne Weiteres geeignet. Hier empfiehlt sich die sofortige Umsetzung von Photovoltaik und Wärmepumpe als Paket.

- Für Gebäude mit einem mittleren, schlechten oder sehr schlechten Dämmstandard können verschiedene Vorgehensweisen in Betracht gezogen werden. In jedem Fall empfiehlt sich die Nachrüstung von Photovoltaik.

    - **Stufe 1: Wärmepumpeneinbau ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen:** Ein Wärmepumpeneinbau ohne eine Verbesserung des Dämmstandards der Gebäudehülle ist grundsätzlich möglich. Je höher der h-Wert, desto höher ist die spezifische Heizlast des Gebäudes und desto größer müsste der Wärmeerzeuger ausfallen im Gegensatz zu einem guten Dämmstandard.

      Ein hoher h-Wert erfordert eine verhältnismäßig hohe Vorlauftemperatur des Heizsystems oder ggf. die Vergrößerung der Heizflächen (jedoch nicht zwingend durch Einbau einer Fußbodenheizung).

      Werden die Wärmepumpe auf den hohen Bedarf eines ungedämmten Gebäudes ausgelegt und die Gebäudehülle später noch verbessert, führt dies recht wahrscheinlich dazu, dass die Wärmepumpe dann zu groß ist und durch häufiges Takten (Ein- und Ausschalten) nicht mehr effizient läuft.

      Sind kurz- (5 Jahre) oder mittelfristig (bis 10 Jahre) nachträgliche Dämmmaßnahmen geplant, sollten Wärmepumpe und Spitzenlasterzeuger auf den späteren Bedarf ausgelegt werden.

      Diese Strategie empfiehlt sich nur bei Gebäuden, die einen mittleren baulichen Zustand aufweisen, nicht für baulich sehr schlechte Gebäude, um einen schlechte Wärmepumpeneffizienz zu vermeiden.

    - **Stufe 2: Wärmepumpeneinbau mit zusätzlichen Dämmmaßnahmen (Minimal- und Teilsanierung):**

      Die energetische Verbesserung der Gebäudehülle durch ein bis zwei Einzelmaßnahmen führt zur Absenkung des h-Wertes und der Heizlast des Gebäudes. Je nach Ausmaß der Verbesserung kann die Wärmepumpe dann kleiner gewählt werden als im Ursprungszustand und auch die notwendige Vorlauftemperatur kann abgesenkt werden.

      Diese Strategie empfiehlt sich bei Gebäuden, die einen mittleren baulichen Zustand aufweisen.

    - **Stufe 3: Wärmepumpeneinbau mit zusätzlichen Dämmmaßnahmen (Komplettsanierung):**

      Durch eine Komplettsanierung der Gebäudehülle lässt sich der h-Wert auf ein gutes bis sehr gutes Dämmniveau absenken. Die Heizlast, die dann von Wärmepumpe und Spitzenlasterzeuger gedeckt werden muss, ist deutlich kleiner als bei einer Teilsanierung. Dies ist jedoch mit deutlich höheren Baukosten für die Gebäudehülle verbunden, wenngleich die Anlagentechnik dann kleiner dimensioniert werden kann und preiswerter wird.

      Diese Strategie empfiehlt sich bei Gebäuden, die einen schlechten baulichen Zustand aufweisen.

Da der Gesamtbestand der städtischen 345 Gebäude alle baulichen Standards enthält, ist die letztliche Empfehlung eine Mischung aller Strategien.

Zur Erreichung der Emissionsfreiheit zu einem bestimmten Zeitpunkt wird nachfolgende Strategie empfohlen. In der Annahme, dass Erdgasverbrauch und die daraus entstehenden Emissionen langfristig nicht möglich sind, werden alle Gebäude einer Elektrifizierung durch Einbau von Wärmepumpen unterzogen. Der nun ausschließlich vorhandene Energieträger Strom kann bilanziell kompensiert werden durch selbstproduzierten Strom mit einer Photovoltaikanlage. Die zur Verfügung stehenden Dachflächen werden maximal mit Photovoltaik bestückt. Eine bauliche Verbesserung erfolgt vorzugsweise im Sanierungszyklus der Hüllbauteile, eine Teilsanierung nur einzelner Bauteile (dann aber auf sehr gutes Niveau) wird einer Vollsanierung vorzogen.

Ausgehend vom Bestand mit seinen großen und kleinen Gebäuden (X-Achse) sowie guten und schlechten (Y-Achse) fasst Abbildung 17 die zeitlichen Handlungsempfehlung grafisch zusammen.

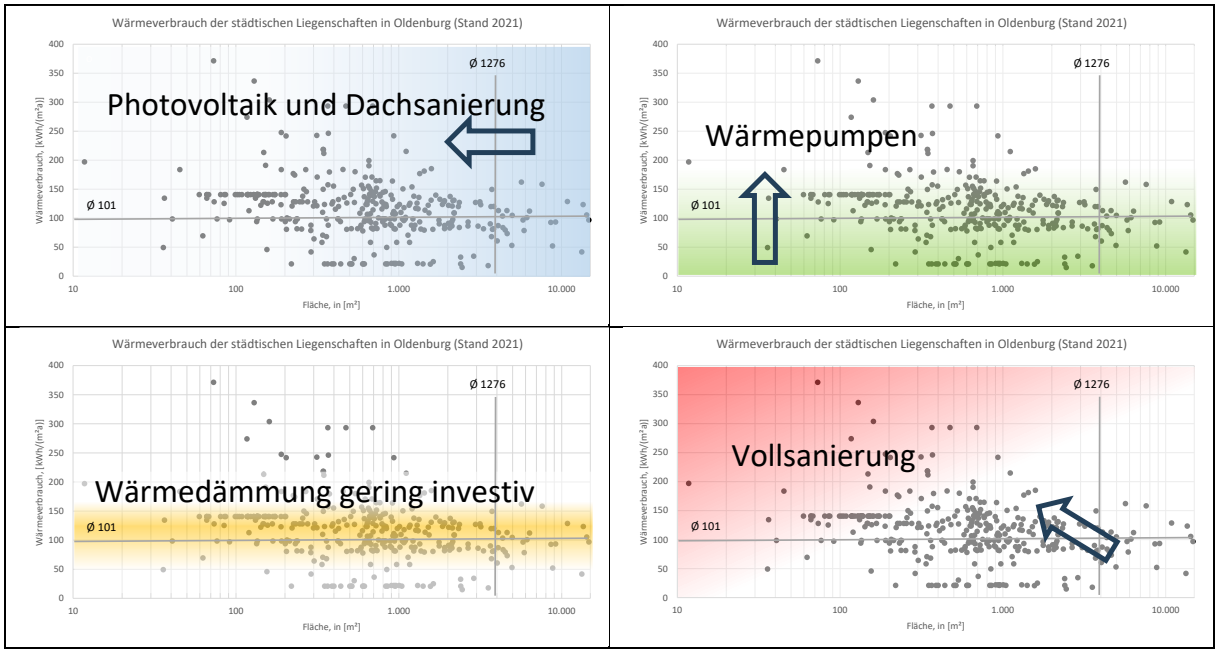


Abbildung 4 Bildung von Prioritäten mit Handlungsempfehlung

Alle Gebäude (außer die denkmalgeschützten) erhalten eine Photovoltaikanlage. Dies erfolgt zügig und idealerweise beginnend bei den großen Gebäuden und endend bei den flächenmäßig kleinen. Es ergibt sich eine Abwicklung der Projekte von rechts nach links im Diagramm.

Die für einen Wärmepumpeneinbau prädestinierten Projekte sind die energetisch guten. Daher kann die Nachrüstung den Gesamtbestand von unten nach oben durchdringen in der Darstellung des Diagramms.

Die Gebäude, die günstige Bedingungen für geringinvestive bauliche Verbesserungen an Geschossdecken, Kellerdecken und Einblasdämmung aufweisen und anschließend wärmepumpentauglich sind, liegen eher im mittleren Bereich der Wärmeverbrauchskennwerte. Darunter ist keine Notwendigkeit gegeben, darüber liegen die Projekte, die nur mit einer Komplettmodernisierung erfasst werden.

Projekte die voraussichtlich einen hohen Aufwand an Sanierungskosten nach sich ziehen und gleichermaßen eher kleinteilig und damit langwierig in der Umsetzung zu befürchten sind, liegen links oben. Sie werden zuletzt bearbeitet.

2 Hinweise für die Vorplanungsphase und zur Priorisierung

Das nachfolgende Kapitel gibt Hinweise für die Ersteinschätzung der Gebäude, aber auch zur Verbesserung der Gebäudehülle und Anlagentechnik. Abschließend werden Ansätze vorgestellt, nach denen eine systematische Portfolioanalyse für große Gebäudebestände erfolgen kann.

2.1 Ersteinschätzung der Gebäude

Damit eine schnelle und kostengünstige Gebäudebewertung erfolgen kann, müssen die vorhandenen 345 Gebäude mit wenig Datenaufwand eingeschätzt werden. Die Option, zunächst eine mehrtägige Energiebilanzierung vorzunehmen, ist aus Kapazitätsgründen nicht gegeben. Ebenfalls verbietet sich eine raumweise Heizlastberechnung für die Vorplanung einer Wärmepumpe.

Zum Einsatz kommen einfache Exceltools. Anstelle umfangreicher Bauteilbilanzen mit Flächen und U-Werteingaben können mit den Tools „Standardbilanz“ für Wohngebäude oder dem „H-Wert-Rechner“ für Nichtwohngebäude Gebäudequalitäten mit ausreichender Genauigkeit sehr schnell beschrieben und bewertet werden. Mit den entstehenden Ergebnissen lässt sich eine Wärmepumpe planen. Parallel dazu liefert die Energieanalyse monatsweiser Verbräuche eine ebenso zügige Option, eine Wärmepumpenleistung treffsicher abzuschätzen.

2.1.1 Einschätzung mit dem H-Wert-Rechner

Der für das vorliegende Projekt angefertigte „H-Wert-Rechner“ basiert auf der Programmierung des Excelwerkzeuges „Standardbilanz“. Hierbei handelt es sich um eine Rechenhilfe, die eine Energie- und Emissionsbilanzierung von Ein- und Mehrfamilienhäusern abbildet. Die aktuelle Version steht online zur Verfügung [↗], ist jedoch für Wohngebäude konzipiert.

Aufgrund der hohen Komplexität und Heterogenität von Nichtwohngebäuden wurde die Rechenhilfe entsprechend angepasst. Basis sind die sechs Clustergebäude der Stadt Oldenburg, die im Zusammenhang mit der Studie des IBP [1] entwickelt wurden.

Der „H-Wert-Rechner“ dient der schnellen Ermittlung der Wärmeverlustleistung anhand hinterlegter Typgebäudedaten mit sehr wenigen Eingaben. Er liefert im Ergebnis einen Fingerabdruck H in W/K bzw. auf die Nettogrundfläche bezogen h in W/(m²K).

Beide Werte bilden die Qualität der Gebäudehülle (Transmission), die Lüftungswärmeverluste sowie den Kompaktheitsgrad (A/V-Verhältnis) ab, welche durch die Vergabe einer „Schulnote“ von 1 bis 6 bewertet wird. Da der Kompaktheitsgrad von bspw. Sporthallen deutlich von Verwaltungsgebäuden abweicht, wurde für die Bewertungsnote („Ampel“) eine Umrechnung nach der in Abbildung 5 gezeigten Logik programmiert.

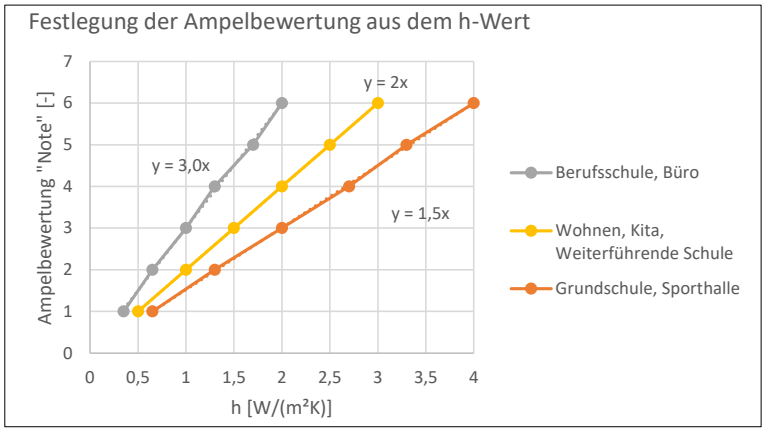


Abbildung 5 Umrechnung des h-Wertes in eine Gebäudebewertung

Die Bewertung über den h-Wert ermöglicht eine Identifizierung der aus energetischer Sicht schlechtesten Gebäude im Gebäudeportfolio. Durch das Ampel- bzw. Schulnotensystem können die „Worst-Performing-Buildings“ zügig ermittelt werden. Die genaue Vorgehensweise zur Eingabe wird in Kapitel 4.3 (Ersteingabe) und 4.5 (Untersuchung von Verbesserungen) näher beschrieben.

Zeitaufwand

Der Zeitaufwand für die Ersteinschätzung von Gebäuden mit dem „H-Wert-Rechner“ wurde an den Beispielprojekten der Cluster dokumentiert. Es zeigt sich, dass der Arbeitsaufwand bei Gebäuden mit einer homogenen Altersstruktur (bei den Beispielgebäuden die Kita oder die Berufsschule) sich auf etwa eine Stunde je Projekt beläuft. Enthalten Projekte mehrere Gebäudeteile verschiedener Altersklassen erhöht sich der Zeitaufwand. In den inhomogenen Liegenschaften (bei den Beispielgebäuden das Rathaus) kann von etwa 0,75 Stunden pro Gebäudeteil ausgegangen werden.

Der Gesamtbestand weist etwa ein Viertel inhomogene Gebäude aus, die jedoch fast 50% der Gebäudeflächen ausmachen (inhomogen sind vor allem große Liegenschaften). Auf der sicheren Seite liegend wird davon ausgegangen, dass im Schnitt jede zweite Liegenschaft aus mindestens 2 Gebäudeteilen mit verschiedener Baualtersklasse besteht und somit ein Zeitaufwand von 1,5 Stunden pro Gebäude für die Ersteinschätzung mit dem „H-Wert-Rechner“ zu veranschlagen ist.

2.1.2 Einschätzung mit der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV)

In der Zeit vor der Energiekrise wurde von Jagnow/Wolff neben dem Gutachten für den Deutschen Bundestag [2] der Abschlussbericht für das DBU-Projekt [↗] „EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft“ [5] abgeschlossen.

Die Grundidee des Projektes ist, das Verfahren der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) als weiteres Werkzeug für Nichtwohngebäude zur Investitionsentscheidung, als Planungsgrundlage, zur Qualitätssicherung und zum Erfolgsnachweis von Energiesparmaßnahmen weiterzuentwickeln und als zukünftiges standardmäßiges Bewertungsinstrument für die umfassende Qualitätssicherung von Gebäude und Anlagentechnik bei Modernisierungen, aber auch bei Neubauplanungen zu etablieren.

Als Empfehlungen für das Erreichen von Klimaneutralität in der Zukunft sind zu nennen: Umstellung bisheriger Prozent-Zielbetrachtung auf das Ziel: „Einhalten des Emissions-Budgets“, Umstellung von Bedarfs- auf Erfolgsnachweise mit real gemessenen Verbrauchswerten, Umstellung zukünftiger Anlagentechnik im Wesentlichen auf Wärmepumpen mit PV und Batteriespeicher, zukünftig notwendige Preisbildung von fossilen Energieträgern auf Basis ihrer CO_2-Emissionskennwerte, beschleunigte Etablierung von Qualitätssicherung in Planung, Ausführung und Betrieb, kontinuierliches Monitoring im Betrieb durch eine EAV.

Aus der EAV-Analyse konkreter Objekte lassen sich aus einer Energieanalyse im Abgleich mit dem H-Wert-Rechner die erforderlichen Schritte einer verbesserten Planung und Ausführung energetischer Modernisierungen ableiten und optimierte Standardkonzepte mit Qualitätssicherung in Zusammenarbeit mit den beteiligten Abteilungen des EGH: „Eigenbetrieb Gebäudewirtschaft und Hochbau“ entwickeln. Dies entspricht dem Ziel einer Integrierten Planung aller am Bau Beteiligten. Die Vorgehensweise zusammen mit einem Erfolgsnachweis durchgeführter Maßnahmen wurde als Leitfaden für die Zielgruppen Wohnungsunternehmen, Mieter, Kommunen sowie Planer, Energieberatung und Handwerk verbreitet und als zukünftiger Standard etabliert. Die EAV zeigt die Ursachen erhöhter Verbrauchswerte von Bestandsgebäuden und die Einhaltung von Zielwerten nach Modernisierungen [6].

Die hier vorgestellte Studie für die Stadt Oldenburg ist nach Untersuchungen im DBU-Projekt [↗] „Neuerkerode 2050“ [7] eine weitere Anwendung des EAV-Verfahrens auf Nichtwohngebäude.

Die Anwendung der Energieanalyse ermöglicht eine Wärmepumpenplanung auf Basis des Verbrauchs. Die genaue Vorgehensweise zur Eingabe wird in Kapitel 4.4 (Verbrauchsdatenauswertung) und Kapitel 4.6 (Wärmepumpenplanung) näher beschrieben.

Zeitaufwand

Der Zeitaufwand für die Ersteinschätzung von Gebäuden mit dem „EAV-Tool“ wurde an den Beispielprojekten der Cluster dokumentiert. Liegen die Verbrauchswerte als Monatswerte vor, muss mit etwa einer halben Stunde Arbeit pro Projekt gerechnet werden. Dann liegen witterungsbereinigte Verbräuche vor, eine Energieanalyse liefert Hinweise zum Sockelverbrauch (Trinkwarmwasser, Sommerheizung, Nahwärmenetzverluste) und der Heizung. Die Heizlast aus dem Verbrauch liegt vor.

Für den weiteren Schritt einer Wärmepumpenplanung ist mit ca. 45 min pro Projekt zu rechnen. Dis umfasst die Recherche einer passenden Leistungsgröße und Überlegungen zu Wärmepumpenkaskaden.

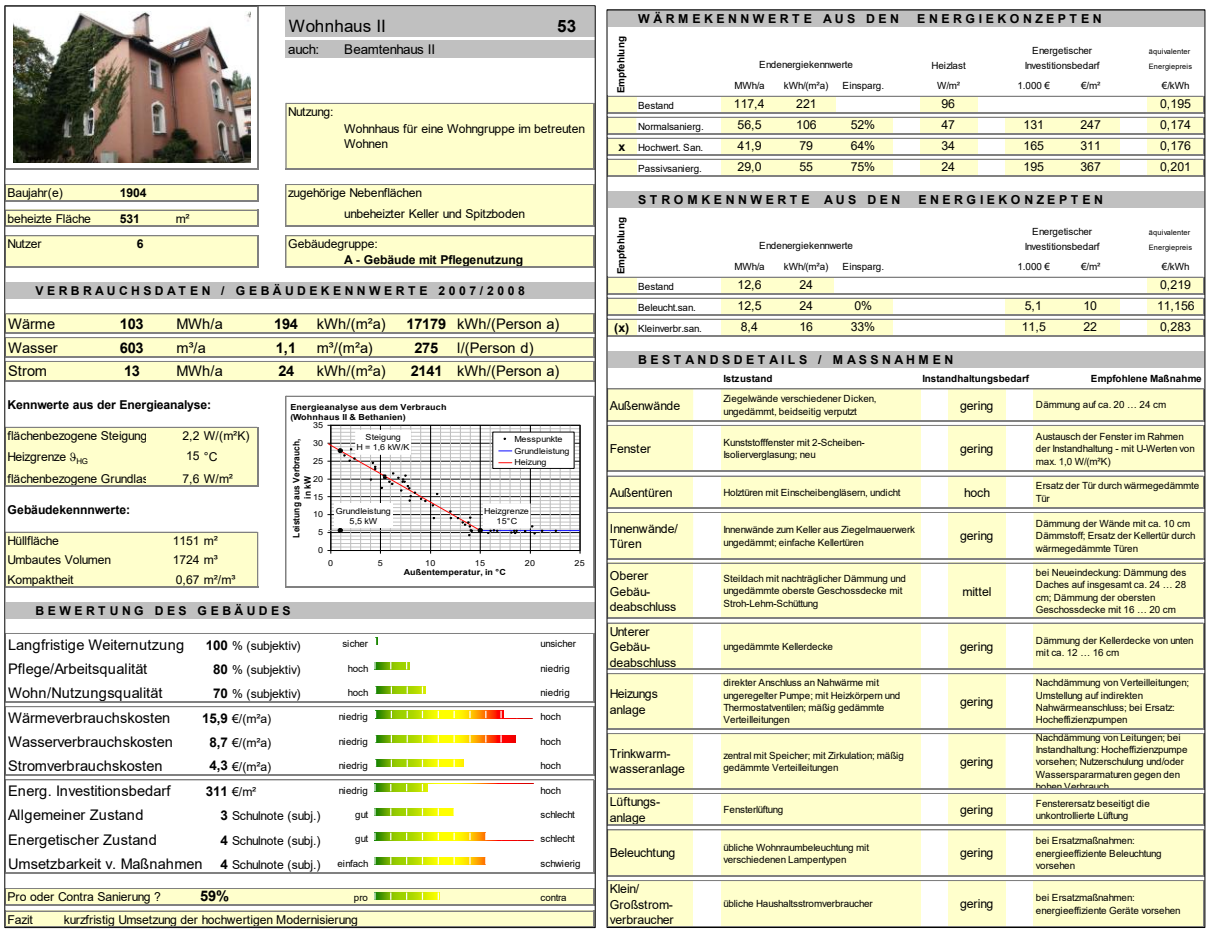
2.1.3 Ideen zur Einführung von Gebäudesteckbriefen

Bereits für die Nichtwohngebäude der Stiftung Neuerkerode [7] wurden neben EAV-Auswertungen auch Gebäudesteckbriefe erstellt. Dies ist jedoch nicht Bestandteil der hier vorgestellten Studie für die Stadt Oldenburg. Hier ein Auszug aus einem Bericht aus dem DBU-Projekt „Neuerkerode 2050“:

„Über diese Ziele des Grundlagenprojektes hinaus werden weitere Projektziele erreicht, die vorher nicht vorgesehen waren:

1. Für jedes Gebäude steht ein ausführlicher Gebäudebericht mit Einschätzungen des energetischen Zustandes und des Instandhaltungsbedarfs, sinnvoller energetischer Einsparmaßnahmen, Kostenschätzungen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen zur Verfügung. Ein daraus abgeleiteter Steckbrief fasst die Ergebnisse zusammen.
2. Für die Stromverbraucher werden Einsparmaßnahmen und deren wirtschaftlicher Erfolg untersucht.
3. Für die Liegenschaft werden Instandhaltungs- und Investitionskosten der letzten Jahre ausgewertet und Erkenntnisse für die künftige Projektumsetzung gewonnen.
4. Eine Gesamtstrategie für den Umgang mit den Gebäuden (Abriss, Erhalt, Modernisierungsreihenfolge) und den Netzen wird vorgeschlagen.“

Die Gebäudesteckbriefe enthalten auch Hinweise zur Belegung, zu Nebenflächen (Keller, Dachböden) sowie zum allgemeinen Zustand des Gebäudes (als Ampelbewertung), siehe Abbildung 6. Der Aufbau einer ähnlichen Datenbank wird für die Gebäude der Stadt Oldenburg als sinnvoll angesehen. Insbesondere die Zusammenfassung von Daten aus derzeit noch verschiedenen Quellen erscheint zielführend und praktikabel.



Wohnhaus II 53

auch: Beamtenhaus II

Nutzung: Wohnhaus für eine Wohngruppe im betreuten Wohnen

Baujahr(e)	1904	
beheizte Fläche	531	m²
Nutzer	6	

zugehörige Nebenflächen: unbeheizter Keller und Spitzboden

Gebäudegruppe: A - Gebäude mit Pflegenutzung

VERBRAUCHSDATEN / GEBÄUDEKENNWERTE 2007/2008

Wärme	103	MWh/a	194	kWh/(m²a)	17179	kWh/(Person a)
Wasser	603	m³/a	1,1	m³/(m²a)	275	l/(Person d)
Strom	13	MWh/a	24	kWh/(m²a)	2141	kWh/(Person a)

Kennwerte aus der Energieanalyse:

flächenbezogene Steigung	2,2 W/(m²K)
Heizgrenze ϑ_{HG}	15 °C
flächenbezogene Grundlas	7,6 W/m²

Gebäudekennnwerte:

Hüllfläche	1151 m²
Umbautes Volumen	1724 m³
Kompaktheit	0,67 m²/m³

Energieanalyse aus dem Verbrauch (Wohnhaus II & Bethanien)

BEWERTUNG DES GEBÄUDES

Langfristige Weiternutzung	100 % (subjektiv)	sicher	unsicher
Pflege/Arbeitsqualität	80 % (subjektiv)	hoch	niedrig
Wohn/Nutzungsqualität	70 % (subjektiv)	hoch	niedrig
Wärmeverbrauchskosten	15,9 €/(m²a)	niedrig	hoch
Wasserverbrauchskosten	8,7 €/(m²a)	niedrig	hoch
Stromverbrauchskosten	4,3 €/(m²a)	niedrig	hoch
Energ. Investitionsbedarf	311 €/m²	niedrig	hoch
Allgemeiner Zustand	3 Schulnote (subj.)	gut	schlecht
Energetischer Zustand	4 Schulnote (subj.)	gut	schlecht
Umsetzbarkeit v. Maßnahmen	4 Schulnote (subj.)	einfach	schwierig
Pro oder Contra Sanierung ?	59%	pro	contra

Fazit: kurzfristig Umsetzung der hochwertigen Modernisierung

WÄRMEKENNWERTE AUS DEN ENERGIEKONZEPTEN

Empfehlung		Endenergiekennwerte MWh/a	kWh/(m²a)	Einsparg.	Heizlast W/m²	Energetischer Investitionsbedarf 1.000 €	€/m²	äquivalenter Energiepreis €/kWh
	Bestand	117,4	221		96			0,195
	Normalsanierg.	56,5	106	52%	47	131	247	0,174
x	Hochwert. San.	41,9	79	64%	34	165	311	0,176
	Passivsanierg.	29,0	55	75%	24	195	367	0,201

STROMKENNWERTE AUS DEN ENERGIEKONZEPTEN

Empfehlung		Endenergiekennwerte MWh/a	kWh/(m²a)	Einsparg.	Energetischer Investitionsbedarf 1.000 €	€/m²	äquivalenter Energiepreis €/kWh
	Bestand	12,6	24				0,219
	Beleucht.san.	12,5	24	0%	5,1	10	11,156
(x)	Kleinverbr.san.	8,4	16	33%	11,5	22	0,283

BESTANDSDETAILS / MASSNAHMEN

	Istzustand	Instandhaltungsbedarf	Empfohlene Maßnahme
Außenwände	Ziegelwände verschiedener Dicken, ungedämmt, beidseitig verputzt	gering	Dämmung auf ca. 20 … 24 cm
Fenster	Kunststofffenster mit 2-Scheiben-Isolierverglasung; neu	gering	Austausch der Fenster im Rahmen der Instandhaltung - mit U-Werten von max. 1,0 W/(m²K)
Außentüren	Holztüren mit Einscheibengläsern, undicht	hoch	Ersatz der Tür durch wärmegedämmte Tür
Innenwände/ Türen	Innenwände zum Keller aus Ziegelmauerwerk ungedämmt; einfache Kellertüren	gering	Dämmung der Wände mit ca. 10 cm Dämmstoff; Ersatz der Kellertür durch wärmegedämmte Türen
Oberer Gebäudeabschluss	Steildach mit nachträglicher Dämmung und ungedämmte oberste Geschossdecke mit Stroh-Lehm-Schüttung	mittel	bei Neueindeckung: Dämmung des Daches auf insgesamt ca. 24 … 28 cm; Dämmung der obersten Geschossdecke mit 16 … 20 cm
Unterer Gebäudeabschluss	ungedämmte Kellerdecke	gering	Dämmung der Kellerdecke von unten mit ca. 12 … 16 cm
Heizungsanlage	direkter Anschluss an Nahwärme mit ungeregelter Pumpe; mit Heizkörpern und Thermostatventilen; mäßig gedämmte Verteilleitungen	gering	Nachdämmung von Verteilleitungen; Umstellung auf indirekten Nahwärmeanschluss; bei Ersatz: Hocheffizienzpumpen
Trinkwarmwasseranlage	zentral mit Speicher; mit Zirkulation; mäßig gedämmte Verteilleitungen	gering	Nachdämmung von Leitungen; bei Instandhaltung: Hocheffizienzpumpe vorsehen; Nutzerschulung und/oder Wassersparamaturen gegen den hohen Verbrauch
Lüftungsanlage	Fensterlüftung	gering	Fensterersatz beseitigt die unkontrollierte Lüftung
Beleuchtung	übliche Wohnraumbeleuchtung mit verschiedenen Lampentypen	gering	bei Ersatzmaßnahmen: energieeffiziente Beleuchtung vorsehen
Klein/ Großstromverbraucher	übliche Haushaltsstromverbraucher	gering	bei Ersatzmaßnahmen: energieeffiziente Geräte vorsehen

Abbildung 6 Beispielsteckbrief Neuerkerode [7]

2.2 Verbesserungsmaßnahmen an der Gebäudehülle

Die vorliegende Studie des Fraunhofer-Institutes von 2021 [1] verfolgt den Ansatz flächendeckender Vollsanierungen auf eine Effizienzgebäude 40+. Die energetische Verbesserung der Gebäudehülle führt zur Absenkung des h-Wertes und der Heizlast des Gebäudes. Eine flächendeckende Sanierung auf Effizienzhausniveau wäre jedoch sehr zeit-, kosten- und personalintensiv. In vielen Fällen ist der Zustand des Bestandes der Stadt Oldenburg auf einem guten bis mittleren Niveau, sodass eine weitere Verbesserung auf nahezu passivhaustaugliche Werte nicht wirtschaftlich abbildbar ist und einen unverhältnismäßigen Materialaufwand nach sich ziehen würde (die ersten Zentimeter Dämmung sind die wirkungsvollsten).

Bei Gebäuden mit sehr umfassendem Sanierungsbedarf kann die Vollsanierung weiterhin angestrebt werden und sinnvoll sein. Bei der Mehrheit der Gebäude wird der Fokus jedoch eher auf die Maßnahmen gelegt werden, die mit verhältnismäßig geringem Aufwand (z. B. Kellerdeckendämmung, Dämmung der obersten Geschossdecke, Hohlraumdämmung bei zweischaligem Mauerwerk) einen großen Effekt haben oder im Rahmen des Sanierungszyklus sowieso anstehen (Fassadensanierung, Fenstertausch).

Werden Maßnahmen umgesetzt, sollten sie bestmöglich ausgeführt werden (Motto „Wenn schon, denn schon!“), da sie sonst bis zum nächsten Sanierungszyklus „verloren“ sind.

Eine Einschätzung der einzelnen baulichen Verbesserungen wird nachfolgend gegeben.

Dach

Die Dachsanierung weist schlechtere Ergebnisse als andere Maßnahmen auf. Auf Basis der Vollkosten ergibt sich keine Wirtschaftlichkeit. Liegt die Dachsanierung nach einer Lebensdauer von 50 Jahren aber sowieso an, kann die Maßnahme wirtschaftlich sein. Dann sollte hier auf jeden Fall auch möglichst viel PV-Leistung installiert werden. Eine Aufdopplung der Dämmung ist hingegen grenzwirtschaftlich. Bei einer Dachsanierung als Einzelmaßnahme ist es in jedem Fall ratsam, bereits einen ausreichenden Dachüberstand herzustellen für eine Außenwanddämmung, selbst wenn diese erst später erfolgt.

Da für die Oldenburger Gebäude die Strategie „Photovoltaik first“ verfolgt wird, steht die Dachsanierung – auch bei nicht optimaler Wirtschaftlichkeit – weit vorn in der Empfehlungsreihenfolge. Steht das Gerüst vor dem Steildach, wäre es nicht ratsam, ein vielleicht schlechtes Dach so zu belassen. Hier muss aufgedoppelt werden oder zwischen den Sparren gedämmt. Auch eine Neueindeckung ist angebracht. Auch für das Flachdach gilt: selbst, wenn kein Gerüst vorhanden ist für den PV-Aufbau, stehen die Module mindestens zwei Jahrzehnte auf der Dachhaut, die vorher idealerweise perfekt zu verbessern ist, damit nachher kein erneuter Eingriff erforderlich ist.

Obere Geschossdecke

Die Dämmung der obersten Geschossdecke ist eine wirtschaftliche Maßnahme, die auch anlasslos unter Verwendung der Vollkosten keine Bezuschussung benötigt. Sie führt zu sehr geringen äquivalenten CO_2-Preisen. Dies gilt auch, wenn bereits eine Dämmung vorhanden ist, für die Aufdopplung. Erst ab einem Ausgangszustand, welcher der Wärmeschutzverordnung 1995 entspricht, ist dies nicht mehr wirtschaftlich.

Für die Oldenburger Gebäude wird diese Maßnahme bedingungslos empfohlen. Nebeneffekt ist, dass sich die Wärmepumpentauglichkeit erhöht – v.a. wenn gleichzeitig auch noch der untere Gebäudeabschluss verbessert wird. In Gebäuden, deren oberer Gebäudeabschluss eine obere Geschossdecke ist, erübrigt sich Dämmen des Daches.

Außenwand

An erster Stelle für Modernisierungsmaßnahmen im Bestand stehen Verbesserungsmaßnahmen an der Gebäudehülle mit der Außenwanddämmung als „größtem Hebel“. Die Außenwanddämmung auf hochwertiges Niveau (von außen) oder ein gutes Niveau (von innen) ist nur unter der Bedingung wirtschaftlich, dass ohnehin Maßnahmen an der Fassade notwendig sind. Eine Außenwand, die bereits eine Dämmung aufweist, ist auf Basis einer Vollkostenrechnung nur in Ausnahmefällen wirtschaftlich.

Für die Oldenburger Gebäude wird die Außenwanddämmung – als Kerndämmung ausgeführt – empfohlen. Ermöglicht das Projekt nur eine Außen- oder eine Innendämmung sind zunächst andere Maßnahmen zu prüfen (Dämmung oben und unten), da sie im Allgemeinen wirtschaftlicher sind.

Fenster und Türen

Eine Fenstersanierung ist hingegen sehr kostenintensiv. Ein vorzeitiger Fensteraustausch kann im Allgemeinen nicht wirtschaftlich nachgewiesen werden, auch nicht im Zusammenhang von Maßnahmenpaketen. Es ist feststellen, dass der Fenstertausch vor allem dann sinnvoll ist, wenn das Bestandsfenster das Ende seiner Lebensdauer – also etwa 35 Jahre – erreicht hat.

Der Empfehlung, den Austausch zunächst auf Fenster mit schlechteren Werten als U = 2,7 W/(m²K) (bzw. neutral gesprochen Zweischeiben-Isolierverglasung oder schlechter) zu beschränken, erscheint anhand der Kosten sinnvoll. Die schnelle Umsetzung eines Standards von U ≤ 0,7 W/(m²K) ist aus Sicht der Emissionsminderung erstrebenswert.

Diese Strategie empfiehlt sich auch für die Oldenburger Gebäude.

Kellerdecke

Die Dämmung der Kellerdecke ist eine wirtschaftliche Maßnahme, die auch anlasslos unter Verwendung der Vollkosten keine Bezuschussung benötigt.

Für die Oldenburger Gebäude wird diese Maßnahme bedingungslos empfohlen. Nebeneffekt ist, dass sich die Wärmepumpentauglichkeit erhöht, v.a. wenn gleichzeitig auch noch der obere Gebäudeabschluss verbessert wird.

Bodenplatte

Die – praktisch nie „ohnehin“ anzutreffende – Bodendämmung ist nicht wirtschaftlich.

Für die Oldenburger Gebäude wird diese Maßnahme im Zusammenhang mit Vollmodernisierungen empfohlen, nicht als Einzelmaßnahme. Und auch in einem Maßnahmenpaket ist sie wirtschaftlich zu prüfen.

Zusammenfassung

Ein zusammenfassender Blick auf die Maßnahmen an der Gebäudehülle zeigt Tabelle 1. Die Übersicht entstand aus der Studie für den Deutschen Bundestag [2].

	Istwert, Zielwert und Einschätzung der Maßnahme
Außenwand	Die Außenwände von Wohn- und Nichtwohngebäuden sind zu etwa 30 bis 35 % bereits gut gedämmt (U = 0,30 bis 0,34 W/(m²K)), jedoch zu etwa 50 bis 55 % noch mittelmäßig oder nicht gedämmt (U = 0,6 bis 1,0 W/(m²K)). Ein Best-Practice-Zielwert für die Außenwanddämmung von außen liegt bei U = 0,15 W/(m²K), für die Innendämmung bei etwa 0,3 W/(m²K). Die Außenwanddämmung auf hochwertiges Niveau (von außen) oder ein gutes Niveau (von innen bzw. bei Gebäuden mit erhaltenswerter Fassade) ist zuschussfrei wirtschaftlich, wenn ohnehin Maßnahmen an der Fassade notwendig sind und das Gebäude unsaniert ist.
Fenster	Etwa 45 bis 50 % aller Fenster in Nichtwohngebäuden weisen nach Schätzungen der Autoren in Anlehnung an die TAB-Studie [2] eine energetisch schlechte Qualität (U = 2,7 W/(m²K)) auf. Etwa 10 % sind gut (U = 1,3 W/(m²K)) und die restlichen von mittlerer Qualität (U = 1,6 W/(m²K). Ein Best-Practice-Zielwert wird aus heutiger Sicht der Autoren mit 0,7 W/(m²K) angesetzt. Eine Sanierung ist kostenintensiv, so dass sie selbst bei ohnehin notwendigen Ersatzmaßnahmen nicht wirtschaftlich ist. Ein vorzeitiger Fensteraustausch lässt sich nicht wirtschaftlich nachweisen, auch nicht im Zusammenhang von Maßnahmenpaketen. Es kann festgestellt werden, dass der Fenstertausch vor allem dann sinnvoll ist, wenn das Bestandsfenster das Ende seiner Lebensdauer – also etwa 35 Jahre – erreicht hat.

	Istwert, Zielwert und Einschätzung der Maßnahme
Oberste Geschossdecke und Dach	Knapp 60 % aller Dächer und oberen Geschossdecken weisen bereits einen guten Standard (U = 0,26 W/(m²K) auf. Die restlichen gut 40 % sind gering oder nicht gedämmt (U = 0,45 bis 1,0 W/(m²K)). Ein Best-Practice-Zielwert von 0,15 W/(m²K) kann fast in jedem Objekt erreicht werden, weil nur wenige Restriktionen gegeben sind. Die Dämmung der obersten Geschossdecke ist eine wirtschaftliche Maßnahme, die auch anlasslos unter Verwendung der Vollkosten keine Bezuschussung benötigt. Dies gilt auch, wenn bereits eine Dämmung vorhanden ist, für die Aufdopplung. Erst ab einem Ausgangszustand, welcher der Wärmeschutzverordnung 1995 entspricht, ist dies nicht mehr wirtschaftlich. Die Dachsanierung hingegen weist schlechtere Ergebnisse auf. Liegt die Dachsanierung sowieso an, ist die Maßnahme wirtschaftlich. Eine Aufdopplung der Dämmung ist hingegen grenzwirtschaftlich. Anlasslos ist keine Wirtschaftlichkeit zu erreichen. Bei einer Dachsanierung als Einzelmaßnahme ist es in jedem Fall ratsam, bereits einen ausreichenden Dachüberstand herzustellen für eine Außenwanddämmung, selbst wenn diese erst später erfolgt.
Kellerdecke und Bodenplatte	Gut die Hälfte aller unteren Gebäudeabschlüsse sind ungedämmt (U = 1,0 W/(m²K)). Nur etwa 30 % sind gut gedämmt (U = 0,38 bis 0,39 W/(m²K)), der Rest ist in mäßigem energetischen Zustand (U = 0,68 bis 0,69 W/(m²K). Ein Best-Practice-Zielwert liegt bei nur 0,2 W/(m²K). Es ist in vielen Gebäuden mit Restriktionen zu rechnen (fehlende Deckenhöhe, Notwendigkeit der Innendämmung). Die Dämmung der Kellerdecke ist eine wirtschaftliche Maßnahme, die auch anlasslos unter Verwendung der Vollkosten keine Bezuschussung benötigt. Die Bodendämmung ist nicht wirtschaftlich. Es ergeben sich selbst bei ungedämmten Konstruktionen notwendige hohe Investitionskostenzuschüsse.
bauliche Qualitätssicherung	Die bauliche Qualitätssicherung (QS) erfolgt immer zeitgleich mit der Umsetzung der Maßnahmen im überwiegend normalen Sanierungszyklus (Dämmung, Fenstereinbau). Nur dann bietet sich problemlos die Möglichkeit, eine Luftdichtheit herzustellen oder Wärmebrücken zu minimieren. Der absolute und prozentuale Einfluss der Qualitätssicherung steigt an, je besser der erreichte Standard ist. Die untersuchten Sanierungen auf „guten“ und „besten“ Standard erreichten ¼ bis ⅓ Emissionsminderung durch die Summe aller QS-Maßnahmen. Die punktuellen Nachweisverfahren der Gebäudedichtheitsmessung und die Thermographie können sinnvoll mit einer Energieanalyse aus dem Verbrauch ergänzt werden. Mit ihr lassen sich Auswirkungen fehlender Qualität (als Summeneinfluss „überhöhter Transmission und Lüftung“) sehr gut sichtbar machen.

Tabelle 1 Maßnahmen an der Gebäudehülle im Überblick [eigene Darstellung]

2.3 Verbesserungsmaßnahmen an der Heizungstechnik

Der vorliegende Abschnitt fasst Planungsempfehlungen für die Konzeptphase zusammen. Dabei liegt der Fokus auf dem Einsatz von Wärmepumpen. Es werden Hinweise zum Aufbau von Hybridsystemen (Wärmepumpe plus Kessel) gegeben. Auf die Aspekte der Trinkwassererwärmung sowie Liegenschaften mit Mikro-Nahwärme wird gesondert eingegangen.

2.3.1 Zukünftige Elektrifizierung durch Wärmepumpen im Vergleich zu anderen Alternativen

Tabelle 2 fasst in Anlehnung an die Studie für den Deutschen Bundestag [2] Vorschläge und Maßnahmen an den Hauptwärmeerzeugern zusammen, die für diese Studie für die Stadt Oldenburg erweitert wurden. Aus Effizienzmessungen im Feld lassen sich Jahresnutzungsgrade oder Jahresarbeitszahlen als Effizienzkennwerte ableiten. Es wird als sinnvoll angesehen, zukünftige Planungen und Installationen der Anlagentechnik nur noch mit Qualitätssicherung durchzuführen.

	Istwert, Zielwert und Einschätzung der Maßnahme
Wärmepumpen	Geschätzt nur etwa 5 - 6 % der Wohn- und Nichtwohngebäude sind heute mit einer Wärmepumpe ausgestattet. Jedoch ist der Wärmepumpenmarkt einer der derzeit am stärksten wachsenden Erzeugermärkte. Im Neubau weisen geschätzt bereits 90 % aller Gebäude eine Wärmepumpe (70 %) oder einen Fernwärmeanschluss (20 %) auf. Eine Wärmepumpe arbeitet meist ineffizient im unsanierten Bestand. Es muss mindestens eine Teilsanierung des Gebäudes gegeben sein. Gebäude ab Wärmeschutzverordnung 1984 (und besser) erfüllen die Bedingung mit hoher Wahrscheinlichkeit. Für Wärmepumpen ist eine Qualitätssicherung (QS) besonders relevant. Bei Erdreichwärmepumpen ergeben sich gemessene Arbeitszahlen zwischen 3,3 und 4,4 mit QS bzw. 2,9 bis 3,8 ohne QS. Für Außenluftwärmepumpen sind 2,5 bis 3,6 mit QS zu erreichen, ohne QS nur 2,1 bis 3,0. Erstgenannter Wert gilt für Durchschnittsgebäude mit Heizkörpern, letzter für best-sanierte Gebäude mit Flächenheizung. Der Trinkwarmwasserbetrieb ist jeweils schlechter. Empfohlen werden getrennte Lösungen: Wärmepumpen nur für Raumheizung und je nach Trinkwarmwasserbedarf Durchlauferhitzer, Warmwasserspeicher mit elektrischem Heizstab oder eigene Wärmepumpenlösungen mit Trinkwarmwasserspeicher. Bei Bestandslösungen mit hohem Trinkwarmwasserbedarf wird empfohlen, über einen Zeitraum von mindestens ein bis zwei Wochen die Spitzendurchflussmengen für Trinkwarmwasser mit externen Ultraschall- oder magnetisch-induktiven Durchflussmessern (Clap-On-Geräte an einer geraden ungedämmten TWW-Rohrleitung) zu messen. Alle Studien zur Energiewende gehen von einer Vervielfachung des Wärmepumpenbestandes aus, wenn auch in unterschiedlicher Größenordnung. Wärmepumpen werden als zukünftige Standarderzeuger auch in der Sanierung angesehen. Für Quartiere lassen sich Systeme „kalter Fernwärme“ konzipieren, bei dem der Gebäudeeigentümer oder ein Versorgungsunternehmen den Wärmequellenkreis im Erdreich betreibt. Mit neuen, noch im Versuchsstadium befindlichen PVT-Kollektoren lassen sich parallel PV-Stromerzeugung und Wärmequellennutzung als Solarabsorber kombinieren. Es sollte immer in erster Priorität geprüft werden, ob kostengünstige dezentrale Wärmepumpen - je nach Leistungsanforderung als Einzelgerät bis etwa 30 kW Heizleistung bei typisch -7°C Außentemperatur oder in Kaskade nur für die Raumheizung ausgelegt werden. Es wird – wie bereits oben empfohlen – immer empfohlen, für Trinkwarmwasseranforderungen eigene Lösungen vorzusehen. Die Untersuchungen zeigen bereits unter Verwendung heutiger Energiepreise eine Wirtschaftlichkeit für den Einsatz von Wärmepumpen, auch ohne Einbezug von Fördermitteln. Es ist aus Sicht der Autoren zukünftig eine veränderte Energieträgerbepreisung der Endenergieträger Öl, Gas (mit steigender CO_2-Bepreisung) notwendig. Auch in Kombination mit Photovoltaik und Batteriespeichern werden Wärmepumpenlösungen wirtschaftlich, weil eine „Quersubventionierung“ stattfindet. Zukünftig sind ab 2026 durch staatliche Regulierung mit dem Solarspitzengesetz und der „Festlegung zur Marktintegration von Speichern und Ladepunkten“ (MiSpel) Änderungen gegeben. Nach (DGS Zeitschrift Solarenergie 4/2025, Seite 20-21: S. Lange: „Batteriespeicher zwischen Eigenverbrauch, Markt und Netz“) [8] wird das Solarspitzengesetz konkret und mit folgenden Zwischenüberschriften übersichtlich beschrieben: 1. Vom „entweder-oder“ zum „sowohl-als-auch“ – 2. Netzentgelte, Umlagen und die faire Behandlung von Speicherstrom – 3. Marktsignale nutzen – Strom speichern, wenn er billig ist – 4. Die MiSpel-Festlegung – Brücke zwischen Gesetz und Praxis – 5. Fazit: Speicher werden erwachsen. Die für Wärmepumpen bereits heute gegebene Wirtschaftlichkeit wird zukünftig, trotz derzeit noch zu hoher Strompreise, durch verstärkten Einsatz von Elektrowärmepumpen, Photovoltaik und Batteriespeichern steigend besser. Mit zunehmender Autarkie und Erhöhung der Eigenverbrauchsquote werden Abhängigkeiten von Stadtwerken und Versorgungsunternehmen immer geringer. Zukünftig sind bei der vorgeschlagenen Strategie der Autoren nur noch Kapitalkosten für die Investitionen in Wärmepumpen – Photovoltaik – Batteriespeicher im Haushalt der Stadt Oldenburg zu berücksichtigen. Die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und damit von derzeit nicht abschätzbaren Zusatzkosten durch eine zukünftige CO_2-Bepreisung wird dadurch aufgelöst.
Holzkessel	Etwa 2 % der größeren Wohn- und Nichtwohngebäude sind heute mit einem Holzkessel ausgestattet. Die typische Effizienz von Holzkesseln liegt in der Größenordnung von 70 % (ohne QS) bis 75 % (mit QS). Da Holz ein endlicher Energieträger ist, der in seiner Verfügbarkeit begrenzt ist, können nicht alle Gebäude auf diese Art versorgt werden. Etwa ⅓ des für die Gebäudebeheizung verfügbaren Biomassebudgets ist heute schon ausgereizt. In der langfristigen Perspektive kann Holz als Brennstoff zur CO2-Minderung beitragen, jedoch nicht in einem Massenmarkt. Da bei einer Holzheizung hohe Temperaturen erreichbar sind, ist es angebracht, dass sie vor allem in Gebäuden zum Einsatz kommt, die auch langfristig keinen Niedertemperaturbetrieb erlauben, z. B. Denkmale (nach Ausführung aller möglichen baulichen Maßnahmen). Für den Betrieb von Nahwärmenetzen und die damit verbundenen Verluste an das Erdreich erscheint den Gutachtern Holz als zu wertvoll, weil begrenzt.

	Istwert, Zielwert und Einschätzung der Maßnahme
Erdgas- und Heizölkessel, Hybridheizung	Etwa 75 bis 80 % aller Wohn- und Nichtwohnbauten werden derzeit mit einem fossil betriebenen Kessel versorgt. Es ist von typischen Effizienzen (Brennwertbezug) in der Größenordnung 88 % bis 93 % für Brennwertkessel bzw. 80 % bis 85 % für Niedertemperaturkessel auszugehen – jeweils ohne bzw. mit Qualitätssicherung. Ein 1:1 Austausch von fossilen Heizkesseln sollte zukünftig nicht mehr oder nur in Ausnahmefällen zugelassen werden. Eine präferierte Lösung für die beiden Ziele – einerseits schnell einen emissionsärmeren Zustand zu erreichen, andererseits nicht bis zum nächsten Baukörpersanierungszyklus zu warten – ist der übergangsweise Aufbau von Hybridheizungen (Bivalenz) aus Kesseln und Wärmepumpen. Die Wärmepumpe wird dabei nach der absehbar geringeren Heizlast gewählt, die sich nach der später vorzusehenden Modernisierung der Gebäudehülle ergibt. Die Wärmepumpe ist daher für eine bestimmte Zeit unterdimensioniert. Mit der nächsten Gebäudesanierung kann das Hybridsystem dann zu einem reinen Wärmepumpensystem umfunktioniert werden. Da eine Hybridlösung klar von der Logik „einfache Systeme sind einfacher zu beherrschen“ abweicht, ist eine Qualitätssicherung bei der Planung und Ausführung hier noch wichtiger als bei reinen Wärmepumpenlösungen. Dabei sollten für zukünftige Hybridlösungen aus Wärmepumpen und Bestandkesseln einfache Hydraulik- und Gebäudeautomationssysteme vorgesehen werden. Beispielsweise ein Bivalenz-Alternativ-Betrieb und manueller Zuschaltung des fossilen Spitzenlastkessels, wenn die Wärmepumpenleistung nicht mehr ausreichend ist
Wärmenetze und Kraft-Wärme-Kopplung	Etwa 20 % der deutschen Gebäude werden heute über Wärmenetze versorgt. Im Gegensatz zu anderen Großstädten ist das Thema „Ausbau der Fernwärme“ für die Stadt Oldenburg kein aktuelles und auch kein zukünftiges Thema. Ein Ausbau konventioneller (warmer und heißer) Nah- und Fernwärmesysteme sollte nur noch in Ausnahmefällen zugelassen werden. Da langfristig auch diese Netze überwiegend regenerativen Strom mit Großwärmepumpen nutzen müssen, stellt sich die Frage, welche Wärmequellen für Großwärmepumpen mittel- und langfristig zum Einsatz kommen sollen. Bis auf industrielle Abwärme (Müll, Prozesswärme usw.) weisen alle anderen Optionen (Solarthermie, Biowärme, Wärmepumpe, KWK/Kessel mit PtX/Wasserstoff betrieben) bei einem zentralen Einsatz mit Netz die gleichen Restriktionen auf, die auch für die Direktverwendung am Gebäude gelten. Solarthermie und PV-Strom sind saisonalen Schwankungen unterworfen, künstliche Brennstoffe haben sehr stark verlustbehaftete Vorketten. Es bleibt daher die Frage: sind die zusätzlichen Netzverluste sinnvoll, um die sich ergebenden geringeren Investitionskosten von Großanlagen gegenüber vielen Kleinanlagen zu rechtfertigen? In Anbetracht sinkender Wärmeabnahmen, welche sich aus der notwendigen Gebäudemodernisierung ergeben, fallen Netzverluste dann deutlich mehr ins Gewicht als früher. Auch der Betrieb von KWK ist langfristig nicht als weiter zu fördernder Markt anzusehen. Eine Stromproduktion in Zeiten ohne PV- oder Windstrom wird auch künftig unvermeidbar sein, daher wird es besser reine Kraftwerke geben. Diese zentrale Stromproduktion ist aber auf ein Minimum zu begrenzen. In diesen Phasen wird langfristig eine mit hohen Umwandlungsverlusten verbundene Rückverstromung vorher hergestellter künstlicher Brennstoffe (wahrscheinlich Wasserstoff oder erneuerbares Methan) stattfinden. Da diese Phasen aber nicht mit dem Dauerbetrieb heutiger KWK-Anlagen vergleichbar sind, sondern eher temporär stattfinden, ist künftig nicht von permanent verfügbarer Wärme aus einer KWK auszugehen. Künftig können jedoch Netze der „kalten Fernwärme“ aus Erdreichkollektoren, Erdsonden oder sonstigen „Abwärmequellen“ der Versorgung gebäudeweiser Wärmepumpen dienen.
QS der Haupterzeuger	Die Qualitätssicherung der Erzeugung hängt stark von der Peripherie ab, die relevant für die optimalen Systemtemperaturen v. a. für den Wärmepumpeneinsatz ist. Des Weiteren ist eine passende Dimensionierung (Planung) und die Fähigkeit der Leistungsregelung (modulierende Wärmeerzeuger) relevant (Produkteigenschaft). Beides kann nur im Rahmen einer Modernisierung optimiert werden, nicht nachträglich. Jedoch sind Anpassungen der Regelparameter und Hydraulik auch nach Inbetriebnahme sinnvoll. Alle Wärmeerzeuger reagieren auf die vorgelagerten Störgrößen (anderes Nutzerverhalten, Änderungen am Baukörper, Änderungen an der Peripherie), daher ist die QS eher als Daueraufgabe zu verstehen. Eine nachträgliche anlagentechnische Qualitätssicherung als Alleinmaßnahme ist sinnvoll, wenn ein Monitoring stattgefunden hat, mit dem einzelne Probleme lokalisiert und erkannt werden. Eine gute Basis ist eine (automatisierte) Energieanalyse aus dem Verbrauch, integriert z. B. in zukünftigen Regeleinrichtungen von Kesseln und Wärmepumpen sowie in Heizkreisregelungen [9] [10] [11]. Der absolute und prozentuale Einfluss der Qualitätssicherung steigt an, je besser der erreichte bauliche Standard ist. Die untersuchten Sanierungen auf „guten“ und „besten“ Standard erreichten ¼ bis ⅓ Emissionsminderung durch die Summe aller QS-Maßnahmen.

Tabelle 2 Maßnahmen an den Haupterzeugern im Überblick [2] mit Ergänzungen

Tabelle 3 stellt die Maßnahmen an Zusatzerzeugern und wesentlichen Elementen der Peripherie zusammen.

	Istwert, Zielwert und Einschätzung der Maßnahme
Lüftung mit WRG	Nur ein marginaler Anteil heutiger Gebäude weist eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung auf. Untersuchungen zeigen, dass ein sinnvoller Einsatzbereich der Neubau sein wird. Trotz unbestrittener Vorteile ist eine Wirtschaftlichkeit nur gegeben, wenn Fördermittel von fast 100 % der Investitionssumme angesetzt werden. Im durchschnittlichen Sanierungsfall eines bestehenden Wohnbaus ist die Nachrüstung einer Lüftungsanlage mit so hohen Kosten sowie baupraktischem Aufwand der Umsetzung verbunden, dass sich keine Wirtschaftlichkeit ergibt.
Photovoltaik	Hinsichtlich der Zusatzerzeuger im bzw. am Gebäude spielt die Photovoltaik eine herausragende Rolle. Sie kann nicht nur nennenswert den Haushaltsstrom decken, sondern künftig auch Anteile für die Trinkwassererwärmung und Heizung beisteuern. Ein- und zweigeschossige Nichtwohngebäude wie Kitas oder Grundschulen schneiden wegen eines günstigeren Verhältnisses von Dachfläche zu Nettogrundfläche besser ab. Die dezentrale Stromproduktion kann vergleichsweise ausfallsicher erfolgen. Es ist ein typischer Jahresertrag von 200 kWh/(m_{Koll}^2a) gegeben. Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit zeigen, dass keine Investitionskostenzuschüsse oder Förderung notwendig werden, sofern eine Vergütung des eingespeisten Stroms erfolgt. Das Fazit zum Thema „Wärmepumpen“ sei an dieser Stelle noch einmal wiederholt: Die für Wärmepumpen bereits heute gegebene Wirtschaftlichkeit wird zukünftig, trotz derzeit noch zu hoher Strompreise, durch verstärkten Einsatz von Elektrowärmepumpen, Photovoltaik und Batteriespeicher steigend besser. Mit zunehmender Autarkie und Erhöhung der Eigenverbrauchsquote werden Abhängigkeiten von Stadtwerken und Versorgungsunternehmen immer geringer. Zukünftig sind bei der vorgeschlagenen Strategie der Autoren nur noch Kapitalkosten für die Investitionen in Wärmepumpen – Photovoltaik – Batteriespeicher im Haushalt der Stadt Oldenburg zu berücksichtigen. Die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und damit von derzeit nicht abschätzbaren Zusatzkosten durch eine zukünftige CO_2-Bepreisung wird dadurch aufgelöst.
Solarthermie	Die Durchdringung der Wohnbauten mit Solarthermie liegt bei etwa 9 % in MFH und 20 % in EZFH. Je nach erfolgter QS ist mit einem Ertrag von 320 bis 360 kWh/(m²a) zu rechnen. Die zukünftige Relevanz der Solarthermie wird als sehr eingeschränkt bzw. nicht mehr vorhanden angesehen. Die Wirtschaftlichkeit ist nur gegeben, wenn hohe Förder- und Investitionskostenzuschüsse von 55 bis 60 % angesetzt werden. Die größte Konkurrenz ergibt sich zur dezentralen Photovoltaik am Gebäude. Da mit größerer Sicherheit der vorher bestimmte Ertrag bei Photovoltaik aus eigener Monitoringerfahrung auch eintritt und die Anlagen auch ohne nennenswerte Qualitätssicherung ihre zugesicherten Eigenschaften aufweisen, wird die geringere Effizienz (Ertrag pro Fläche) gegenüber einer Solarthermie in Kauf genommen. Bedeutung könnten zukünftig sogenannte PVT-Kollektoren gerade auch in der Bestandssanierung erlangen. Sie nutzen Sonnenlicht effizienter als ein Photovoltaikmodul oder ein Sonnenkollektor allein.
Qualitätssicherung der Peripherie	Zu einer qualitätsgesicherten anlagentechnischen Peripherie gehören minimierte unkontrollierte Wärmeeinträge von Rohrleitungen in den beheizen Bereich, der hydraulische Abgleich, optimale Raumregelung und Systemtemperaturen sowie passende Pumpen. Optimale Verhältnisse sind umso schwieriger zu erreichen, je besser der bauliche Wärmeschutz ist; die Problematik unkontrollierter Wärmeeinträge und lokaler Überwärmung, Nachteile träger Regelungen und Heizflächen (Fußboden- und Wandheizungen) wirkt sich in Gebäuden mit geringem Wärmebedarf entsprechend deutlich negativer aus. Ein Teil der Maßnahmen lässt sich leicht und zu jedem Zeitpunkt durchführen: die Optimierung der Systemtemperatur sowie der hydraulische Abgleich. Auch Speicher lassen sich nachdämmen. Der andere Teil – insbesondere schwer regelbare Heizflächen (Estrichfußbodenheizung, Stahlradiatoren) kann erst beim nächsten Sanierungszyklus angegangen werden. Die Möglichkeit der Nachdämmung von Rohrleitungen hängt vom Ort der Installation ab: frei zugänglich oder in der Konstruktion. Der absolute und prozentuale Einfluss der Qualitätssicherung steigt an, je besser der erreichte Standard ist. Untersuchte Sanierungen auf „guten“ und „besten“ Standard erreichten ¼ bis ⅓ Emissionsminderung durch die Summe aller QS-Maßnahmen.

Tabelle 3 Maßnahmen an Zusatzerzeugern und Peripherie im Überblick [2] mit Ergänzungen

Die Photovoltaik lässt sich auch in alle Nichtwohnbaunutzungen integrieren, weil überall Strom benötigt wird.
Die in Tabelle 1 bis Tabelle 3 genannten Maßnahmen der Sanierung lassen sich inhaltlich auch auf den Neubau übertragen. Dies gilt vor allem für eine verpflichtende Qualitätssicherung, beim Bau und nach Inbetriebnahme auf Basis von Verbrauchsdaten aus einer EAV.

Diese wäre als obligatorische Maßnahme in einer novellierten Version des zukünftigen Gebäudemodernisierungsgesetzes (GMG) 2026 festzuschreiben. Stand Dezember 2025 hat die Koalitionsregierung entschieden, das „Heizungsgesetz“ bzw. das GEG durch ein neues Gebäudemodernisierungsgesetz GMG ab 2026 zu ersetzen.

Dem Bauherrn wird im Neubau nahegelegt, sich an den aus technischer Sicht besten Lösungen zu orientieren – sowohl beim Wärmeschutz als auch bei der Wärmeversorgung. Konkret sollte in allen Neubaufällen das Best-Practice-Modell mit den oben genannten Anforderungen sowie die vorgeschriebene Nutzung von Photovoltaik angestrebt werden. Sofern dies rechtlich durchsetzbar ist, erscheint es als zielführend, Förderung und Forderung miteinander zu verknüpfen.

Pakete oder Einzelmaßnahmen

Eine pauschale Bewertung, ob Maßnahmenreihenfolgen oder Pakete sinnvoller sind, lässt sich verallgemeinernd nicht treffen. Es ist eine Einzelfallentscheidung – vor allem abhängig davon, welche Maßnahmen zum Zeitpunkt der Überlegung (Mehrkostenbetrachtung) ohnehin anstehen und welche ggf. dadurch im Paket vorgezogen werden. Die Bestandteile eines Gebäudes weisen unterschiedliche Sanierungszyklen auf, so dass es im Verlaufe eines Gebäudelebens nur wenige oder auch keine Zeitpunkte gibt, zu denen viele oder gar alle Einzelelemente gleichzeitig saniert werden müssen.

Stehen alle oder mehrere Maßnahmen gleichzeitig oder fast gleichzeitig an, ist es sinnvoll im Paket zu sanieren. Stehen Maßnahmen nicht gleichzeitig an, besteht Wahlfreiheit für das Bilden von Paketen. Je ferner der eigentlich notwendige Investitionszeitpunkt liegt, desto unwirtschaftlicher ist eine Paketsanierung mit Vorzieheffekt (Vollkostenbetrachtung). Insbesondere Fenster- und Außenwand im Paket führen jeweils zu sehr großen Verschiebungen. Würde die Wand immer im Zusammenhang mit der Fenstersanierung ertüchtigt, führte dies jedes Mal zu einem Vorziehen von etwa 10 Jahren. Es ist damit nachvollziehbar, dass – obwohl eine Gleichzeitigkeit baupraktisch auf der Hand liegen würde – häufig in der Praxis die Fenster in einem anderen Turnus und unabhängig von der Wand verbessert werden.

Da die anlagentechnischen Maßnahmen allgemein kurzlebiger sind als bauliche Maßnahmen, stellt sich insgesamt eher die Option einer vorzeitigen Anlagentechniksanierung im Zusammenhang mit einer baulichen Sanierung. Dies wird in der Excel-Rechenhilfe Standardbilanz für Wohngebäude bzw. im neu erstellten Excel-H-Wert-Rechner auch an den Typgebäuden bzw. an den sechs für die Stadt Oldenburg Clustergebäudetypen herausgearbeitet: die vorgezogene Verbesserung des Erzeugers ist deutlich günstiger als der umgekehrte Fall einer vorgezogenen Sanierung der Gebäudehülle. Bezogen auf die untersuchten Varianten für Reihenfolgen und Pakete des Gebäudes ist festzustellen, dass das Vorziehen von anlagentechnischen Maßnahmen günstiger ist, wenn der Energieträger Erdgas gegeben ist. Dann lohnt sich sogar in Einzelfällen der Aufbau übergangsweiser Hybridlösungen mit Kessel und Wärmepumpe.

Die Maßnahmenbewertung erfolgt unter festgelegten Randdaten zur Bilanzierung und Wirtschaftlichkeitsbewertung. Werden diese modifiziert, ergeben sich andere Erkenntnisse. Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse könnten alle oder einzelne Varianten erneut unter anderen Randdaten durchgerechnet werden. Darauf wird an dieser Stelle jedoch verzichtet. Sanierungsfördernde und -hemmende Randdaten werden hier qualitativ bewertet. Sie werden nachfolgend nur benannt:

- sanierungsfördernd, bessere Wirtschaftlichkeit: hoch berechnete Endenergieeinsparung, hohe Energiepreissteigerung durch zukünftige CO_2-Bepreisung, geringe Investitionskosten (z. B. Weglassen der Kostengruppe 700 durch Aufbau einer eigenen Planungsabteilung), hoher Sowiesokostenanteil / geringe energiebedingte Mehrkosten, Einbezug von Lernkurven für Bauprodukte, negativer Baupreisindex für zukünftige Technologien wie PV, Batteriespeicher und Wärmepumpen, geringer Finanzierungszins, lange Nutzungsdauern der Bauprodukte
- sanierungshemmend, schlechtere Wirtschaftlichkeit: gering berechnete Endenergieeinsparung, niedrige Energiepreissteigerung, hohe Investitionskosten (incl. Kostengruppe 700), Verwendung der Vollkosten, keine Berücksichtigung von Lernkurven für die Bauprodukte, positiver Baupreisindex, hoher Finanzierungszins, kürzere Nutzungsdauern der Bauprodukte.

Monitoring und Qualitätssicherung

Ein wirksamer Weg, um die gesteckten Klimaziele zu erfüllen, liegt darin, die materiellen Anforderungen an die Sanierung seitens der Gesetzgebung zu steigern. Bereits heute ist aber festzustellen: dass jeweils das Gesamtpotenzial der umgesetzten Maßnahmen ausgeschöpft wird, darf bezweifelt werden. Das betrifft die tatsächlich erzielte Dämm-, Luftdichtheits-, Lüftungs-, Heizungs-, Beleuchtungsqualität usw.

Ein erster Schritt wäre, neben der materiellen Erhöhung von Forderung und Förderung, die Überprüfung des erreichten Erfolgs durch Monitoring und Qualitätssicherung zukünftig stärker in Betracht zu ziehen.

Das Monitoring könnte damit als Kontrollorgan für den Nachweis nach zukünftigem Gebäudemodernisierungsgesetz GMG 2026 dienen. Bei Umstellung auf Verbrauchs- bzw. Erfolgsnachweise würde der Antragsteller nach Fertigstellung der Maßnahme (Neubau, Einzelmaßnahme oder Gesamtsanierung) die Energieeffizienz des Gebäudes über gemessene Verbrauchswerte belegen. Damit kann der Gesetzgeber nachträglich prüfen, auch wenn dies nur stichprobenweise erfolgen würde, ob die gesetzlichen Maßgaben erfüllt wurden.

Ambitionierte, aber erreichbare Ziele sind der Schwerpunkt von Forderungs- und Förderpolitik. Es würden für Bestandsmodernisierungen nur „Best Practice-Technologien“ eingesetzt. Diese Option ist gut kombinierbar mit dem Verfahren eines Einzelnachweises. Denn die vielfachen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen der einzelnen Effizienzprodukte spielten dann zumindest im Nachweis keine Rolle. Das Kompensationsprinzip zwischen den Maßnahmen wäre damit nur noch sehr stark eingeschränkt wirksam (je nach Ausgestaltung der Anforderungen). Es gäbe zumindest keine ineffizienten Wärmeerzeuger mehr in hochwärmegedämmten Baukörpern, aber auch keine hocheffizienten Erzeuger mehr in mäßig gedämmten Gebäuden. Aus Gründen der schon sehr weit fortgeschrittenen Ausschöpfung des Emissionsbudgets erscheint das Kompensationsprinzip nicht mehr zeitgemäß.

Weiterführende Ideen sind die Ausweitung verpflichtender Sanierungsmaßnahmen – über die Dämmung der obersten Geschossdecke oder den Kesseltausch nach 30 Jahren hinaus. Sanierungsmaßnahmen könnten zudem deutlich stärker als heute an den Eigentümerwechsel gekoppelt werden. Mit einem konsequenten Monitoring könnte anhand der Ergebnisse nicht nur der Erfolgsnachweis erbracht werden, sondern es wären auch Grundlagen für eine zusätzliche Besteuerung bei Mehrverbräuchen oder eine Belohnung für verminderte CO_2-Emissionen gegeben.

Zuletzt wäre eine politische Handlungsoption darin gegeben, auch die Qualitätssicherung selbst verpflichtend als Teil der Planung vorzuschreiben (Aufnahme in das zukünftige GMG 2026). Dies betrifft das luftdichte und wärmebrückenarme Bauen auch im Bestand sowie den sommerlichen Wärmeschutz. Für den Gebäudebestand ergäbe sich darüber hinaus auch die Verpflichtung zur nachträglichen Umsetzung eines hydraulischen Abgleichs bzw. einer Optimierung von Heizungsanlagen.

Letztlich ist eine politische Handlungsoption darin gegeben, die Qualitätssicherung noch stärker in das zukünftige GMG 2026 einzubeziehen. Dies betrifft nicht nur die konkrete Planung und Umsetzung (Gebäudedichtheitsmessung, Wärmebrückenoptimierung, hydraulischer Abgleich usw.), sondern auch die vorbereitenden Maßnahmen, z. B. der Einbau von Zählern (vgl. auch das entsprechende Förderprogramm von Bremer Energiekonsens und proKlima zusammen mit der Ostfalia Hochschule Wolfenbüttel [↗]).

Das Monitoring kann naheliegend und selbstverständlich auch als Daueraufgabe angesehen werden und in bundesweite Strukturen überführt werden. Es wird eine politische Diskussion angeregt, ob und wie eine solche übergeordnete Monitoringinstanz gewünscht ist und welcher Institution diese Aufgabe übertragen werden könnte. Die Ergebnisse wären allemal die optimale Voraussetzung für die bereits angesprochene „erweiterte Datengrundlage mit Best-Practice-Beispielen“.

Monitoringergebnisse spiegeln auch das Nutzerverhalten wider. Das Monitoring enthält daher optimalerweise eine qualifizierte Nutzeraufklärung und -schulung. Da davon ausgegangen werden kann, dass den Nutzern teilweise ein tieferes Systemverständnis fehlt, wie „Gebäude und Anlagentechnik im Zusammenspiel“ funktionieren, welche Handlungen welche Folgen haben und wie sie das System optimal bzw. weniger ineffizient nutzen. Im Vergleich zum PKW – mit einer Darstellung des aktuellen Verbrauchs – kann auch eine digitale Ausstattung (Smart-Meter, Apps usw.) genutzt werden, um das Verhalten zeitnah zurückzuspiegeln und gegebenenfalls selbständig Hinweise zu Verbesserungen zu liefern.

Die „Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV)“ wird deshalb als geeignetes Werkzeugt für das Monitoring angesehen. Das Verfahren bietet – auf Basis einer überschaubaren Ausstattung mit Messtechnik und für viele Wärmepumpen bereits heute kostenlos verfügbar und mit geringem personellen Aufwand – eine Reihe von Erkenntnissen und Ansatzpunkte zur Qualitätssicherung. Die Verwendung der EAV mit Abschluss der energetischen Sanierung und/oder Inbetriebnahme als laufende Qualitätskontrolle kann allen Beteiligten helfen, unerkannte Fehler schnell zu entdecken und die Anlagentechnik und das Nutzerverhalten zu optimieren.

Auf den Nichtwohnbau lassen sich die Erkenntnisse wie folgt übertragen: für Nutzungen ohne nennenswerte Kühlung kommen in erster Priorität alleinige elektrische Wärmepumpen mit Heizstab bzw. übergangsweise Kessel/Wärmepumpen-Hybridlösungen zum Einsatz, z. B. sind dies Bildungsbauten, Heime, Büros, Kultureinrichtungen, Sportstätten, Lager. Insbesondere für Nichtwohnbauten mit gleichzeitigem Wärme- und Kältebedarf über weite Teile des Jahres sind Wärmepumpen/Kältemaschinen-Systeme mit Doppelnutzung anzustreben, dies sind z. B. Krankenhäuser, Hotels, Küchen, Verkaufseinrichtungen.

Auslegung der Wärmepumpen

Im Zuge der Energie- und Wärmewende mit fortschreitender Elektrifizierung besteht die Herausforderung darin, den Ausbau von Wärmepumpen im Bestand zu beschleunigen. Hierfür ist eine sorgfältige Dimensionierung erforderlich, denn die Erfahrung zeigt, dass Wärmeerzeuger im Bestand häufig überdimensioniert wurden (und werden).

Nach Prüfung der Eignung des Gebäudes auf Wärmepumpentauglichkeit sollte unbedingt eine zielgenaue Auslegung des neuen Wärmeerzeugers auf den Bedarf des Gebäudes erfolgen. Während herkömmliche Wärmeerzeuger wie Öl- und Gaskessel auf die maximale Leistung ausgelegt wurden, sollte dies für Wärmepumpen unbedingt vermieden werden! Eine Überdimensionierung würde zu einem besonders ineffizienten Betrieb und durch häufiges Takten zu einem unnötig hohen Stromverbrauch sowie erhöhtem Verschleiß führen, was zulasten der Lebensdauer des Kompressors geht.

Als Faustformel gilt: zur Vermeidung des Taktbetriebes in der Übergangszeit sollte die Wärmepumpenleistung am Auslegungspunkt auf ca. 50 % der Nettoheizlast ausgelegt werden. Der Deckungsanteil am Jahreswärmeverbrauch (Abbildung 7) hängt im bivalent-parallelen Betrieb vom Leistungsanteil der Wärmepumpe bezogen auf die Nettoheizlast am kältesten Tag (Oldenburg -9°C) ab.

Wenn eine Wärmepumpe ausgesucht wird, die das empfohlene Kriterium erfüllt, am kältesten Tag ca. 50 % der Nettoheizlast zu decken, dann liegt der Bivalenzpunkt bei etwa 0…-2°C (Standort Oldenburg).

Quellen	Betriebsweise bivalent oder mono-energetisch	Leistungsanteil ξ der Wärmepumpe bei Normaußentemperatur in %							
		100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	40 %	30 %
Sole, Wasser, Direktverdampfung	alternativ	1,00	0,97	0,93	0,88	0,78	0,64	0,45	0,21
	parallel	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,92	0,84	0,71
Luft	alternativ	1,00	0,99	0,97	0,94	0,91	0,86	0,76	0,57
	parallel	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,93	0,87

Anmerkung: Etwas vereinfachend wird empfohlen den teilparallelen Betrieb wie den alternativen zu behandeln.

Abbildung 7 Leistungsanteil der Wärmepumpe bei Normaußentemperatur in % nach VDI 4650 Tabelle 28 [12]

Der **Bivalenzpunkt** ist der Punkt, an dem die Heizlast des Gebäudes (aus der Steigung H) und die maximale Heizleistung einer leistungsgeregelten Wärmepumpe (aus den technischen Daten) gleich sind. Das bedeutet, dass bis zu dieser Außentemperatur die Grundlast-Wärmepumpe den Bedarf des Gebäudes allein deckt und nur an kälteren Tagen ein Spitzenlasterzeuger – empfehlenswert i.d.R. ein elektrischer Heizstab für kleine Gebäude oder eine Spitzenlast-Wärmepumpe in größeren Gebäuden – hinzugeschaltet werden muss. Der Bivalenzpunkt hängt wesentlich von der Leistungsgröße der gewählten Wärmepumpe und vor allem auch von den Auslegungsvorlauftemperaturen der Heizflächen ab.

Messdaten zur Temperaturhäufigkeit in Deutschland zeigen, dass die niedrigen Temperaturen, in denen sich der Spitzenlasterzeuger (z. B. ein Heizstab) hinzuschalten würde, sehr selten auftreten und die Befürchtungen vor großen Energieverbräuchen des Heizstabes unbegründet sind.

Die optimierte Auswahl des Bivalenzpunktes ist wichtig für die Phase der Übergangszeit in der Heizperiode, an der wiederum der sogenannte Inverterpunkt zum Tragen kommt. Bis zu diesem Punkt kann eine leistungsgeregelte Wärmepumpe durch eine Reduktion der Kompressordrehzahl ihre Leistung an den Bedarf anpassen. Fällt der Bedarf unter dieses Minimum, geht die Wärmepumpe in den Taktbetrieb. Häufiges Ein- und Ausschalten sollte durch eine knappe Dimensionierung vermieden werden, um die Effizienz und Lebensdauer der Wärmepumpe zu erhöhen.

Wichtig zu bedenken ist, dass mit jeder nachträglichen Senkung der Heizlast des Gebäudes, z. B. durch Dämmung von Bauteilen, die Heizsteigung H sinkt und somit der Bivalenzpunkt in den kälteren Bereich rutscht, der Leistungs- und Deckungsanteil der Wärmepumpe sich also mit jeder energetischen Maßnahme erhöhen. Gleiches gilt für den Inverterpunkt, wodurch die Wärmepumpe daraufhin häufiger taktet.

Dies alles spricht für den Aufbau von Wärmepumpen-Kaskaden, mindestens aus zwei Geräten. Dies hat den positiven Nebeneffekt, dass die frühere Logik: „ein zweiter gleich großer Kessel steht aus Redundanzgründen im Gebäude“ sich erübrigt (oder obsolet ist). Unter der Annahme, dass der Havariefall nicht exakt bei -9°C Außentemperatur eintritt (oder allgemein nicht an einem der wenigen Tage unterhalb des Bivalenzpunktes), ist die Spitzenlastwärmepumpe als Grundlasterzeuger einsetzbar und das Gebäude wird trotzdem warm. Bei einer Dreier- oder Vierer-Kaskade sinkt die Wahrscheinlichkeit eines Totalausfalls mit Unbenutzbarkeit des Gebäudes weiter ab und wird immer unwahrscheinlicher, selbst wenn eines der Geräte defekt ist.

Hybridsysteme mit Kessel

Ein bivalenter Betrieb bedeutet, dass sich ab einer bestimmten Außentemperatur (dem Bivalenzpunkt) ein zweiter Erzeuger unterstützend hinzuschaltet (bivalent-parallel) oder den ersten Erzeuger ersetzt (bivalent-alternativ). Die heute meist eingesetzte und meistens zu empfehlende Lösung sind monoenergetische Außenluft-Wasser-Wärmepumpen (ein Energieträger = Strom) im bivalent-parallelen Betrieb, das heißt eine Wärmepumpe mit Heizstab wird ab dem Bivalenzpunkt durch den Heizstab oder die Spitzenlast-Wärmepumpe unterstützt.

Ist ein Wärmeerzeuger wie ein bestehender und noch nicht so alter Öl- oder Gaskessel (jünger als 20 Jahre) vorhanden, kann dieser zur Abdeckung der Spitzenlast genutzt werden und bivalent-alternativ durch manuelle Zuschaltung ohne Einbindung in ein zu erweiterndes Regelsystem hydraulisch einzubinden. Die Entscheidung, einen bestehenden Kessel hierfür zu belassen und einzubinden, ist abhängig vom Alter des Kessels und der Kesseleffizienz. Einen funktionstüchtigen Niedertemperatur- oder Brennwertkessel einzubinden, kann dann eine sinnvolle Ergänzung darstellen.

2.3.2 Mikro-Nahwärmenetze

Für ausgedehnte Liegenschaften sind häufig zwischen einer zentralen Heizzentrale und unterschiedlich weit entfernten Gebäuden Mikro-Nahwärmenetze mit z. T. sehr hohen Netzverlusten verbunden. Es sollte bei Umstellung auf Wärmepumpen immer überprüft werden, ob eine gebäudebezogene Dezentralisierung effektiver ist.

2.3.3 Zentrale vs. dezentrale Warmwasserbereitung

Getrennte Wärmepumpen für Heizung und Warmwasserbereitung haben gegenüber einem kombinierten System mehrere Vorteile bei vergleichbaren oder sogar niedrigeren Investitionskosten.

Während die Temperaturanforderung für Trinkwarmwasser ganzjährig bei 50…60°C liegt, ist die Temperaturanforderung für die Raumheizung von witterungsbedingten Schwankungen abhängig und nur in der Heizperiode vorhanden. Durch eine Trennung der Systeme entfällt die Umschaltung zwischen Heizbetrieb und Warmwasserbetrieb, wodurch Regelung und Hydraulik vereinfacht werden.

Eine Trinkwasser-Wärmepumpe (auch Brauchwasser-Wärmepumpe genannt) kann in einem geeigneten Kellerraum oder Nebenraum aufgestellt werden, wodurch sich die Raumluft an der Abluftseite zwar etwas abkühlt, aber gleichzeitig auch entfeuchtet wird. Sie ist in kleinere Projekten, wie Kitas denkbar.

Für Projekte mit größerem Trinkwarmwasserbedarf sind separate Außenluftwärmepumpen (analog einer Heizungswärmepumpe) mit Speicher erforderlich. Bei Bestandslösungen mit hohem Trinkwarmwasserbedarf wird empfohlen, über einen Zeitraum von mindestens ein bis zwei Wochen die Spitzendurchflussmengen für Trinkwarmwasser mit externen Ultraschall- oder magnetisch-induktiven Durchflussmessern (Clap-On-Geräte an einer geraden ungedämmten TWW-Rohrleitung) zu messen.

Die vorgezogene Umstellung zunächst nur der Trinkwarmwasserbereitung aus einem bestehenden Anlagensystem (z. B. mit Öl-/Gaskessel) und Umstellung auf eine separate Wärmepumpe für Trinkwarmwasser kann in vielen Gebäuden ein sinnvoller erster Schritt sein, bevor die Entscheidung im nächsten Schritt auch auf eine Heizungswärmepumpe fällt. In sehr vielen Bestandskesseln erfolgt die Trinkwasserbereitung ineffizient und verlustbehaftet.

Die Installation einer separaten Wärmepumpe für Trinkwarmwasser führt unter Einsatz moderater Investitionskosten zu einer deutlich effizienteren Warmwasserbereitung und hat zur Folge, dass der Bestandskessel außerhalb der Heizperiode ausgeschaltet bleiben kann. Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen beispielhaft für ein Einfamilienhaus die Energieanalyse aus dem Verbrauch für einen Gaszähler vor und nach der Auskopplung der Warmwasserbereitung aus dem Gaskessel durch eine Brauchwasser-Wärmepumpe. Während der Grundleistungssockel gegen Null sinkt, bleibt die Steigung H annähernd gleich.

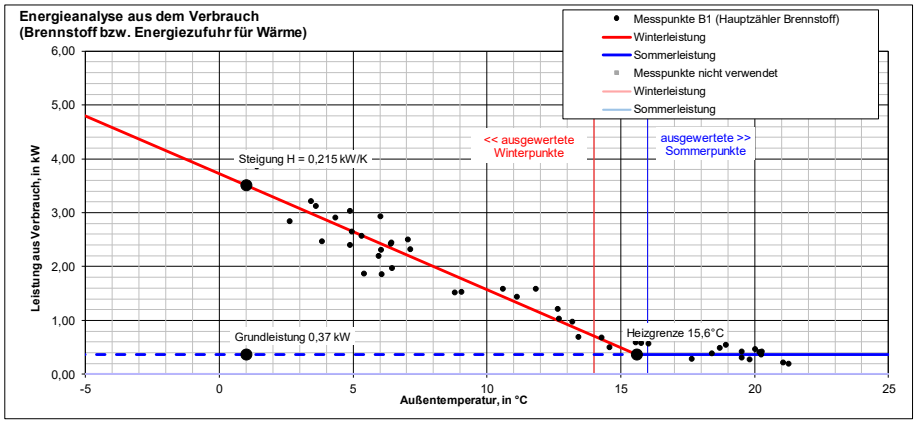


Abbildung 8 EAV für den Gaszähler eines EFH, vor Auskopplung der zentralen Warmwasserbereitung

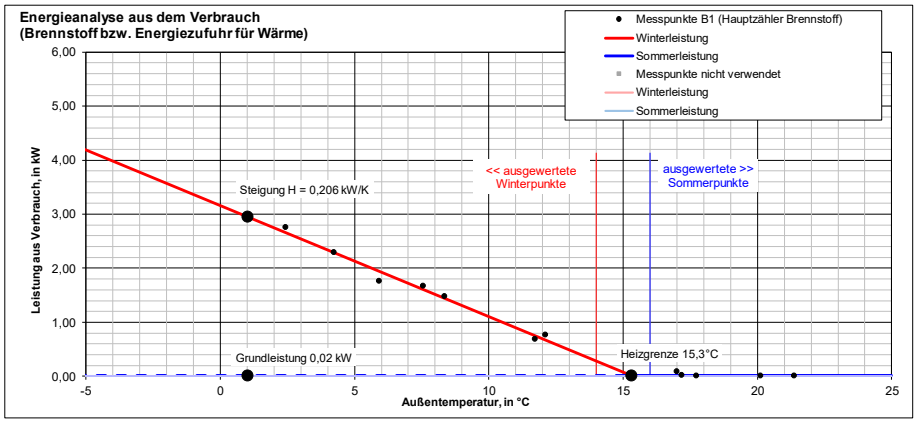


Abbildung 9 EAV für den Gaszähler eines EFH, nach Auskopplung der zentralen Warmwasserbereitung

Sollte die Heizungswärmepumpe trotzdem auch eine zentrale Trinkwarmwasserbereitung mit abdecken, so sollte von einem Leistungszuschlag für die Warmwasserbereitung abgeraten werden. Dann sollten durch unterschiedliche Einschaltzeiten für Heizung und Warmwasser in der Regelung entsprechend unterschiedliche Zeitfenster gewählt werden.

2.3.4 Heizungsoptimierung und hydraulischer Abgleich

Die Heizungsoptimierung durch eine raumweise Heizlastberechnung, Optimierung der einzelnen Heizkörper und Durchführung des hydraulischen Abgleichs sind grundsätzlich der letzte Schritt. Dieser kann für Objekte mit bis zu 30 Räumen mit dem kostenfreien Exceltool „OPTIMUS“ durchgeführt werden.

Eine Heizungsoptimierung mit einem bestehenden Kessel vor Einbau einer Wärmepumpe ist nicht sinnvoll. Die hydraulischen Gegebenheiten müssen dann grundlegend neu berechnet werden. Während die Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf bei einem Bestandskessel möglichst groß gewählt wurde, wird diese Spreizung bei einer Wärmepumpe zum Aufrechterhalten eines Mindestvolumenstroms möglichst klein gewählt. Zudem sind die notwendigen Volumenströme grundlegend anders und abhängig vom Modell der Wärmepumpe. Bei einer vorgezogenen Heizungsoptimierung, wie sie teilweise durch Förderprogramme unterstützt wird, ist diese daher nach Austausch des Erzeugers (und ggf. kombinierten Veränderungen an der Gebäudehülle) hinfällig und muss erneut durchgeführt werden.

2.3.5 Inbetriebnahme und Betriebsoptimierung

Nach Inbetriebnahme sollten die Betriebsdaten durch den Gebäudeeigentümer / Nutzer beobachtet werden, wobei verschiedene Stellschrauben zur Betriebsoptimierung und Steigerung der Effizienz der Wärmepumpe durch Ausprobieren, Anpassen und Beobachten verschiedener Einstellungen bezüglich

- des Bivalenzpunktes und damit des Einsetzens des Heizstabbetriebes,
- der Heizkurvensteigung des witterungsgeführten – also nach der Außentemperatur – geregelten Vorlauftemperaturreglers,
- der täglichen Heizzeiten,
- gegebenenfalls einer Raumtemperaturaufschaltung für den Vorlauftemperaturregler (wenn sich das Reglerbediengerät in einem für die Rauminnentemperatur repräsentativen Raum befindet)

vorgenommen werden können.

Ziel sollte unbedingt sein, die Anzahl der Takte, also der Ein- und Ausschaltvorgänge, zu begrenzen. Als gutes Maß können max. 10 Takte pro Tag bei Außentemperaturen oberhalb des Inverterpunktes angesehen werden. Dies verbessert die Effizienz und somit die Jahresarbeitszahl deutlich und erhöht die Lebensdauer des Kompressors.

2.4 Ausbau der Eigenstromerzeugung und -Nutzung

Der nachfolgende Abschnitt widmet sich konzeptionellen Empfehlungen zum Ausbau der Eigenstromerzeugung in den städtischen Gebäuden. Da die Klimaneutralität („Emissionsfreiheit“) – nach Ansatz der Autoren – über einen Elektropfad erreicht wird, ist die Installation von Photovoltaikanlagen voranzutreiben. Mit ihnen lässt sich der für die Wärmepumpen und die sonstigen Nutzeranwendungen benötigte Strom erzeugen und zumindest eine bilanzielle Autarkie erreichen (weitere Erläuterungen siehe Kapitel 1.5).

Um einer echten Autarkie zumindest näher zu kommen, muss auch die Eigenstromnutzung innerhalb der Gebäude vorangebracht werden. Mindestens der Tag-Nacht-Ausgleich ist ein probates Ziel, welches die Gebäudeeigentümer bzw. -nutzer mit Hilfe eines Batteriespeichers erzielen können.

Das Problem des sommerlichen Überhangs an Produktion und der winterlichen Unterdeckung kann die Stadt als Stromnutzer und Endkunde allerdings nicht lösen. Oder: Er entscheidet sich für eine eigene Energietochtergesellschaft. Die Stromspeicherung im Sinne eines saisonalen oder typisch dreiwöchigen Ausgleichs (beispielsweise bei gleichzeitiger Solar- und Windflaute in Form von elektrischen Großbatteriespeichern, Wasserstoff oder anderen künstlichen Brennstoffen (mit Rückverstromung über Gaskraftwerke) ist heute noch Aufgabe der Versorgungsunternehmen. Eine Kombinationslösung wäre der Aufbau eines eigenen Versorgungsbetriebes (mit elektrischen Großbatteriespeichern) als Energietochtergesellschaft, welche hier nicht vertieft wird, aber zukünftig diskutiert werden sollte.

2.4.1 PV-Felder

Die Planungsempfehlung für den Ausbau von PV-Feldern lautet innerhalb der ersten Jahre der Transformation: Vollbelegung aller verfügbaren Dachflächen, ggf. auch Wandflächen. Somit wird – planmäßig - zunächst eine Überversorgung in den betroffenen Gebäuden angestrebt.

Hintergrund: wie im Kapitel 1 ausgeführt, werden derzeit in allen Liegenschaften etwa 44.000 MWh_{Hs}/a Erdgas verbraucht, aus denen künftig im besten Falle etwa 12.000 … 13.000 MWh/a Wärmepumpenstrom werden. Zusätzlich fallen für den normalen Anwendungsstrom bereits heute 10.000 MWh/a an. Damit sind insgesamt 22 … 23.000 MWh/a an Strom zu produzieren, um eine bilanzielle Autarkie zu erzielen. Verbesserungsmaßnahmen an Gebäuden und Anlagen in einem überschaubaren Maß verringern den Bedarf künftig noch etwas.

Ausgehend von 20.000 MWh/a = $2 \cdot 10^7$ kWh/a als jährlichem Strombedarf über alle Gebäude und einem PV-flächenbezogen Ertrag von 200 kWh/(m²a) = $2 \cdot 10^2$ kWh/(m²a) für die Photovoltaik, sind insgesamt 10^5 m², also 100.000 m² Photovoltaik zu installieren. Eine „bilanzielle Sättigung“ tritt somit erst nach einiger Zeit ein.

Das in diesem Projektbericht verwendete Beispielgebäude, eine Kita (siehe Kapitel 3 ff.), weist einen künftigen Strombedarf von 20.000 kWh/a auf (Dies entspricht 1/1000 des Gesamtportfolios). Die Vorplanung ergibt in diesem Projekt eine PV-Anlage mit einer Leistung von knapp 56 kW, also eine Fläche von ca. 250 m² (1/400 des Zielwertes). Damit liefert die Kita einen „Überschuss“ für künftige Projekte.

Im Sinne der Portfolioanalyse (Kapitel 2.5) werden die kumulierten installierten Flächen und daraus generierten Erträge aller 345 städtischen Gebäude fortlaufend dokumentiert. Mit einigem zeitlichem Abstand, zum Beispiel im Jahr 2030, kann über die dann noch nicht mit PV ausgestatteten Gebäude befunden werden.

2.4.2 Batteriespeicher

Der Einsatz von Batteriespeichern in konkreten Projekten kann verschiedene Motive haben. In Anbetracht der derzeitigen Preissituation für Batteriespeicher (deutlicher Preisverfall in den letzten Jahren) wird die Ausstattung empfohlen.

Die Regel des Wohnungsbaus „1 kWh je 1 kW Peakleistung“ kann für Nichtwohngebäude nicht 1:1 zum Einsatz kommen. Aufgrund der in Kapitel 2.4.1 empfohlen überproportionalen Ausstattung mit PV-Modulen wären die Speicher ebenfalls zu groß – zumindest, wenn allein die PV-Strom-Speicherung als Ziel verfolgt wird. Dann hat der Batteriespeicher die Aufgabe, den tagsüber erzeugten Solarstrom zunächst in die kommende Nacht zu verschieben. Dies ist sinnvoll in den ertragreichen Monaten (März bis Oktober), in den Nächten der anderen Monate ist von einem Heizbedarf auszugehen, dem keine adäquate Produktion tagsüber gegenübersteht. Eine Autarkie kann hier ohnehin nicht erreicht werden, egal wie groß die Batterie ist (von Saisonspeichern abgesehen).
Daher wird empfohlen, das Lastprofil des einzelnen Gebäudes näher zu analysieren. Insbesondere die nächtlichen Stromlasten der Übergangsjahreszeiten sind von Bedeutung. Eine dazu passende Excel-Anwendung wird in Kapitel 4.8 beschrieben. Mit dieser lässt sich ein Lastprofil rechnerisch erstellen. Darüber hinaus können selbstverständlich Messungen des Lastprofils erfolgen. Die relevanten Leistungen zeigt Abbildung 10:

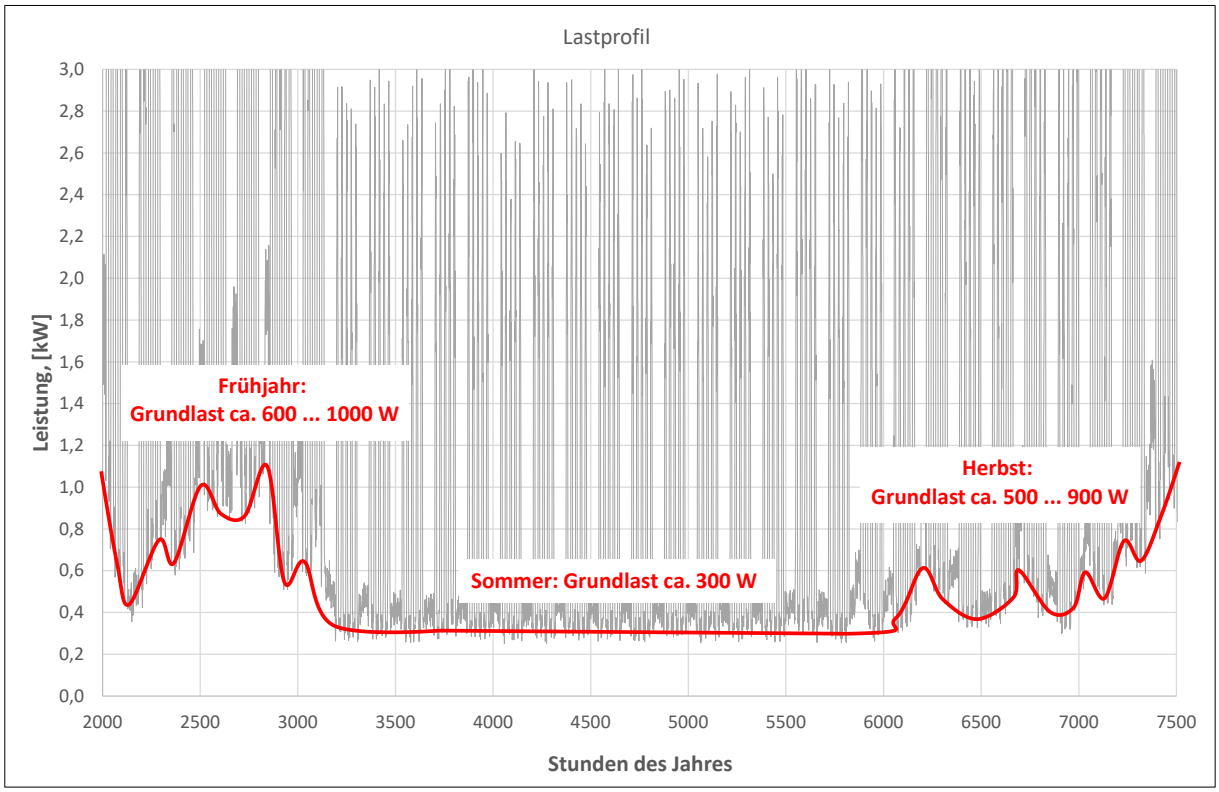


Abbildung 10 Beispielhafte Ermittlung der Grundlast

Die empfohlene minimale Speicherkapazität beträgt unter diesen Annahmen:

$$C_{batterie} = 10 \ \dots \ 12\ h \cdot P_{Grundlast}$$

So lässt sich eine Grundlastzeit von 10 … 12 Stunden (typische Länge einer Nacht im Frühjahr und Herbst) überbrücken, in der kein Stromertrag gegeben ist. In den Sommermonaten ist die Grundlast regulär geringer und die Nächte sind kürzer, so dass die Batteriekapazität entsprechend etwas zu groß ist. In dem Beispiel nach Abbildung 10 ergibt sich aus den angezeigten Zahlen eine Speicherkapazität von ca. 5 … 12 kWh.

Die Speicherinfrastruktur (Lademanagement, Schaltschränke usw.) ist idealerweise so beschaffen, dass die Speicherkapazität später erweitert werden kann.

Dient der Speicher anderen Zwecken, z. B. wird er zur Nutzung dynamischer Stromtarife genutzt, können sich künftig auch sehr viel größere Speicherkapazitäten ergeben. In Phasen mit günstigen Tarifen wird die Batterie gefüllt, in Phasen mit hohen Tarifen wird der Speicher entleert. Dies kann an die eigene PV-Anlage gekoppelt werden, was die vorausschauende Regelung erschwert, dies muss aber nicht der Fall sein. In jedem Fall ist dann der Tagesbedarf des Gebäudes von Interesse – idealerweise im Winter.

Ausgehend von dieser Überlegung kann anhand des Lastprofils bestimmt werden, welche maximale tägliche Energiemenge im Winter vorliegt. Beispielsweise wird ein Zeitraum von 72 Stunden gemittelt, siehe Abbildung 11. Im Mittel dieser 3 Tage werden 220 kWh/d benötigt, was einer mittleren Last von ca. 9 kW entspricht.

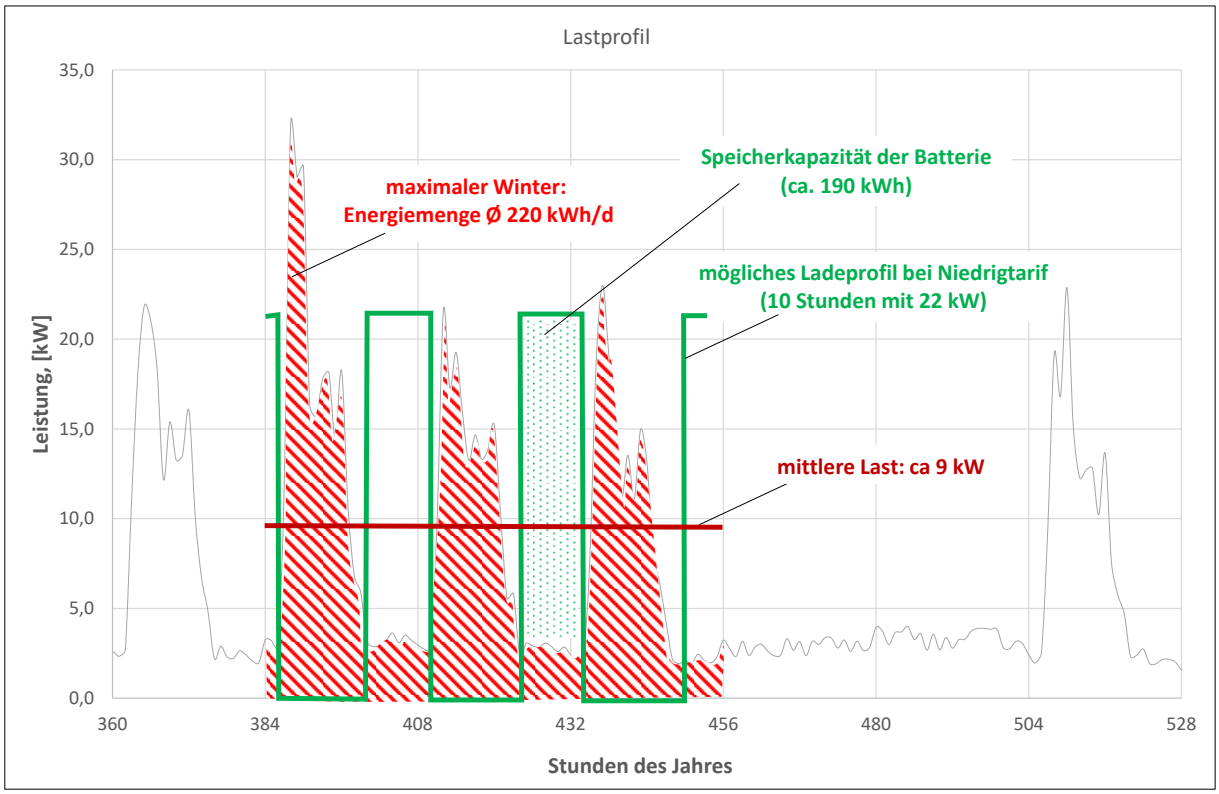


Abbildung 11 Beispielhafte Ermittlung der maximalen Winterspeichermenge

Anschließend müssen die Zeitdauern für Minimal- und Maximaltarif geschätzt werden. Beispielsweise könnte angenommen werden, dass in der Nacht (oder anderen Zeiten des Tages mit großen Überhängen im Stromnetz) 10 Stunden für das Laden der Batterie zur Verfügung stehen. In den anderen 14 Stunden des Tages ist das Stromnetz verfügbar, aber teuer (und soll deshalb nicht genutzt werden). Um den Tagesbedarf einzulagern, wäre eine Batterie von ca. 190 kWh erforderlich. Diese ist 20-mal größer als nach Abbildung 10.

Diese Überlegungen können wiederholt werden für einen mittleren Wintertag (nicht den maximalen), was zu einer geringeren Batteriegröße führen wird. An den Maximaltagen würde entsprechend dennoch Strom aus dem Netz bezogen, wenn er teuer ist.

In jedem Fall sind für die Überlegungen zur Tarifoptimierung zunächst reale Lastprofile an den Gebäuden zu erfassen, dann entsprechende Tarife zu recherchieren und Annahmen zu Zeitfenstern zu treffen.

Wenn die bilanzielle Emissionsfreiheit (und damit Autarkie) die erste Priorität hat, sollten diese Überlegungen frühzeitig erfolgen. Sie sind nicht nur betriebs- und volkswirtschaftlich sinnvoll, sondern auch gesellschaftlich motiviert und begründet sowie mit der frühzeitigen Entscheidung für einen Eigenbetrieb der Stadt Oldenburg verbunden.

2.5 Ansätze zur systematischen Portfolioanalyse

Das nachfolgende Kapitel gibt Hinweis zur strukturierten Übertragung der in den Kapiteln 2.1 bis 2.4 erläuterten Planungsideen auf den Gesamtbestand der Stadt Oldenburg. Es soll geklärt werden, wie umfangreich der zeitliche Vorplanungsaufwand eingeschätzt wird, bis eine valide Datenbasis vorhanden ist, um eine Sanierungsreihenfolge für die 345 Gebäude (oder ein beliebiges Portfolio) festzulegen. Es wird auch thematisiert, welche Aspekte zur Priorisierung von Baumaßnahmen dienen können.

Vorab sei angemerkt, dass die variablen Größen, die das Ergebnis beeinflussen (Entwicklung der Baukosten, der Energiepreise, Förderlandschaft, Gesetzesgrundlagen, Umnutzungsnotwendigkeit aufgrund von unvorhersehbaren Migrationsbewegungen oder vorhersehbaren demografischen Effekten…) so vielfältig sind, dass es keine endgültige Lösung oder korrekte Strategie geben kann. Jedoch gibt es bestimmte Grundsätze, die es zu beachten gilt.

2.5.1 Verfolgte Ziele und Zeitschiene

Es ist zunächst ein quantitativ bewertbares Ziel festzulegen, welches es zu erreichen gilt. Für die Gebäude der Stadt Oldenburg und die Autoren dieser Studie ist das definierte Ziel: „Erreichen der bilanziellen Klimaneutralität/Emissionsfreiheit bis 2035“ (eine weitere Konkretisierung könnte gemacht werden, ist an dieser Stelle nicht erforderlich).

Mehrere Wege führen zu diesem Ziel: Energieeinsparung (Nutzerverhalten, Gebäudedämmung usw.), effizientere technische Anlagen zur Erzeugung und Umwandlung, Nutzung regenerativer Energien (vorrangig Umweltwärme durch Wärmepumpen, Photovoltaik und Batteriespeicher). Sie unterscheiden sich in den Sanierungskosten sowie in Einsparungen des Haushalts und somit in der Wirtschaftlichkeit. Es gibt diverse Nebenüberlegungen: inwieweit soll der gegebene Sanierungszyklus der Hüllbauteile und Erzeuger Berücksichtigung finden (Stichwort: vorgezogene Sanierung), die Kopplung von Maßnahmen, die Finanzierbarkeit, die Schnelligkeit der Umsetzung.

Insbesondere der Aspekt der begrenzten Zeit, die in den verbliebenen Jahren bis Ende 2035 zur Emissionsfreiheit und Klimaneutralität zur Verfügung steht, schränkt die Handlungsfähigkeit ein. Nicht alle Bauteile oder Wärmeerzeuger werden innerhalb des geplanten Sanierungszyklus geändert werden können, das verbietet die Zeitschiene. Nicht alle Hüllbauteile werden angefasst werden können, wenn nur kurze Umsetzungshorizonte gegeben sind.

Die Autoren dieser Studie setzen daher folgende Prioritäten:

1. es werden Maßnahmen ergriffen, die vor allen Dingen schnell zu einer verminderten Endenergiebilanz und in Folge Emissionsbilanz (Einhalten des noch verfügbaren Emissionsbudgets) führen,
2. es werden Maßnahmen ergriffen, die ein günstiges Verhältnis von Kapitaleinsatz zu Emissionsminderung aufweisen (äquivalenter Emissionspreis),
3. es werden ggf. Wärmeerzeuger geändert, deren regulärer Sanierungszyklus noch nicht erreicht ist,
4. es werden nicht in jedem Projekt alle Teile der Gebäudehülle verbessert, aber wenn sie verbessert werden, dann auf ein sehr gutes Niveau.

Diese Vorüberlegungen führen nicht in der Breite der Gebäude zu Komplettmodernisierungen oder zu „Effizienzgebäuden 40“, **da den Themen „Schnelligkeit“ und optimierter „äquivalenter Emissionspreis“ eine größere Priorität eingeräumt wird.**

2.5.2 Datenermittlung und Datenhaltung

Die Entwicklung eines Gesamtkonzeptes der städtischen Gebäude Oldenburg setzt eine Datenbasis voraus. Nachfolgend wird die gegebene Datenbasis eingeordnet und es werden Empfehlungen für den Aufbau einer künftigen Datenbasis abgegeben. Es sind dabei 2 Detaillierungsgrade zu unterscheiden: die Datenbasis für das Einzelprojekt, welches beispielsweise in Kürze saniert werden soll, so wie die Datenbasis für übergeordnete Entscheidungen, die das gesamte Portfolio betreffen.

2.5.3 Datenbestand für Portfolioanalysen

Ist: Portfolio-Datenbestand 2020/21

Der gegebene Datenbestand für die Portfolioanalyse aller Gebäude liegt in Form eine Excel-Tabelle vor. Sie enthält Adressdaten und Liegenschaftsbezeichnungen, Angaben zur Fläche und zum Wärme- und Stromverbrauch, Hinweise zum Denkmalschutz und zu Eigentumsverhältnissen sowie zur Nutzung. Es lässt sich daraus ein sehr guter Überblick z.B. über die Gebäudegröße gewinnen, siehe Abbildung 12. Es wird sichtbar, das ist sehr viele kleine Gebäude gibt.

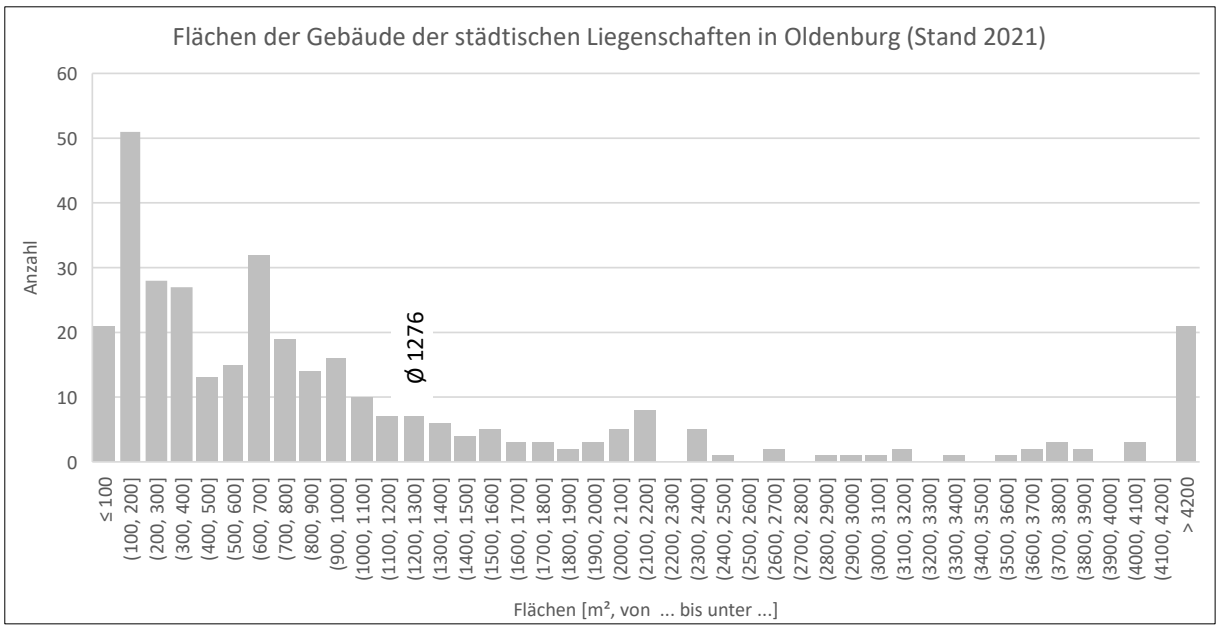


Abbildung 12 Histogramm zur Häufigkeit von Gebäudeflächen im Gesamtbestand der städtischen Liegenschaften Oldenburg

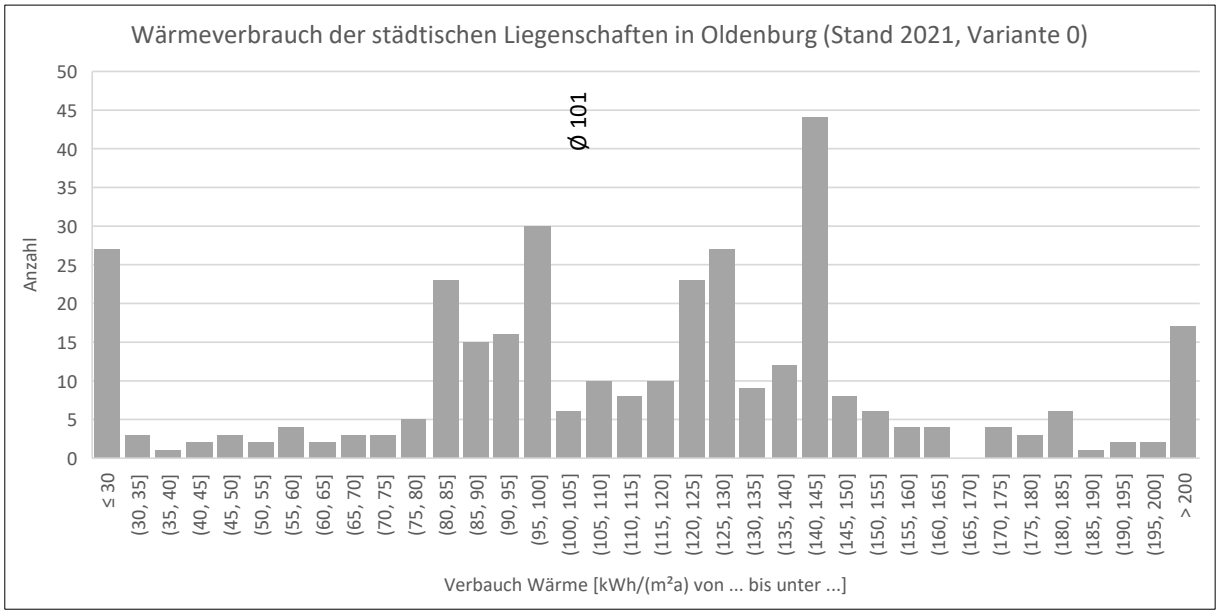


Abbildung 13 Histogramm der Häufigkeit des Wärmeverbrauchs im Gesamtbestand der städtischen Liegenschaften Oldenburg

Ein anderes Histogramm liefert die Erkenntnis zur Verteilung des Wärmeverbrauchs, siehe Abbildung 13. Eine größere Anzahl von Gebäuden liegt im Bereich zwischen 80 und 100 kWh/(m²a). Ein Peak zeigt sich bei 140 bis 145 mit 100 kWh/(m²a) und nur eine kleinere Anzahl bewegt sich oberhalb von 165 kWh/(m²a). Dies gibt Aufschlüsse zu notwendigen Teil- und Vollsanierungen.

Auch der Stromverbrauch streut entsprechend, siehe Abbildung 14. Die Anzahl der Gebäude mit einem höheren Stromverbrauch als 40 kWh/(m²a) ist überschaubar. Viele Gebäude liegen im Mittelfeld.

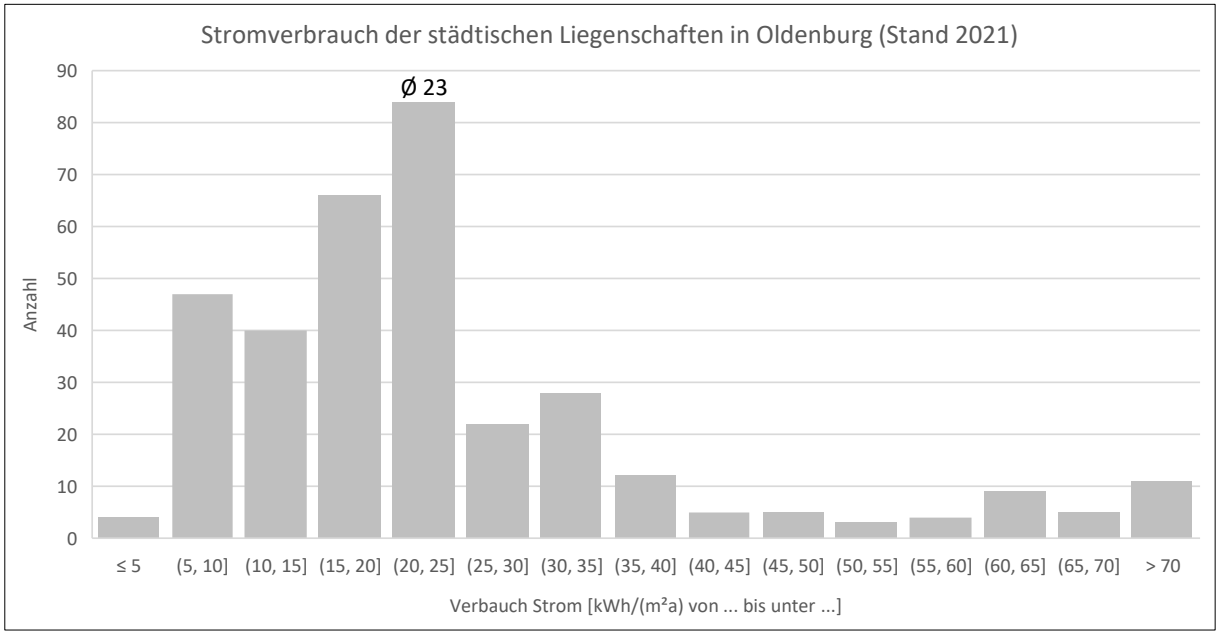


Abbildung 14 Histogramm der Häufigkeit des Wärmeverbrauchs im Gesamtbestand der städtischen Liegenschaften Oldenburg

Die gegebene Datenbasis liefert sehr gute Ansätze für eine Hochrechnung und Prognose der Gebäudeentwicklung, siehe Kapitel 5.

Ziel: Portfolio-Datenbestand 2030

Aus Sicht der Autoren ist dennoch Verbesserungspotenzial gegeben. Noch besser ließen sich übergeordnete Aspekte bewerten, wenn folgende Daten zusätzlich verfügbar wären und mit der vorhandenen Datenbasis verknüpft:

- die Anzahl der Geschosse zur Abschätzung der Hüllflächen aus der Gebäudenutzfläche bzw. Nettogrundfläche,
- das Vorhandensein eines Kellers oder einer Bodenplatte,
- die Nutzung des Kellers als beheizter oder unbeheizter Bereich,
- das Vorhandensein eines Flachdachs oder Steildachs,
- die Nutzung des Dachraums als beheiztes oder unbeheiztes Geschoss,

- das Jahr der letzten Sanierung für Außenwände und Fenster sowie des Daches,
- das Alter des Wärmeerzeugers (letzteres liegt nur in einer separaten Datenbank und nicht verknüpft mit der Gebäudedatenbank vor),
- der energetische Zustand der Außenwände, des oberen und unteren Gebäudeabschlusses, der Fenster
- die Sanierungsoptionen der Außenwände durch Außendämmung, Innendämmung oder Kerndämmung (eine Bewertung der einzelnen Gebäude ist ansatzweise vorhanden, enthält jedoch viele Fragezeichen)
- das Vorhandensein zentraler Trinkwassererwärmung,
- ein Messwert aus der Energieanalyse des sommerlichen Sockelverbrauchs (siehe Kapitel 4.4.7)
- der Fingerabdruck des Gebäudes H aus einer Energieanalyse (siehe Kapitel 4.4.5 bzw. 4.4.6) oder aus einer theoretischen Analyse mit dem H-Wert-Rechner (siehe Kapitel 4.3 bzw. 4.5) als Basis für die Abschätzung der Heizlast sowie Einschätzung des energetischen Zustands

In einer Datenbank, die diese Aspekte filterbar verfügbar macht, kann sehr viel treffsicherer über die Notwendigkeit einer energetischen Verbesserung entschieden werden. Zudem lassen sich auch Kosten abschätzen, die für Teil- oder Vollsanierungen anfallen würden. Die Gebäudeentwicklung nach Kapitel 5 schätzt die genannten Größen weitestgehend ein, wobei auf die Typgebäude bzw. Beispielprojekte nach Kapitel 3 zurückgegriffen wird.

Zeitaufwand zum Datenaufbau

Der Zeitaufwand bei der tatsächlichen Datenbeschaffung in der genannten Detaillierung kann von den Autoren nicht beziffert werden, da dies nicht Teil des Projektes war.

Gegeben waren die Daten gemäß der Beschreibung „2020“ bereits als Excel-Tabelle sowie zusätzlich die Clustergebäude des IBP. Anschließend wurden – auf Basis der Typgebäude und über Kennwerte – die zusätzlichen Daten grob angenähert. Dies war mit etwa 40 Stunden Aufwand möglich. Insofern handelt es sich an dieser Stelle um eine Verfeinerung der Erkenntnisse, die alle Hochrechnungen verfeinert und absichert.

2.5.4 Datenbestand der Einzelprojekte

In Vorbereitung auf die Umsetzung eines konkreten Sanierungsprojektes, insbesondere mit Umrüstung von Kessel auf Wärmepumpe und Einbau von Photovoltaik ist ein Vorlauf bei der Datenbeschaffung sinnvoll. Folgende Daten sehen die Autoren als sinnvoll an:

- eine Energieanalyse der Verbrauchsdaten (siehe Kapitel 4.4):
    - Fingerabdruck des Gebäudes H
    - Messwert aus der Energieanalyse des sommerlichen Sockelverbrauchs
- eine theoretische Analyse des Gebäudes mit dem H-Wert-Rechner (siehe Kapitel 4.3)
    - Fingerabdruck des Gebäudes H
    - grobe Auseinandersetzung mit dem energetischen Gebäudezustand
    - Überlegungen zur Inhomogenität der Struktur des Objektes
- eine Potentialanalyse der konkret zur Verfügung stehenden Flächen für Photovoltaik.

Dies dient der schnellen Abschätzung:

➔ möglicher anfallender baulicher Sanierungen bis zur Wärmepumpentauglichkeit,
➔ der Wärmeerzeugerleistung (aus der Größe H),
➔ sinnvoller Kaskaden-Teilungen bei der Wärmepumpenausstattung (siehe Kapitel 2.3),
➔ ob Verbesserungen im Bereich der Trinkwassererwärmung erforderlich sind oder nicht

Eine flächendeckende Erfassung der genannten Größen in den kommenden ein bis zwei Jahren wird empfohlen. In Teilen sind dies identische Daten wie bei der übergeordneten Portfolio-Analyse.

Zeitaufwand

Der grundlegende Zeitaufwand für die Voranalyse eines Projektes beläuft sich zurzeit auf insgesamt etwas mehr als einen Tag. Darin enthalten sind die Einzelaspekte nach Tabelle 4.

Tätigkeiten	Zeitaufwand	Mittel pro Projekt
Beschaffung von Plänen, Flächen und Belegungszahlen, Verbrauchsdaten der letzten Jahre, Beschreibung des grundlegenden Versorgungskonzeptes mit Kesselbaujahr, Fotos	ca. 4 … 6 h	5 h
Energieanalyse für Wärme/Brennstoff und separat Strom mit „EAV-Tool“	ca. 0,5 h	0,5 h
„H-Wert-Rechner“ einer homogenen Liegenschaft mit einem Baualter	ca. 1 h	1,5 h
„H-Wert-Rechner“ einer inhomogenen Liegenschaft mit mehreren Baualtersklassen	ca. 0,75 h pro Gebäudeteil	
Dimensionierung einer Wärmepumpe mit „WP_Dim“ auf Basis der Verbrauchsdaten, Beschaffung von Herstellerdaten	ca. 0,5 … 1 h	0,75 h
„Lastgenerator“ für Stromlastprofil	ca. 0,5 h	0,5 h
PV-Planung mit „SunnyDesigner“	0,5 … 1,0	0,75 h
Summe		9 h

Tabelle 4 Abschätzung des Zeitaufwandes für die Vorplanung von Projekten

2.5.5 Nachverfolgung und „Rollende Planung“

Da die Sanierungstätigkeit zu einer stetigen Änderung der Datenbasis führt, ist die Datenhaltung und Nachverfolgung eine Daueraufgabe.

Ob das Projektziel der Stadt „Klimaneutraler Gebäudebestand (Emissionsfreiheit) 2035“ erreicht wird, ist dauerhaft im Blick zu behalten. So müssen die Verbräuche (Gas, Stromeinkauf und Stromverkauf) und die Emissionen aktuell verfügbar sein. Auch die zugehörigen Investitionssummen dienen der Nachverfolgung der tatsächlichen äquivalenten Emissionspreise.

Auch sollten für die Projekte, die einer Verbesserung unterzogen wurden, nach Abschluss der Maßnahme Umsetzungs- und Erfolgsindikatoren gebildet werden. Es ist nicht schädlich, wenn für ein Projekt ursprünglich (zum Zeitpunkt der Vorplanung) eine Sanierung des unteren Gebäudeabschlusses geplant war. Bei der Umsetzung des Projektes spricht dann vieles dagegen, es läuft – zur Kompensation – dann auf eine Kerndämmung der Wand hinaus. Solange insgesamt und im Mittel genügend Emissionen vermindert werden. Ähnliches gilt für den Ausbau der Photovoltaik. Im Rahmen der Planung war von einer Vollbelegung des Daches ausgegangen, die Realplanung verbietet dies aus statischen Gründen, es wird eine Fassadenanlage realisiert.

2.5.6 Priorisierungsidee 1: Photovoltaikausbau und energetische Verbesserung der Dächer

Zur Entwicklung des Gebäudebestandes schlagen die Autoren folgende Ansätze vor. Die genannten Themenkreise können weitestgehend unabhängig voneinander und parallel abgearbeitet werden, um eine insgesamt schnelle Zielerreichung der „Klimaneutralität (Emissionsfreiheit) 2035“ zu erreichen.

In der Einzeluntersuchung zeigt der Ausbau der Photovoltaik das günstigste Verhältnis von Kapitaleinsatz zu Emissionsminderung. Er wird als prioritär eingestuft. Es ist dies die einzige (inner)städtische Maßnahme, um eine bilanzielle Emissionsfreiheit zu erreichen.

Mit der Photovoltaik geht die empfohlene Verbesserung aller Dachflächen einher. Steht das Gerüst, sind Dach- und Steildächer zu verbessern, so dass eine erneute Gerüststellung in der geplanten Lebensdauer der PV vermieden wird (keine Dachsanierung in 10 Jahren, sondern sofort). An dieser Stelle ergibt sich ggf. im Einzelfall eine marginal vorgezogene Sanierung des Daches. Der erreichte energetische Stand des Daches sollte sehr gut sein, so dass in der Lebensdauer des Daches der Dämmstandard nie bereut wird, z.B. auch eine 2025 aufgebrachte Dämmschicht auch 2050 noch „zeitgemäß“ ist.

Idealerweise wird mit großen Dachflächen begonnen. Auch Photovoltaik auf kürzlich energetisch verbesserten Dachflächen bieten sich an, ebenso auf sehr sanierungsbedürftigen Dächern, die in diesem Zuge verbessert werden. Ungünstig sind Dächer, die in der Mitte eines Sanierungszyklus sind.

Aus Praxisprojekten lässt sich reflektieren, dass die Photovoltaik-Ausstattung in einem ersten Schritt eine sehr gute Basis bildet für einen anschließenden Wärmepumpeneinbau. Dies kann begründet werden mit der häufig erforderlichen Sanierung von elektrische Schaltschränken, Hausanschlüssen oder der Hauptverteilung.

2.5.7 Priorisierungsidee 2: Wärmepumpeneinbau, fossile Ersatz- bzw. Reservekessel

Abbildung 15 zeigt die Baujahre der Wärmeerzeuger, einschließlich einer farbliche Bewertung hinsichtlich potenzieller Austauschnotwendigkeiten. Es ist anzumerken, das Grund- und Spitzenlastkessel in der Darstellung enthalten sind. Im Schnitt wird jedes städtische Oldenburger Gebäude von knapp 2 Kesseln versorgt.

Etwa jeder fünfte Kessel ist älter als 25 Jahre. Ein Drittel der Kessel (rot, orange) sind älter als 20 Jahre. Dieses Drittel hat das bilanzielle Lebensende erreicht. Erfolgt hier ein Austausch gegen eine Wärmepumpe, sind keine wirtschaftlichen Ausfälle zu erwarten.

Ein weiteres Drittel der Kessel dürfte mit 15 bis 20 Jahren Alter noch als passable Reservekessel zu verwenden sein. Aus Sicht der Autoren ist es dabei sinnvoller, die Kessel möglichst komplett auszubauen und konserviert einzulagern. So ließen sie sich verwenden in Projekten, bei denen die Umrüstung auf Wärmepumpe noch nicht erfolgt ist und erst nach einigem Planungsaufwand bzw. Vorlauf folgen kann. Ob diese Kessel (Baujahre nach der Jahrtausendwende, orange) ebenfalls noch in anderen Gebäuden einsetzbar wären, ist im Einzelfall zu entscheiden.

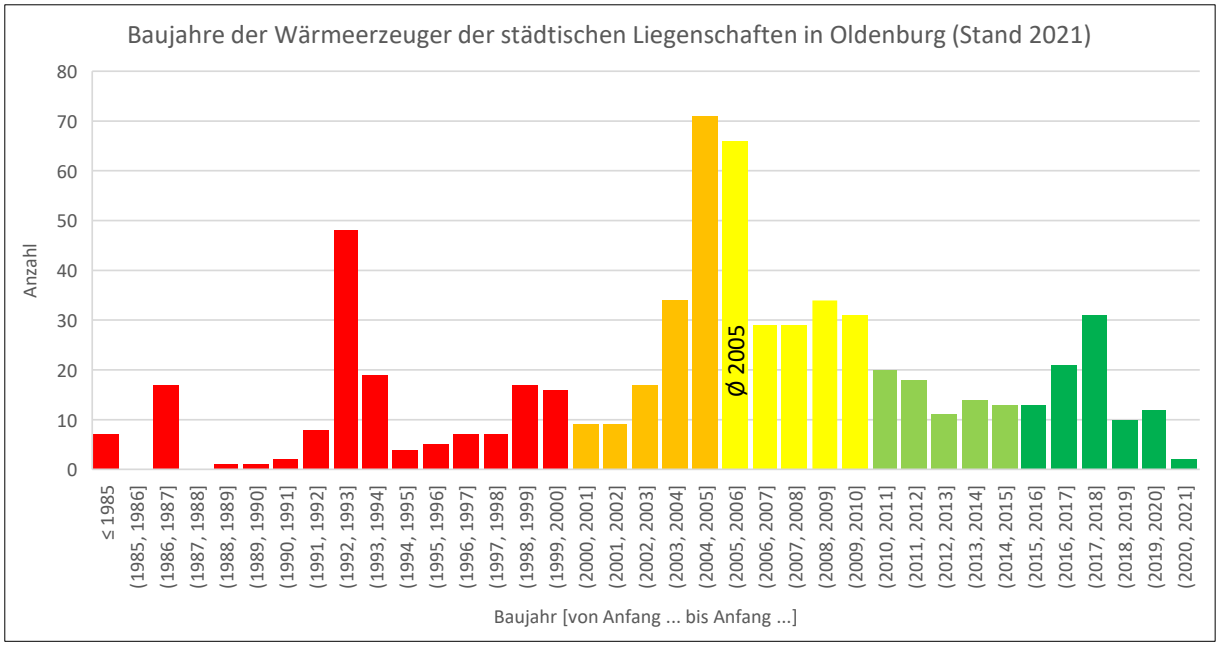


Abbildung 15 Histogramm der Häufigkeit von Bestandswärmeerzeugern im Gesamtbestand der städtischen Liegenschaften Oldenburg

Aus Sicht der Kesselsanierung sind Gebäude zu finden, deren baulicher Zustand bereits eine Wärmepumpentauglichkeit vermuten lässt. Ideal sind Gebäude aus den Baualtersklassen 1984 bis 2010, die noch die Originalkessel enthalten.

Je älter die betreffenden Projekte sind, desto wichtiger ist die Notwendigkeit von Wärmepumpen-Kaskaden. Im Zug von Sanierungen, die noch zu erwarten sind, können Teile der Kaskade rückgebaut werden. Mit den Wärmepumpen, die dabei nicht mehr benötigt werden, kann genauso verfahren werden wie mit den Kesseln: sie werden als Reservegeräte konserviert und entsprechend bei künftigen Projekten wiederverwendet.

2.5.8 Priorisierungsidee 3: Obere Geschossdecken, Kellerdecken und Einblasdämmung

Der dritte Aspekt, nach dem das Gesamtportfolio an Gebäuden gefiltert werden kann, ist das Vorhandensein von gering oder nicht gedämmten Hüllbauteilen, bei denen ein günstiges Verhältnis von Kostenaufwand zu eingesparten Emissionen gegeben ist. Gleiches gilt von Projekten mit zweischaligen Mauerwerken, bei denen noch keine Kerndämmung vorhanden ist.

Diese Projekte sollten prioritär umgesetzt werden. Die (mit einiger Unsicherheit behaftete) Datenbank zu den Bestandsgebäuden zeigt folgendes Bild: mehr als die Hälfte aller Fassaden sind für Einblasdämmung geeignet. Nur etwa 12% der Gebäude sind in der Kombination „Verblendmauerwerk“, aber „ungeeignet für Einblasdämmung“ markiert. Langfristig gesehen wäre hier eher Innendämmung erforderlich. In der Prioritätenliste stehen diese Gebäude weit hinten.

Auf Basis der Bestandsdaten lässt sich abschätzen, dass der Gesamtbestand aller städtischen Gebäude in Oldenburg zu etwa ⅔ bereits im vorhandenen Zustand oder nach einer der genannten kostengünstigen Dämmmaßnahmen (Themenkreis 3) wärmepumpentauglich ist.

2.5.9 Weitere Maßnahmen

Alle weiteren Bauteile (Fenster, Türen, Bodenplatten, Außenwände mit erforderlicher Außendämmung) sowie Kessel jüngeren Baualters werden in der Prioritätenliste zurückgestellt. Über sie kann entschieden werden, wenn alle Bauprojekte der Themenkreise 1 bis 3 abgearbeitet sind.

2.5.10 Berücksichtigung der Gebäude- bzw. Projektgröße

Abbildung 16 zeigt die Verteilung der Gebäude hinsichtlich ihrer Größe sowie ihres Kennwertes für den Wärmeverbrauch (Heizung und Warmwasser). Auch dies kann eine Hilfe zur Priorisierung sein. Die für Photovoltaik interessanten Projekte liegen eher im Quadranten „groß“. Die für einen Wärmepumpeneinbau prädestinierten Projekte sind in den Quadranten „gut“ zu vermuten. Die Gebäude, die günstige Bedingungen für bauliche Verbesserungen an Geschossdecken, Kellerdecken und Einblasdämmung aufweisen und anschließend wärmepumpentauglich sind, liegen eher im „mittleren“ bis „guten“ Bereich der Wärmeverbrauchskennwerte.

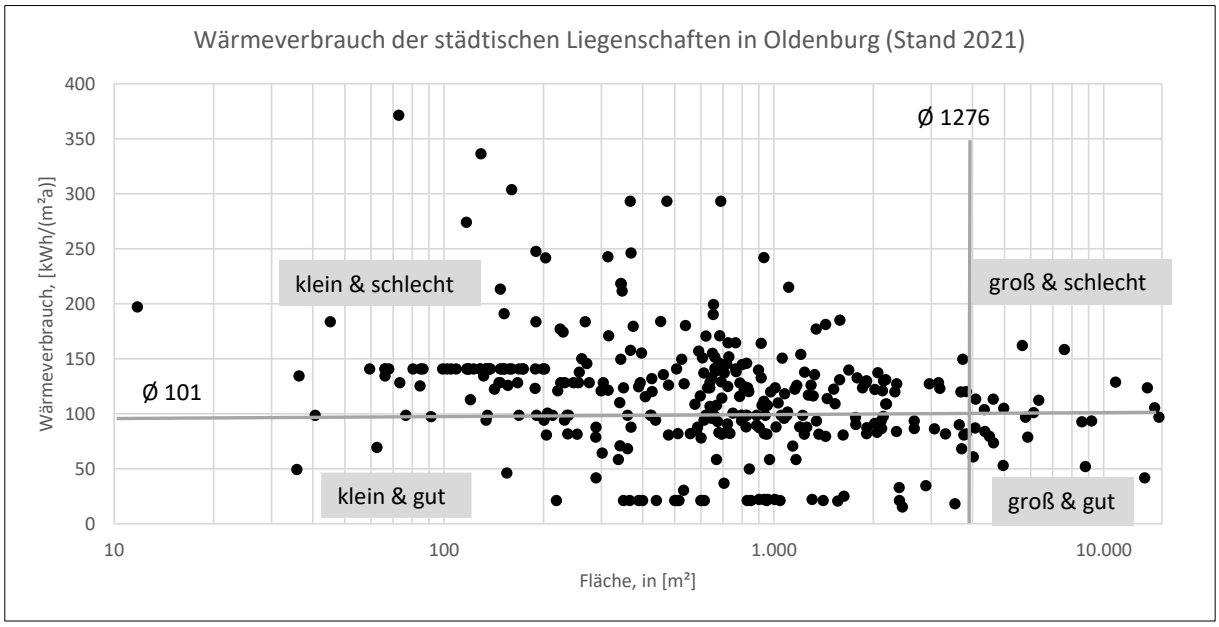


Abbildung 16 Bildung von Prioritäten nach Gebäudeverbrauch und Gebäudegröße

Projekte die voraussichtlich einen hohen Aufwand an Sanierungskosten nach sich ziehen und gleichermaßen eher kleinteilig und damit langwierig in der Umsetzung zu befürchten sind, liegen im Quadranten „klein & schlecht“ und dort eher links und oben. Abbildung 17 fasst die Handlungsempfehlung zusammen.

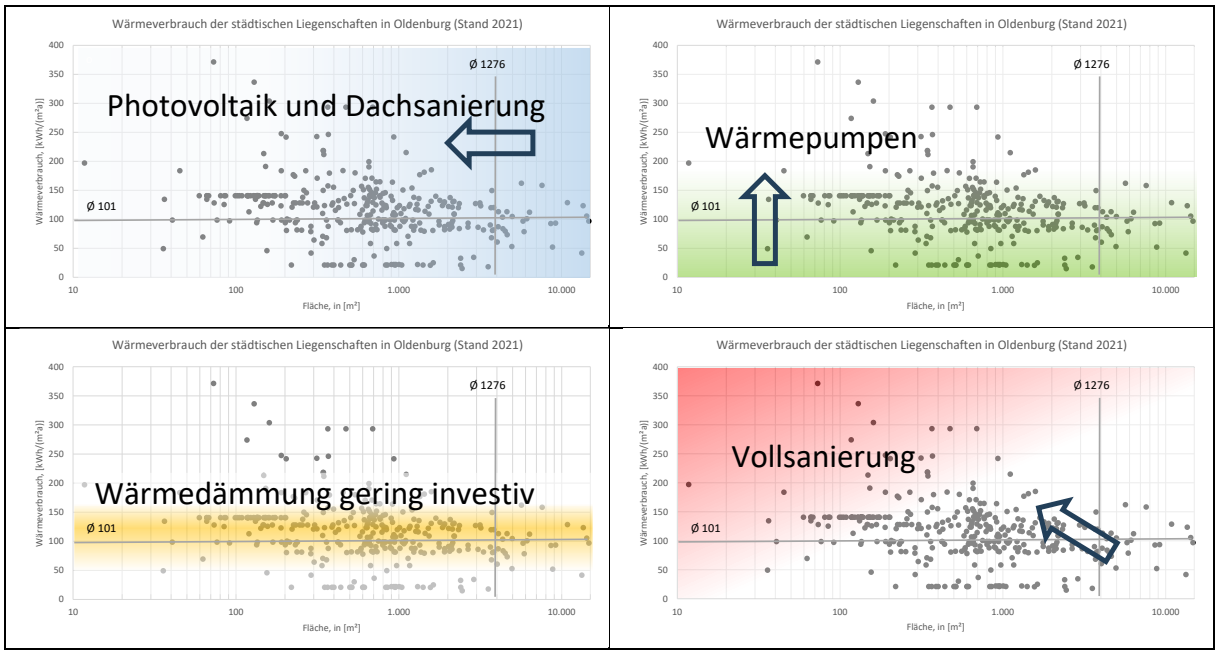


Abbildung 17 Bildung von Prioritäten mit Handlungsempfehlung

3 Vorstellung der Beispielprojekte

Die Anwendung der Exceltools „H-Wert-Rechner“ und „Energieanalyse aus dem Verbrauch“ (EAV) wird in den nachfolgenden Kapiteln anhand der Typgebäude aus den 6 Clustern beschrieben. Daher sollen die Typgebäude hier kurz vorgestellt werden. Die Basisdaten entstammen den Angaben aus den Gebäudesteckbriefen, den grafischen Übersichten und den Verbrauchsdatenblättern der Stadt Oldenburg (Vgl. Kapitel 4.2.2).

3.1 Kindertagesstätten: Kita Ernst-Löwenstein-Straße 56

Beim Typgebäude aus dem Cluster Kindertagesstätten handelt es sich um die Kita Ernst-Löwenstein-Straße 56. Das eingeschossige Gebäude wurde im Jahr 1998 errichtet und hat eine beheizte Nutzfläche von 601,14 m².

Abbildung 18 Ansichten Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56 [Quelle: Stadt Oldenburg]

Die Gebäudesubstanz befindet sich aus energetischer Sicht im Zustand entsprechend des Baualters bzw. etwas besser. Das Gebäude wurde 1998 bereits zukunftsweisend mit überdurchschnittlich guten Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werten) errichtet. Dies lässt sich anhand der Auswertung der Gebäudedaten mit dem H-Wert-Rechner (Kapitel 4.3) sowie anhand der Auswertung der monatlichen Verbrauchsdaten mit dem Exceltool „Energieanalyse aus dem Verbrauch“ (EAV, siehe Kapitel 4.4) zeigen.

Wäre die Gebäudehülle aus energetischer Sicht sanierungsbedürftig, könnten Verbesserungsmaßnahmen entsprechend der Beschreibung in Kapitel 4.5 berechnet werden.

Anlagentechnisch wird das Beispielgebäude laut Gebäudesteckbrief durch einen Gas-Brennwert-Kessel Brötje BW WGB 28 E aus dem Baujahr 2012 versorgt, welcher eine Leistung von 28 kW hat. Die Warmwasserbereitung erfolgt zentral durch den Gaskessel mit einem Speichervolumen von 120 Litern und dauerhafter Zirkulation. Eine Photovoltaikanlage ist nicht vorhanden.

Die jährlichen Messdaten entsprechen für die Jahre 2022 bis 2024 einem brennwertbezogenen und witterungskorrigierten Wärmeverbrauchswert von 84,5 kWh/(m²a) bzw. einem Stromverbrauchswert von 6,67 kWh/(m²a).

Da der Wärmebedarf des Gebäudes bereits gering ist, wird in den folgenden Kapiteln keine Verbesserung der Gebäudehülle untersucht und der Fokus auf die Anlagentechnik gelegt. Idealerweise sollte dabei die Warmwasserbereitung dezentralisiert werden, um Verluste zu reduzieren, siehe Kapitel 2.3.3.

In Kapitel 4.6 wird beispielhaft beschrieben, wie eine bivalente Auslegung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe für die Heizung bei Deinstallation des Gaskessels erfolgen kann.

Clusterwerte

Mit ihrer Fläche von ca. 600 m² ist die Beispiel-Kita etwas kleiner als der Durchschnitt des Clusters, der bei 769 m² liegt. Insgesamt ist der Cluster „Kita“ mit 6 % an der Gesamtfläche der Liegenschaften der kleinste. Es gibt – Stand 2020 – 35 Liegenschaften dieser Nutzung in Oldenburg (einschließlich geplanter Neubauten).

Der Anteil von denkmalgeschützten Kitas ist vernachlässigbar (unter 1 %). Etwa ein Drittel dieses Clusters sind inhomogene Liegenschaften, d.h. in verschiedenen Baujahren entstanden. Das ist unterdurchschnittlich – Kitas gehören zu den Gebäuden, deren Datenerfassung sich als schnell und einfach einschätzen lässt.

Der Durchschnittswärmeverbrauch dieses Clusters liegt bei 82 kWh/(m²a), damit tragen die Kitas zu 5 % zum Gesamtwärmeverbrauch aller Liegenschaften bei (unterdurchschnittlich). Der Stromverbrauchskennwert liegt bei 19 kWh/(m²a), was ebenfalls unterdurchschnittlich ist und 5 % des Gesamtverbrauchs für Strom ergibt.

3.2 Grundschulen

Die durchschnittliche Grundschule in Oldenburg weist eine Fläche von 1215 m² auf. Mit 18 % an der Gesamtfläche liegt der Cluster im Mittelfeld. Es gibt – Stand 2020 – 66 Liegenschaften dieser Nutzung in Oldenburg (einschließlich geplanter Neubauten).

Der Anteil von denkmalgeschützten Grundschulen liegt bei 9 % und ist damit durchschnittlich. Etwa 67 % dieses Clusters sind inhomogene Liegenschaften, d.h. in verschiedenen Baujahren entstanden. Das ist ein hoher Anteil. Es gibt also in 2 von 3 Schulen Erweiterungen und Anbauten, die im Zeitverlauf hinzukamen. Die Datenerfassung gestaltet sich entsprechend aufwändiger.

Der Durchschnittswärmeverbrauch dieses Clusters liegt bei 100 kWh/(m²a), damit tragen die Grundschulen zu 18 % zum Gesamtwärmeverbrauch aller Liegenschaften bei (durchschnittlich). Der Stromverbrauchskennwert liegt bei 12 kWh/(m²a), was deutlich unterdurchschnittlich ist und 10 % des Gesamtverbrauchs für Strom ergibt.

3.2.1 Grundschule Küpkersweg 16

Die Grundschule Küpkersweg 16 besteht aus 3 Gebäudeteilen: einem Altbau von 1918 (338,88 m²), einem Anbau von 1961/1971 (345,59 m²) sowie einer Mehrzweckhalle von 1997 (315,39 m²). Die Gesamtfläche beträgt 999,86 m². Die im Dachgeschoss befindliche Hausmeisterwohnung ist nicht Bestandteil der Betrachtungen.

An der Schule lernen und arbeiten ca. 100 Personen.

Die Wärmeversorgung übernimmt ein Gaskessel Brötje Guss TE 150, Bj. 1998, mit einer Leistung von 152 kW. Zudem wird der Verwaltungsbereich durch einen Gaskessel Brötje WGB 2N, Bj. 2005, mit einer Leistung von 21 kW versorgt.

Die jährlichen Messdaten entsprechen für die Jahre 2022 bis 2024 einem brennwertbezogenen und witterungskorrigierten Wärmeverbrauchswert von 174,4 kWh/(m²a) bzw. einem Stromverbrauchswert von 13,35 kWh/(m²a).

Abbildung 19 Ansichten Grundschule Küpkersweg 16 [Quelle: Stadt Oldenburg]

3.2.2 Grundschule Alexanderstraße 500

Ein weiteres Beispielgebäude ist die Grundschule Alexanderstraße 500. Das Schulgebäude aus dem Baujahr 1951 hat eine beheizte Fläche von 1.433,74 m². Es wird beheizt durch 2 Gaskessel Viessmann NT TX3, Bj. 2003 mit einer Leistung von 2 x 170 kW. Die Schule wird von ca. 170 Personen genutzt.

Die Klassenzimmer wurden im Jahr 2023 mit dezentralen Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung ausgestattet, dies sind 10 Stück vom Typ Aerex Geniovent.X.900 H-W(D) mit einem Volumenstrom von 10 x 800 m³/h.

Die jährlichen Messdaten entsprechen für die Jahre 2022 bis 2024 einem brennwertbezogenen und witterungskorrigierten Wärmeverbrauchswert von 213 kWh/(m²a) bzw. einem Stromverbrauchswert von 16,93 kWh/(m²a).

Abbildung 20 Ansichten Grundschule Alexanderstraße 500 [Quelle: Stadt Oldenburg]

Zur Grundschule gehört zudem eine Sporthalle aus dem Baujahr 1967 (705,68 m²), die 2011/2012 umfänglich baulich saniert wurde. Sie wird beheizt durch einen Gaskessel Brötje WGB EVO 20H aus dem Bj. 2016 mit einer Leistung von 20 kW. Für die Warmwasserbereitung steht ein Frischwassermodul, Bj. 2011, mit einem Speichervolumen von 300 l zur Verfügung. die Umkleiden und Duschräume wurden 2011 mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und einem Volumenstrom von 2.040 m³/h ausgestattet.

Der Wärmeverbrauchswert der Sporthalle beträgt 60,5 kWh/(m²a), der Stromverbrauchswert liegt bei 10,64 kWh/(m²a) – auf Basis der Jahre 2022 bis 2024.

3.3 Weiterführende Schulen: IGS Kreyenbrück

Als Muster für die Weiterführenden Schulen dient die IGS Kreyenbrück in der Brandenburger Straße 40. Zur Liegenschaft gehören 3 Gebäude.

Gebäude 1: Das Schulgebäude aus den Baujahren 1974/1979/1995 hat eine beheizte Fläche von 8.338 m². Die Schule wurde 2019 und 2020 durch eine „Serielle Sanierung“ (d.h. mit vorgefertigten Elementen) im Bereich der Fassade saniert, zudem erfolgte in dieser Zeit die Dachsanierung (U-Wert-Verbesserung der opaken Flächen jeweils von ca. 1,2 W/(m²K) auf 0,15 W/(m²K)). Die transparenten Bauteile wurden von ca. 4,3 W/(m²K) auf ca. 0,99 W/(m²K) ertüchtigt.

Gebäude 2: Die 3-Feld-Sporthalle aus dem Bj. 1977 hat eine Energiebezugsfläche von 2.339 m². Sie wurde von 09/2022 bis Ende 2025 einer Vollsanierung zu einem BEG-Effizienzgebäude 40-EE unterzogen.

Gebäude 7: Die Mensa, Bj. 2015, hat eine beheizte Fläche von 1.814 m².

Abbildung 21 Ansichten IGS Kreyenbrück [Quelle: Stadt Oldenburg]

Die Anlagentechnik der Liegenschaft ist komplex und befindet sich noch in einer Optimierungsphase, weshalb sie in einem gesonderten studentischen Projekt bearbeitet wird.

Die Gebäude 1 und 7 (Schule und Mensa) werden seit 2023 durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe vom Typ AERMEC NRG1100 (Leistung 212,5 kW) versorgt. Es handelt sich um ein hybrides Konzept in Verbindung mit einem Gasbrennwertkessel Viessmann Vitocrossal 200 CM2-620 (Bj. 2013) mit einer Leistung von 620 kW. Für die Warmwasserbereitung besteht seit 2023 eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe vom Typ Varmeco eXm 20 mit einer Leistung von 20 kW.

In Gebäude 2 (Sporthalle) sind zwei Luft-Wasser-Wärmepumpen in Kaskade geschaltet, der Pufferspeicher hat ein Volumen von 5.400 l. Die Warmwasserbereitung erfolgt über Wasser-Wasser-Durchlauferhitzer, die über den Pufferspeicher versorgt werden. Auf dem Dach befindet sich eine PV-Anlage mit 204 kWp.

Clusterwerte

Mit ihrer Fläche von ca. 10.441 m² (ohne Sporthalle) verteilt auf 2 Gebäude liegt die Schule über dem Flächendurchschnitt aller weiterführenden Schulen. Diesem größten der Oldenburger Cluster (34 %) sind 45 Liegenschaften mit einer mittleren Größe von 3.297 m² zugeordnet.

Die Denkmalquote liegt leicht unter dem Schnitt (8 %). Die weiterführenden Schulen sind mit mehr als 70 % der Cluster, der die inhomogenste Baustruktur aufweist, d.h. die Liegenschaften sind geprägt von Anbau und Vergrößerung, Abriss und Neubau. Die IGS Kreyenbrück ist an dieser Stelle eine repräsentative Vertreterin.

Der Durchschnittswärmeverbrauch dieses Clusters liegt bei 103 kWh/(m²a), damit tragen die Weiterführenden Schulen zu 34 % zum Gesamtwärmeverbrauch aller Liegenschaften bei (durchschnittlich). Der Stromverbrauchskennwert liegt bei 19 kWh/(m²a), was leicht unterdurchschnittlich ist und 28 % des Gesamtverbrauchs für Strom ergibt.

3.4 Berufsschulen: Berufsbildende Schule III Am Heidbrook 10

Das Gebäude aus dem Baujahr 2000 hat eine beheizte Fläche von 8.798 m² inkl. Gastronomie. Die Beheizung erfolgt über einen Gaskessel. Seit 2025 ist eine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 237 kWp installiert.

Abbildung 22 Ansichten BBS III Am Heidbrook 10 [Quelle: Stadt Oldenburg]

Die jährlichen Messdaten entsprechen für die Jahre 2022 bis 2024 einem brennwertbezogenen und witterungskorrigierten Wärmeverbrauchswert von 53,2 kWh/(m²a) bzw. einem Stromverbrauchswert von 21,85 kWh/(m²a).

Clusterwerte

Mit ihrer Fläche von ca. fast 9.000 m² liegt die Berufsschule ebenfalls etwas über dem Flächendurchschnitt aller Berufsschulen. Der insgesamt kleine Cluster (12 %) umfasst nur wenige Liegenschaften (8) mit einer mittleren Fläche von 6.387 m².

Es gibt keine Denkmale. Die Gebäude weisen eine überdurchschnittlich homogene Baualtersstruktur auf (88 % homogene Liegenschaften), eignen sich also für eine schnelle Datenerfassung.

Der Durchschnittswärmeverbrauch dieses Clusters liegt bei 72 kWh/(m²a), damit tragen die Berufsschulen zu 8 % zum Gesamtwärmeverbrauch aller Liegenschaften bei, das ist deutlich unterdurchschnittlich. Der Stromverbrauchskennwert liegt bei 26 kWh/(m²a), was leicht überdurchschnittlich ist und 13 % des Gesamtverbrauchs für Strom ergibt.

3.5 Sporthallen: Sporthalle Feststraße 10

Die Sporthalle in der Feststraße 10 gehört zur IGS Helene-Lange-Schule und wurde im Jahr 2000 mit einer Fläche von 1.912,08 m² errichtet. Die Heizung erfolgt über einen Gaskessel Brötje L 240 mit 240 kW, Bj. 2000. Dieser übernimmt auch die Warmwasserbereitung (Pufferspeicher 2.000 l). Die Sporthalle ist mit einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Volumenstrom: 6.500 m³/h) ausgestattet.

Hinsichtlich des Verbrauchs liegt die Sporthalle für die Jahre 2022 bis 2024 bei einem Wärmeverbrauchswert von 80,6 kWh/(m²a) bzw. einem Stromverbrauchswert von 15,92 kWh/(m²a).

Abbildung 23 Sporthalle Feststraße 10 [Quelle: Stadt Oldenburg]

Clusterwerte

Mit ihrer Fläche von über 1.900 m² liegt die Sporthalle deutlich über dem Flächendurchschnitt aller Turn- und Sporthallen. Es gibt im Oldenburger Bestand 42 Liegenschaften mit einer mittleren Größe von 1.003 m². Damit umfasst dieser Cluster ca. 10 % des Gesamtbestandes.

Es gibt kaum Denkmale (9 % der Fläche). Die Gebäude weisen die größte Homogenität hinsichtlich der Baualtersstruktur auf (89 %), eignen sich also für eine schnelle Datenerfassung.

Der Durchschnittswärmeverbrauch dieses Clusters liegt bei 124 kWh/(m²a), damit tragen die Sport- und Turnhallen zu 12 % zum Gesamtwärmeverbrauch aller Liegenschaften bei, das ist leicht überdurchschnittlich. Der Stromverbrauchskennwert liegt bei 33 kWh/(m²a), was ebenfalls überdurchschnittlich ist und 14 % des Gesamtverbrauchs für Strom ergibt. Es sind die größeren Gebäudehöhen dieser Hallen, die zwangsläufig zu schlechteren Kennwerten führen – abgesehen davon erscheinen die Kennwerte durchschnittlich.

3.6 Verwaltungsgebäude: Neues Rathaus (Bürgerbüro) Pferdemarkt 14

Die Liegenschaft besteht aus einem denkmalgeschützten Altbau des Baujahres 1853 mit einer beheizten Fläche von 3.312,54 m² sowie einem „Neubau“ Bj. 1986 mit 3.823,8 m².

Beide Gebäudeteile werden durch zwei Gaskessel aus dem Baujahr 2006 beheizt, die eine Leistung von 283 + 248 kW haben. Für die Lüftung stehen in einem Teilbereich des neueren Gebäudes 2 Lüftungsanlagen Bj. 1984 mit einem Volumenstrom von 800 + 3.500 m³/h zur Verfügung.

Die jährlichen Messdaten entsprechen für die Jahre 2022 bis 2024 einem brennwertbezogenen und witterungskorrigierten Wärmeverbrauchswert von 69,4 kWh/(m²a) bzw. einem Stromverbrauchswert von 35,96 kWh/(m²a).

Abbildung 24 Verwaltungsgebäude Feststraße 10 [Quelle: Stadt Oldenburg]

Clusterwerte

Das Rathaus mit seiner Fläche von über 7.000 m² in 2 Gebäuden weist eine überdurchschnittliche Fläche auf. Insgesamt sind 26 Gebäude diesem Cluster zuzuordnen (kleiner Cluster mit 10 %). Deren mittlere Gebäudegröße beträgt 1.654 m².

In diesem Cluster beträgt der Denkmalanteil 40 % der Fläche – deutlich überdurchschnittlich. Auch sind die Verwaltungsgebäude sehr inhomogen gestaltet (36 % der Liegenschaften weisen mehr als eine Baualtersklasse auf). Für beide Eigenschaften ist das Rathaus ein guter Vertreter. Beides erschwert den Umgang mit diesem Cluster: die Datenerfassung und auch die energetische Sanierung.

Der Durchschnittswärmeverbrauch dieses Clusters liegt bei 102 kWh/(m²a), damit tragen die Verwaltungsgebäude zu 10 % zum Gesamtwärmeverbrauch aller Liegenschaften bei (durchschnittlich). Der Stromverbrauchskennwert liegt bei 31 kWh/(m²a), was überdurchschnittlich ist und 13 % des Gesamtverbrauchs für Strom ergibt. Dies ist der Nutzung geschuldet.

3.7 Restcluster und Überblick

Als konkreter Vertreter des „Restclusters“ wurde kein Gebäude gewählt. Dieser Cluster umfasst teils Museen, Feuerwehrgebäude, aber auch einige Wohnbauten. Tabelle 5 zeigt die Übersicht der Eigenschaften – einschließlich aller anderen Cluster im Vergleich.

Cluster	Liegenschaften [Anzahl]	Fläche [m²]	Anteile	Ø Größe [m²]	Denkmalfläche [m²]	Anteile	Inhomogenfläche [m²]	Anteile
Kindertagesstätte	35	26.927	6,1%	769	238	0,9%	8.955	33,3%
Grundschule	66	80.174	18,2%	1.215	7.366	9,2%	54.066	67,4%
Weiterführende Schule	45	148.357	33,7%	3.297	12.454	8,4%	104.997	70,8%
Berufsschule	8	51.094	11,6%	6.387	0	0,0%	5.884	11,5%
Turn-, Sporthalle	42	42.136	9,6%	1.003	3.925	9,3%	4.624	11,0%
Verwaltungsgebäude	26	43.009	9,8%	1.654	17.161	39,9%	15.630	36,3%
Restcluster	123	48.396	11,0%	393	5.211	10,8%	9.944	20,5%
alle	345	440.092	100,0%	1.276	46.355	10,5%	204.101	46,4%

Tabelle 5 Überblick über die Gebäudestruktur der städtischen Gebäude in Oldenburg

Das Gebäude des Restclusters ist im Schnitt sehr klein, durchschnittlich oft ein Denkmal und unterdurchschnittlich oft inhomogen – aus Sicht der Baualtersstruktur. Bei der Hochrechnung für den Gesamtbestand in Kapitel 5 wird es berücksichtigt.

Cluster	Wärmeverbrauch Q [kWh/a]	Wärmeverbrauch q [kWh/(m²a)]	Anteile	Stromverbrauch Q_{el} [kWh/a]	Stromverbrauch q_{el} [kWh/(m²a)]	Anteile
Kindertagesstätte	2.196.753	82	4,9%	515.058	19	5,1%
Grundschule	8.022.927	100	18,0%	979.871	12	9,7%
Weiterführende Schule	15.213.020	103	34,1%	2.813.391	19	27,9%
Berufsschule	3.688.528	72	8,3%	1.339.247	26	13,3%
Turn-, Sporthalle	5.236.270	124	11,7%	1.405.167	33	13,9%
Verwaltungsgebäude	4.406.977	102	9,9%	1.347.515	31	13,4%
Restcluster	5.885.191	122	13,2%	1.691.229	35	16,8%
alle	44.649.667	101	100,0%	10.091.478	23	100,0%

Tabelle 6 Überblick über die Energieverbrauchsstruktur der städtischen Gebäude in Oldenburg

Tabelle 6 zeigt die Energiemengen für Wärme und Strom im Bestand (Datenstand 2021). Das Gebäude des Restclusters weist einen erhöhten Wärme- und Stromverbrauch auf. Ersteres könnte mit der Gebäudegröße zu tun haben, da kleine Gebäude im Schnitt eher wenig kompakt gebaut sind. Der erhöhte Stromverbrauch ist ohne genauere Analyse nicht zu klären.

4 Excelanwendung und Planung der Einzelprojekte

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Exceltools erläutert, mit denen die Vorplanung der Einzelgebäude erfolgen kann. Im Rahmen dieses Projektes wurden diese Tools angewendet, um die Beispielprojekte aus Kapitel 3 zu untersuchen.

4.1 Erklärung der relevanten Kennwerte

Der nachfolgende Abschnitt erläutert wichtige Begriffe, die in den Excel-Planungstools zur Anwendung kommen.

4.1.1 Beheizte Nutzfläche

Die beheizte Nutzfläche entspricht der Fläche des Gebäudes, die bei voller Nutzung des Gebäudes zu beheizen wäre. Sie wird auch als Energiebezugsfläche A_{EB} oder beheizte Nettogrundfläche (NGF) bezeichnet. Leerstand oder Teilbeheizung werden hier nicht abgezogen.

4.1.2 Wärmedurchgangskoeffizient U

Die energetische Qualität eines Bauteils wird durch den Wärmedurchgangskoeffizient U (in W/(m²K), früher: k-Wert) beschrieben. Er gibt an, welche Energiemenge stündlich als Transmissionswärmeverlustleistung durch einen Quadratmeter des Bauteils bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin strömt. Das Einsparpotenzial durch Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle ergibt sich somit aus einer Verbesserung (Verringerung) des U-Wertes.

Trotz der scheinbar identischen Einheit W/(m²K) sind U-Wert und h-Wert (Vgl. Kapitel 4.1.6) nicht vergleichbar – der U-Wert bezieht sich auf die Hüllfläche des Gebäudes, während der h-Wert sich auf die beheizte Nutzfläche des Gebäudes bezieht.

4.1.3 Heizlast, Netto-Heizlast und Brutto-Heizlast

Die Heizlast ist die erforderliche Heizleistung am kältesten Tag des Standortes (Oldenburg: -9°C). Für die Heizlastermittlung sind in der DIN EN 12831-1 bzw. in der DIN-TS 12831-1 sowohl das Standardverfahren (Hüllflächenverfahren) als auch das Verbrauchsverfahren (aus Wärmemengen) beschrieben.

Die Ergebnisse beider Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Ergebnisse.

Die hier gewählte Bezeichnung „Brutto-Heizlast“ soll sich in diesem Kontext auf das Standard-Hüllflächenverfahren beziehen, aus dem unter Annahme des schlechtesten Falles (Verluste aus Transmission und Lüftung, keine solaren oder inneren Wärmegewinne, ggf. Wiederaufheizlasten) eine hohe Leistung resultiert, die regelmäßig zur Überdimensionierung von Wärmeerzeugern führt. Beim Standardverfahren wird eine Heizgrenztemperatur von 20°C angesetzt (geheizt wird, bis es draußen so warm ist wie drinnen).

Die Bezeichnung Netto-Heizlast bezieht sich hier auf das Verbrauchsverfahren aus gemessenen Daten. In den Gebäudebetrieb sind somit nicht nur Verluste aus Transmission und Lüftung, sondern auch solare und innere Wärmegewinne eingeflossen, was sich in den Verbrauchsdaten niederschlägt. Durch die Ermittlung der Heizlast aus Energiemengen pro Zeit ergeben sich mittlere Leistungen und somit auch die maximale Heizlast, die deutlich unter der „Brutto-Heizlast“ liegen. Zudem liegt die gemessene Heizgrenztemperatur (siehe 4.1.4) bei Bestandsgebäuden i.d.R. bei ca. 15°C anstelle 20°C. Eine Auslegung an der „Netto-Heizlast“ führt somit zu einer kleineren Dimensionierung des Wärmeerzeugers und zu höheren Effizienzen.

Es gilt:

$$\dot{Q}_{H,netto} = H \cdot (\vartheta_{HG} - \vartheta_{min})$$

für ein Oldenburger Gebäude mit angenommener Heizgrenztemperatur von 15°C gilt:

$$\dot{Q}_{H,netto} = H \cdot (15°C - (-9)°C)$$

4.1.4 Heizgrenztemperatur

Die Heizgrenztemperatur des Gebäudes ist die Außentemperatur, ab der keine Wärmezufuhr für Heizung mehr erforderlich ist, weil die Innentemperatur durch solare und innere Wärmegewinne, beeinflusst durch Gebäudeträgheit, durch Sonneneinträge durch die transparenten Flächen der Fenster und durch Abwärme aus der Nutzung (Menschen, elektrische Geräte, Wärmeeintrag durch Zirkulationsleitungen für die Trinkwassererwärmung) gegeben ist. Viele Gebäude haben typisch bei ca. 15°C Außentemperatur eine Heizlast von 0 Watt, das heißt, erst darunter beginnt der Heizbetrieb.

Es gilt: je besser der energetische Zustand der Gebäudehülle, desto niedriger ist die Heizgrenztemperatur (Passivgebäude ca. 10°C, ungedämmte Altbauten ca. 18°C). Bei der Ermittlung der Netto-Heizlast kann vereinfacht von einer Heizgrenztemperatur von 15°C ausgegangen werden, wenn nichts Näheres bekannt ist.

Im Excel-Tool „EAV“ kann für die Auslegung der Wärmepumpe im Blatt „WP_DIM“ die gemessene Heizgrenztemperatur aus der Verbrauchsauswertung übernommen (Zelle F30) oder eine separate Eingabe getätigt werden (Zelle I30).

4.1.5 Temperaturbezogene Wärmeverlustleistung H-Wert

Jedes zu beheizende Gebäude weist eine eigene **Heizsteigung H** auf. Diese temperaturbezogene Wärmeverlustleistung in W/K oder kW/K für Transmission und Lüftung sagt aus, um wie viel (Kilo-)Watt sich die Heizlast mit jedem Kelvin Verringerung der Außentemperatur erhöht.

Die Wärmeverlustleistung H ergibt sich aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten ($H = H_T + H_V$) wie folgt:

$$H = U_m \cdot A + n \cdot V \cdot 0{,}34 \frac{Wh}{m^3 K}$$

mit:

U_m	mittlere U-Werte der Gebäudehülle
A	Hüllfläche der Gebäudehülle
n	Luftwechsel
V	beheiztes Gebäudevolumen
0,34 Wh/(m³K)	Zusammenfassung von Dichte und spezifischer Wärmekapazität von Luft

Der H-Wert ist die entscheidende Größe für die Ermittlung der Netto-Heizlast und für die Auslegung der Wärmepumpe.

Mathematisch ergibt sich der H-Wert aus der (Netto-)Heizlast des Gebäudes aus der Steigung zwischen zwei Punkten:

- Das Minimum liegt bei der Heizgrenztemperatur des Gebäudes – also der Außentemperatur, ab der keine Wärmezufuhr für Heizung mehr erforderlich ist. Viele Gebäude haben typisch bei ca. 15°C Außentemperatur eine Heizlast von 0 Watt, das heißt, erst darunter beginnt der Heizbetrieb.
- Das Maximum entspricht der Heizlast in (Kilo-)Watt am kältesten Tag des Standortes (Oldenburg -9°C).

Für den Standort Oldenburg gilt vereinfacht:

- Der Temperaturunterschied zwischen beiden Punkten beträgt am Standort Oldenburg 15°C - (-9°C) = 24 K. Die Netto-Heizlast am kältesten Tag ergibt sich aus dem H-Wert multipliziert mit der Temperaturdifferenz von 24 K.
- Der H-Wert kann aus (z. B.) monatlichen oder wöchentlichen Verbrauchsdaten ermittelt werden. In dem Fall werden die Verbrauchsdaten mehrerer Messzeiträume durch die jeweilige Zeit (in Stunden) geteilt, woraus sich mehrere Leistungspunkte über einer mittleren Außentemperatur des Zeitraums ergeben. Hierfür steht z. B. das kostenfreie Excel-Tool „Energieanalyse aus dem Verbrauch“ (EAV) zur Verfügung, welches eine Auswertung der Daten ermöglicht.

Die Trendlinie dieser Punkte (= Heizsteigung) wird in einem Leistungs-Außentemperatur-Diagramm dargestellt:

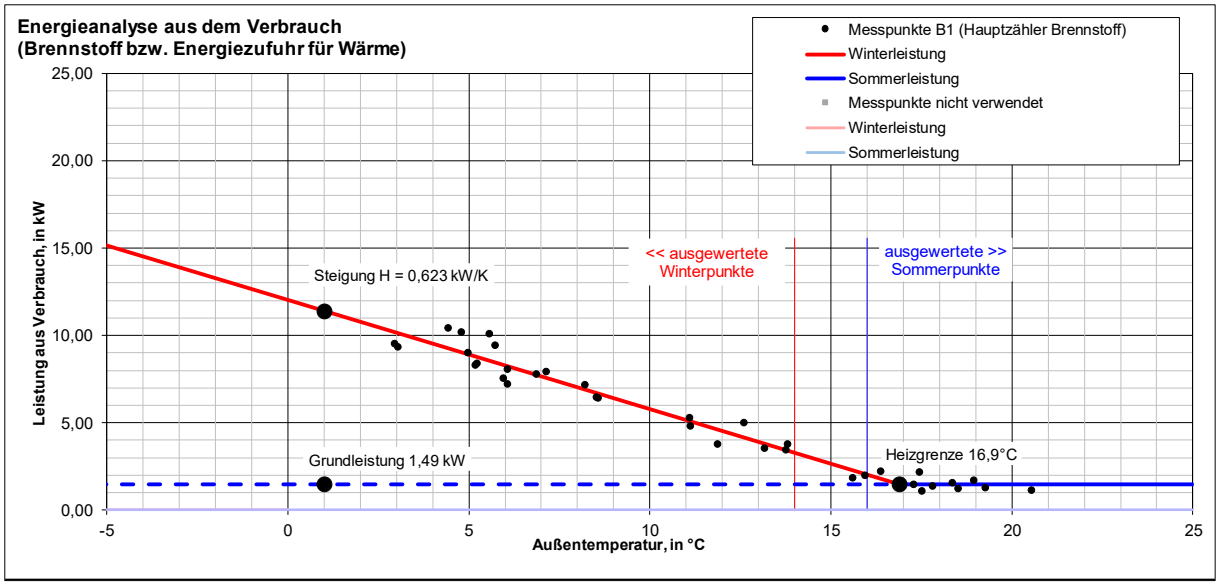


Abbildung 25 Wärmeverlustleistung (H-Wert) eines Gebäudes, Darstellung mit dem Excel-Tool „EAV“

Der H-Wert benötigt keine weitere Witterungskorrektur, er ist in verschiedenen Jahren gleich hoch - Vorausgesetzt das Nutzerverhalten wird nicht geändert. Der Unterschied zwischen warmen und kalten Jahren ist: in warmen Jahren liegen die Messpunkte weiter rechts im Bild, weil es wärmere Wochen oder Monate gab. In allen Jahren streuen die Messpunkte rund um die rote Ausgleichsgerade.

4.1.6 Temperatur- und nutzflächenbezogene Wärmeverlustleistung h-Wert

Der **Fingerabdruck des Gebäudes h** (in W/m²K) bzw. die nutzflächenbezogene Heizsteigung beschreibt die Wärmeverlustleistung des Gebäudes incl. Nutzung (in Watt) bezogen auf die real beheizte Nutzfläche A_{EB} (in m²) und bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin.

Der h-Wert wird demnach ermittelt aus der Heizsteigung H (in W/K), geteilt durch die beheizte Fläche A_{EB}.

$$\mathrm{h} = \frac{H}{A_{EB}}$$

Sind keine Angaben aus Verbrauchsdaten bekannt, kann der h-Wert mit dem bereitgestellten H-Wert-Rechner durch eine realistische Eingabe des Ist-Zustandes des Gebäudes ermittelt werden, siehe Kapitel 4.3. Über die Multiplikation mit der beheizten Fläche ergibt sich wiederum der für die Wärmepumpenauslegung relevante H-Wert. Aus Heizsteigung H und Temperaturdifferenz (Oldenburg: 24 K) wird die maximale Heizlast als Netto-Heizlast berechnet.

Trotz der scheinbar identischen Einheit W/(m²K) sind U-Wert (siehe 4.1.2) und h-Wert nicht vergleichbar – der U-Wert bezieht sich auf die Hüllfläche des Gebäudes, während der h-Wert sich auf die beheizte Nutzfläche des Gebäudes bezieht.

sehr schlecht	2 … 3 W/(m²K)	Altbau unsaniert
schlecht	1,5 … 2,5 W/(m²K)	Altbau teilsaniert
mittel	1,0 … 2,0 W/(m²K)	Bestand der 1980/90er
gut	0,7 … 1,3 W/(m²K)	EnEV-Neubau
sehr gut	0,5 … 1,0 W/(m²K)	Passivhaus, Effizienzhäuser

Abbildung 26 Ampel zur Beurteilung des h-Wertes für Wohnbauten [Jagnow/Wolff]

Im h-Wert wird die Kubatur ($A_{Hüllfläche}/V_{extern}$-Verhältnis) bereits berücksichtigt ($A_{Hüllfläche}/A_{EB}$). Die in Abbildung 26 gezeigte Abstufung ist daher repräsentativ für Gebäude mit typischen Geschosshöhen und somit für Wohngebäude, Kindertagesstätten u. ä. anwendbar. Für die Nichtwohngebäude der 6 Cluster wurde die in Kapitel 2.1.1 beschriebene Bewertung entwickelt.

Insbesondere für Gebäude mit deutlich abweichenden Geschosshöhen wie Hallenbauten (Sporthallen) muss die Beurteilung angepasst werden. Hier entfällt auf die Hüllfläche zwar ein großes Volumen, jedoch ist bei großen Lufträumen eine deutlich geringere Energiebezugsfläche vorhanden, wodurch rechnerisch größere h-Werte entstehen.

Aus dem h-Wert lässt sich durch Multiplikation mit den Heizgradstunden G_{15} (kKh/a) vereinfacht die vom Wärmeerzeuger abgegebene flächenspezifische Nutzenergie für Raumheizung (in kWh/(m²a) ableiten:

$$q = h \times G_{15}$$

Multipliziert mit der Energiebezugsfläche A_{EB} ergibt sich die Energiemenge für Raumheizung in kWh/a.

4.2 Datenbasis für einzelne Projekte

Der nachfolgende Abschnitt fasst die Daten zusammen, die vorliegen müssen, um die vereinfachten Planungstools auf Excel-Basis anwenden zu können.

4.2.1 Checkliste Datenbeschaffung

Für die Anwendung der Excelwerkzeuge H-Wert-Rechner und EAV sind wenige Eingabedaten erforderlich, die im Folgenden für die Tools aufgeführt werden (x = notwendige Angabe, (x) = optionale Angabe). Für beide Exceltools gilt: lediglich die gelb hinterlegten Felder mit blauer Schrift sind Eingabefelder.

Folgende Daten sollten vorbereitend gesammelt werden:

Notwendige Daten (bei inhomogenen Liegenschaften ggf. gebäudescharf)	H-Wert-Rechner	EAV-Tool
Einordnung in Gebäudekategorie ○ Kindertagesstätte ○ Grundschulen ○ Weiterführende Schulen (z. B. Gymnasien, Realschulen, Hauptschulen, etc.) ○ Berufsschulen ○ Sporthallen ○ Verwaltungsgebäude	x	
beheizte Nettogrundfläche [m²]	x	x
Standort (hier: Oldenburg)		x
sofern bekannt: Anzahl der Nutzer (Personenzahl)	(x)	(x)
Baujahr bzw. Einordnung in eine Baualtersklasse	x	
ca. monatliche Zählerstände für: ○ Brennstoffzähler / ggf. Wärmemengenzähler ○ ggf. Stromzähler		 x (x)
Enthält der Verbrauch Warmwasser? ○ ja ○ nein		x

Notwendige Daten (bei inhomogenen Liegenschaften ggf. gebäudescharf)	H-Wert-Rechner	EAV-Tool
Einordnung des energetischen Zustandes der Hüllflächenbauteile (alternativ Eingabe von Flächen und U-Werten): Außenwand o gemäß Altersklasse o minimal (ca. 2…4 cm Dämmung) o mäßig (ca. 5…7 cm Dämmung) o mittel (ca. 8…11 cm Dämmung) o gut (ca. 12…15 cm Dämmung) o sehr gut (ca. 16…20 cm Dämmung) o best (ca. 20…30 cm Dämmung)	x	
Fenster o gemäß Altersklasse o minimal (Einscheibenverglasung) o mäßig (2-Scheiben-Iso) o mittel (2-Scheiben-Wärmeschutz 90er) o gut (2-Scheiben-Wärmeschutz neu) o sehr gut (3-Scheiben-Wärmeschutz) o best (Passivhaus)	x	
Türen o gemäß Altersklasse o minimal (bis 1970er) o mäßig (1980er) o mittel (1990er) o gut (2000er) o sehr gut (2020er) o best (Passivhaus)	x	
oberer Abschluss o gemäß Altersklasse o minimal (ca. 2…4 cm Dämmung) o mäßig (ca. 5…7 cm Dämmung) o mittel (ca. 8…11 cm Dämmung) o gut (ca. 12…15 cm Dämmung) o sehr gut (ca. 16…20 cm Dämmung) o best (ca. 20…30 cm Dämmung)	x	
unterer Abschluss o gemäß Altersklasse o minimal (ca. 2…4 cm Dämmung) o mäßig (ca. 5…7 cm Dämmung) o mittel (ca. 8…11 cm Dämmung) o gut (ca. 12…15 cm Dämmung) o sehr gut (ca. 16…20 cm Dämmung) o best (ca. 20…30 cm Dämmung)	x	
Lüftung o Fensterlüftung (ggf. zusätzlich Abluftanlage) o mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	x	
Hat das Gebäude eine bauliche Qualitätssicherung erfahren (Gebäudedichtheitstest und Wärmebrückenminimierung)? o ja o nein	x	

Tabelle 7 Checkliste der notwendigen Daten für H-Wert-Rechner und EAV-Tool [eigene Darstellung]

4.2.2 Gebäudedaten der Stadt Oldenburg

Die von der Stadt Oldenburg bereitgestellten Exceldateien mit den wesentlichen Gebäudedaten sind für die Anwendung der Exceltools nützlich und in Bezug auf die erfassten Verbrauchsdaten äußerst hilfreich.

Die Beispieltabellen der Clustergebäude wurden in der Abteilung Hochbau zusammengestellt. Sie enthalten im Blatt „Gebäudesteckbrief“ die allgemeinen Daten zur Liegenschaft mit Kurzbeschreibung der einzelnen Gebäude, deren Baujahr und deren Nutzung innerhalb einer Liegenschaft. Flächenanteile der Gebäude sind ebenso enthalten wie Informationen zu erfolgten Sanierungsmaßnahmen sowie zu Wärmeerzeugern, Warmwasserbereitung, Photovoltaik, Lüftungsanlagen etc.

Unsicherheiten sollten im Einzelfall hinterfragt werden, wie in Abbildung 27 beispielhaft an der BBS III Am Heidbrook 10 gezeigt, wo die Versorgung durch Warmwasser ggf. noch in Erfahrung gebracht werden sollte.

Gebäudesteckbrief	
Gebäudetyp	Nichtwohngebäude| Berufsbildende Schule III
Gebäudeadresse	Am Heidbrook 10, 26129 Oldenburg
Gebäudeteile	Gebäude 1: Hauptgebäude inkl. Gastronomie| Bj. 2000 | AEBZ: 8.798 m²
Photovoltaik	Ab 2025: Leistung 237 kWp
Anlagentechnik	Heizung: Gas Brennwertkessel
	Warmwasser: (über BW-Kessel / Elektro-Durchlauferhitzer ??)
Besonderheit	Server 15 kW (+15 kW Redundanz), als einer von zwei Servern, die die Schulen der Stadt versorgen-> in den Stromverbräuchen enthalten
Sanierungsmaßnahmen	geplante Heizungssanierung und Austausch Gaskessel gegen Wärmepumpe

Abbildung 27 Exceldatei Gebäudedaten BBS III Am Heidbrook 10 [Quelle: Stadt Oldenburg]

Das Blatt „Grafische Übersichten“ ist hilfreich für das Verständnis der Versorgungsstruktur bei komplexeren Liegenschaften und ermöglicht durch Luftbilder die Ersteinschätzung, ob Photovoltaik auf Dachflächen möglich wäre, siehe Abbildung 28.

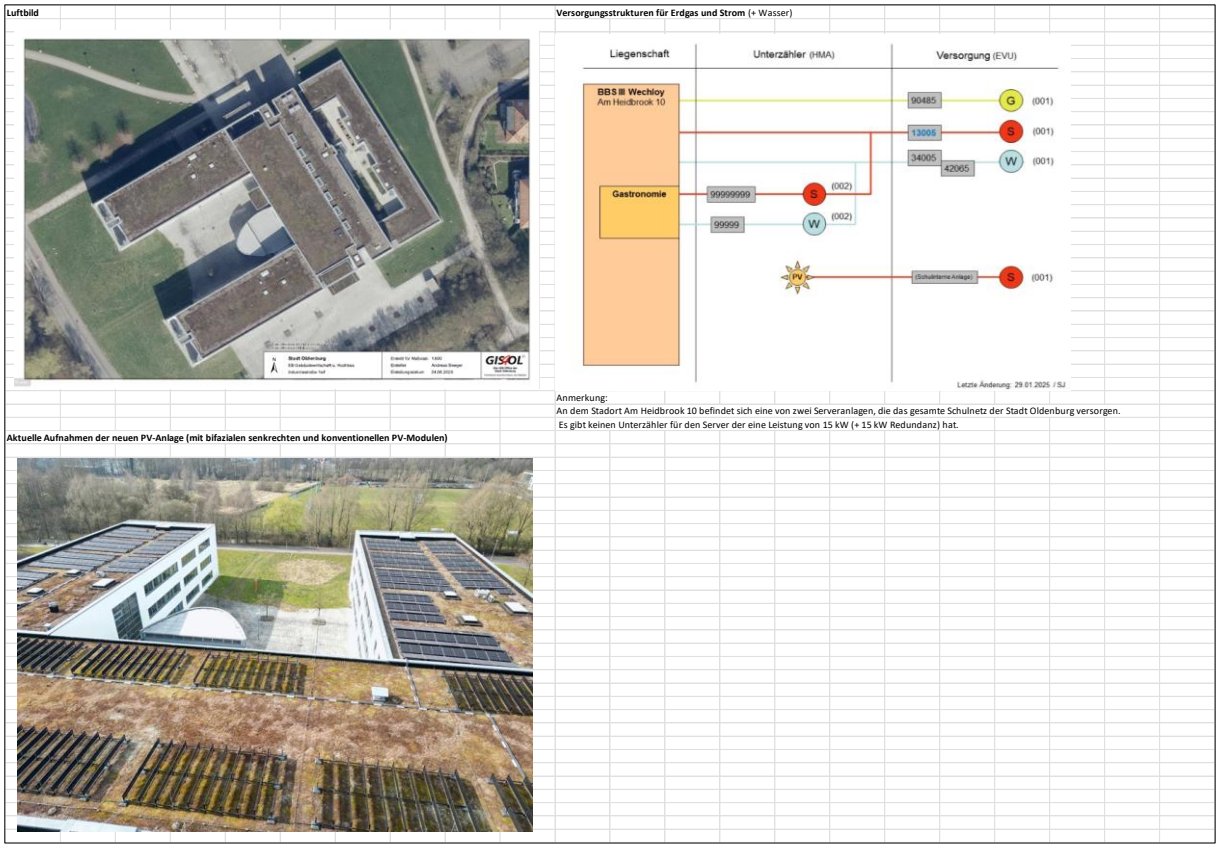


Abbildung 28 Exceldatei Gebäudedaten BBS III Am Heidbrook 10 [Quelle: Stadt Oldenburg]

Die Exceldatei enthält auch die Zählerdaten für die wesentlichen Energieträger, i. d. R. für Strom und Erdgas. Im Einzelfall gibt es auch Unterzähler für Gebäudeeinheiten. Es liegen detaillierte monatliche Messdaten für die Jahre 2017 bis 2024 vor, die die ideale Datenbasis für die Nutzung des EAV-Tools bilden, siehe Kapitel 4.4.

Die Jahresverbrauchsdaten sind ebenfalls zusammengefasst aufgeführt. Die Wärmeverbrauchsdaten sind noch nicht witterungskorrigiert, dies kann mit dem EAV-Tool, wie in Kapitel 4.4.4 beschrieben, nachgeholt werden. Eine Witterungskorrektur ist erforderlich, wenn ausschließlich Jahreswerte vorliegen (die in warmen Jahren geringer ausfallen als in kalten).

Strom [Geb. 1 (Schulgebäude inkl. Gastronomie]]				
Strombezug Zähler-Nr. 13005			**Strombezug Zähler-Nr. 13005**	
Jahreswerte	**Strom [kWh]**		**Monatswerte**	**Strom [kWh]**
2017	261.924,11		Jan 17	24.137,21
2018	259.786,10		Feb 17	25.327,07
2019	256.290,12		Mrz 17	25.000,89
2020	224.087,78		Apr 17	18.567,46
2021	206.388,74		Mai 17	21.295,42
2022	197.725,34		Jun 17	17.142,69
2023	183.462,23		Jul 17	13.267,74
2024	195.143,43		Aug 17	21.399,11
			Sep 17	23.375,08
			Okt 17	21.526,59
			Nov 17	26.818,18
			Dez 17	24.066,67

Abbildung 29 Exceldatei Gebäudedaten BBS III Am Heidbrook 10 [Quelle: Stadt Oldenburg]

Erdgas [Geb. 1 inkl. Gastronomie]			**Erdgas [Geb. 1 inkl. Gastronomie]**			
Erdgas Zähler-Nr. 90485		***Bemerkungen***	**Erdgas Zähler-Nr. 90485**			
Jahreswerte	**Verbrauch bzw. Wert [kWh]**		**Monatswerte**	**Verbrauch bzw. Wert [kWh]**	**Brennwert(kWh(Hs)/m³)**	**Zustandszahl**
2017	408.991,69		Jan 17	81.110,26	9,65	1,00
2018	457.981,93		Feb 17	71.245,22	9,65	1,00
2019	412.644,29		Mrz 17	48.701,54	9,65	1,00
2020	579.350,72		Apr 17	31.250,67	9,65	1,00
2021	648.030,68		Mai 17	13.706,02	9,65	1,00
2022	459.997,35		Jun 17	0,00	9,65	1,00
2023	392.549,36		Jul 17	0,00	9,65	1,00
2024	373.057,43		Aug 17	228,61	9,65	1,00
			Sep 17	7.580,11	9,65	1,00
			Okt 17	21.091,28	9,65	1,00
			Nov 17	59.900,18	9,65	1,00
			Dez 17	74.177,80	9,65	1,00

Abbildung 30 Exceldatei Gebäudedaten BBS III Am Heidbrook 10 [Quelle: Stadt Oldenburg]

4.2.3 Datenbasis für H-Wert-Rechner

Die Eingabe in den H-Wert-Rechner kann für eine gesamte Liegenschaft erfolgen, wenn es sich um vergleichbare Gebäude im Hinblick auf den energetischen Zustand der Gebäudehülle handelt. Sind die Gebäudezustände recht inhomogen (unterschiedliche Baujahre, z. B. denkmalgeschützter Altbau in Kombination mit neuerem Anbau), sollte möglichst für jeden Gebäudeteil eine eigene Berechnung angelegt werden.

Für die Eingabe der **allgemeinen Gebäudedaten** werden im H-Rechner lediglich benötigt (siehe Checkliste in 4.2.1):

- Einordnung in Gebäudekategorie
- beheizte Nettogrundfläche [m²]
- sofern bekannt: Anzahl der Nutzer (Personenzahl)
- Baujahr bzw. Einordnung in eine Baualtersklasse

Die vorgenannten Daten können i.d.R. dem Blatt „Gebäudesteckbrief“ entnommen werden.

Hinsichtlich der **Gebäudehülle** ist im Gegensatz zu einer DIN 18599-Bilanzierung keine detaillierte Ermittlung von U-Werten, Flächen und Volumina notwendig. Sollten diese Daten vorliegen, können sie jedoch verwendet werden. Andernfalls genügt die grobe Einschätzung der energetischen Qualität der wesentlichen Hüllflächenbauteile nach den in der Checkliste unter Kapitel 4.2.1 genannten Abstufungen für:

- Außenwand
- Fenster
- Türen
- oberer Abschluss
- unterer Abschluss

Außerdem ist die Art der Lüftung zu wählen.

Ergebnis:

Im Ergebnis liefert der H-Wert-Rechner aus der Schätzgeometrie mit sehr wenigen Eingaben für das Typgebäude die temperaturbezogene Wärmeverlustleistung H als „Fingerabdruck“ des Gebäudes in W/K (siehe Kapitel 4.1.5) sowie die temperatur- und nutzflächenbezogene Wärmeverlustleistung h in W/(m²K) (siehe Kapitel 4.1.6).

4.2.4 Datenbasis für Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV)

Als Grunddaten werden die in der Checkliste unter Kapitel 4.2.1 unter „EAV-Tool“ mit „x“ gekennzeichneten Angaben benötigt:

- Standort (hier: Oldenburg)
- beheizte Nettogrundfläche [m²]
- sofern bekannt: Anzahl der Nutzer (Personenzahl)
- ca. monatliche Zählerstände für Brennstoffzähler / Stromzähler / evtl. Wärmemengenzähler
- Angabe, ob Zählerdaten Warmwasserbereitung enthalten

Eingabedaten zur Qualität der Gebäudehülle sind nicht notwendig. Vielmehr ist der Zustand aus dem Ergebnis des h-Wertes ablesbar.

Ergebnis:

Im Ergebnis liefert das EAV-Tool aus der Verbrauchsdatenauswertung die temperaturbezogene Wärmeverlustleistung H als „Fingerabdruck“ des Gebäudes in W/K (siehe 4.1.5) sowie die temperatur- und nutzflächenbezogene Wärmeverlustleistung h in W/(m²K) (siehe 4.1.6). Da diese Daten in Abhängigkeit von der Außentemperatur dargestellt werden, ist die Witterungskorrektur integriert bzw. wird im Blatt „WittKorr_Beratung“ durch Klimafaktoren automatisch hinterlegt.

4.2.5 Datenbasis für Wärmepumpendimensionierung mit WP_DIM (im Exceltool „EAV“)

Die für die Wärmepumpenplanung mit dem Blatt „WP_DIM“ wichtigste Größe ist die temperaturbezogene Wärmeverlustleistung H. Sie kann auf zwei Wegen ermittelt werden:

- Ermittlung im Excel-Tool „H-Wert-Rechner“ im Blatt „Ein- und Ausgabe“ (siehe Kapitel 4.3), dann händischer Übertrag in „WP_DIM“
- Ermittlung im Excel-Tool „EAV“ und automatische Übernahme aus der Zählerauswertung der EAV (siehe Kapitel 4.4)

Für die Dimensionierung der Wärmepumpe oder eines Kaskadensystems sind Prüfstandsdaten von Wärmepumpenherstellern aus technischen Datenblättern, Katalogen o.ä. notwendig.

4.2.6 Datenbasis für Lastprofilgenerator

Für den Lastprofilgenerator zur Erstellung eines Stromlastprofils als Basis eine nachfolgenden Photovoltaik-Berechnung sind erforderlich:

- die „EAV“ (siehe Kapitel 4.4) für den Gasverbrauch oder Wärmeverbrauch, speziell der Sockelverbrauch für Trinkwarmwasser und gegebenenfalls die Heizgrenztemperatur
- die „EAV“ (siehe Kapitel 4.4) für den Allgemeinstromverbrauch
- die Vorplanung der Wärmepumpe Pumpe mit „WP_DIM“ (siehe Kapitel 4.6), dort der berechnete Strombedarf der Heizungswärmepumpe.

4.2.7 Datenbasis für „SunnyDesigner“

Als Datenbasis für die Vorplanung der Photovoltaikanlage ist ein Lastprofil aus dem „Lastprofilgenerator“ erforderlich. Alle weiteren Kennwerte betreffen die Wirtschaftlichkeit:

- der aktuelle Strompreis für Strombezug
- der aktuelle Strompreis für Strom Rückspeisung
- ein Ansatz für die Kostenschätzung der Photovoltaik und gegebenenfalls einer Batterie

Das Kollektorfeld selbst wird grafisch geplant in einer Satellitenaufnahme der Liegenschaft, diese ist im Programm enthalten.

4.3 H-Wert-Rechner zur Bewertung der Gebäudehülle

Im Folgenden wird anhand der Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56 die Anwendung des H-Wert-Rechners erläutert. Für alle vorgestellten Exceltools gilt: lediglich die gelb hinterlegten Felder mit blauer Schrift sind Eingabefelder.

4.3.1 Abbildung des Bestandes

Relevant für die Berechnung ist das Blatt „Ein- und Ausgabe“. Es hat 98 Zeilen, die sich am linken Rand durch die Symbole „+“ und „-“ teilweise ein- und ausblenden lassen, um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, denn nur wenige Zeilen müssen mit Informationen befüllt werden (Vergleich: Checkliste in Kapitel 4.2.1). Alle weiteren Tabellenblätter dienen der Nachvollziehbarkeit der Programmierung bzw. der Information und sollten nicht verändert werden.

Der obere Bereich beginnt direkt mit der fixierten Zeile des Rechenergebnisses für die Kennwerte H und h.
Dem Ergebnisfeld folgt die Abfrage der Gebäudekategorie per Drop-Down-Menü sowie der (beheizten) Nettogrundfläche.

Angaben zu Personenzahlen und Nutzungszeiten können optional angepasst werden, andernfalls wird ein Schätzwert aus dem Modellgebäude übernommen. Im gezeigten Beispiel wurde die bekannte Personenzahl (80) eingegeben, sodass das Modell überschrieben wird.

Ergebnis für h und H								
	Fingerabdruck H	597	W/K	flächenbezogen	0,99	W/(m²K)	Note	2
Gebäudenutzung, -belegung und -größe								
	Berechnet wird ein Gebäude aus folgender Kategorie:			Kindertagesstätte				
	Nettogrundfläche:	601,1	m²					
Details einblenden und ändern.								
					aus dem Schätzmodell		eigener Wert (überschreibt das Modell)	
Personenzahl		höher			50		80	[P]
Nutzungszeiten	täglich	durchschnittlich			10			[h/d]
	jährlich	durchschnittlich			235			[d/a]

Abbildung 31 H-Wert-Rechner Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56, Ergebnis und Grunddaten

Hinsichtlich der Hüllflächen und Volumen ist lediglich zu wählen, welche hinterlegte Schätzgeometrie für den Gebäudetyp genutzt werden soll. Es kann zwischen mehreren Modellen gewählt werden, deren Plausibilität anhand des Kompaktheitsgrades (Verhältnis von Gebäudehüllfläche zu Volumen) und des Fensterflächenanteils überprüft werden kann. Im vorliegenden Beispiel bewirkt das Umschalten auf das ebenfalls zur Auswahl stehende Modell „3 KiTa (allgemein) | ZUB“ eine Veränderung des Ergebnisses von h = 0,99 W/(m²K) auf 1,08 W/(m²K).

Die Flächen der Hüllbauteile werden aus dem Schätzmodell übernommen, sofern sie nicht durch eigene Daten überschrieben werden, wie hier beispielhaft erfolgt:

Hüllflächen und Volumen

Schätzgeometrie anzeigen für folgendes Modell: 3 KiTa (allgemein) | IBP

Details einblenden und ändern.

		aus dem Schätzmodell	eigener Wert (überschreibt das Modell)	
Flächen	Außenwand	306,7	302,0	[m²]
	Fenster	107,5	123,0	[m²]
	Türen	17,4		[m²]
	oberer Abschluss	571,7	563,0	[m²]
	unterer Abschluss	563,6	555,0	[m²]
	Summe	1566,8	1560,4	[m²]
Volumen	belüftet	1851	1823	[m³]
	umbaut	2304		[m³]
Kennwerte	Kompaktheit (A/Ve)	0,68	0,68	[m²/m³]
	lichte Raumhöhe	3,08	3,03	[m]
	Fensterflächenanteil Fassade	26,0%	28,9%	[m²/m²]
	Fensterfläche je Nettogrundfläche	17,9%	20,5%	[m²/m²]

Abbildung 32 H-Wert-Rechner Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56, Hüllflächen und Volumen

Im Abschnitt „Transmission und Lüftung“ wird zunächst die Baualtersklasse entsprechend dem Baujahr gewählt. Im vorliegenden Beispiel ist das Baujahr 1998 in die Baualtersklasse 1995 bis 2001 einzuordnen.

Für die Hüllbauteile müssen keine U-Wert-Angaben vorgenommen werden, sofern diese nicht bekannt sind. Es genügt im Drop-Down-Menü die Standardeinstellung „gemäß Baualtersklasse“ vor dem Hintergrund der Annahme, dass das Bauteil entsprechend der im Baujahr gültigen Anforderungen erstellt wurde. Wurde es beispielsweise besser ausgeführt, wie es in Oldenburg vielerorts gehandhabt wird, sollten Anpassungen vorgenommen werden. Hier wurde beispielhaft eine plausibel erscheinende Auswahl ohne Kenntnis der genauen Gegebenheiten getroffen, um das Vorgehen zu zeigen.

Anschließend ist die Lüftungsart auszuwählen. Ist eine Lüftungsanlage vorhanden, sind auch die Zeilen für den Luftvolumenstrom und den Wärmerückgewinnungsgrad relevant und mit Modelldaten vorausgefüllt, können jedoch mit eigenen Projektdaten überschrieben werden.

Transmission

Das Objekt gehört in folgende Baualtersklasse: 1995 bis 2001

Details einblenden und ändern.

			aus dem Schätzmodell	eigener Wert (überschreibt das Modell)	
U-Wert	Außenwand	gut (ca. 12 ... 15 cm Dämmung)	0,20		[W/(m²K)]
	Fenster	gut (2-Scheiben-Wärmeschutz neu)	1,30		[W/(m²K)]
	Türen	gut (2000er)	1,80		[W/(m²K)]
	oberer Abschluss	sehr gut (ca. 16 ... 20 cm Dämmung)	0,15		[W/(m²K)]
	unterer Abschluss	gut (ca. 12 ... 15 cm Dämmung)	0,20		[W/(m²K)]

Lüftung

Die Lüftung erfolgt auf folgende Art: Fensterlüftung (ggf. zusätzlich Abluftanlage)

Details einblenden und ändern.

		aus dem Schätzmodell	eigener Wert (überschreibt das Modell)	
Luftvolumenstrom pro Person	gemäß pauschaler Bewertung	15		[m³/(h P)]
Wärmerückgewinnungsgrad der Anlage		85%		[%]

Abbildung 33 H-Wert-Rechner Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56, Transmission und Lüftung

Der Abschnitt Qualitätssicherung ermöglicht weitere Feinabstimmungen. Die Abfrage, ob das Objekt eine Qualitätssicherung erfahren hat (ja/nein), verändert die Ansätze für den Wärmebrückenzuschlag und die Luftdichtheit. Sind Daten aus einem detaillierten Wärmebrückennachweis oder einer Luftdichtheitsmessung vorhanden, können die pauschalen Ansätze überschrieben werden.

Ebenso kann im Bereich der Temperaturkorrekturfaktoren (F_x-Faktoren) die bauliche Situation angepasst werden, z. B., wenn die Außenwand nicht allumfassend an Außenluft grenzt.

Qualitätssicherung und weitere Details				
	Das Objekt hat eine bauliche Qualitätssicherung erfahren	ja		
Details einblenden und ändern.				
		aus dem Schätzmodell	eigener Wert (überschreibt das Modell)	
Wärmebrückenzuschlag	gemäß pauschaler Bewertung	0,026		[W/(m²K)]
Luftdichtheit, hüllflächenbezogen	gemäß pauschaler Bewertung	0,12		[m³/(m²h)]
Fx-Faktoren Außenwand	gemäß pauschaler Bewertung	1,00		[-]
Fenster	gemäß pauschaler Bewertung	1,00		[-]
Türen	gemäß pauschaler Bewertung	1,00		[-]
oberer Abschluss	gemäß pauschaler Bewertung	0,90		[-]
unterer Abschluss	gemäß pauschaler Bewertung	0,50		[-]

Abbildung 34 H-Wert-Rechner Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56, Qualitätssicherung

Zu guter Letzt wird auf Basis des ermittelten h-Wertes eine Auslegungstemperatur der Heizkörper geschätzt, um grob die Wärmepumpentauglichkeit des Gebäudes vorab zu bewerten, siehe Abbildung 35.

Geschätzte Vor- und Rücklauftemperaturen für Heizkörper				
Es werden auf Basis des h-Wertes als Auslegungstemperaturen der Heizkörper geschätzt:	θV/θR	53	44	°C
Erläuterung einblenden.				
Es handelt sich um eine Schätzung auf Basis des mittleren Zustandes der Gebäudehülle, um eine Wärmepumpentauglichkeit grob vorzubewerten. Die Angabe ist kritisch zu hinterfragen, wenn das Gebäude einzelne Hüllflächen (insbesondere Decken, Dächer und Bodenplatten) aufweist, die deutlich vom Mittelwert abweichen. Beispiel: gute Fenster und Außenwand, aber schlechte Bodenplatte. Diese Näherung kann verifiziert werden, wenn für alle (oder mindestens einige) Räume eine Raumheizlastberechnung erfolgt, auf deren Basis die Bestandsheizkörper nachgerechnet werden.				
Ende des Blattes				

Abbildung 35 H-Wert-Rechner Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56, Vor- und Rücklauftemperaturen

Im Beispiel der Kindertagesstätte handelt es sich mit einem Wert von h = 0,99 W/(m²K) um eine gute Gebäudehülle, bei der eine energetische Verbesserung nicht zwingend notwendig oder sinnvoll ist.

Ziel ist es, den Zustand der Gebäudehülle in der Bestandsvariante „vor Sanierung“ möglichst realistisch abzubilden. Das im H-Wert-Rechner erzielte Ergebnis von h = 0,99 W/(m²K) kann dafür mit dem Ergebnis aus dem EAV-Tool abgeglichen werden, welches durch die Verbrauchsdatenauswertung der Endenergie mit h = 1,04 W/(m²K) einen ähnlichen Wert ergab (siehe Kapitel 4.4.5) bzw. korrigiert um den angenommenen Kesselnutzungsgrad (*0,9) einen h-Wert von 0,94 W/(m²K) erreicht (siehe Kapitel 4.4.6).

In Kapitel 4.5 wird anhand der Grundschule Alexanderstraße 500 ein Beispiel zur Untersuchung von Verbesserungsmaßnahmen mit Hilfe des H-Wert-Rechners vorgestellt.

4.3.2 Sonderfall Mikro-Nahwärme / inhomogene Liegenschaft

Der Sonderfall einer inhomogenen Liegenschaft mit zwei Gebäudeteilen verschiedener Baualtersklassen soll am Beispiel des Verwaltungsgebäudes Pferdemarkt 14 beschrieben werden.

Da die beiden Gebäudeteile hinsichtlich ihrer energetischen Qualität sehr verschieden sind (Altbau von 1853 und „Neubau“ von 1986), wurden für den H-Wert-Rechner zwei getrennte Dateien angelegt. Hierbei wurden minimale Eingaben vorgenommen, siehe Abbildung 36 (Altbau) und Abbildung 37 („Neubau“). Beim Altbau wurde zumindest ein Austausch der Fenster und Türen mit Niveau der 1990er Jahre angenommen, weitere Bauteile wurden als nicht gedämmt angenommen (keine Informationen vorhanden).

Beim „Neubau“ wurde unterstellt, dass die Gebäudehülle noch dem Energiestandard von 1986 entspricht (Niveau Wärmeschutzverordnung 1984).

Für das denkmalgeschützte Gebäude ergibt sich ein h-Wert von 1,78 W/(m²K).
Für das neuere Gebäude ergibt sich ein h-Wert von 1,20 W/(m²K).

Das flächengewichtete Ergebnis beider Gebäude für die gesamte Liegenschaft (7.136,34 m²) wurde wie folgt ermittelt: (1,78 W/(m²K) · 3.312,54 m² + 1,20 W/(m²K) · 3.823,8 m²) : 7.136,34 m² = 1,47 W/(m²K)

Ergebnis für h und H									
	Fingerabdruck H	5886	W/K	flächenbezogen	1,78	W/(m²K)	Note	5,3	
Gebäudenutzung, -belegung und -größe									
	Berechnet wird ein Gebäude aus folgender Kategorie:			Verwaltungsgebäude					
	Nettogrundfläche:	3312,5	m²						
Details einblenden und ändern.									
Hüllflächen und Volumen									
	Schätzgeometrie anzeigen für folgendes Modell:			1 Büro (allgemein) |IBP					
Details einblenden und ändern.									
Transmission									
	Das Objekt gehört in folgende Baualtersklasse:			bis 1859					
Details einblenden und ändern.									
					aus dem Schätzmodell		eigener Wert (überschreibt das Modell)		
U-Wert	Außenwand	gemäß Altersklasse			1,50			[W/(m²K)]	
	Fenster	mittel (2-Scheiben-Wärmeschutz 90er)			1,90			[W/(m²K)]	
	Türen	mittel (1990er)			2,50			[W/(m²K)]	
	oberer Abschluss	gemäß Altersklasse			1,00			[W/(m²K)]	
	unterer Abschluss	gemäß Altersklasse			1,20			[W/(m²K)]	
Lüftung									
	Die Lüftung erfolgt auf folgende Art:			Fensterlüftung (ggf. zusätzlich Abluftanlage)					
Details einblenden und ändern.									
Qualitätssicherung und weitere Details									
	Das Objekt hat eine bauliche Qualitätssicherung erfahren			nein					
Details einblenden und ändern.									
Geschätzte Vor- und Rücklauftemperaturen für Heizkörper									
	Es werden auf Basis des h-Wertes als Auslegungstemperaturen der Heizkörper geschätzt:					θV/θR	77	60	°C

Abbildung 36 H-Wert-Rechner Verwaltungsgebäude Pferdemarkt 14, Altbau von 1853

Ergebnis für h und H									
	Fingerabdruck H	4573	W/K	flächenbezogen	1,20	W/(m²K)	Note	3,6	
Gebäudenutzung, -belegung und -größe									
	Berechnet wird ein Gebäude aus folgender Kategorie:			Verwaltungsgebäude					
	Nettogrundfläche:	3823,8	m²						
Details einblenden und ändern.									
Hüllflächen und Volumen									
	Schätzgeometrie anzeigen für folgendes Modell:			1 Büro (allgemein) |IBP					
Details einblenden und ändern.									
Transmission									
	Das Objekt gehört in folgende Baualtersklasse:			1984 bis 1994					
Details einblenden und ändern.									
					aus dem Schätzmodell		eigener Wert (überschreibt das Modell)		
U-Wert	Außenwand	gemäß Altersklasse			0,85			[W/(m²K)]	
	Fenster	gemäß Altersklasse			1,90			[W/(m²K)]	
	Türen	gemäß Altersklasse			2,50			[W/(m²K)]	
	oberer Abschluss	gemäß Altersklasse			0,30			[W/(m²K)]	
	unterer Abschluss	gemäß Altersklasse			0,40			[W/(m²K)]	
Lüftung									
	Die Lüftung erfolgt auf folgende Art:			Fensterlüftung (ggf. zusätzlich Abluftanlage)					
Details einblenden und ändern.									
Qualitätssicherung und weitere Details									
	Das Objekt hat eine bauliche Qualitätssicherung erfahren			nein					
Details einblenden und ändern.									
Geschätzte Vor- und Rücklauftemperaturen für Heizkörper									
	Es werden auf Basis des h-Wertes als Auslegungstemperaturen der Heizkörper geschätzt:					θV/θR	65	52	°C

Abbildung 37 H-Wert-Rechner Verwaltungsgebäude Pferdemarkt 14, „Neubau“ von 1986

Aus der Verbrauchsdatenauswertung mit der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) ergibt sich (in Zelle Q25) ein gemessener h-Wert von 1,33 W/(m²K), siehe Abbildung 38. Die Messung ist demnach etwas besser als über die im H-Wert-Rechner getroffenen Eingaben angenommen.

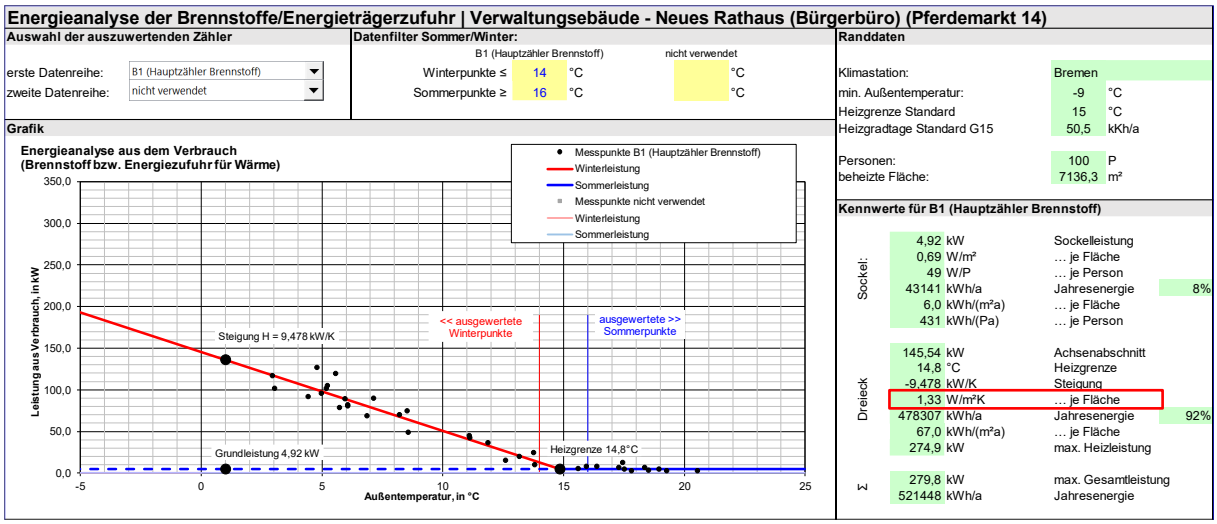


Abbildung 38 EAV-Tool Verwaltungsgebäude Pferdemarkt 14, gesamte Liegenschaft

4.4 EAV zur Verbrauchsdatenauswertung

Das Excelwerkzeug „Energieanalyse aus dem Verbrauch“ (kurz: EAV) ermöglicht die Auswertung von Verbrauchsdaten. Der gemessene Verbrauch in einem Zeitraum wird ins Verhältnis gesetzt zur Außentemperatur. Das kostenfreie Excelwerkzeug wird ca. 1…2-mal jährlich überarbeitet, insbesondere indem die notwendigen neueren Außentemperaturen der Wetterstationen des DWD ergänzt werden.

Für Wochen- und/oder Monatswerte kann eine Energieanalyse in Abhängigkeit von der Außentemperatur erstellt werden. Aus der Eingabe von Zählerdaten wird aus dem gemessenen Verbrauch pro Zeit eine mittlere Leistung errechnet (kWh : h = kW) und über der gemessenen mittleren Außentemperatur des Standortes und Verbrauchszeitraumes (auf Basis von Daten des Deutschen Wetterdienstes DWD) aufgetragen. Das Werkzeug liefert somit die wichtigsten Kenndaten für eine Auswertung des Ist-Zustandes und die Optimierung des Energiekonzeptes.

Darüber hinaus können Kennwerte (z. B. personenbezogene Warmwasserleistung oder die Heizgrenze) eingeordnet werden. Auch eine Planung von Wärmepumpen auf Basis von Verbrauchsdaten ist möglich (siehe Kapitel 4.6).

Liegen ausschließlich Messwerte einzelner oder mehrerer Jahre vor, ist eine Witterungskorrektur erforderlich. Das Excelwerkzeug bestimmt in diesem Fall die Witterungskorrekturfaktoren aus den oben genannten Außentemperatur des DWD.

Bei Liegenschaften mit mehreren Gebäuden können die Messdaten einen Mittelwert über die Liegenschaft darstellen. Idealerweise gibt es Unterzähler für die gebäudescharfe Auswertung, Abschnitt 4.4.8 beschreibt den Umgang mit der Versorgung durch Nachbargebäude bei Vorliegen eines Unterzählers (Wärmemengenzähler).

Im Folgenden wird die Verbrauchsdatenauswertung am Beispiel der Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Str. 56 beschrieben. Für alle Blätter gilt: gelb hinterlegten Felder mit blauer Schrift = Eingabefelder.

4.4.1 Deckblatt

Die Eingabe der allgemeinen Gebäudedaten erfolgt im Blatt „Deckblatt“.

Auswertung von Verbrauchsdaten

Untersuches Gebäude

Kindertagesstätte
Ernst-Löwenstein-Straße 56
26125 Oldenburg

Eigentümer

Stadt Oldenburg
Oldenburg

Ersteller der Auswertung

Beigefügt sind folgende Einzelauswertungen bzw. Blätter

bitte ankreuzen bzw. ausfüllen

- [x] Blatt "Vorgaben"
  mit Angaben zu Standort, Fläche, Personenzahl, Energieträgerdaten
- [x] Blatt "WittKorr_Beratung"
  mit Auswertung von Jahresenergieverbäuchen für Wärme für die Energieberatung
- [ ] Blatt "WittKorr_GEG"

Abbildung 39 Deckblatt der Energieanalyse aus dem Verbrauch

4.4.2 Vorgaben

Auswahl einer Klimastation

aus einer Liste von Stationen: Bremen — Hilfe: siehe Karte und Tabelle rechts

minimale Außentemperatur: -9 °C — stattdessen eigener Wert: °C

Grunddaten für Vergleichskennwerte und Auswertung

Bezugsfläche 601,14 m² — Personen 80

Auswahl der Heizgrenztemperatur für Witterungskorrektur

15 °C

Typische Werte:

15°C	Bestand bis 1995 (und Referenz für Energieausweis)
12°C	WSchV, EnEV/GEG, Niedrigenergiegebäude
10°C	Niedrigstenergie- und Passivgebäude, KfW EH 40

Auswahl des Witterungskorrekturverfahrens für die Beratung

Heizgradtage — Innentemperatur (für Gradtagszahl) 20 °C

Auswahl eines Referenzzeitraums für das Langzeitklima

eigener Zeitraum

01.01.1970 bis 31.12.1999
01.01.1980 bis 31.12.2009 (EnEV/GEG-Referenz)
eigener Zeitraum

von 01.01.2000 — verfügbare Daten: 01.01.1970
bis 31.12.2023 — 24.08.2025

Energieträgerdaten

		Grund-einheit	Energie-einheit	Energiegehalt Brennwert H_s	Energiegehalt Heizwert H_i	Umrechnung $f_{Hi/Hs}$	CO2-Äqu. (H_i-bezogen) g/kWh
Gase	m³ Erdgas E (früher H)	m³	kWh/m³	11,57	10,42	1,11	245
	m³ Erdgas LL (früher L)	m³	kWh/m³	9,85	8,87	1,11	245
	kWh Erdgas (Brennwert)	kWh	kWh/kWh	1,00	0,90	1,11	245
	Erdgas Oldenburg	m³	kWh/m³	9,650	8,69	1,11	245
	<< >>	m³	kWh/m³		0,00	1,11	245

Abbildung 40 Blatt „Vorgaben“ der Energieanalyse aus dem Verbrauch

Im Blatt „Vorgaben“ werden folgende Eingaben vorgenommen:

- Standort (Klimastation Bremen)
- beheizte Nutzfläche
- Personenzahl (soweit abschätzbar)

Aus der Auswahl des Standortes (Klimastation Bremen) ergibt sich die minimale Außentemperatur von -9°C am Standort Oldenburg. Zudem werden somit in der Witterungskorrektur und in der Auswertung der Zählerdaten die Klimafaktoren und die gemessenen Außentemperaturen des DWD für die Klimastation Bremen hinterlegt.

Je nach auszuwertendem Energieträger ist es sinnvoll, unter „Energieträgerdaten“ die Zustandszahlen (Brennwertangaben aus Gasabrechnung) zu hinterlegen. Dies ist nur notwendig, wenn die Eingabe der Zählerdaten in m³ erfolgt. Bei direkter Eingabe in brennwertbezogenen kWh (wie sie in den Gebäudedaten der Stadt Oldenburg gegeben sind) entfällt diese Angabe.

4.4.3 Verbrauchsdaten und Eingabe in das Blatt „Zähler“

Die vorliegenden Excel-Tabellen der Gebäude der Stadt Oldenburg (Abbildung 41) enthalten Verbrauchsangaben für Erdgas sowohl in m^3_{Erdgas}/Monat (Spalte 2) als auch in kWh/Monat (Spalte 5). Die Daten sind noch nicht witterungsbereinigt.

Da eine Umstellung von Erdgas L auf H erfolgte (erkennbar in den Spalten 3 und 4, ab Mai 2023 ändern sich die Faktoren), ist es von großem Vorteil, dass die Umrechnung von m³ in kWh in der bereitgestellten Verbrauchsübersicht bereits monatsgenau erfolgt ist. Somit liegen die Monatsdaten in kWh brennwertbezogen vor und können direkt genutzt werden.

Das EAV-Tool rechnet im Blatt „Zähler“ mit fortlaufenden Zählerständen. Diese wurden in der Datenbasis der Stadt Oldenburg aus den Monatsdaten durch Aufsummieren von Monatsverbräuchen erzeugt (Spalten 6 und 7 in Blau). Startdatum ist der 01.01.2017 mit einem Zählerstand von 0 kWh. Durch Aufsummieren wird in Spalte 7 für jeden Monat ein fiktiver Zählerstand in kWh erzeugt. Die Zeilen der Jahre 2017 bis 2021 sind in Abbildung 41 ausgeblendet, da im Folgenden die Jahre 2022 bis 2024 exemplarisch ausgewertet werden sollen.

- Monatswerte nicht witterungsbereinigt -							
Erdgas [Kindertagesstätte]					**Gebhardt:**		
						kWh brennwertbezogen	
Erdgas Zähler-Nr. 29749					**Datum**	**Zählerstand 29749**	
Monatswerte	**Erdgas [m³]**	**Brennwert(kWh(Hs)/m³)**	**Zustandszahl**	**Verbrauch [kWh]**	01.01.2017	0,00	
Jan 22	**780,94**	9,65	1,00	7.536,02	01.02.2022	258.520,03	
Feb 22	**699,90**	9,65	1,00	6.754,04	01.03.2022	265.274,06	
Mrz 22	**723,39**	9,65	1,00	6.980,71	01.04.2022	272.254,77	
Apr 22	**479,74**	9,65	1,00	4.629,47	01.05.2022	276.884,24	
Mai 22	**262,26**	9,65	1,00	2.530,83	01.06.2022	279.415,07	
Jun 22	**159,09**	9,65	1,00	1.535,26	01.07.2022	280.950,33	
Jul 22	**118,21**	9,65	1,00	1.140,69	01.08.2022	282.091,02	
Aug 22	**86,10**	9,65	1,00	830,86	01.09.2022	282.921,88	
Sep 22	**278,91**	9,65	1,00	2.691,44	01.10.2022	285.613,33	
Okt 22	**383,65**	9,65	1,00	3.702,25	01.11.2022	289.315,58	
Nov 22	**578,20**	9,65	1,00	5.579,65	01.12.2022	294.895,23	
Dez 22	**716,96**	9,65	1,00	6.918,63	01.01.2023	301.813,86	
Jan 23	**635,26**	9,65	1,00	6.130,28	01.02.2023	307.944,14	
Feb 23	**722,88**	9,65	1,00	6.975,82	01.03.2023	314.919,96	
Mrz 23	**617,59**	9,65	1,00	5.959,76	01.04.2023	320.879,72	
Apr 23	**476,76**	9,65	1,00	4.600,77	01.05.2023	325.480,49	
Mai 23	**256,49**	10,19	0,99	2.594,80	01.06.2023	328.075,29	
Jun 23	**107,89**	11,50	0,98	1.211,10	01.07.2023	329.286,38	Umstellung von L auf H Gas
Jul 23	**87,36**	11,50	0,98	980,61	01.08.2023	330.267,00	

Abbildung 41 Gebäudedaten der Stadt Oldenburg, Bsp. Kita ERLÖ056, Blatt „Verbrauch Erdgas“, blau: eigene Anpassung

Diese Zählerdaten sind bereit für das Kopieren in das Blatt „Zähler“ der EAV-Datei.

Optional kann dort im Zählerschema zunächst angehakt werden, welche Zähler eingegeben werden sollen. Dies hat lediglich zur Folge, dass sich die Eingabefelder gelb einfärben.

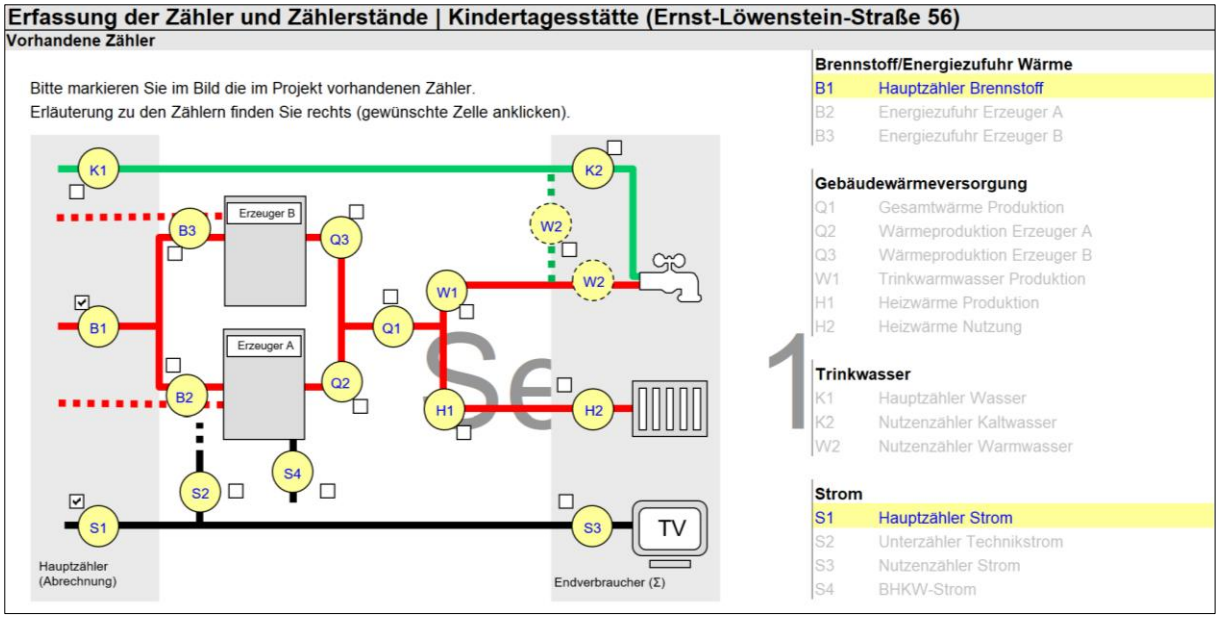


Abbildung 42 Zählerschema EAV Tool

Dann werden die Zählerstände fortlaufend in die Spalten „Datum“ und die jeweilige Zählerspalte kopiert. Hierfür sind ca. 70 Zeilen verfügbar. Wichtig ist die Eingabe eines korrekten Datums, da hierüber der Außentemperaturbezug für den Messzeitraum hergestellt wird. Das Datum muss nicht penibel auf den 1. des Monats fallen, sämtliche Ablesezeiträume zwischen wenigen Tagen und ca. 1…2 Monaten sind verwertbar. Zu kurze Ablesezeiträume bringen keinen nennenswerten Vorteil hinsichtlich der Genauigkeit des Ergebnisses, sie führen vielmehr zu einem Streuen von Einzelpunkten (z. B. bei Abschaltung in Ferienzeiten).

Zählerdaten

Datum	Hauptzähler Brennstoff	Energiezufuhr Erzeuger A	Energiezufuhr Erzeuger B	Gesamtwärme Produktion	Wärmeproduktion Erzeuger A	Wärmeproduktion Erzeuger B	Trinkwarmwasser Produktion	Heizwärme Produktion	Heizwärme Nutzung	Hauptzähler Wasser	Nutzenzähler Kaltwasser	Nutzenzähler Warmwasser	Hauptzähler Strom	Unterzähler Technikstrom	Nutzenzähler Strom	BHKW-Strom
	kWh	kWh	kWh	MWh	MWh	MWh	kWh	kWh	MWh	m³	m³	m³	kWh	kWh	kWh	kWh
01.01.2022	250.984												24.382			
01.02.2022	258.520												24.782			
01.03.2022	265.274												25.190			
01.04.2022	272.255												25.526			
01.05.2022	276.884												25.796			
01.06.2022	279.415												26.077			
01.07.2022	280.950												26.382			
01.08.2022	282.091												26.689			
01.09.2022	282.922												26.860			
01.10.2022	285.613												27.214			
01.11.2022	289.316												27.538			
01.12.2022	294.895												27.964			
01.01.2023	301.814												28.292			
01.02.2023	307.944												28.946			
01.03.2023	314.920												29.085			
01.04.2023	320.880												29.422			
01.05.2023	325.480												29.736			
01.06.2023	328.075												30.067			
01.07.2023	329.286												30.356			
01.08.2023	330.267												30.575			
01.09.2023	331.063												30.841			
01.10.2023	332.104												31.158			
01.11.2023	334.888												31.492			
01.12.2023	340.294												31.923			
01.01.2024	346.510												32.280			
01.02.2024	353.563												32.662			
01.03.2024	359.059												33.055			
01.04.2024	364.368												33.385			
01.05.2024	368.150												33.732			
01.06.2024	369.781												34.022			
01.07.2024	371.199												34.334			
01.08.2024	372.101												34.489			
01.09.2024	373.019												34.793			
01.10.2024	374.317												35.122			
01.11.2024	377.854												35.492			
01.12.2024	383.007												35.965			
01.01.2025	389.679												36.411			

Abbildung 43 Zählerdaten in EAV-Tool

4.4.4 Witterungskorrektur

Sollen längere Zeiträume wie Jahresverbrauchsdaten witterungskorrigiert ausgewertet werden, ermöglicht das EAV-Tool im Blatt „WittKorr_Beratung“ die Auswertung von bis zu vier gewählten Zeiträumen (z. B. Jahren) und liefert witterungskorrigierte Kennwerte für die Endenergie (heizwertbezogen könnten diese Daten z. B. in Energieverbrauchsausweise übernommen werden).

Im Beispiel in Abbildung 44 sind die Jahresdaten für die Jahre 2022, 2023 und 2024 angelegt worden.

In den gelben Zellen für den Zeitraum von … bis wurden jeweils händisch die Datumszellen im Blatt „Zähler“ verknüpft, z. B. für den 01.01.2022 die Zelle „=Zähler!C39“ usw.

Gleiches ist mit den jährlichen Verbrauchsdaten in Zeile 14 erfolgt: der Wert von 50.830 kWh wird in Excel durch die manuell angepasste Eingabe von „=(Zähler!E51-Zähler!E39)“ rechnerisch erzeugt, für die weiteren Jahre analog. Die Verknüpfung muss also händisch kontrolliert werden, da die Anzahl der auszuwertenden Zählerablesungen (und damit die Zellenbezüge) schwanken kann.

In Zeile 11 wird automatisch der Klimakorrekturfaktor für den Verbrauchszeitraum von 1,12 … 1,21 hinterlegt. Ebenso werden die Heizgradstunden in kKh/a ausgegeben.

Sofern der Verbrauchskennwert einen Anteil an der Warmwasserbereitung enthält – was im Beispielprojekt der Fall ist – wird dieser Anteil separat dargestellt. Er benötigt keine Witterungskorrektur. Es stehen in den Zeilen 23…27 mehrere Optionen zur Auswahl, wie der Warmwasseranteil abgeschätzt werden soll. Hier wurde ein prozentualer Ansatz gewählt, der sich aus dem gemessenen Sockel ergab.

Andernfalls ist die Frage „Enthält der Verbrauch Warmwasser?“ mit „Nein“ zu beantworten.

Witterungskorrektur - Energieberatung / Individueller Standort | Kindertagesstätte (Ernst-Löwenstein-Straße 56)

Allgemeine Daten

Jahr bzw. Messperiode		2022	2023	2024		
normiert auf Langzeitklima in Bremen	Zeitraum von	01.01.2022	01.01.2023	01.01.2024		
	bis	01.01.2023	01.01.2024	01.01.2025		
Wetterdaten, hier: Heizgradtage G15	- im Verbrauchszeitraum	45,6 kKh	44,2 kKh	42,3 kKh	kKh	Bremen
	- Standardwerte	50,5 kKh/a	50,5 kKh/a	50,5 kKh/a	50,5 kKh/a	Bremen
	Klimakorrekturfaktor Beratung	1,11	1,14	1,19		

Verbrauchsdaten und Anteil für Warmwasser

Verbrauchsdaten		2022	2023	2024		Heizwert:	Brennwert:
1.	kWh Erdgas (Brennwert)	50830 kWh	44697 kWh	43169 kWh	kWh	0,90	1,00 kWh/kWh
2.	kg Steinkohlebriketts	kg	kg	kg	kg	9,00	9,20 kWh/kg
3.	srm Pellets	srm	srm	srm	srm	3185,00	3385,00 kWh/srm
Gesamtverbrauch		45747 kWh	40227 kWh	38852 kWh	kWh	(heizwertbezogen)	
		50830 kWh	44697 kWh	43169 kWh	kWh	(brennwertbezogen)	
		1,111	1,111	1,111			

Enthält der Verbrauch Warmwasser? ◉ ja ○ nein

Abschätzung des Warmwasseranteils

○ schätzen mit Wohnflächenansatz nach HeizKoV für:	○ schätzen mit Nutzwärme 550 kWh/(P a) und 50 % Anlagennutzungsgrad im Wohnbau für:	○ schätzen mit jährlichem Warmwasserverbrauch (60°C) nach HeizKoV	◉ eigene Vorgabe für Warmwasseranteil (z.B. aus Energiebilanz oder pauschal)
601,14 m² WF	80 Personen	m³/a	29%

Witterungs- und Zeitkorrektur (für die Energieberatung)

		2022	2023	2024		
Heizung	vor Korrektur	31.313 kWh	27.259 kWh	25.927 kWh	kWh	
	nach Korrektur	34.666 kWh/a	31.144 kWh/a	30.957 kWh/a	kWh/a	
	Anteil (vom korrigierten Verbrauch)	71%	71%	71%		
Trinkwarmwasser	vor Korrektur	14.434 kWh	12.968 kWh	12.925 kWh	kWh	
	nach Korrektur	14.434 kWh/a	12.968 kWh/a	12.889 kWh/a	kWh/a	
	Anteil (vom korrigierten Verbrauch)	29%	29%	29%		
Summe	korrigierter Gesamtverbrauch	49.100 kWh/a	44.112 kWh/a	43.846 kWh/a	kWh/a	(heizwertbezogen)
		54.556 kWh/a	49.013 kWh/a	48.718 kWh/a	kWh/a	(brennwertbezogen)

Witterungskorrigierte Endenergie am Standort

	(heizwertbezogen)	(brennwertbezogen)	
Der witterungskorrigierte Verbrauch (Endenergie) aus Messwerten von 3 Messperiod(en) bzw. 1096 Tagen beträgt:	45.700	50.800	kWh/a
Der Wert enthält auch Anteile für Warmwasser.	76,0	84,5	kWh/(m²a)

Abbildung 44 Witterungskorrektur im Blatt „WittKorr_Beratung“

4.4.5 Auswertung EAV für Brennstoff

Im Blatt „EAV_Brennstoff“ wird die Auswertung der Zählerdaten der Brennstoffzufuhr als Ergebnis dargestellt.

Der Verbrauch zwischen zwei Ablesungen wird durch das Rechentool mit der Zeitdifferenz in eine mittlere Leistung umgerechnet, nachvollziehbar in den grün hinterlegten Einzelwerten unter der Grafik, siehe Abbildung 45. Vom 01.01.2022 bis 01.02.2022 (Zeile 38) betrug der Verbrauch z. B. 7.536 kWh. Im Ablesezeitraum von 31 Tagen zu je 24 Stunden (744 h) entspricht dies einer mittleren Leistung von 7.536 kWh : 744 h = 10,13 kW.

Durch die hinterlegten Wetterdaten ist bekannt, dass in diesem Zeitraum eine mittlere Außentemperatur von 4,8°C vorlag.

Einzelwerte

Beginn	Ende	Tage [d]	ϑe [°C]	1. Datenreihe Q [kWh]	Q̇ [kW]	B1 (Hauptzähler Brennstoff) Winterpunkte [°C]	Winterpunkte [kW]	Sommerpunkte [°C]	Sommerpunkte [kW]
01.01.22	01.02.22	31	4,8	7.536	10,13	4,8	10,13		
01.02.22	01.03.22	28	5,6	6.754	10,05	5,6	10,05		
01.03.22	01.04.22	31	5,7	6.981	9,38	5,7	9,38		
01.04.22	01.05.22	30	8,5	4.629	6,43	8,5	6,43		
01.05.22	01.06.22	31	13,8	2.531	3,40	13,8	3,40		
01.06.22	01.07.22	30	17,5	1.535	2,13			17,5	2,13
01.07.22	01.08.22	31	18,4	1.141	1,53			18,4	1,53
01.08.22	01.09.22	31	20,5	831	1,12			20,5	1,12
01.09.22	01.10.22	30	13,8	2.691	3,74	13,8	3,74		
01.10.22	01.11.22	31	12,6	3.702	4,98	12,6	4,98		
01.11.22	01.12.22	30	6,9	5.580	7,75	6,9	7,75		
01.12.22	01.01.23	31	3,0	6.919	9,30	3,0	9,30		
01.01.23	01.02.23	31	5,2	6.130	8,24	5,2	8,24		
01.02.23	01.03.23	28	4,5	6.976	10,38	4,5	10,38		
01.03.23	01.04.23	31	6,1	5.960	8,01	6,1	8,01		
01.04.23	01.05.23	30	8,6	4.601	6,39	8,6	6,39		
01.05.23	01.06.23	31	13,2	2.595	3,49	13,2	3,49		
01.06.23	01.07.23	30	19,0	1.211	1,68			19,0	1,68
01.07.23	01.08.23	31	17,8	981	1,32			17,8	1,32

Abbildung 45 Einzelwerte im Blatt „EAV_Brennstoff“

Durch die Korrelation der monatlichen Verbrauchswerte als mittlere Leistungen über der mittleren Außentemperatur entsteht die Auswertungsgrafik wie in Abbildung 46 dargestellt, für die ausgewerteten Jahre 2022 bis 2024.

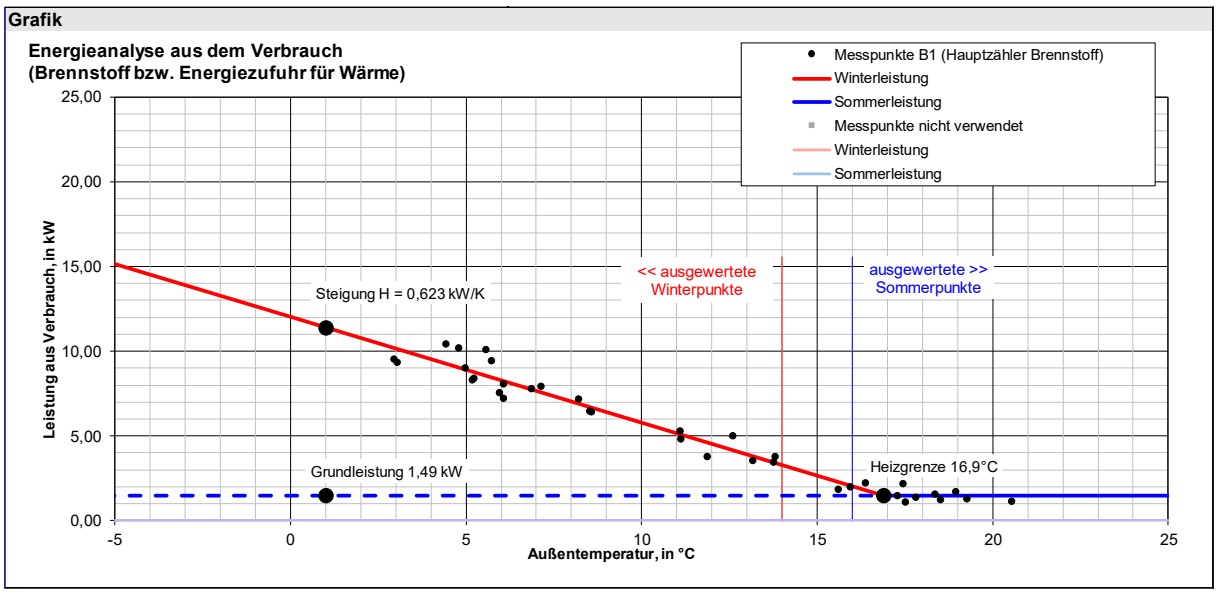


Abbildung 46 Energieanalyse der Brennstoffe, Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56

Legt man die in der Beispiel-Kita durch den 28 kW Gaskessel (Bj. 2012) zugeführte Energie – hier das Erdgas – zugrunde, zeigt sich eine Heizgrenze von 16,9°C. Dazu wurde definiert, dass alle Punkte unterhalb von 14°C sicher in die Heizperiode fallen und alle Punkte oberhalb von 16°C dem Sommer zuzuordnen sind.

Der Bereich dazwischen wurde nicht verwendet, um die Steigung (H = 0,623 kW/K) und die waagerechte Grundleistung (1,49 kW) für zentrales Warmwasser (mit Zirkulation) und ggf. vermeidbare Sommerheizung zu ermitteln. Typisch für den Dämmstandard der Kita wäre eine Heizgrenze von ca. 15°C.

Randdaten		
Klimastation:	Bremen	
min. Außentemperatur:	-9	°C
Heizgrenze Standard	15	°C
Heizgradtage Standard G15	50,5	kKh/a
Personen:	80	P
beheizte Fläche:	601,1	m²

Kennwerte für B1 (Hauptzähler Brennstoff)				
Sockel:	1,49	kW	Sockelleistung	
	2,48	W/m²	… je Fläche	
	19	W/P	… je Person	
	13084	kWh/a	Jahresenergie	29%
	21,8	kWh/(m²a)	… je Fläche	
	164	kWh/(Pa)	… je Person	
Dreieck	12,01	kW	Achsenabschnitt	
	16,9	°C	Heizgrenze	
	-0,623	kW/K	Steigung	
	1,04	W/m²K	… je Fläche	
	31423	kWh/a	Jahresenergie	71%
	52,3	kWh/(m²a)	… je Fläche	
	18,1	kW	max. Heizleistung	
Σ	19,6	kW	max. Gesamtleistung	
	44507	kWh/a	Jahresenergie	

Abbildung 47 Energieanalyse der Brennstoffe, Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56

Rechts neben der Auswertungsgrafik liefert die EAV (neben den angesetzten Randdaten) auch spezifische Kennwerte sowohl für den Grundleistungssockel als auch für den Heizfall (Dreieck), siehe Abbildung 47. Diese Daten lassen sich mit typischen Literaturkenndaten abgleichen, sofern bekannt.

Aus der Wärmeverlustleistung H = 0,623 kW/K (Definition siehe Kapitel 4.1.5) ergibt sich durch Division mit der beheizten Nutzfläche des Gebäudes von 601,1 m² der Kennwert h = 1,04 W/(m²K) (Definition siehe Kapitel 4.1.6), der in Zelle Q25 ausgegeben wird. Dies entspricht dem Kennwert einer gut gedämmten Gebäudehülle und passt sowohl ins Erwartungsbild des Baujahres 1998 als auch zum Ergebnis des H-Wert-Rechners von 0,99 W/(m²K).
Die in den Kennwerten ausgegebene max. Heizleistung von 18,1 kW bezieht sich auf eine Heizgrenze von 20°C und ergibt sich aus 0,623 kW/K · (20°C - (-9°C) = 18,1 kW.

Diese Angabe wird nicht für die Wärmepumpendimensionierung angesetzt, sondern die Vorgehensweise nach Kapitel 4.6.1 ff. empfohlen.

4.4.6 Auswertung EAV für Wärmeproduktion

Bei Vorliegen eines getrennten Wärmemengenzählers für Heizung (und/oder Warmwasser) hinter dem Erzeuger ließe sich das Ergebnis durch Eingabe der Ablesewerte (Ausfüllen von Blatt „Zähler“, Spalte M „Heizwärme Produktion“, Abbildung 43) im Blatt „EAV_Wärme“ näher betrachten. (Dies ist am Beispiel des Kindergartens nicht der Fall, die Vorgehensweise wird jedoch im Kapitel 4.4.7 am Beispiel der Sporthalle Alexanderstraße 500 beschrieben.)

Sichtbar wäre für die Heizwärmeproduktion eine geringere Steigung H als im Blatt „EAV_Brennstoff“, da zwischen den Messwerten die Kesseleffizienz enthalten ist. Zu erwarten wäre demnach für einen angenommenen Kesselnutzungsgrad von 90 % ein H-Wert für die Heizwärmeproduktion von ca. 0,623 kW/K · 0,9 = 0,561 kW/K.
Die gleiche Umrechnung lässt sich auch auf den h-Wert anwenden: 1,04 W/(m²K) · 0,9 = 0,94 W/(m²K).
Zum Vergleich: der H-Wert-Rechner ergab ein Ergebnis von H = 0,597 kW/K bzw. h = 0,99 W/(m²K), siehe Kapitel 4.3.1.

4.4.7 Sonderfall zentrale Trinkwassererwärmung

Sonderfall Zentrale Trinkwassererwärmung ohne getrennte Messung

Gebäude mit zentraler Trinkwassererwärmung weisen einen markanten Sockel in der Energieanalyse aus dem Verbrauch auf, siehe Abbildung 46 (in blau dargestellt). Dieser Wert kann jedoch außerdem eine vermeidbare Sommerheizung und/oder Verteilverluste eines Netzes enthalten. Bei Gebäuden mit Gastronomie ist hier ggf. der Warmwasseranteil des Küchenbetriebs mit abgebildet, sofern die Zählung nicht getrennt erfolgt.

Die Grundleistung im Sockel liegt im Beispiel-Kindergarten bei 1,49 kW, siehe Abbildung 46 und Abbildung 47. Die Sockelkennwerte geben hier Aufschluss über die zentrale Warmwasserbereitung mit einem Jahresverbrauch von 13.084 kWh. Diese Wärmemenge kann z. B. für die Hochrechnung des Strombedarfs einer Trinkwasserwärmepumpe genutzt werden (Kapitel 4.8.1).

Bei einer Auskopplung der Warmwasserbereitung aus dem zentralen Wärmeerzeuger wäre (zumindest ohne Wärmenetzverluste oder Sommerheizung) zu beobachten, dass der Sockel gegen Null sinkt, während die Steigung des H-Wertes annähernd gleichbliebe und bei ähnlicher Heizgrenze parallel nach unten rutscht (Beschreibung in Kapitel 2.3.3).

Sonderfall Zentrale Trinkwassererwärmung mit getrennter Messung

Für die Sporthalle in der Alexanderstraße 500 liegen getrennte Messungen für die Heizwärmeproduktion und die Warmwasserproduktion vor. Deshalb sollen hier exemplarisch die Möglichkeiten der Auswertung beider Anteile mit dem EAV-Tool, Blatt „EAV_Wärme“ gezeigt werden.

Die Auswertungslogik folgt den gleichen Berechnungen wie im Blatt „EAV_Brennstoff“. Für die Einzelbetrachtung wird in Zeile 5 im Drop-Down-Menü die Ergebnisdarstellung umgestellt zwischen: H1 & W1 (Summe Wärmeproduktion), H1 (Heizwärme Produktion) oder W1 (Trinkwarmwasser Produktion). Die weiteren Auswahlmöglichkeiten sollen hier nicht beleuchtet werden, da keine Zählerdaten vorliegen.

- Jahreswerte nicht witterungsbereinigt -			- Monatswerte nicht witterungsbereinigt -					- Monatswerte nicht witterungsbereinigt -			- Monatswerte nicht witterungsbereinigt -						
Heizung			Heizung					Warmwasser			Warmwasser						
GS Alexandersfeld	Sporthalle		GS Alexandersfeld	Sporthalle	Gebhardt:			GS Alexandersfeld	Sporthalle		GS Alexandersfeld	Sporthalle				Gebhardt:	
Erdgas (Jahreswerte [kWh])			Erdgas (Monatswerte in [kWh])					Erdgas (Jahreswerte [kWh])			Erdgas (Monatswerte [m³ und kWh])						
Zähler-Nr.	WMZ 28400		Zähler-Nr.	WMZ 28400	Datum	kWh brennwertbezogen		Zähler-Nr.	76095		Zähler-Nr.	76095				Datum	kWh brennwertbezogen
Jahreswerte	Verbrauch [kWh]		Monatswerte	Erdgas [kWh]	01.01.2017	Zählerstand 0,00		Jahreswerte	Verbrauch [kWh]		Monatswerte	Erdgas [m³]	Brennwert(kWh(Hs)/m³)	Erdgas [kWh]		01.01.2017	Zählerstand 0,00
2017	32.156		Jan 17	7.219	01.02.2017	7.218,75		2017	8.303		Jan 17	141	9,65	1.357		01.02.2017	1.356,73
2018	49.829		Feb 17	6.000	01.03.2017	13.218,75		2018	13.969		Feb 17	141	9,65	1.361		01.03.2017	2.717,38
2019	34.233		Mrz 17	4.094	01.04.2017	17.312,50		2019	13.632		Mrz 17	86	9,65	828		01.04.2017	3.545,17
2020	37.382		Apr 17	2.813	01.05.2017	20.125,00		2020	13.469		Apr 17	53	9,65	516		01.05.2017	4.060,84
2021	44.443		Mai 17	2.094	01.06.2017	22.218,75		2021	11.470		Mai 17	3	9,65	27		01.06.2017	4.087,68
2022	31.392		Jun 17	1.000	01.07.2017	23.218,75		2022	8.587		Jun 17	52	9,65	504		01.07.2017	4.591,89
2023	33.213		Jul 17	0	01.08.2017	23.218,75		2023	13.981		Jul 17	70	9,65	673		01.08.2017	5.264,98
2024	46.302		Aug 17	1.000	01.09.2017	24.218,75		2024	12.800		Aug 17	49	9,65	473		01.09.2017	5.737,83
			Sep 17	2.061	01.10.2017	26.279,36					Sep 17	9	9,65	88		01.10.2017	5.825,85
			Okt 17	939	01.11.2017	27.218,75					Okt 17	95	9,65	916		01.11.2017	6.741,43
			Nov 17	3.000	01.12.2017	30.218,75					Nov 17	62	9,65	598		01.12.2017	7.339,73
			Dez 17	1.938	01.01.2018	32.156,25					Dez 17	100	9,65	963		01.01.2018	8.302,62

Abbildung 48 Verbrauchsdaten Erdgas Heizung und Warmwasser getrennt für die Sporthalle Alexanderstraße 500

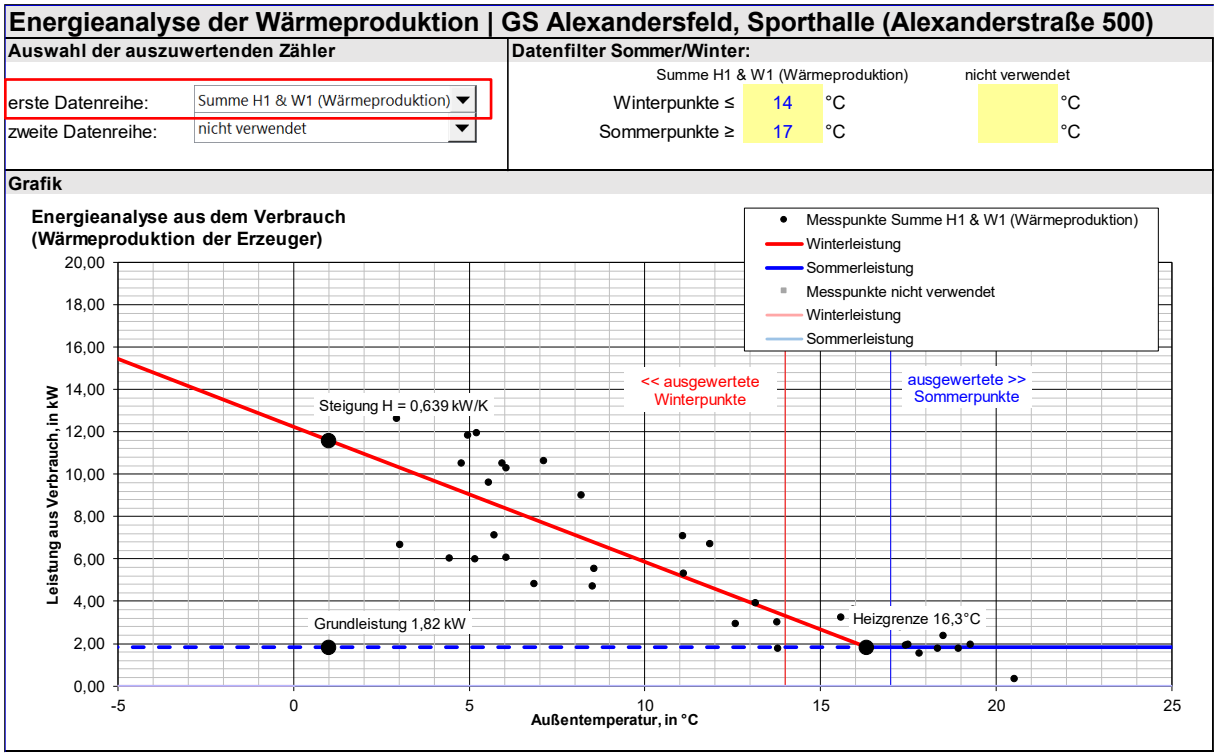


Abbildung 49 Energieanalyse der Wärmeproduktion für H1 & W1 (Summe Wärmeproduktion), Sporthalle Alexanderstraße 500

Abbildung 49 zeigt die kombinierte Darstellung der Wärmemengen für H1 & W1 für die Sporthalle Alexanderstraße 500. Deutlich erkennbar ist der Grundsockel von 1,82 kW. Ob dieser lediglich auf die zentrale Warmwasserbereitung oder auch auf eine vermeidbare Sommerheizung und/oder Netzverluste zurückzuführen ist, lässt sich zunächst nicht beurteilen. Auffallend ist hier ebenfalls die starke Streuung der Punkte (Abweichung von der Heizsteigung), die insbesondere durch Zeiten der Nichtnutzung hervorgerufen wird. Würde man diese Zeiten (Ferien) außer Betracht lassen, verliefe die Steigung H steiler.

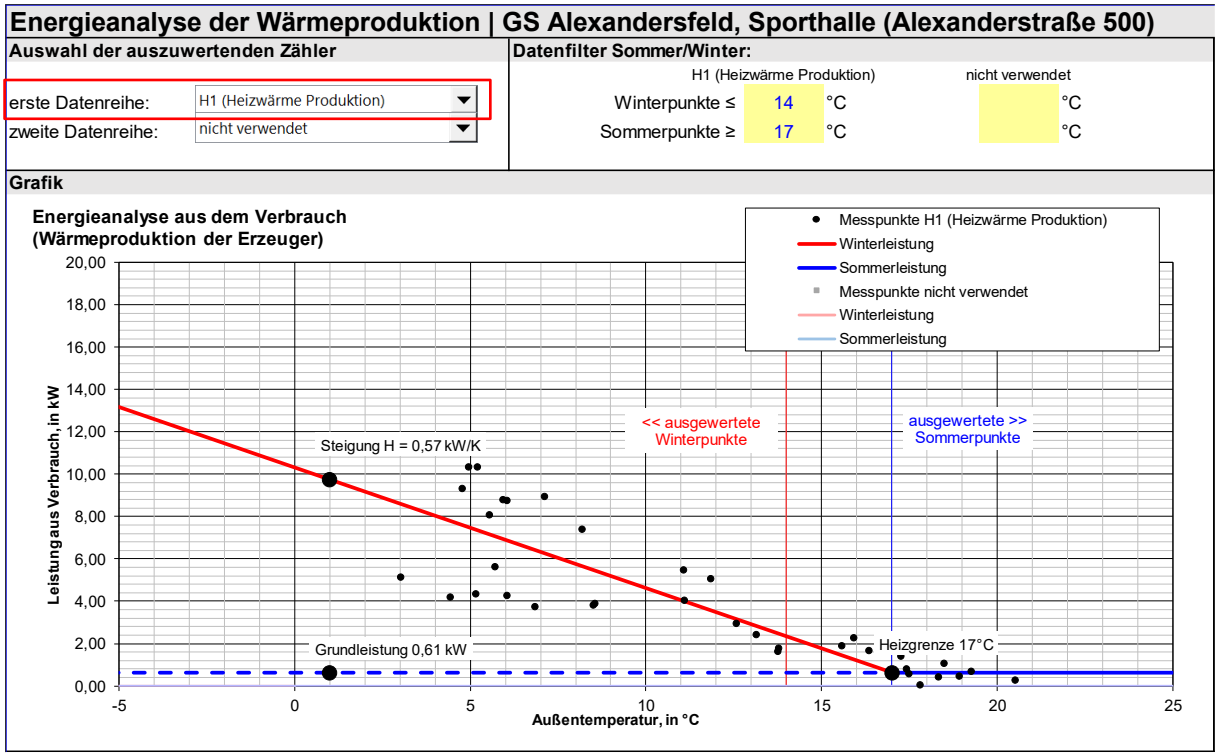


Abbildung 50 Energieanalyse der Wärmeproduktion für H1 (Heizwärme Produktion), Sporthalle Alexanderstraße 500

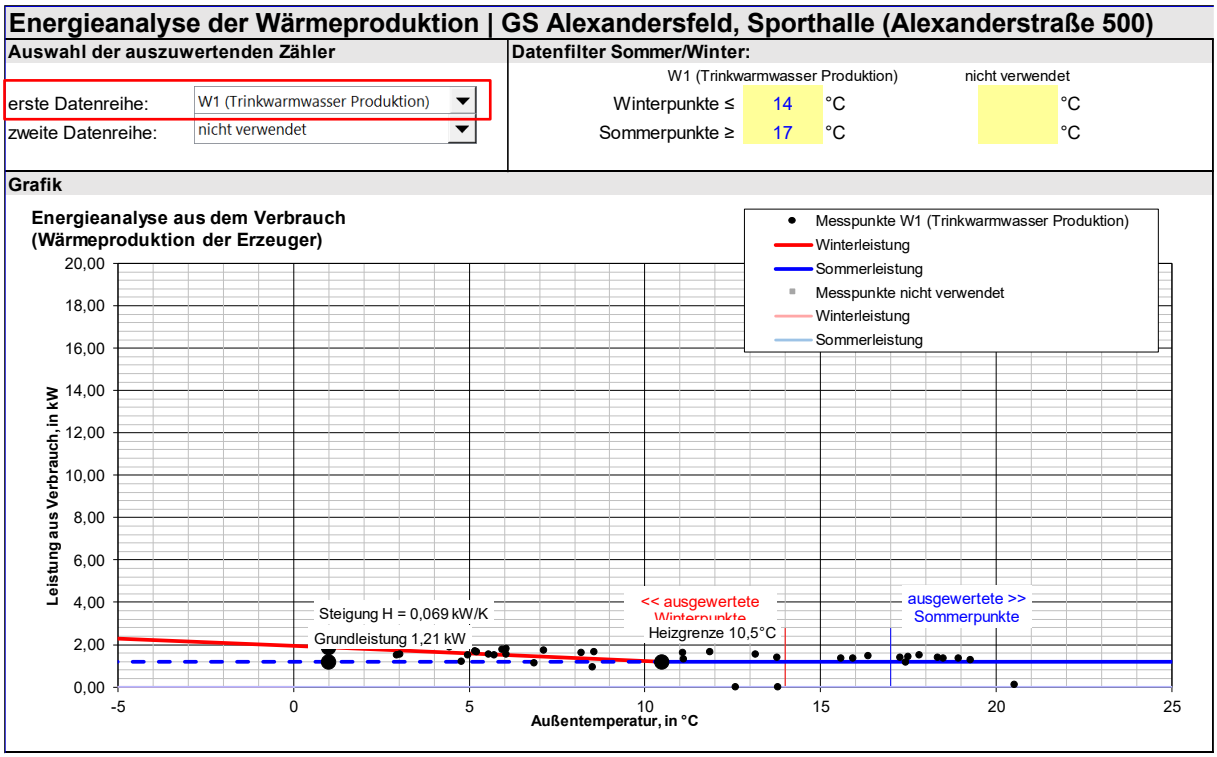


Abbildung 51 Energieanalyse der Wärmeproduktion für W1 (Trinkwarmwasser Produktion), Sporthalle Alexanderstraße 500

Durch Umschalten der ersten Datenreihe auf die Darstellung von H1 (Heizwärme Produktion) allein ergibt sich das in Abbildung 50 dargestellte Bild: die Grundleistung für den Heizungsanteil beträgt (ohne Warmwasserbereitung) 0,61 kW.

Dieser verbleibende Anteil wäre demnach auf eine vermeidbare Sommerheizung zurückzuführen und/oder auf ggf. in der Messung enthaltene Netzverluste für Gebäude, die durch Nachbargebäude versorgt werden. Zu sehen ist auch, dass der H-Wert von 0,639 kW/K auf 0,570 kW/K gesunken ist, da ein witterungsabhängiger Anteil für die Warmwasserproduktion aus der Darstellung entfallen ist.

Im Falle einer getrennten Erzeugung von Heizungswärme und Warmwasserbereitung (z. B. durch eine Heizungswärmepumpe und eine getrennte Brauchwasser-Wärmepumpe) wäre der Anteil der Heizwärmeproduktion mit einem Fingerabdruck von H = 0,57 kW/K die Datenbasis zur Auslegung des neuen Heizwärmeerzeugers.

Die Darstellung der Trinkwarmwasserproduktion (W1) zeigt nun in Abbildung 51 deutlich die Grundleistung von 1,21 kW für die zentrale Warmwasserbereitung. Zu sehen ist auch ein witterungsabhängiger Warmwasseranteil mit einer Steigung H = 0,069 kW/K.

4.4.8 Sonderfall Mikro-Nahwärme

Zu beachten ist bei größeren Liegenschaften mit Leitungswegen zwischen einzelnen Gebäudeteilen, dass die Verbrauchsmesswerte, z. B. eines zentralen Brennstoffzählers, auch die Netzverluste enthalten. Dies kann auch bei Unterzählern wie Wärmemengenzählern der Fall sein, sofern der Zähler vor dem Netz eingebaut ist. Die Netzverluste können durch gebäudescharfe Wärmemengenzähler herausgefunden werden.

Je nach Ausprägung der Verluste wäre über eine Dezentralisierung der Wärmeerzeuger nachzudenken (z. B. eine eigene Wärmepumpe je Gebäude). Siehe Vorschläge für Verbesserungsmaßnahmen an der Anlagentechnik in Kapitel 2.3.

4.4.9 Auswertung EAV für Strom

Die EAV bietet weiterhin die Möglichkeit, die Stromverbrauchsdaten auszuwerten. Die Vorgehensweise ist analog zur beschriebenen Eingabe der Brennstoffdaten: monatliche Zählerdaten werden in das Blatt „Zähler“ kopiert und die Verbrauchsauswertung für Strom wird vollautomatisch im Blatt „EAV_Strom“ erzeugt.

Für den Beispiel-Kindergarten wird die in Abbildung 52 dargestellte Energieanalyse für den Stromverbrauch ausgegeben. Es ergibt sich ein mittlerer Stromverbrauch von 11 kWh/d, dies entspricht einem Jahresverbrauch für Strom von 4.008 kWh im Bestand.

Die Darstellung erfolgt wieder in Abhängigkeit von der Außentemperatur. Hieraus ist eine leichte Steigung von 0,3 kWh/(Kd) ablesbar, also ein etwas steigender Stromverbrauch mit abnehmender Außentemperatur.

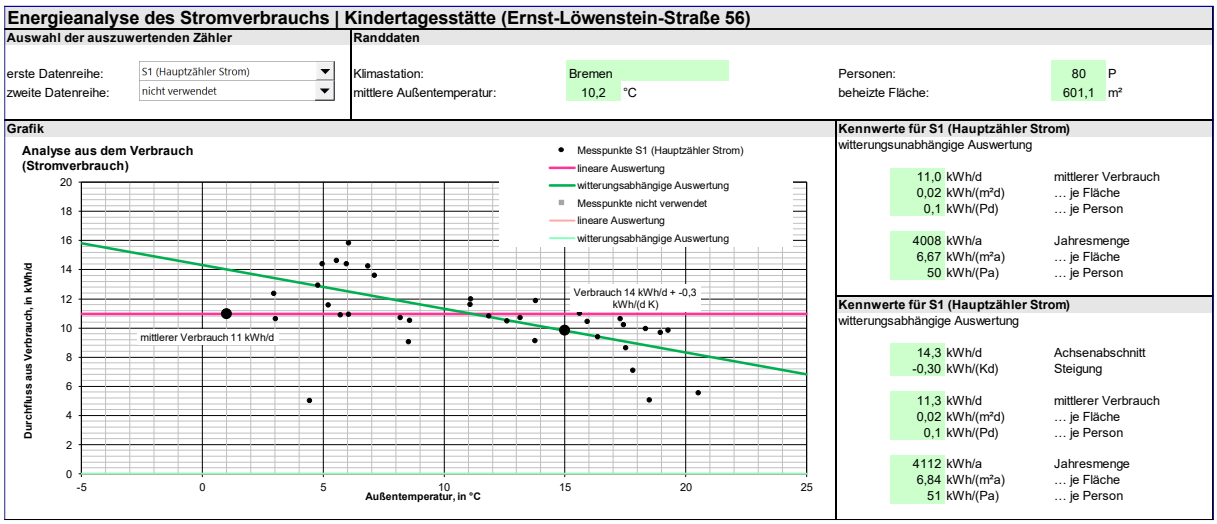


Abbildung 52 Energieanalyse des Stromverbrauchs, Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56

4.5 H-Wert-Rechner zur Untersuchung von Verbesserungsmaßnahmen an der Gebäudehülle

Der nachfolgende Abschnitt erläutert den Einsatz des „H-Wert-Rechners“ zur Vorplanung von baulichen Modernisierungen. Insbesondere könnte von Interesse sein, inwieweit sich die Heizlast reduzieren lässt, nachdem bauliche Maßnahmen umgesetzt werden. Für die Planung einer Wärmepumpe ist dies von Belang. Entweder wird die Wärmepumpe sofort auf den zukünftigen Zustand ausgelegt, alternativ werden Wärmepumpen-Kaskaden aufgebaut, welche die Optionen bieten, später teilweise rückgebaut zu werden.

4.5.1 Untersuchung baulicher Verbesserungsmaßnahmen

Der H-Wert-Rechner dient der vereinfachten Berechnung des Einspareffektes von Einzelmaßnahmen durch einen Vorher-Nachher-Vergleich.

Ergebnis für h und H								
	Fingerabdruck H	3746	W/K	flächenbezogen	2,61	W/(m²K)	Note	3,9
Gebäudenutzung, -belegung und -größe								
	Berechnet wird ein Gebäude aus folgender Kategorie:			Grundschule				
	Nettogrundfläche:	1433,7	m²					
Details einblenden und ändern.								
					aus dem Schätzmodell		eigener Wert (überschreibt das Modell)	
Personenzahl		höher			119		170	[P]
Nutzungszeiten	täglich	durchschnittlich			10			[h/d]
	jährlich	durchschnittlich			200			[d/a]
Hüllflächen und Volumen								
	Schätzgeometrie anzeigen für folgendes Modell:			4 Schule (Grund-) |IBP				
Details einblenden und ändern.								
			aus dem Schätzmodell		eigener Wert (überschreibt das Modell)			
Flächen	Außenwand		763,7		766,0	[m²]		
	Fenster		317,6		370,0	[m²]		
	Türen		51,3			[m²]		
	oberer Abschluss		1619,2		1547,0	[m²]		
	unterer Abschluss		1619,2		1547,0	[m²]		
	Summe		4371,0		4281,3	[m²]		
Volumen	belüftet		4537		4550	[m³]		
	umbaut		5677			[m³]		
Kennwerte	Kompaktheit (A/Ve)		0,77		0,75	[m²/m³]		
	lichte Raumhöhe		3,16		3,17	[m]		
	Fensterflächenanteil Fassade		29,4%		32,6%	[m²/m²]		
	Fensterfläche je Nettogrundfläche		22,2%		25,8%	[m²/m²]		
Transmission								
	Das Objekt gehört in folgende Baualtersklasse:			1949 bis 1957				
Details einblenden und ändern.								
					aus dem Schätzmodell		eigener Wert (überschreibt das Modell)	
U-Wert	Außenwand	gemäß Altersklasse			1,20			[W/(m²K)]
	Fenster	mittel (2-Scheiben-Wärmeschutz 90er)			1,90			[W/(m²K)]
	Türen	mittel (1990er)			2,50			[W/(m²K)]
	oberer Abschluss	mäßig (ca. 5 ... 7 cm Dämmung)			0,40			[W/(m²K)]
	unterer Abschluss	gemäß Altersklasse			1,20			[W/(m²K)]
Lüftung								
	Die Lüftung erfolgt auf folgende Art:			mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerück				
Details einblenden und ändern.								
Qualitätssicherung und weitere Details								
	Das Objekt hat eine bauliche Qualitätssicherung erfahren			nein				
Details einblenden und ändern.								
Geschätzte Vor- und Rücklauftemperaturen für Heizkörper								
	Es werden auf Basis des h-Wertes als Auslegungstemperaturen der Heizkörper geschätzt:					θV/θR	66	53 °C

Abbildung 53 H-Wert-Rechner, Grundschule Alexanderstraße 500, angenommener Ist-Zustand vor Sanierung

Das Einsparpotenzial der Nutzenergie für Raumheizung durch Einzelmaßnahmen (Dämmung der Gebäudehülle, Einbau einer kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung oder weitere Maßnahmen wie Qualitätssicherung) lässt sich aus der Differenz des h-Wertes bzw. H-Wertes multipliziert mit den mittleren Heizgradstunden G_{15} für Oldenburg (typisch 50 kKh/a bei Heizgrenztemperatur 15°C) in einfacher Form quantifizieren.

Es gilt:

$$\Delta q = (h_{vorher} - h_{nachher}) \cdot G_{15} \qquad \left[in\ \frac{kWh}{m^2 a}\right]$$

$$\Delta Q = (H_{vorher} - H_{nachher}) \cdot G_{15} \qquad \left[in\ \frac{kWh}{a}\right]$$

Dies soll am Beispiel der Grundschule Alexanderstraße 500 (Baujahr 1951, beheizte Fläche 1.433,7 m²) gezeigt werden, die ein Optimierungspotenzial für bauliche Verbesserungen aufweist.

Die Grundschule wurde „vor Sanierung“ wie in Abbildung 53 gezeigt im H-Wert-Rechner eingegeben.

Die Personenzahlen waren bekannt, die Flächen der Gebäudehülle wurden dem Bericht des Fraunhofer IBP [1] entnommen. Die Fenster sind augenscheinlich nicht von 1951, es wurde eine Verbesserung auf eine Qualität der 1990er Jahre angenommen. Beim oberen Abschluss wurde aufgrund der intakten Dacheindeckung unterstellt, dass im Zuge einer früheren Sanierung mäßig gedämmt wurde. Außenwand und unterer Abschluss wurden gemäß Baujahr belassen. Dem Gebäudesteckbrief ist zu entnehmen, dass die Klassenzimmer im Jahr 2023 mit 10 dezentralen Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung ausgestattet wurden.

Folgende Kennwerte wurden im Bestand ermittelt:

H-Wert-Rechner (geschätzt):	h = 2,61 W/(m²K) und H = 3,746 kW/K	(Abbildung 53)
EAV-Tool (gemessen):	h = 2,70 W/(m²K) und H = 3,864 kW/K	(Abbildung 54)

Die Schule hatte in den Jahren 2022…2024 einen Endenergieverbrauch von 305.400 kWh/a bzw. 213 kWh(m²a).

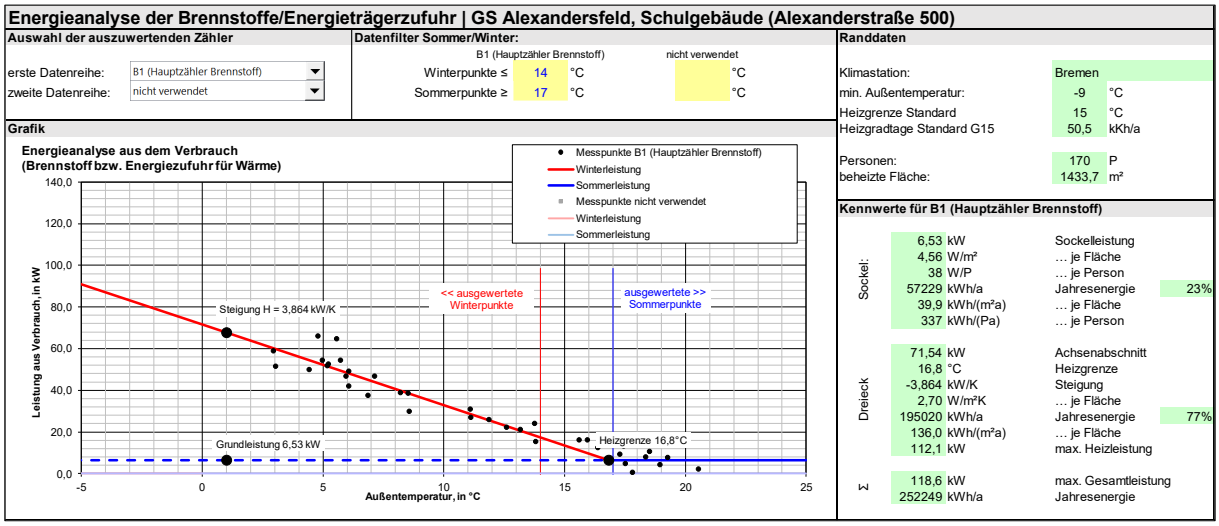


Abbildung 54 EAV-Tool, Blatt „EAV_Brennstoff“, Grundschule Alexanderstraße 500, Jahre 2022-2024

Für die Betrachtung eines Sanierungsszenarios mit Verbesserung der Gebäudehülle wurde im H-Wert-Rechner (Abbildung 55) angenommen, dass die Außenwand und der obere Abschluss sich auf Passivhausstandard sanieren lassen. Der untere Abschluss wird als schwer zugänglich angenommen (Bodenplatte) und im Urzustand belassen. Unter Ansatz von Fenstern mit 2-fach-Verglasung ergibt sich in Summe ein Berechnungsergebnis nach Sanierung von h = 1,61 W/(m²K) bzw. H = 2,303 kW/K.

(Bei Investition in Fenster mit 3-fach-Verglasung ergäbe dies im Endergebnis einen h-Wert von 1,51 W/(m²K) bzw. H = 2,159 kW/K)).

Ergebnis für h und H									
	Fingerabdruck H	2303	W/K	flächenbezogen	1,61	W/(m²K)	Note	2,4	
Gebäudenutzung, -belegung und -größe									
	Berechnet wird ein Gebäude aus folgender Kategorie:			Grundschule					
	Nettogrundfläche:	1433,7	m²						
Details einblenden und ändern.									
					aus dem Schätzmodell		eigener Wert (überschreibt das Modell)		
Personenzahl		höher			119		170	[P]	
Nutzungszeiten	täglich	durchschnittlich			10			[h/d]	
	jährlich	durchschnittlich			200			[d/a]	
Hüllflächen und Volumen									
	Schätzgeometrie anzeigen für folgendes Modell:			4 Schule (Grund-) |IBP					
Details einblenden und ändern.									
			aus dem Schätzmodell		eigener Wert (überschreibt das Modell)				
Flächen	Außenwand		763,7		766,0	[m²]			
	Fenster		317,6		370,0	[m²]			
	Türen		51,3			[m²]			
	oberer Abschluss		1619,2		1547,0	[m²]			
	unterer Abschluss		1619,2		1547,0	[m²]			
	Summe		4371,0		4281,3	[m²]			
Volumen	belüftet		4537		4550	[m³]			
	umbaut		5677			[m³]			
Kennwerte	Kompaktheit (A/Ve)		0,77		0,75	[m²/m³]			
	lichte Raumhöhe		3,16		3,17	[m]			
	Fensterflächenanteil Fassade		29,4%		32,6%	[m²/m²]			
	Fensterfläche je Nettogrundfläche		22,2%		25,8%	[m²/m²]			
Transmission									
	Das Objekt gehört in folgende Baualtersklasse:			1949 bis 1957					
Details einblenden und ändern.									
					aus dem Schätzmodell		eigener Wert (überschreibt das Modell)		
U-Wert	Außenwand	best (ca. 20 ... 30 cm Dämmung)			0,10			[W/(m²K)]	
	Fenster	gut (2-Scheiben-Wärmeschutz neu)			1,30			[W/(m²K)]	
	Türen	gut (2000er)			1,80			[W/(m²K)]	
	oberer Abschluss	best (ca. 20 ... 30 cm Dämmung)			0,10			[W/(m²K)]	
	unterer Abschluss	gemäß Altersklasse			1,20			[W/(m²K)]	
Lüftung									
	Die Lüftung erfolgt auf folgende Art:			mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerück					
Details einblenden und ändern.									
Qualitätssicherung und weitere Details									
	Das Objekt hat eine bauliche Qualitätssicherung erfahren			nein					
Details einblenden und ändern.									
Geschätzte Vor- und Rücklauftemperaturen für Heizkörper									
	Es werden auf Basis des h-Wertes als Auslegungstemperaturen der Heizkörper geschätzt:					θV/θR	56	46	°C

Abbildung 55 H-Wert-Rechner, Grundschule Alexanderstraße 500, angenommener Zustand nach Sanierung

Die mögliche Energieeinsparung ergibt sich mit dem h-Wert überschlägig wie folgt:

$$\Delta q = \left(2{,}61\ \frac{W}{m^2K} - 1{,}61\ \frac{W}{m^2K}\right) \cdot 50\ \frac{kKh}{a}$$

$$\Delta q = 50\ \frac{kWh}{m^2a}$$

oder mit dem H-Wert, einzusetzen in W/K (!):

$$\Delta Q = (3746\ \frac{W}{K} - 2303\ \frac{W}{K}) \cdot 50\ \frac{kKh}{a}$$

$$\Delta Q = 72.150\ \frac{kWh}{a}$$

Der Endenergieverbrauch von 305.400 kWh/a ließe sich mit den beiden Maßnahmen Außenwanddämmung und Fenstertausch um ca. 23 % senken.

Mit der Reduktion des h-Wertes bzw. des H-Wertes (h = H : A_{EB}) ist ebenso eine schnelle Berechnung der neuen Nettoheizlast möglich. Es wurde im Bestand eine Heizgrenze von 16,8°C gemessen. Nach der Sanierung wird diese vereinfacht mit 15°C angenommen. Es gilt:

$$\dot{Q}_{H,netto} = H \cdot (\vartheta_{HG} - \vartheta_{min})$$

Nettoheizlast vorher (installiert sind 2 x 170 kW!):

$$\dot{Q}_{H,netto} = 3746\ \frac{W}{K} \cdot (16{,}8°C - (-9°C)) = 96{,}6\ kW$$

Nettoheizlast nachher:

$$\dot{Q}_{H,netto} = 2303\ \frac{W}{K} \cdot (15°C - (-9°C)) = 55{,}3\ kW$$

4.5.2 Sonderfall Mikro-Nahwärme / inhomogene Liegenschaft

Wie in Kapitel 4.3.2 beschrieben, wäre auch bei der Untersuchung von Verbesserungsmaßnahmen für eine größere Liegenschaft mit inhomogenem Gebäudebestand die gebäudescharfe Berechnung mit dem H-Wert-Rechner angezeigt.

Die Auswirkungen auf die Gesamtliegenschaft lassen sich dann erneut flächengewichtet darstellen.

4.6 EAV zur Wärmepumpenauslegung

Ist für ein Gebäude ein H-Wert gegeben, kann eine Wärmepumpe ausgelegt werden. Ob es sich dabei um den H-Wert aus einer Energieanalyse der Bestands Verbrauchsdaten handelt (Kapitel 4.4) oder ob der Wert aus dem H-Wert-Rechner stammt (vor oder nach einer Modernisierung) spielt keine Rolle. Das nachfolgende Kapitel beschreibt die Planung basierend auf dem H-Wert.

4.6.1 Ermittlung der Nettoheizlast

Die Netto-Heizlast ergibt sich aus dem ermittelten H-Wert multipliziert mit der Temperaturdifferenz zwischen Heizgrenze und minimaler Außentemperatur (Oldenburg: -9°C). Ist keine Heizgrenze aus einer Verbrauchsmessung bekannt, können vereinfacht 15°C angenommen werden. Es gilt:

$$\dot{Q}_{H,netto} = H \cdot (\vartheta_{HG} - \vartheta_{min})$$

Am Beispiel des Kindergartens Ernst-Löwenstein-Straße 56 liegen Kennwerte aus dem H-Wert-Rechner bzw. der Verbrauchsauswertung des Brennstoffzählers vor (Endenergie). Die Heizgrenze wurde mit der EAV zu 16,9°C gemessen. Daher wird diese projektspezifisch übernommen. Es gilt:

$$\dot{Q}_{H,netto} = H \cdot (16{,}9°C - (-9)°C)$$

Da sich der (zukünftige) Wärmebedarf an der Nutzenergie orientiert, die der Gaskessel (installiert sind 28 kW) vormals abgegeben hat ($Q_{outg,h}$) wird der aus dem Brennstoffzähler ermittelte H-Wert mit dem Faktor 0,9 (für eine angenommene Kesseleffizienz im Bestand von 90 %) bereinigt.

H-Wert-Rechner (geschätzt):	h = 0,99 W/(m²K) und H = 0,597 kW/K
EAV-Tool (gemessen):	h = 1,04 W/(m²K) und H = 0,623 kW/K (auf Basis Brennstoffzähler = Endenergie)
EAV-Tool (korrigiert · 0,9):	h = 0,94 W/(m²K) und H = 0,561 kW/K (auf Basis Kesseleffizienz = Nutzenergie)

Dies ergibt eine Nettoheizlast für den Kindergarten von:

$$\dot{Q}_{H,netto} = 0{,}561\ \frac{kW}{K} \cdot (16{,}9°C - (-9)°C) = 14{,}5\ kW$$

Die gemessene Nettoheizlast ergibt 14,5 kW, wie so häufig ist auch hier ein mit 28 kW deutlich zu großer Kessel anzutreffen.

4.6.2 Wärmepumpenauslegung im Blatt „WP_DIM“

Das Blatt „WP_DIM“ ermöglicht die Auslegung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe.

Das Tool „Energieanalyse aus dem Verbrauch“ verfolgt das Ziel, die veränderte Effizienz der Wärmepumpe im Verlauf der Heizperiode – also unter veränderlichen Quellen- und Senkentemperaturen – abzubilden. Ideal wäre ein weit ausgedehntes Kennfeld von Herstellerdaten zur Effizienz bzw. zu aufgenommener elektrischer Leistung und abgegebener Wärmeleistung. Realistisch betrachtet, müssen aber oft wenige Kenndaten ausreichen. Viele Hersteller stellen nur eine überschaubare Anzahl von Prüfpunkten für die gewählte Wärmepumpe zur Verfügung. Als Minimum an Eingangsdaten sind drei Prüfstandswerte (Zeilen 6…8, Spalten C…F) vorgesehen. Prinzipiell besteht Wahlfreiheit seitens des Bedieners, aber es soll möglichst eine große Bandbreite von Quelltemperaturen zugrunde gelegt werden. Abbildung 57 zeigt die Eingaben am Bsp. des Kindergartens für ein gewähltes Wärmepumpenfabrikat (1 Stück). Prüfpunkte an den für Außenluftwärmepumpen üblichen Quelltemperaturen von -7°C, 2°C und 7°C wurden recherchiert. Die zur Verfügung stehende Vorlauftemperatur von 35°C (Spalte D) passt zwar nicht zum Projekt (es sind Heizkörper vorhanden, die auch bleiben sollen), wird aber hingenommen. Dieser Basisdatensatz dürfte der am häufigsten anzutreffende sein.

Die maximale elektrische Kompressorleistung (hier 8,0 kW, Zelle F15) ist die Basis aller Auswertungen zur Kompressorbelastung. Es handelt sich um den Wert, der u. a. auch für die Bemessung der Stromzufuhr und Absicherung angegeben wird. Dieser Wert findet sich daher in den technischen Unterlagen unter der Rubrik „Anschlussleistung“, „max. elektrische Nennleistung“ oder „Bemessungsleistung max.“. Die Heizstableistung ist damit jedoch nicht gemeint.

In den Zellen G22 und G23 wurden die Daten des Heizkreises auf Basis des Ergebnisses des H-Wert-Rechners übernommen. 53°C Vorlauf und 44°C Rücklauf ergeben eine Auslegungsspreizung von 9 K (Vergleich: Ergebnis im H-Wert-Rechner Zeile 88, siehe Abbildung 56).

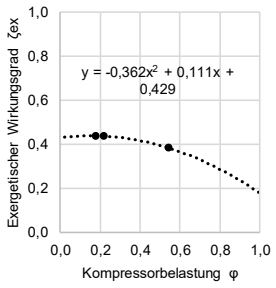
Geschätzte Vor- und Rücklauftemperaturen für Heizkörper				
Es werden auf Basis des h-Wertes als Auslegungstemperaturen der Heizkörper geschätzt:	θV/θR	53	44	°C

Abbildung 56 Geschätzte Vor- und Rücklauftemperaturen aus H-Wert-Rechner Kita ERLÖ

Leistungsbemessung für Außenluftwärmepumpen (Leistungskennlinien, De

Prüfstandsdaten der Wärmepumpe

	Temperaturen [°C]			Leistungen [kW]	
	Quelle	Abnehmer	COP [-]	Wärme	Elektrisch
1	-7	35	2,80	12,2	4,4
2	2	35	4,08	5,9	1,4
3	7	35	4,79	8,5	1,8



Koeffizienten für den exergetischen Wirkungsgrad

ζex = -0,362 · φ ² + 0,111 · φ + 0,429

Weitere Daten der Wärmepumpe

max. elektrische Nennleistung	8,0	kW			
Bereich minimale bis maximal zulässige Vorlauftemperatur			28	…	65 °C
Kompressor Regelbereich oben	60%		Abschlagsfaktor Realbetrieb		90%
Kompressor Regelbereich unten	10%		Abschlagsfaktor Taktbetrieb		80%

Daten des Heizkreises

Auslegungsvorlauftemperatur bei -9°C	53	°C	Heizflächenexponent	
Auslegungsspreizung bei -9°C	9	K		1,3

Abbildung 57 Eingabedaten zur Leistungsbemessung für Außenluftwärmepumpen mit dem EAV-Tool, Blatt „WP_DIM“

In den Zeilen 29…32 ist auszuwählen, auf Basis welcher Wärmeverlustleistung H die Berechnung erfolgen soll. Automatisch verknüpft werden können die ausgewerteten Zähler für Brennstoff, Heizwärmeproduktion oder die Daten aus der Witterungskorrektur. Liegt eine Angabe aus einer separaten Ermittlung vor (z. B. aus dem H-Wert-Rechner), kann diese in das Feld unter „separate Eingabe“ eingegeben werden (Zellen I28…I31).

Im gewählten Beispiel wurde der Brennstoffzähler als Grundlage gewählt. Um aus der gemessenen Endenergie die später von der Wärmepumpe zu liefernde Nutzenergie zu ermitteln, wurde ein Nutzungsgrad des (alten) Erzeugers von 90 % (Zelle F32) eingetragen.

Auswahl der Datenherkunft (für die Heizkennlinie)					
	Werte aus EAV "Wärme" ○	"Brennstoff" ◉	Werte aus "WittKorr" ○	separate Eingabe ○	
Steigung:		0,560	0,640		kW/K
Heizgrenztemperatur:		16,9	15,0		°C
min. Außentemperatur:	-9,0	-9	-9,0		°C
Nutzungsgrad Erzeuger		90,0%	90,0%		

Abbildung 58 Eingabedaten zur Leistungsbemessung für Außenluftwärmepumpen mit dem EAV-Tool, Blatt „WP_DIM“

Die grafische Darstellung der Leistungskurven von Wärmepumpen erfolgt nach dem gleichen Prinzip eines Leistungs-Außentemperatur-Diagramms wie die Darstellung der Heizsteigung H. Heizlast des Gebäudes, Gebäudesignatur oder Gebäudekennlinie sind verschiedene Begriffe für die Heizsteigung H. Durch den gegenläufigen Verlauf zwischen Wärmeverlustleistung H und maximaler Leistungskurve der Wärmepumpe (dunkelgrün in Abbildung 59) ergibt sich ein Schnittpunkt. Dies ist der Bivalenzpunkt (BIV), bis zu dem die Wärmepumpe die Heizlast allein abdeckt. Im Beispiel bedeutet dies, dass bis minimal -3°C Außentemperatur die Leistung der Wärmepumpe allein ausreicht (Leistung 11,1 kW). An kälteren Tagen würde ein Spitzenlasterzeuger (i.d.R. der Heizstab) benötigt.

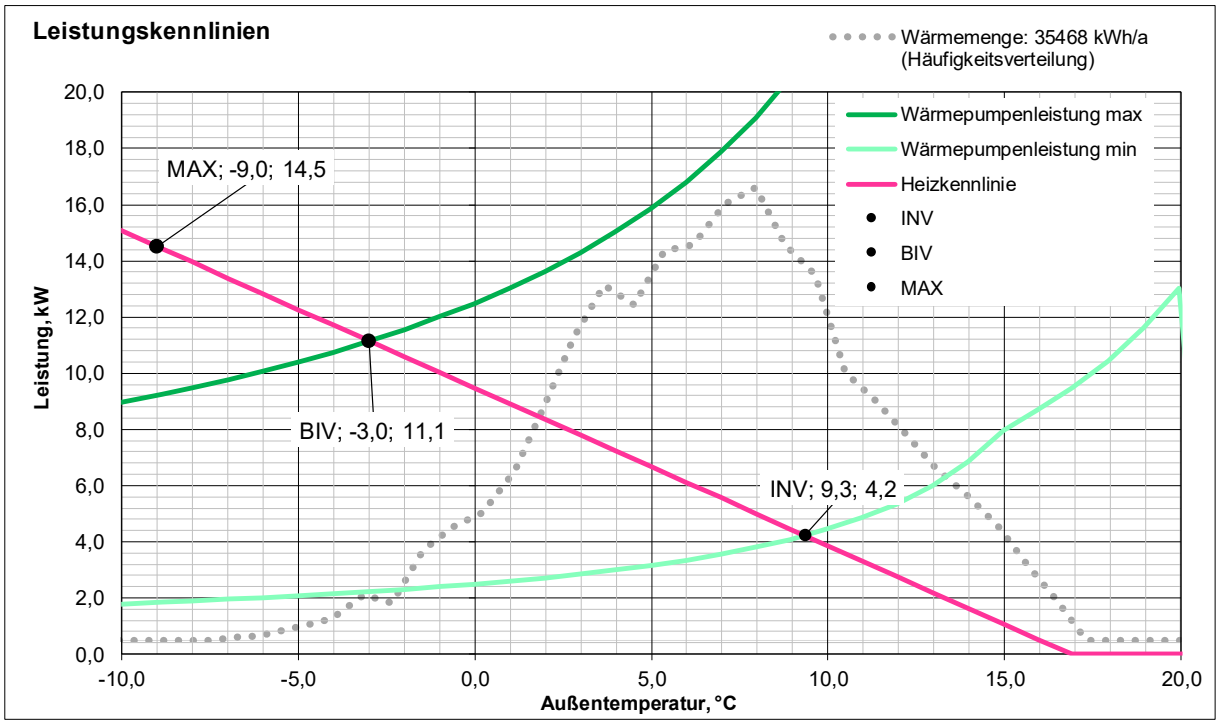


Abbildung 59 Grafik Leistungskennlinien und Heizsteigung H im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM“

Die maximale Leistung am kältesten Tag (-9°C) ist mit 14,5 kW markiert (MAX). Es lässt sich an der dunkelgrünen Kurve ablesen, dass die Wärmepumpe bei -9°C eine Leistung von ca. 9,2 kW hat. Der Heizstab müsste demnach eine Leistung von 14,5 kW – 9,2 kW = 5,3 kW abdecken. Empfohlen ist ein Leistungsanteil der Wärmepumpe von ca. 50 %, woraus nach VDI 4650, Tabelle 28 [12], im bivalent-parallelen Betrieb ein Deckungsanteil von 97 % der Wärmemenge resultiert. Der Leistungsanteil der Wärmepumpe im Beispiel beträgt 9,2 kW : 14,5 kW = 63 %. Die entspricht einem Deckungsanteil der Wärmemenge von >98 %.

Ist auch die minimale Leistungskurve gegeben (hellgrün in Abbildung 59), bildet dieser weitere Schnittpunkt den Inverterpunkt (INV) ab. Dieser Punkt markiert den Beginn des Taktbetriebes an wärmeren Tagen, da die Wärmepumpe ihre Leistung nicht weiter reduzieren kann. Dies geschieht im Beispiel ab Außentemperaturen von 9,3°C.

Die grau gestrichelte Linie zeigt die Verteilung der Wärmemengen auf Grundlage der zeitlichen Dichtefunktion der Außentemperatur am jeweiligen Standort. Hieraus lässt sich ablesen, wie gering die Wärmemengen unterhalb des Bivalenzpunktes ausfallen, da diese Tage selten sind. Die Summe der erforderlichen Wärmemenge wird oben rechts mit 35.468 kWh/a ausgegeben.

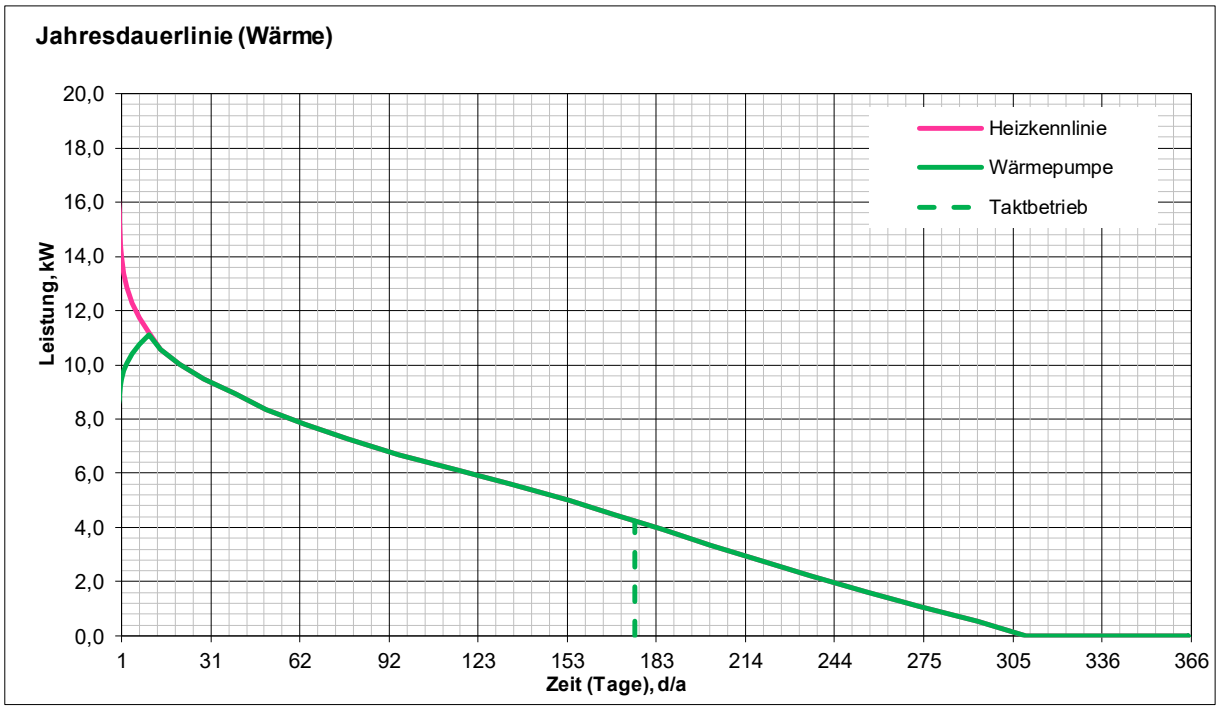


Abbildung 60 Jahresdauerlinie im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM“

Des Weiteren werden die Einzelwerte von Temperaturbereichen zeilenweise aufgegliedert und mit Wärme- und Energiemengen hinterlegt. In der Kopfzeile sind die Summen für die Wärmemengen sowie die Strom- bzw. Endenergiemengen getrennt für den Heizstab, den stetigen Wärmepumpenbetrieb sowie den Taktbetrieb ausgewiesen.

Im Beispiel ergibt sich mit dem gewählten Wärmepumpenmodell ein jährlicher Strombedarf von 390 kWh für den Heizstab, 9.651 kWh im stetigen Betrieb und 1.307 kWh im Taktbetrieb (Summe: 11.349 kWh).

Hieraus werden jährlich Wärmemengen von 390 kWh (Heizstab) + 28.733 kWh (stetig) + 6.345 kWh (taktend) = 35.468 kWh produziert.

Einzelwerte																			
Temperaturbereich		Zeitanteil und Außentemperatur			Heizkennlinie	Wärmepumpenleistung		Leistungsanteile				Wärmepumpeneffizienz		Wärmemengen			Strom- bzw. Endenergien		
von	bis	t	t kumuliert	ϑe,m	Summe	max	min	Heizstab	WP ges	WP stetig	WP taktend	COP ideal	Belastung	Heizstab	WP stetig	WP taktend	Heizstab	WP stetig	WP taktend
°C	°C	d/a	d/a	°C	kW	kW	kW						φ	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
														390	28733	6345	390	9651	1307
-35,5	-34,6																		
-34,5	-33,6																		
-33,5	-32,6																		
-32,5	-31,6																		
-31,5	-30,6																		
-30,5	-29,6																		
-29,5	-28,6																		
-28,5	-27,6																		
-27,5	-26,6																		
-26,5	-25,6																		
-25,5	-24,6																		
-24,5	-23,6																		
-23,5	-22,6																		
-22,5	-21,6																		
-21,5	-20,6																		
-20,5	-19,6																		
-19,5	-18,6																		
-18,5	-17,6																		
-17,5	-16,6																		
-16,5	-15,6																		
-15,5	-14,6																		
-14,5	-13,6																		
-13,5	-12,6																		
-12,5	-11,6																		
-11,5	-10,6	0,1	0,1	-11,0	15,6	8,7	1,7	6,9	8,7	8,7		1,8	60,0%	14	17		14	11	
-10,5	-9,6	0,1	0,2	-10,5	15,4	8,8	1,8	6,5	8,8	8,8		1,8	60,0%	13	18		13	11	
-9,5	-8,6	0,3	0,5	-8,8	14,4	9,3	1,8	5,2	9,3	9,3		1,9	60,0%	36	65		36	37	
-8,5	-7,6	0,4	0,9	-8,0	14,0	9,5	1,9	4,5	9,5	9,5		2,0	60,0%	45	95		45	53	
-7,5	-6,6	0,9	1,8	-7,0	13,4	9,8	1,9	3,6	9,8	9,8		2,0	60,0%	79	215		79	117	
-6,5	-5,6	0,8	2,6	-6,0	12,8	10,1	2,0	2,8	10,1	10,1		2,1	60,0%	53	191		53	101	
-5,5	-4,6	2,0	4,5	-5,0	12,3	10,4	2,1	1,9	10,4	10,4		2,2	60,0%	87	489		87	250	
-4,5	-3,6	2,6	7,1	-4,0	11,7	10,7	2,1	1,0	10,7	10,7		2,2	60,0%	60	666		60	330	
-3,5	-2,6	3,0	10,2	-3,0	11,2	11,1	2,2	0,0	11,1	11,1		2,3	60,0%	3	812		3	389	
-2,5	-1,6	4,2	14,4	-2,0	10,6	11,6	2,3		10,6	10,6		2,5	53,8%		1079			487	
-1,5	-0,6	6,2	20,7	-1,0	10,0	12,0	2,4		10,0	10,0		2,6	48,1%		1503			641	
-0,5	0,4	8,5	29,1	0,0	9,5	12,5	2,5		9,5	9,5		2,8	43,1%		1934			780	
0,5	1,4	10,6	39,7	1,0	8,9	13,0	2,6		8,9	8,9		2,9	38,1%		2264			860	
1,5	2,4	10,7	50,4	2,0	8,4	13,6	2,7		8,4	8,4		3,1	33,6%		2139			765	
2,5	3,4	13,3	63,7	3,0	7,8	14,3	2,8		7,8	7,8		3,3	29,5%		2486			835	
3,5	4,4	14,5	78,2	3,9	7,3	15,0	3,0		7,3	7,3		3,5	25,8%		2524			797	
4,5	5,4	17,3	95,5	5,0	6,7	15,8	3,2		6,7	6,7		3,8	22,2%		2782			821	
5,5	6,4	19,7	115,1	6,0	6,1	16,8	3,3		6,1	6,1		4,0	18,9%		2885			792	
6,5	7,4	18,9	134,0	6,9	5,6	17,9	3,6		5,6	5,6		4,3	16,0%		2524			646	
7,5	8,4	19,4	153,4	8,0	5,0	19,1	3,8		5,0	5,0		4,7	13,3%		2334			553	
8,5	9,4	16,0	169,4	8,9	4,5	20,5	4,1		4,5	4,5		5,1	11,0%		1712			374	
9,5	10,4	16,3	185,7	9,9	3,9	22,2	4,4		3,9		3,9	5,5	8,8%			1529			384
10,5	11,4	16,4	202,2	10,9	3,3	24,3	4,8		3,3		3,3	6,0	6,9%			1320			304
11,5	12,4	16,5	218,7	11,9	2,8	26,8	5,3		2,8		2,8	6,7	5,2%			1102			229
12,5	13,4	17,5	236,2	13,0	2,2	30,1	6,0		2,2		2,2	7,5	3,7%			926			172
13,5	14,4	18,7	254,9	14,0	1,6	34,3	6,8		1,6		1,6	8,5	2,4%			733			119
14,5	15,4	18,6	273,4	15,0	1,1	40,0	8,0		1,1		1,1	10,0	1,4%			483			67
15,5	16,4	19,5	293,0	15,9	0,5	43,7	8,7		0,5		0,5	10,9	0,6%			252			32
16,5	17,4	16,6	309,6	16,9		47,6	9,5												
17,5	18,4	13,5	323,1	17,9		52,4	10,4												
18,5	19,4	12,7	335,8	18,9		58,2	11,6												
19,5	20,4	8,6	344,4	19,9		65,4	13,0												
20,5	21,4	6,6	351,0	20,9															
21,5	22,4	5,0	356,0	21,9															
22,5	23,4	3,7	359,6	22,9															
23,5	24,4	2,3	362,0	24,0															
24,5	25,4	1,2	363,2	24,9															
25,5	26,4	1,0	364,2	25,9															
26,5	27,4	0,6	364,8	26,8															
27,5	28,4	0,2	364,9	27,8															
28,5	29,4	0,0	365,0	28,5															
29,5	30,4	0,0	365,0	30,0															
30,5	31,4		365,0	31,0															
31,5	32,4		365,0	32,0															
32,5	33,4		365,0	33,0															
33,5	34,4		365,0	34,0															

Abbildung 61 Einzelwerte der Wärme- und Energiemengen im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM“

Die prognostizierten Effizienzkennwerte mit u. a. Jahresarbeitszahlen werden in den Zeilen 34…49 ausgegeben:

Heizzeit			**Deckungsanteile**			
	309	d/a	Wärmepumpe	stetig	81,0%	
				taktend	17,9%	= 98,9%
Bivalenz- und Inverterpunkte			Spitzenlast			1,1%
Bivalenztemperatur	-3,0	°C				
Bivalenzleistung	11,1	kW	**Jahresarbeitszahlen**			
Zeit darunter	10	d/a			ideal	mit Betriebs-korrekturen
Invertertemperatur	9,3	°C	System gesamt		3,54	3,13
Inverterpunktleistung	4,23	kW	Wärmepumpe gesamt		3,64	3,20
Zeit darüber	133	d/a	Wärmepumpe - stetiger Betrieb		3,31	2,98
			Wärmepumpe - Taktbetrieb		6,74	4,86
Heizlast und Heizstableistung bzw. Leistung Spitzenlasterzeuger			**Belastung des Kompressors**			
Heizlast gesamt	14,5	kW	Optimum aus Herstellerdaten			15%
Leistung 2. Erzeuger	5,3	kW	realer Wert			16%

Abbildung 62 Effizienzkennwerte im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM“

4.6.3 Auslegung von Kaskaden

Die Auslegung von Wärmepumpen als Kaskade erfolgt grundsätzlich auf die gleiche Weise mit dem Tool WP_DIM. Die Abbildung 63 demonstriert dies am Beispiel der Berufsbildenden Schule Am Heidbrook 10 mit einer Heizlast von 191 kW.

Es wird davon ausgegangen, dass eine entsprechende Stückzahl identischer Wärmepumpenfabrikate in Kaskade installiert wird. Die Prüfstandsdaten für die Wärmeleistung in den Zellen F6…F8 werden dazu einfach mit der Stückzahl multipliziert. Hier z. B. bei -7/35°C ergeben sich 12,2 kW · 23 Stück = 280,6 kW.

Gleichermaßen ist die in Zelle F16 eingetragene max. elektrische Nennleistung mit der Anzahl zu multiplizieren (8 kW · 23 Stück = 184 kW).

Der somit ermittelte Wert für die Wärmeleistung liegt weit über der oben genannten Heizlast. Dies ergibt sich, da die Herstellerangabe sich auf die Vorlauftemperatur von 35 °C bezieht, hier jedoch mit 59 °C Vorlauftemperatur geplant wird. Darüber hinaus ist der Herstellerwert bei einer Außentemperatur von -7° angegeben, während die minimale Außentemperatur am Standort Oldenburg mit -9°C angenommen wird.

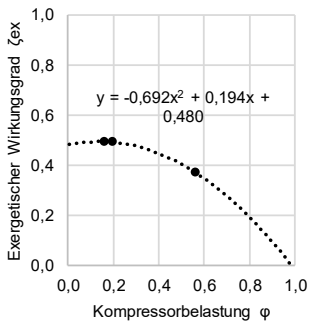
In der Realität ergäbe sich keine Kaskade mit 23 Einzelgeräten. Es würde eine Recherche größerer Wärmepumpen für den Außenluftbetrieb erfolgen, beispielsweise für Geräte mit etwa 40 bis 50 kW Leistung. Von diesen werden entsprechend 4 bis 5 Stück benötigt. Zur Demonstration der Vorgehensweise spielt dies jedoch keine Rolle.

Der Kompressorregelbereich oben bleibt bei 60 %, während der Kompressorregelbereich unten (üblich: 10 %) durch die Anzahl dividiert wird: 10% : 23 Stück = 0,4 %.

Hier lässt sich erkennen, welche Auswirkungen beispielsweise eine Kaskade aus 4 oder 5 Geräten gehabt hätte. Der untere Regelbereich wäre etwas schlechter ausgefallen, aber jeweils viel besser als bei einem Einzelgerät.

Prüfstandsdaten der Wärmepumpe

	Temperaturen [°C]			Leistungen [kW]	
	Quelle	Abnehmer	COP [-]	Wärme	Elektrisch
1	-7	35	2,70	280,6	103,9
2	2	35	4,60	135,7	29,5
3	7	35	5,40	195,5	36,2



Koeffizienten für den exergetischen Wirkungsgrad

ζex = -0,692 · φ ² + 0,194 · φ + 0,480

Weitere Daten der Wärmepumpe

max. elektrische Nennleistung	184,0	kW				
Bereich minimale bis maximal zulässige Vorlauftemperatur			28	…	65	°C
Kompressor Regelbereich oben	60%		Abschlagsfaktor Realbetrieb		90%	
Kompressor Regelbereich unten	0%		Abschlagsfaktor Taktbetrieb		80%	

Daten des Heizkreises

Auslegungsvorlauftemperatur bei -9°C	59	°C	Heizflächenexponent	
Auslegungsspreizung bei -9°C	11	K		1,3

Abbildung 63 Prüfstandsdaten für Kaskaden im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM“, Berufsbildende Schule Am Heidbrook 10

Anders als bei der bivalenten Auslegung einer einzelnen Wärmepumpe (mit Heizstab) erfolgt die Auslegung des Kaskadensystems auf die volle Heizlast. Die Leistungskennlinien in Abbildung 64 zeigen, dass die 23 Stück Wärmepumpen in Summe eine Leistung bei -9°C von 188,5 kW haben und 99 % der Nettoheizlast von 191 kW abdecken.

Diese Art der Auslegung mit beispielsweise 4 oder 5 Geräten in einer Kaskade (mindestens jedoch 2) löst auch einen großen Teil des Redundanz-Problems. Fällt bei einer Kaskade eines der Geräte aus, kam der Rest der Kaskade das Gebäude weiter versorgen, ohne dass es bereits bei der Installation zu einer Überdimensionierung kommen muss. Erst unterhalb der Einsatzgrenze des letzten Gerätes wäre ein Defekt kritisch.

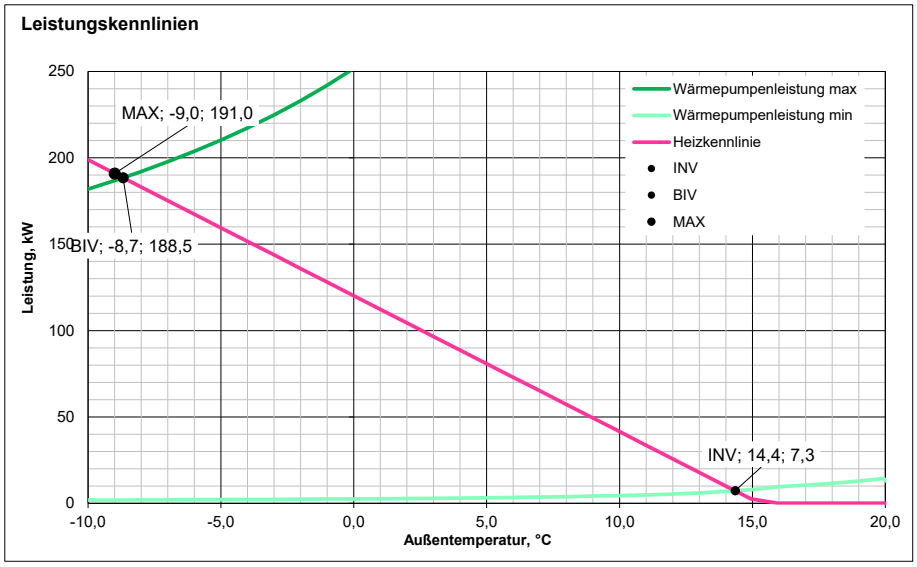


Abbildung 64 Grafik Leistungskennlinien und Heizsteigung H für Kaskaden im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM", Berufsbildende Schule Am Heidbrook 10

Abbildung 65 zeigt das Ergebnis der Berechnung, wenn 1/5 der Wärmepumpenleistung fehlt (exemplarisch aus einer 5er-Kaskade ist ein Gerät defekt). Der Bivalenzpunkt steigt von -8,7°C (Abbildung 64) auf -5,7°C. Sofern der Defekt der Wärmepumpe nicht exakt in dem Zeitraum zwischen diesen beiden Außentemperaturen eintritt, kann das Gebäude auch von den andere 4/5 den intakten Geräte versorgt werden.

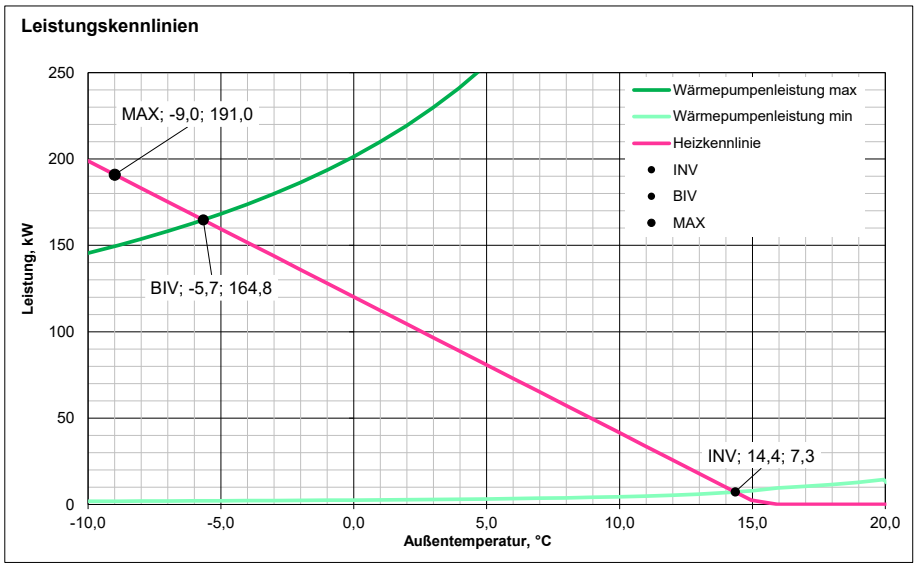


Abbildung 65 Grafik Leistungskennlinien und Heizsteigung H für Kaskaden im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM", Berufsbildende Schule Am Heidbrook 10, Defekt an 1/5 der Leistung

4.6.4 Sonderfall Trinkwassererwärmung mit Wärmepumpe

Grundsätzlich wird von den Autoren die Trennung der Heizwärmeproduktion und der Warmwasserproduktion empfohlen, siehe Empfehlungen in Kapitel 2.3.1 und 2.3.3.

4.6.5 Sonderfall Mikro-Nahwärme

Die Entscheidung, ob bei ausgedehnten Liegenschaften eine zentrale Wärmeversorgung erfolgt oder ggf. auf eine dezentrale Wärmeversorgung umgestellt wird, sollte qualitativ erfolgen. Hier wäre zunächst der Anteil der Netzverluste zu analysieren. Sind die Netzverluste hoch, sollten die angeschlossenen Gebäude eher dezentral mit Wärme versorgt werden und z. B. jeweils eine eigene Wärmepumpe erhalten. Die Vorgehensweise zur Trennung wäre wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben: Ermittlung des gebäudescharfen H-Wertes aus Messung oder Berechnung, darauf basierend die bivalente Auslegung der Wärmepumpe bzw. die Planung von Kaskaden.

4.7 EAV zur Erfolgskontrolle von Maßnahmen

Im Zuge der Qualitätssicherung und Betriebsoptimierung ermöglicht die Verbrauchsdatenauswertung mit dem EAV-Tool eine gezielte Erfolgskontrolle. Es sollte jeweils mit Abschluss der Sanierungsmaßnahmen eine neue EAV-Version erstellt werden, um den Vorher-Nachher-Vergleich darstellen zu können.

Dies soll am Beispiel der IGS Kreyenbrück gezeigt werden. Grundlage bildet die EAV des Brennstoffzählers des unsanierten Zustandes in den Jahren 2017 bis 2018 für alle drei Gebäude in Summe (Schulgebäude, Sporthalle und Mensa), aus der sich eine Wärmeverlustleistung H von 18,333 kW/K mit einem flächenspezifischen Wert (12.490,14 m²) von h=1,47 W/(m²K) ergibt. Die Nettoheizlast betrug 18,33 kW/K · 24 K = 440 kW.

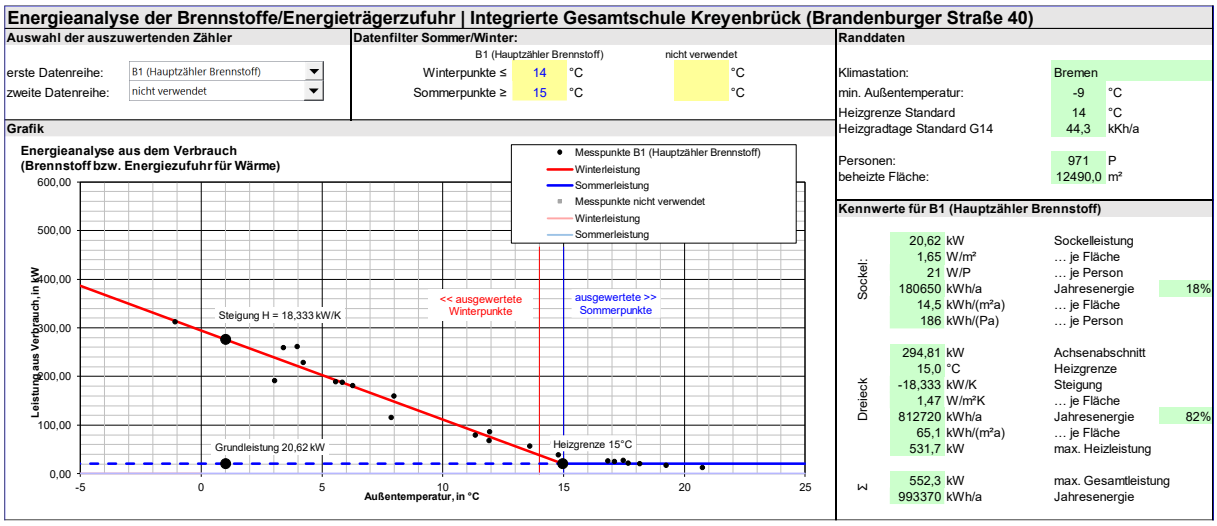


Abbildung 66 Energieanalyse aus dem Verbrauch, IGS Kreyenbrück 2017-2018

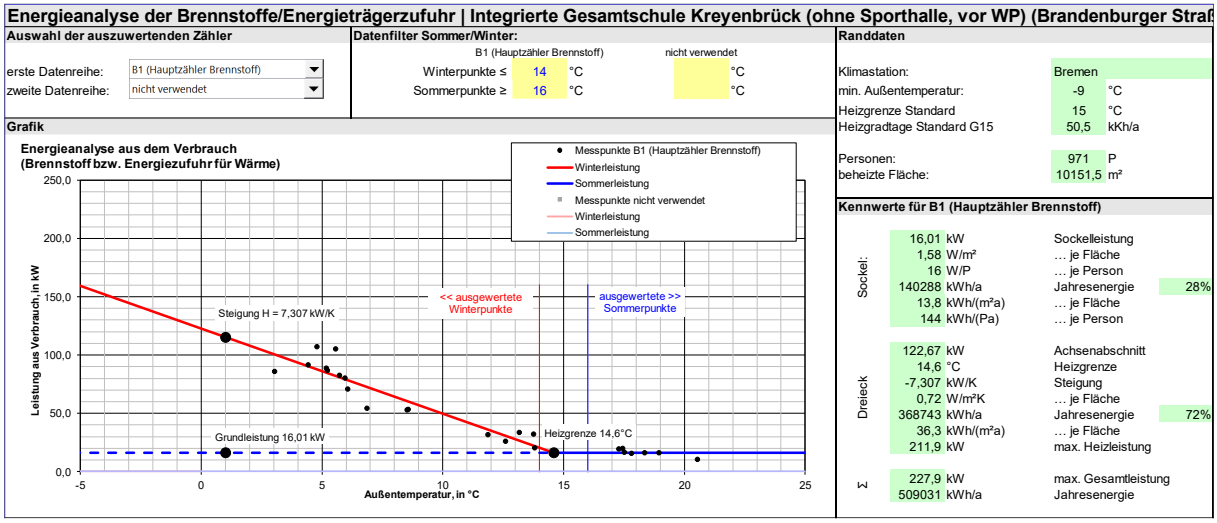


Abbildung 67 Energieanalyse aus dem Verbrauch, IGS Kreyenbrück 2022-2023

Die Erfolgskontrolle kann in diesem Fall nur den generellen Trend abbilden. Sie beschränkt sich auf die Jahre 2022…2023 nach der seriellen Sanierung des Schulgebäudes (8.337,89 m²), aber vor Installation der Wärmepumpe im Jahr 2024. Zudem war die Sporthalle (2.338,67 m²) von Sept. 2022 bis Ende 2025 für Sanierungsarbeiten gesperrt, was die Auswertung etwas erschwert. Die Energiebezugsfläche für die ausgewerteten Jahre 2022 und 2023 wurde auf 10.151,5 m² angepasst, wenngleich die Sporthalle im Jahr 2022 noch 8 Monate in Betrieb war.

Die Verbrauchsauswertung 2022…2023 ergibt eine Wärmeverlustleistung H von 7,307 kW/K. Hieraus ergibt sich ein deutlich gesunkener Kennwert von h = 0,72 W/(m²K).

4.8 Das Exceltool Lastprofilgenerator

Ergebnisse der Photovoltaik-Analyse sind: der zu erwartende Ertrag der geplanten Module, die Selbstnutzung von Strom und entsprechend die Rückspeisung von Überschüssen ins Netz, die Autarkie des Gebäudes und der Zukauf von Strom aus dem Netz. Die Photovoltaikanlage wird auch wirtschaftlich bewertet, ebenfalls werden Emissionen berechnet.

Damit insbesondere die Selbstnutzungsquote und Autarkie sinnvoll bewertet werden können, ist für das Gebäude vorab ein Lastprofil zu erstellen. Es gibt den Strombedarf in einer mindestens stundengenauen Auflösung an. Dieser Genauigkeitsgrad korreliert mit der stündlichen Ertragssimulation in der gewählten Software.

Die einzelnen Schritte für die Erstellung des Lastprofils sind:

- Vorgabe von 3 wesentlichen Bestandteilen des Strombedarfs: der Strombedarf für Heizung (Wärmepumpe), getrennt davon der Strombedarf für zentrale Trinkwassererwärmung (Wärmepumpe), der sonstige Strombedarf, einschließlich eventuell vorhandener dezentraler Trinkwassererwärmung,
- Aufteilung des Heizungsstrombedarfs auf die einzelnen Heiztage des Jahres, abhängig von der Außentemperatur (Quelltemperatur, Vorlauftemperatur), anschließend Aufteilung auf die jeweiligen Stunden des Tages, abhängig vom Regelungsprogramm (Absenkphasen nachts und am Wochenende, Wiederaufheizung),
- Aufteilung des Trinkwarmwasserstrombedarfs auf die Tage des Jahres, abhängig von der Außentemperatur (Quelltemperatur), anschließend Aufteilung auf die jeweiligen Stunden des Tages abhängig von Nutzungsintensitäten bei der Zapfung, aber auch Zirkulationslasten,
- Aufteilung des sonstigen Strombedarfs, zum Beispiel für Beleuchtung und Gerätenutzung, abhängig von der Jahreszeit (vereinfacht der Außentemperatur).

Es wird dazu ein Excel-Tool benutzt, in dem weitestgehend Vorschläge für die genannten Aufteilungen enthalten ist. Für das konkrete Projekt sind die Mengen bekanntzugeben, die aufgeteilt werden sollen. Das Ergebnis dieser Lastanalyse wird aus der Excel-Tabelle extrahiert (CSV).

Der Umgang mit dem „Lastprofilgenerator“ wird nachfolgend schrittweise erklärt. Dies betrifft im Wesentlichen die Herkunft der Inputdaten, die in gelben Zellen mit blauer Schrift hinterlegt werden. Es sind verpflichtende Eingabedaten zu unterscheiden von optionalen. Auch die Erstellung der Ergebnisdokumentation, einer CSV-Datei, wird erläutert.

4.8.1 Eingabedaten Stundenprofil

Abbildung 68 gibt einen Überblick über die Eingabedaten in diesem Blatt. Der Projektname ist optional einzugeben, er ist nicht ergebnisrelevant. Ergebnisrelevant sind die Eintragungen in der Rubrik „Energiemengen“. Aus ihnen wird das Lastprofil erstellt. Zur Datenherkunft:

- alle Werte sind der Excel-Datei „Witterungskorrektur und EAV“ zu entnehmen, die für das betreffende Projekt vorab auszufüllen ist
- Heizung: Blatt „WP_DIM“, Zellen S55 bis U55. Einzutragen ist die Summe. Weitere Erläuterungen siehe Kapitel 4.6.2.

  ➔ Für die Kita ergibt sich ein Strombedarf von 11.345 kWh/a.

- TWW zentral: Blatt „EAV_Brennstoff“ oder „EAV_Wärme“, Zelle Q18. Diese Zelle enthält den Jahreswert der witterungsunabhängigen Verbrauchsanteile aus der vorhandenen Messung von entweder eingesetztem Brennstoff (Normalfall) oder der daraus produzierten Wärme (Sonderfall). Im Falle der Brennstoffmessung wird mit einem angenommenen Jahresnutzungsgrad für den Kessel eine produzierte Wärmemenge abgeschätzt. Dieser Schritt entfällt, wenn die produzierte Wärmemenge gemessen wurde. Aus der produzierten Wärmemenge wird unter Annahme einer Jahresarbeitszahl für die Wärmepumpe im Trinkwarmwasserbetrieb die zugehörige elektrische Energiemenge berechnet. Weitere Erläuterungen siehe Kapitel 2.3 und 4.6.4.

  ➔ Für die Kita ergibt sich ein Strombedarf von 13.084 kWh/a · 0,9 / 2,86 = 3925 kWh/a

- Allgemeinstrom: Blatt „EAV_Strom“, Zelle Q29. Alternativ wird der gemessene Jahresstromverbrauch der letzten Jahre eingesetzt. Der Messwert darf die dezentrale Trinkwassererwärmung enthalten, aber keine Energiemengen für Wärmepumpen.

  ➔ Für die Kita ergibt sich ein Strombedarf von 4.008 kWh/a.

Vorgaben
In diesem Blatt MÜSSEN die Energiemengen ausgefüllt werden. Die anderen Werte können angepasst werden.

Projektname
Kita (ERLÖ056)
Oldenburg

Energiemengen		
Energiemengen für Strom		
Heizung	11.349	kWh/a
TWW zentral	4.116	kWh/a
Allgemeinstrom	4.008	kWh/a

Sonstige Annahmen		
Zufallszahlen im Bereich von ...	1,25	0
bis (keine Eingabe erforderlich) ...	0,75	1
Parameter	-0,500	1,25
Grundlastanteil Allgemeinstrom	0,4	

Abbildung 68 Eingaben im Blatt „Stundenprofil“ des Lastprofilgenerators

Im Abschnitt „Sonstige Annahmen“ kann zusätzlich eine Streuung der Stundenwerte erzeugt werden, damit das Lastprofil zufälliger wirkt. Dazu wird eine Zufallszahl zwischen 1 (keine Streuung) und 1,25 (Streuung zwischen 0,75 und 1,25) eingegeben. Diese Eingabe ist optional, es wird empfohlen den Wert bei 1,25 zu belassen.

Darüber hinaus ist der Grundlastanteil des Allgemeinstroms zu definieren. Er gibt an, welcher Anteil des vorher eingetragenen Allgemeinstroms nicht von der Nutzung durch Personen abhängt (Raumbeleuchtung, Monitore, Kaffeemaschinen usw.), sondern davon unabhängig ist (Notbeleuchtung, Server, Kühlschränke usw.). Aus einer Lastprofilmessung, Nachtmessung oder Wochenendmessung lässt sich der Wert ermitteln. Ohne Vorhandensein von Messwerten wird die Eingabe von 0,3 bis 0,5 empfohlen.

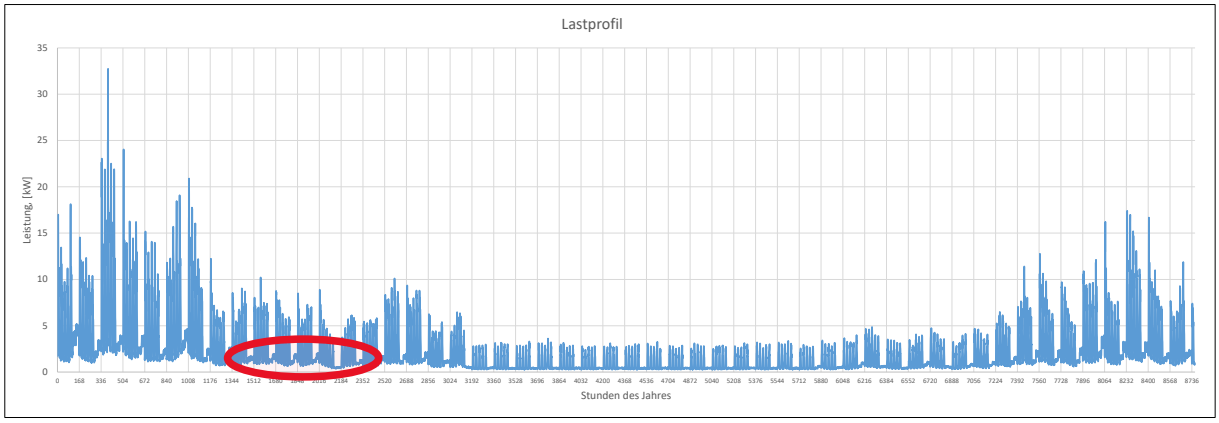


Abbildung 69 Beispielhaftes Lastprofil für eine Kita

Abbildung 69 zeigt das Resultat der vorherigen Eingaben. Die Rohdaten der angezeigten Grafik sind die Basis für die Analyse der Photovoltaik. Die Grafik selbst ist als informativ zu verstehen, d.h. sie wird nicht für die weitere Planung benötigt.

Die typische Nachtlast beträgt in den Übergangsjahreszeiten, wenn tagsüber noch mit PV-Angebot zu rechnen ist, etwa 800 W (im Sommer ist sie niedriger). Im Verlauf einer zwölfstündigen Phase ohne PV-Ertrag werden daher knapp 10 kWh benötigt. Dies ist ggf. relevant für die Auslegung eines Batteriespeichers, siehe Kapitel 4.9.5.

Die weiteren Daten, die zur Aufteilung des Verbrauchs auf die einzelnen Wochen, Tage und Stunden dienen, werden nachfolgend erläutert.

4.8.2 Optionale Daten Jahresprofil

Abbildung 70 zeigt die möglichen Eingabedaten für die Aufteilung der Jahresstrommengen auf Tageswerte. Basis der Überlegungen ist eine Nutzungsintensität auf einer Skala von 0 bis 10. Es handelt sich um eine fiktive Größe, die lediglich zur Aufteilung der vorher definierten Jahresmengen verwendet wird.

Das Lastprofil für die Heizung basiert auf den gemessenen Außentemperaturen am Standort Bremen im Jahr 2017. Dieses Jahr weist eine repräsentative Jahresmitteltemperatur auf (Messperiode 2000 bis 2024). Für das konkrete Projekt kann eine Heizgrenztemperatur eingetragen werden. Ohne weitere Kenntnisse wird die Verwendung von 15°C empfohlen. In dem Lastgenerator wird entsprechend der Jahresheizstromverbrauch auf alle Tage verteilt, deren Temperatur 15°C oder geringer ist.

➔ Für die Kita wird eine Heizgrenztemperatur eingetragen, da diese aus der Energieanalyse bekannt ist, siehe Kapitel 4.4.

Darüber hinaus wird mit den Intensitäten 1 bis 10 festgelegt, ob an speziellen Wochentagen der Verbrauch zusätzlich nach oben oder unten korrigiert wird. Die beispielhaften Eintragungen werden zur Anwendung empfohlen, außer es sind genauere Kenntnisse zur Heizungsregelung bekannt. Die Intensitäten sind so zu interpretieren: an Montagen ergibt sich ein höherer Verbrauch aufgrund der Wiederaufheizung nach der Wochenendabsenkung. Von Dienstag bis Freitag ergibt sich ein typischer Wochentagsverbrauch. Am Sonnabend ist der Verbrauch am geringsten, da das Gebäude noch eine gespeicherte Wärme aufweist, aber eine Wochenendabsenkung betrieben wird. Am Sonntag ist normaler Absenkbetrieb gegeben. Entsprechend der Eintragungen ergeben sich Zu- und Abschlagsfaktoren, für die Kita von 42 bis 140 %.

Nach ähnlicher Logik der Intensitäten ergeben sich die Eintragungen für die zentrale Trinkwassererwärmung. Es wird davon ausgegangen, dass von Montag bis Freitag Trinkwarmwasser gezapft wird, an den Wochenenden jedoch nur Zirkulationslast vorhanden ist.

Im Falle des Allgemeinstroms wird berücksichtigt, dass dieser über die Jahreszeiten nicht konstant ist. Sofern nicht bessere Erkenntnisse gegeben sind, werden Faktoren im Bereich von 1,25 (Winter) bis 0,8 (Sommer) auf den durchschnittlichen Tagesverbrauch angesetzt. Konkret bedeutet dies, dass der Allgemeinstromverbrauch an Tagen mit -7,1°C etwa 25 % über dem Durchschnitt liegt, im Hochsommer entsprechend darunter.

Die Lastprofile für den Heizungsstrom und den Strom der zentralen Trinkwassererwärmung betreffen den Energieträger Strom. Die zugehörigen Arbeitszahlen der Wärmepumpen sind nicht konstant. Es ist somit nicht ausreichend, lediglich die Wärme auf die einzelnen Tage zu verteilen. Es werden zusätzliche Abschätzungen für die Effizienz der Geräte benötigt. Der Näherungsansatz des Lastprofilgenerators basiert auf der Carnot-Methode, bei der die Effizienz (Arbeitszahl oder COP) von der Vorlauf- und Quelltemperatur abhängt.

- $AZ\ bzw. COP = 0{,}5 \frac{273\ K + \vartheta_V}{\vartheta_V - \vartheta_{Quelle} + 6K}$

Für den kältesten Heiztag (hier-7,1°C) sowie den letzten Heiztag (hier Heizgrenztemperatur 15°C) sind jeweils Vorlauftemperaturen abzuschätzen. Im Beispiel der Kita sind 53°C bzw. 40°C hinterlegt. Innerhalb der Heizperiode bewegt sich die Effizienz zwischen 2,47 und 5,40.

Im Falle der zentrale Trinkwassererwärmung mit einer Wärmepumpe ist das Verfahren ähnlich aufgebaut. Es wird eine Trinkwarmwassertemperatur benötigt. Im Beispiel der Kita sind ganzjährig 65°C eingetragen. Innerhalb des Jahres bewegt sich die Effizienz zwischen 2,16 und 3,56.

- $AZ\ bzw. COP = 0{,}5 \frac{273\ K + \vartheta_{ww}}{\vartheta_{ww} - \vartheta_{Quelle} + 6K}$

Vorgaben	In diesem Blatt sollten Zahlen nur bei Bedarf geändert werden.	
Heizgrenze	17	°C

Zu- und Abschläge für Absenkung und Wiederaufheizung	Intensität 1 - 10							
	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mittel
Anwesenheit	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	
Verbrauch	8	8	8	8	8	5	5	
Wiederaufhe	2							
Absenkung						-2		
Summe	10	8	8	8	8	3	5	7
Faktoren	140%	112%	112%	112%	112%	42%	70%	100%

Zu- und Abschläge für Trinkwarmwasser	Intensität 1 - 10							
	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mittel
Anwesenheit	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	
Verbrauch	10	10	10	10	10	5	5	9
Faktoren	117%	117%	117%	117%	117%	58%	58%	100%

Zu- und Abschläge für Beleuchtung & Co im Winter/Sommer		
	Faktor	°C
kältester Winter	1,25	-7,1
wärmster Sommer	0,80	23,5

Arbeitszahl min und max für Heizung		
	COP	°C
schlechtester	2,47	-7,1
Ende Heizzeit	5,40	17

Arbeitszahl min und max für Trinkwarmwasser		
	COP	°C
schlechtester	2,16	-7,1
Sommer	3,56	23,5

Tag	H	TWW
1	140%	117%
2	112%	117%
3	112%	117%
4	112%	117%
5	112%	117%
6	42%	58%
7	70%	58%

Abbildung 70 Eingaben im Blatt „Jahresprofil“ des Lastprofilgenerators

Sollten die in diesem Eingabeblatt benötigten Daten nur ungenau bekannt sein oder versehentlich Eintragungen trotz besseren Wissens nicht angepasst werden, beeinflusst dies das Ergebnis nur geringfügig. Hintergrund: die Daten werden verwendet, um die vorher fest definierte Jahresenergiemenge auf die einzelnen Tage aufzuteilen. Es ergibt sich entsprechend keine andere Jahresenergiemenge, sondern nur eine abweichende Aufteilung.

4.8.3 Optionale Eingabedaten Tages- und Wochenprofil

Abbildung 71 zeigt die Eingabematrix für die Erstellung der Tagesprofile (Montag bis Freitag werden identisch modelliert, die Wochenenden ebenso). Basis der Überlegungen ist auch hier die Nutzungsintensität auf einer Skala von 0 bis 10.

Die eingetragenen Intensitäten sind wie folgt zu verstehen: der Nutzerstromverbrauch wird auf die Wochentage verteilt, am Wochenende ist kein Nutzerstromverbrauch festzustellen (der lastunabhängige Stromverbrauch ist davon unberührt). An Wochentagen steigt die Intensität von 06:00 Uhr morgens bis 08:00 Uhr morgens an, weist einen kleinen Rückgang mittags auf, und sinkt von 13:00 bis 17:00 Uhr wieder ab. In erster Näherung dürfte diese Annahme für viele Nutzungsprofile zutreffend sein.

Der Heizstromverbrauch eines Tages weist innerhalb der Wochentage ein Maximum zwischen 05:00 und 07:00 Uhr auf, da von einer Wiederaufheizung ausgegangen wird. In den sonstigen Nutzungsstunden an Wochentagen ist er moderat, nachts und am Wochenende sinkt er nie auf 0. Es wird nicht von Abschaltung der Heizung ausgegangen. Das insgesamt an den verschiedenen Wochentagen keine identischen Verbräuche vorliegen, wird bei der Erstellung des Jahresprofils bereits berücksichtigt.

Vorgaben — In diesem Blatt sollten Zahlen nur bei Bedarf geändert werden.

Stunde	Nutzerstrom Skala 1-10 Mo - Fr	Sa - So	Anteile Mo - Fr	Sa - So
1			0,0000	0,0000
2			0,0000	0,0000
3			0,0000	0,0000
4			0,0000	0,0000
5			0,0000	0,0000
6	1		0,0116	0,0000
7	5		0,0581	0,0000
8	10		0,1163	0,0000
9	10		0,1163	0,0000
10	10		0,1163	0,0000
11	10		0,1163	0,0000
12	8		0,0930	0,0000
13	10		0,1163	0,0000
14	8		0,0930	0,0000
15	8		0,0930	0,0000
16	5		0,0581	0,0000
17	1		0,0116	0,0000
18			0,0000	0,0000
19			0,0000	0,0000
20			0,0000	0,0000
21			0,0000	0,0000
22			0,0000	0,0000
23			0,0000	0,0000
24			0,0000	0,0000
	86	0	1	0

Stunde	Heizungsstrom Skala 1-10 Mo - Fr	Sa - So	Anteile Mo - Fr	Sa - So
1	1	1	0,0118	0,0417
2	1	1	0,0118	0,0417
3	1	1	0,0118	0,0417
4	5	1	0,0588	0,0417
5	10	1	0,1176	0,0417
6	10	1	0,1176	0,0417
7	10	1	0,1176	0,0417
8	7	1	0,0824	0,0417
9	5	1	0,0588	0,0417
10	5	1	0,0588	0,0417
11	5	1	0,0588	0,0417
12	5	1	0,0588	0,0417
13	5	1	0,0588	0,0417
14	3	1	0,0353	0,0417
15	2	1	0,0235	0,0417
16	2	1	0,0235	0,0417
17	1	1	0,0118	0,0417
18	1	1	0,0118	0,0417
19	1	1	0,0118	0,0417
20	1	1	0,0118	0,0417
21	1	1	0,0118	0,0417
22	1	1	0,0118	0,0417
23	1	1	0,0118	0,0417
24	1	1	0,0118	0,0417
	85	24	1	1

Stunde	Warmwasserstrom (zentral, Zirkulation Skala 1-10 Mo - Fr	Sa - So	Mo - Fr	Sa - So
1	1	1	0,0132	0,0417
2	1	1	0,0132	0,0417
3	1	1	0,0132	0,0417
4	1	1	0,0132	0,0417
5	1	1	0,0132	0,0417
6	1	1	0,0132	0,0417
7	1	1	0,0132	0,0417
8	5	1	0,0658	0,0417
9	5	1	0,0658	0,0417
10	10	1	0,1316	0,0417
11	10	1	0,1316	0,0417
12	10	1	0,1316	0,0417
13	10	1	0,1316	0,0417
14	5	1	0,0658	0,0417
15	5	1	0,0658	0,0417
16	1	1	0,0132	0,0417
17	1	1	0,0132	0,0417
18	1	1	0,0132	0,0417
19	1	1	0,0132	0,0417
20	1	1	0,0132	0,0417
21	1	1	0,0132	0,0417
22	1	1	0,0132	0,0417
23	1	1	0,0132	0,0417
24	1	1	0,0132	0,0417
	76	24	1	1

Abbildung 71 Eingaben im Blatt „Tages- und Wochenprofil" des Lastprofilgenerators

Eine ähnliche Logik ergibt sich für die zentrale Trinkwassererwärmung. Die Phasen mittlerer und starker Trinkwarmwasserzapfung sind markiert, aufgrund der Zirkulation ist die Intensität nie 0.

Auch an dieser Stelle gilt: sollten die in diesem Eingabeblatt benötigten Daten nicht genau bekannt sein oder versehentlich Eintragungen trotz besseren Wissens nicht angepasst werden, beeinflusst dies das Ergebnis nur geringfügig. Die Gesamtmenge an Energie ist von den Eingaben unabhängig, die Daten dienen lediglich der Aufteilung des Strombedarfs auf die einzelnen Stunden des Tages.

4.8.4 Datenauszug einer CSV-Datei

Damit die Daten weiterverarbeitet werden können, muss eine separate Datei erstellt werden. Sie liegt im Format „CSV" vor. Es ist wie folgt vorzugehen: mit der rechten Maustaste ist das Blatt „CSV" anzuklicken. Die Option „verschieben oder kopieren" ist zu wählen, siehe Abbildung 72.

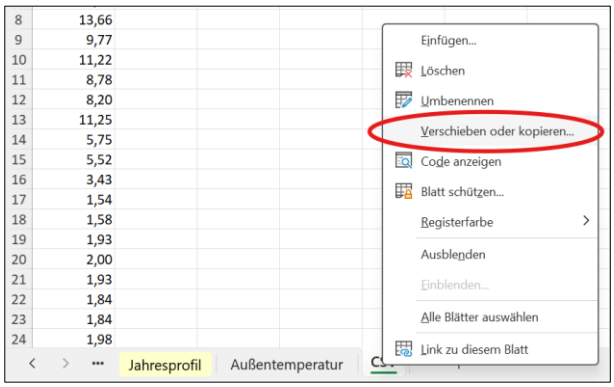


Abbildung 72 Erstellung einer Kopie des Blattes „CSV"

Das Blatt ist in einer neuen Arbeitsmappe zu speichern. Es sollte aber nicht verschoben, sondern kopiert werden. Dies ist auszuwählen und anschließend „OK" zu drücken, siehe Abbildung 73.

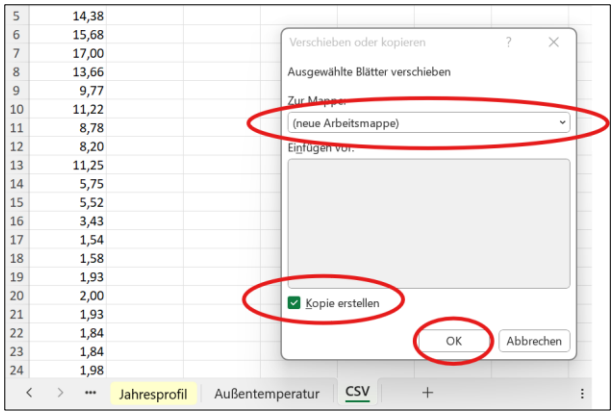


Abbildung 73 Speichern der „CSV“ in einer separaten Datei

Es öffnet sich eine neue Datei, die jedoch mit der alten verlinkt ist. Um die Links zu löschen, ist in der Registerkarte „Daten“ das Icon „Workbook Links“ auszuwählen. Nach dem Anklicken öffnet sich ein separates Menü, hier rechts im Bild. Die Links sind mit der Schaltfläche „Alle unterbrechen“ zu entfernen, siehe Abbildung 74.

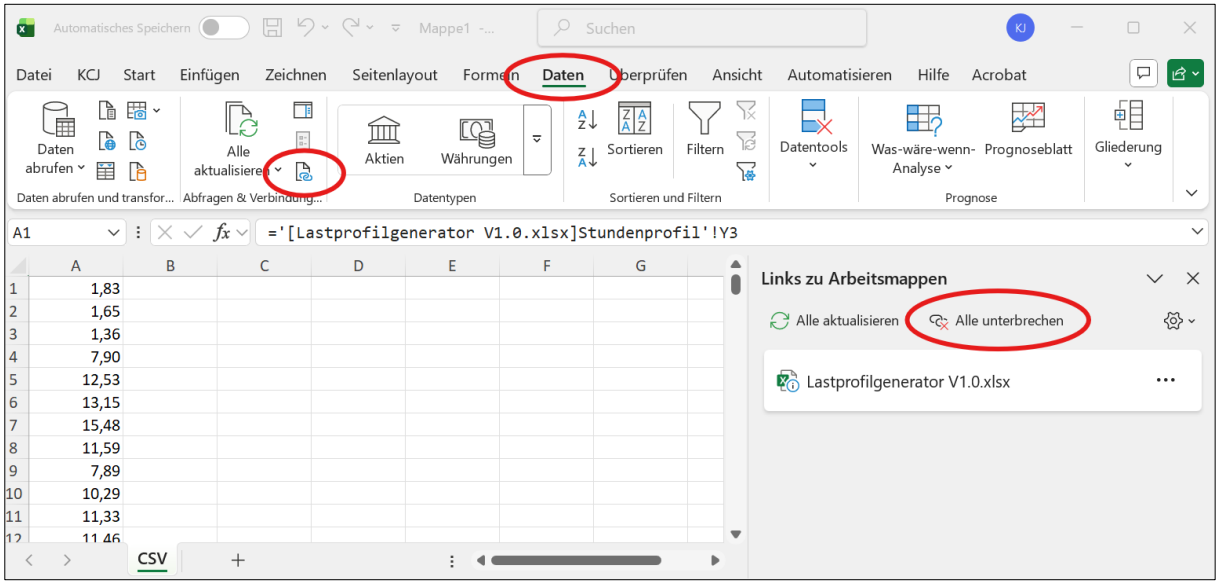


Abbildung 74 Löschen aller Verlinkungen in der neuen Datei

Abschließend ist die Datei auf dem Rechner zu speichern. Es ist der Befehl „Speichern unter“ dazu zu verwenden, da vorher noch der Dateityp auf „CSV“ zu setzen ist, siehe Abbildung 75. Der gewählte Name der neuen Datei sowie der Speicherort sind beliebig wählbar.

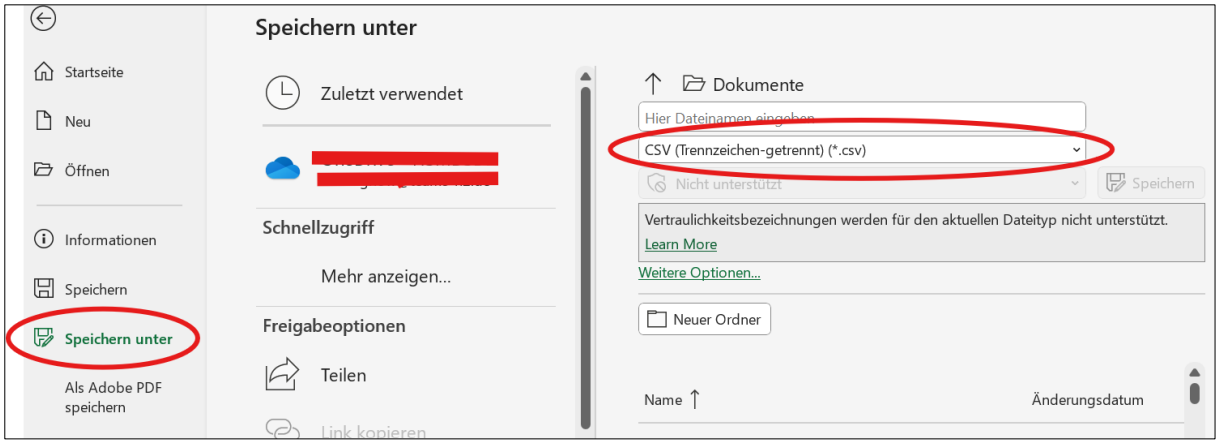


Abbildung 75 Speichern neuen Datei

4.9 Das Online-Tool SunnyDesigner

Die einzelnen Schritte der Analyse der Photovoltaikanlage sind:

- Anlegen eines Projektes, Eintragung der Standortdaten, Einladen des vorher erstellten Lastprofils
- Einzeichnen geeigneter Dachflächen in eine Aufsicht des Gebäudes, Platzierung von Photovoltaikfeldern, Bildung von Strings, Verschaltung mit Wechselrichtern
- optionale Addition einer Batterie
- Festlegung von Randdaten für die ökonomische und ökologische Bewertung (Strompreise, spezifische Kosten für die Photovoltaik und die Batterie, Zinsen, Preissteigerungen, Betrachtungszeiträume)
- Simulation des Gesamtsystems.

Es wird dazu ein Online-Tool benutzt, welches kostenlos zur Verfügung steht. Die Ergebnisse lassen sich als PDF-Berichte abspeichern.

Der Umgang mit dem Online-Tool „SunnyDesigner“ wird nachfolgend schrittweise erklärt. Da die komplette Anwendung aller Funktionen des Programms sehr viel mehr Einarbeitung erfordert, wird zusätzlich die Nutzung der programminternen Tutorials empfohlen. Jedoch ist der Umgang mit der Software intuitiv, so dass sich sehr schnell die gewünschten Ergebnisse (Stromproduktion, Selbstnutzungsanteil und Autarkie, ökonomische und ökologische Bewertung) erzielen lassen.

4.9.1 Einloggen und Projekt laden

Im ersten Schritt ist ein Account anzulegen. Alle Erläuterungen dazu sind der Internetseite „https://www.sunnydesignweb.com/sdweb“ zu entnehmen. Die Nutzung der Software ist kostenlos möglich. Es können Projekte im Online-Account gespeichert werden, aber auch extrahiert und in einem anderen Account geöffnet werden. Die Datei liegt im Format „*.sdp3“ vor.

Es empfiehlt sich, eine vorhandene Datei als Basis für neue Projekte zu verwenden, da alle Einstellungen zu Standort, Preisen, Zinsen usw. nicht noch einmal vorzunehmen sind. Ein vorhandenes Projekt, welches vorher auf dem lokalen PC gesichert wurde, wird dazu importiert, siehe Abbildung 76.

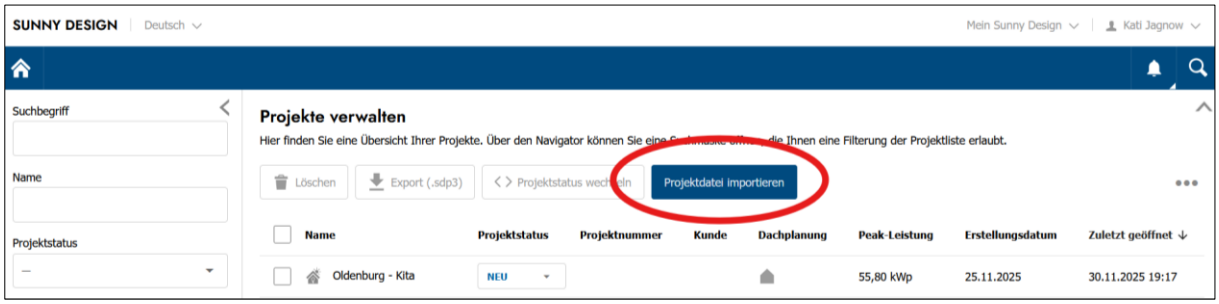


Abbildung 76 „Projektverwaltung“ in SunnyDesigner

4.9.2 Projektdaten

Nach der Vergabe eines sinnvollen Namens für das neue Projekt wird die Adresse eingetragen, siehe Abbildung 77. Die Standortdaten sollten passend sein, da für Oldenburg mit dem Datensatz von Bremen geplant wird. Zu der Adresse wird eine Online-Karte aufgerufen und das entsprechende Gebäude markiert. Wurde die Markierung „nicht zutreffend“ gesetzt, kann sie manuell direkt in der Grafik angepasst werden.

Alle weiteren Eintragungen können bis auf weiteres so belassen werden (Temperatureinstellungen, Ertragsverluste, Netzanschluss) bzw. müssen in regelmäßigen Abständen geprüft werden (Randdaten des EEG).

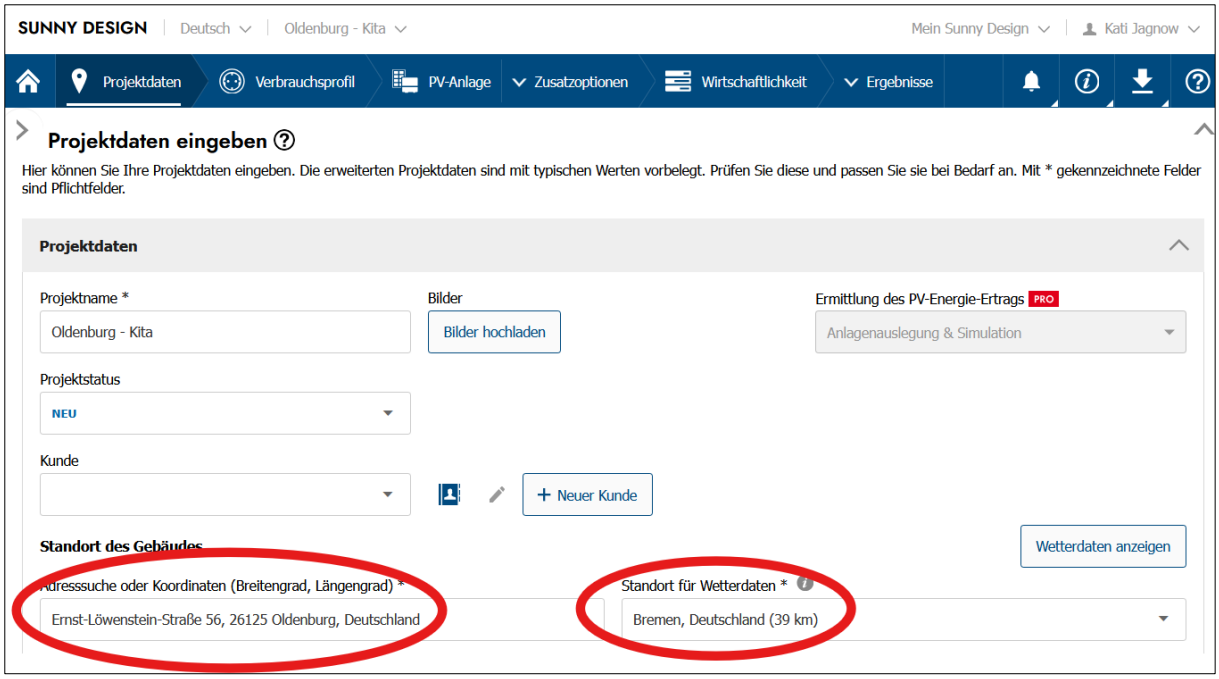


Abbildung 77 „Projektdaten“ in SunnyDesigner

4.9.3 Verbrauchsprofil

Das Verbrauchsprofil, welches vorher mit dem Excel-Tool „Lastprofilgenerator“ erzeugt wurde, wird eingelesen. Dies ist erforderlich, da die softwareseitig zur Verfügung gestellten Verbrauchsprofile unpassend sind für Schulen oder Kindertagesstätten.

Es ist umzuschalten auf „Eigenes Verbrauchsprofil“. Mit der Schaltfläche „Neues Verbrauchsprofil“ ist ein solches neu anzulegen, Abbildung 78.

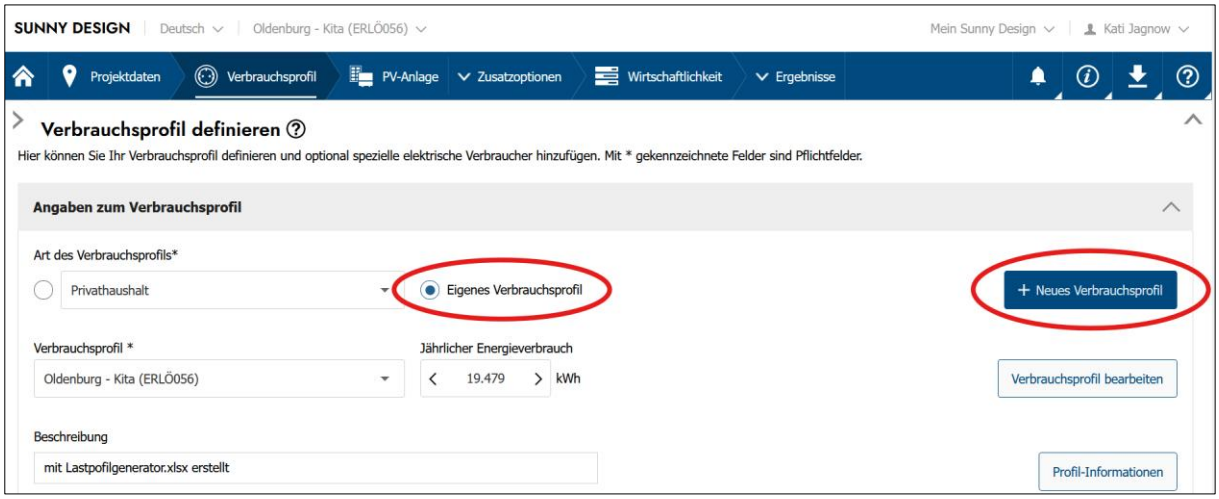


Abbildung 78 Anlegen eines neuen Verbrauchsprofils in SunnyDesigner

Es öffnet sich der Eingabedialog gemäß Abbildung 79. Ein sinnvoller Name für das Verbrauchsprofil ist anzugeben. Da für jedes Projekt ein neues Verbrauchsprofil benutzt wird, sollte der Name eindeutig dem Projekt zugeordnet werden können. Für die Kindertagesstätte heißt es beispielsweise „Oldenburg – Kita (ERLÖ056)“ in Anlehnung Adresse.

Die unten voreingestellten Angaben zur Art des Datensatzes müssen übernommen werden. Sie entsprechen den Randdaten, mit denen die CSV erstellt wurde. Im Einzelnen: 365 Tage, 60 Minuten, Angaben in kWh, erster Tag Montag. Der Speicherort der CSV ist aufzurufen, danach die Schaltfläche „Verbrauchsdaten importieren“ drücken, zum Schluss „Verbrauchsprofil speichern“.

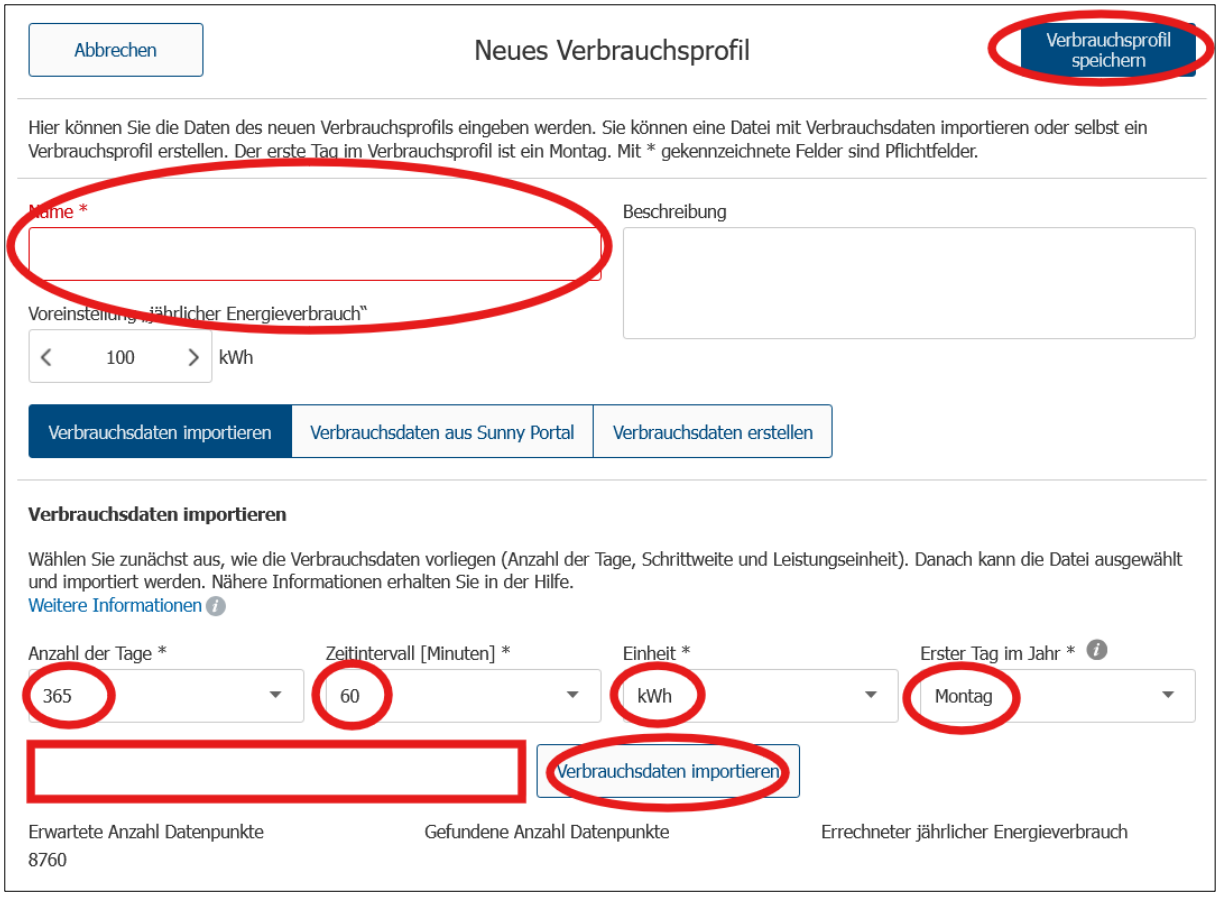


Abbildung 79 Detailinformationen des Verbrauchsprofils in SunnyDesigner

Das neu hinzugefügte Verbrauchsprofil kann nun im Projekt genutzt werden, wie in Abbildung 78 zu sehen.

4.9.4 PV-Anlage

Abbildung 80 zeigt die fertig konzipierte PV-Anlage im Beispielprojekt, das heißt der Kita. Um in die Detailplanung zu gelangen, ist das Planungsfoto anzuklicken.

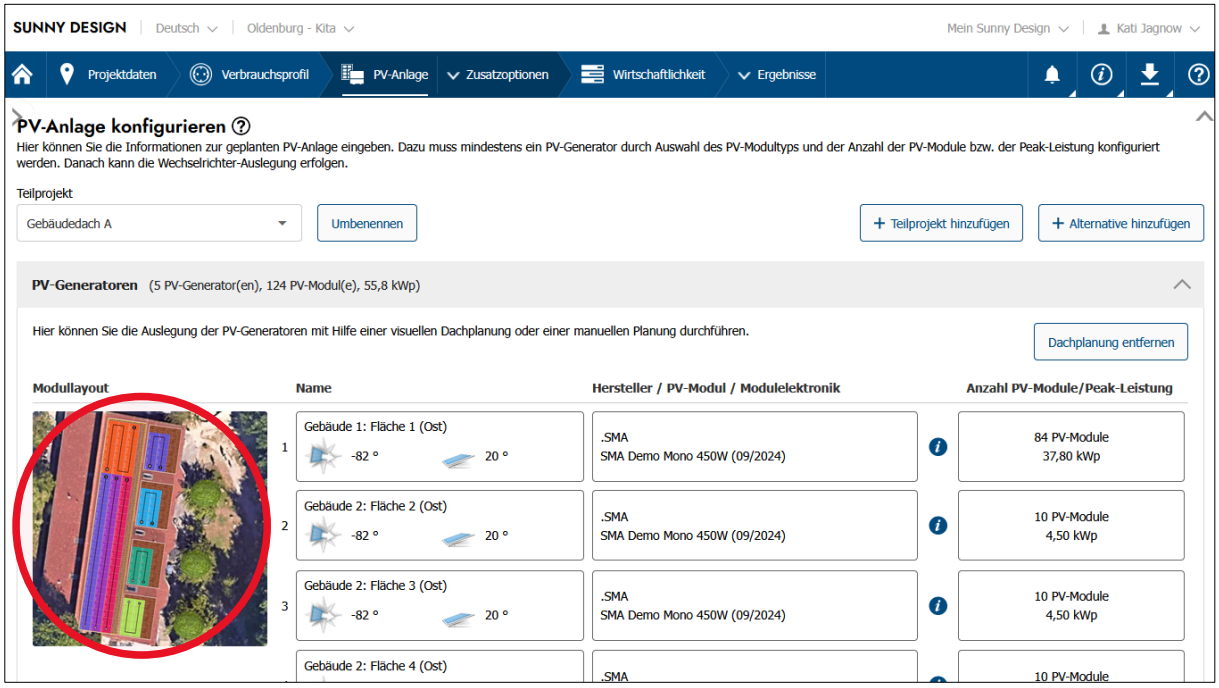


Abbildung 80 Überblick über die PV-Anlage in SunnyDesigner

Es öffnet sich der Eingabedialog für Dachflächen, PV-Paneele und deren elektrische Auslegung (Wechselrichter, elektrische Leitungen). Begonnen wird über den Menüpunkt „Gebäude festlegen“.

Sind in dem Projekt bereits Dachflächen vorhanden, lassen diese sich in der grafischen Oberfläche auswählen und – falls erforderlich – löschen. Auf dem dann leeren Dach des Gebäudes ist eine oder sind mehrere neue Dachflächen festzulegen, indem diese eingezeichnet werden. Die vorhandene Dachform ist dabei zu berücksichtigen. Die 3D-Ansicht hilft, die Dachneigung korrekt festzulegen. Abbildung 81 zeigt beispielhaft 5 auf dem Dach der Kita festgelegte Dachflächen.

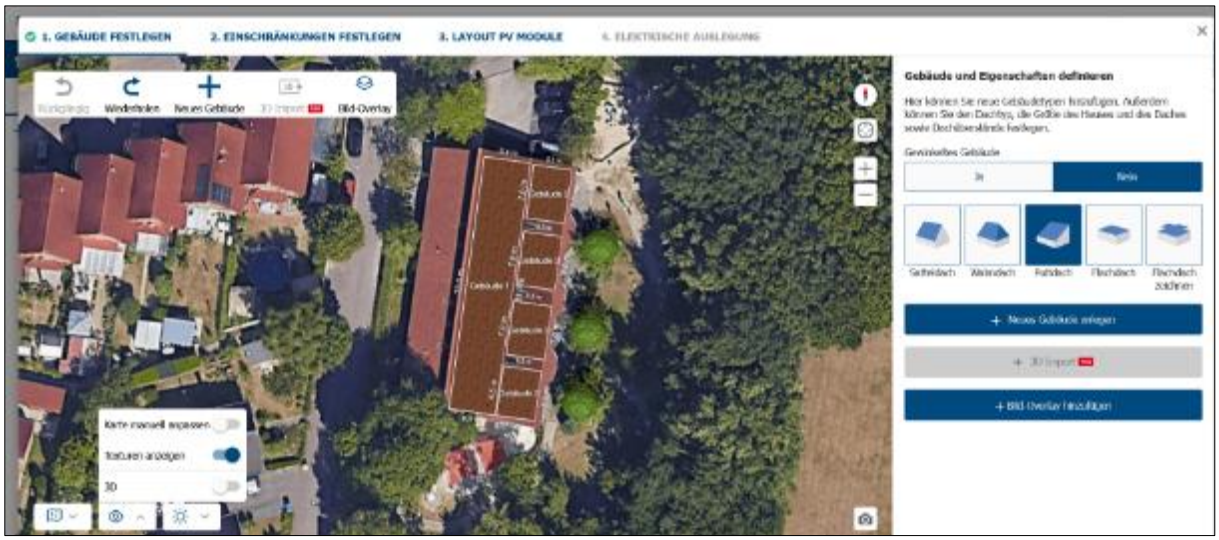


Abbildung 81 Definition von Dachflächen in SunnyDesigner

Anschließend kann in den Menüpunkt „Einschränkungen festlegen“ gewechselt werden, Gauben und Bäume können eingetragen werden. Im dritten Schritt wird in den Menüpunkt „Layout PV Module“ gewechselt. Wie in Abbildung 82 gezeigt, werden nacheinander alle Dachflächen ausgewählt und PV-Module hinzugefügt. Dies erfolgt automatisch. Es wird empfohlen, ein monokristallines PV-Modul zu wählen. Im Beispiel der Kita wurde ein 450 W Modul (herstellerneutral) verwendet. Ob die Ausrichtung der Module hochkant oder liegend erfolgt, ist projektweise zu entscheiden. Der Button „PV-Module anordnen“ führt zum Einzeichnen in die Grafik.

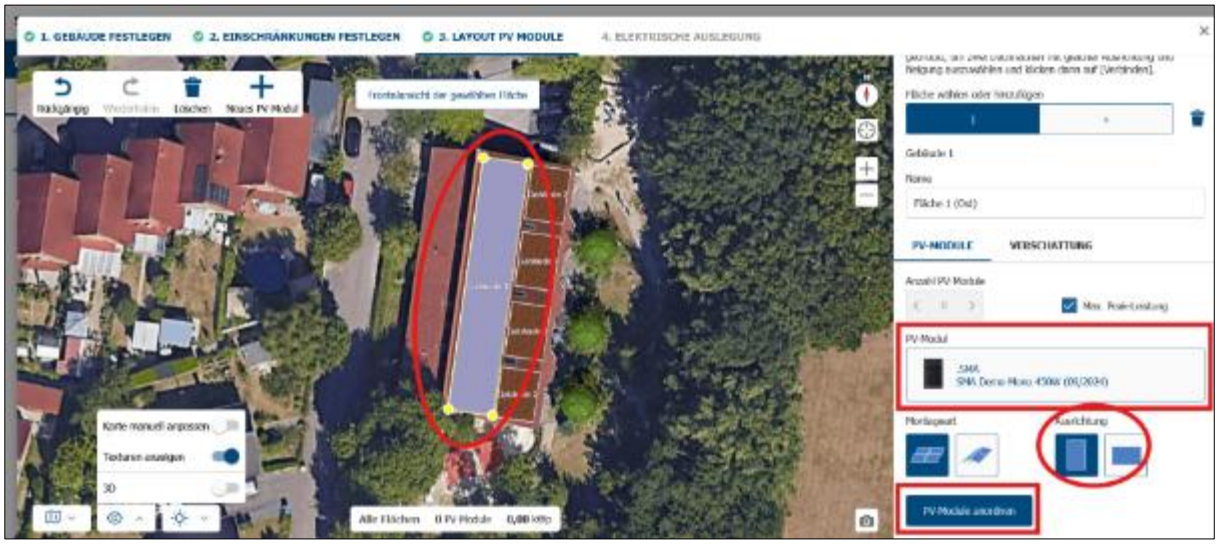


Abbildung 82 Bestückung mit PV-Modulen in SunnyDesigner

Im Menüpunkt „Elektrische Auslegung“ werden die Module mit Wechselrichtern verbunden. Im einfachsten Fall werden in der Grafik oder im Eingabebereich rechts alle Teildachflächen angeklickt, siehe Abbildung 83. Der Button „Auslegungsvorschläge“ führt zu einer Auswahlliste von Wechselrichtern. Im Beispielprojekt wurde der wirtschaftlichste Wechselrichter gewählt.

Lassen sich nicht alle Module an einen Wechselrichter anschließen, muss dieser Schritt ggf. wiederholt werden. Im Beispielprojekt konnten die 5 PV-Felder an 2 Wechselrichtern angeschlossen werden.

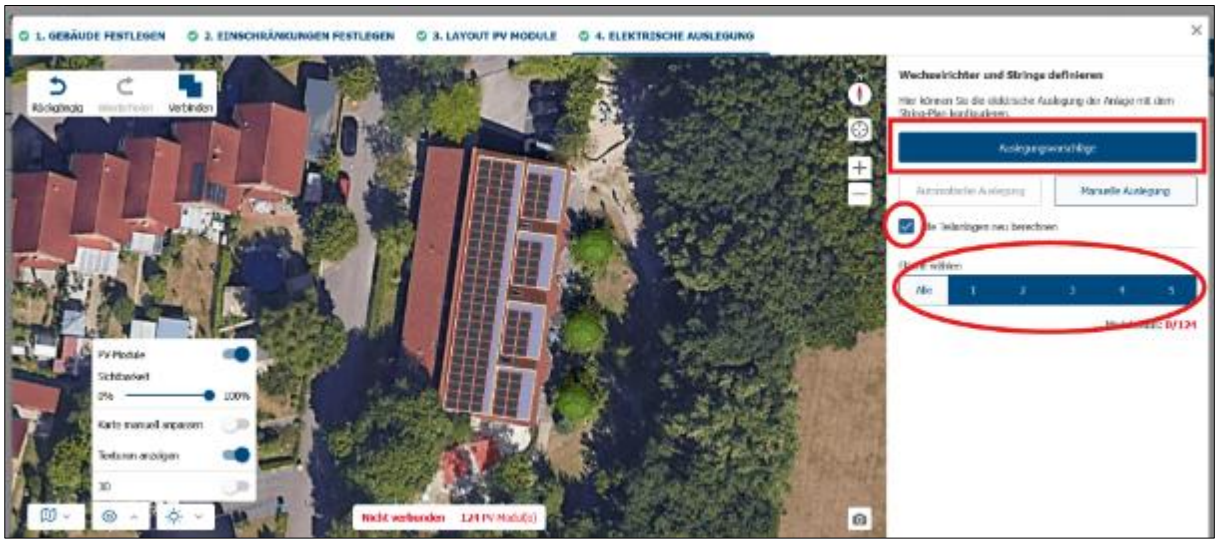


Abbildung 83 Hinzufügen von Wechselrichtern in SunnyDesigner

Abbildung 84 zeigt die für die Berechnung verwendeten Wechselrichter. Es wird ebenso markiert, welche Strings in den Dachflächen zum jeweiligen Wechselrichter gehören und wie verschaltet wird. Ob die Verwendung exakt dieser Wechselrichter und diese Verschaltung in der realen Umsetzung Anwendung findet, ist zweitrangig. Bei der Anwendung des Programmes kann dieser Schritt nicht übersprungen werden, da sonst keine Berechnungsergebnisse generiert werden.

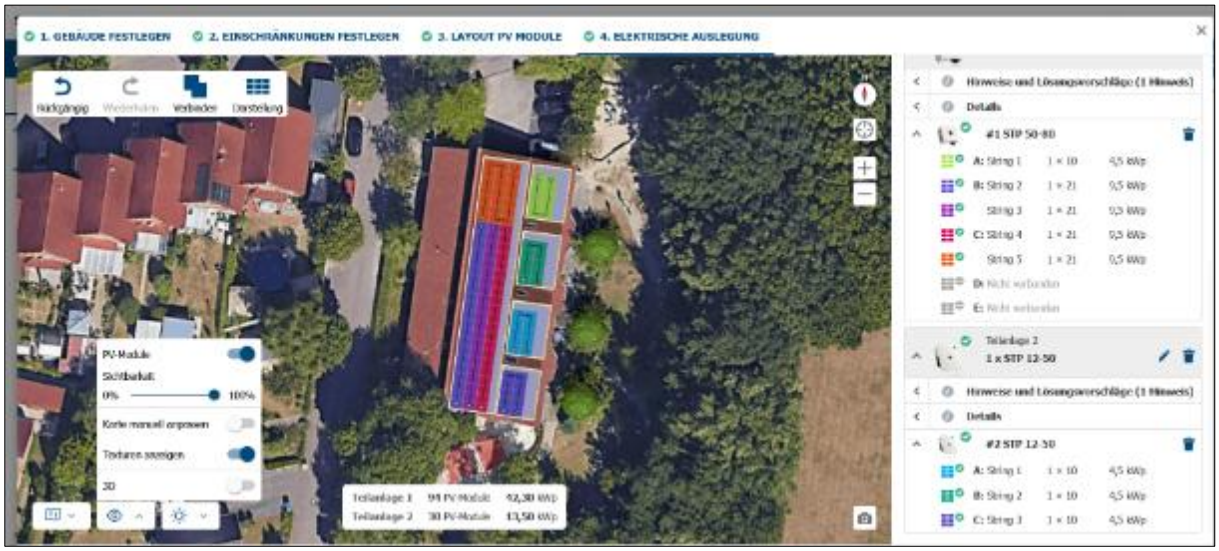


Abbildung 84 Ausstattung mit Strings und Wechselrichtern in SunnyDesigner

4.9.5 Zusatzoptionen

Unter den möglichen Zusatzoptionen sind die Batteriespeicher zu nennen. Sie werden hinzu addiert über den Menüpunkt „Eigenverbrauch“. Abbildung 85 zeigt das optional gewählte System für die Kita. Zum Einsatz kommt beispielsweise ein Speichersystem mit 10 kWh, da diese Energiemenge zur Überbrückung einer Nacht in der Übergangsjahreszeit geeignet ist, siehe Kapitel 4.8.1. Wird eine größere Speicherkapazität benötigt, ist am rechten Rand auf die Produktbeschreibung zu klicken. Es können weitere Speicher hinzugefügt werden.

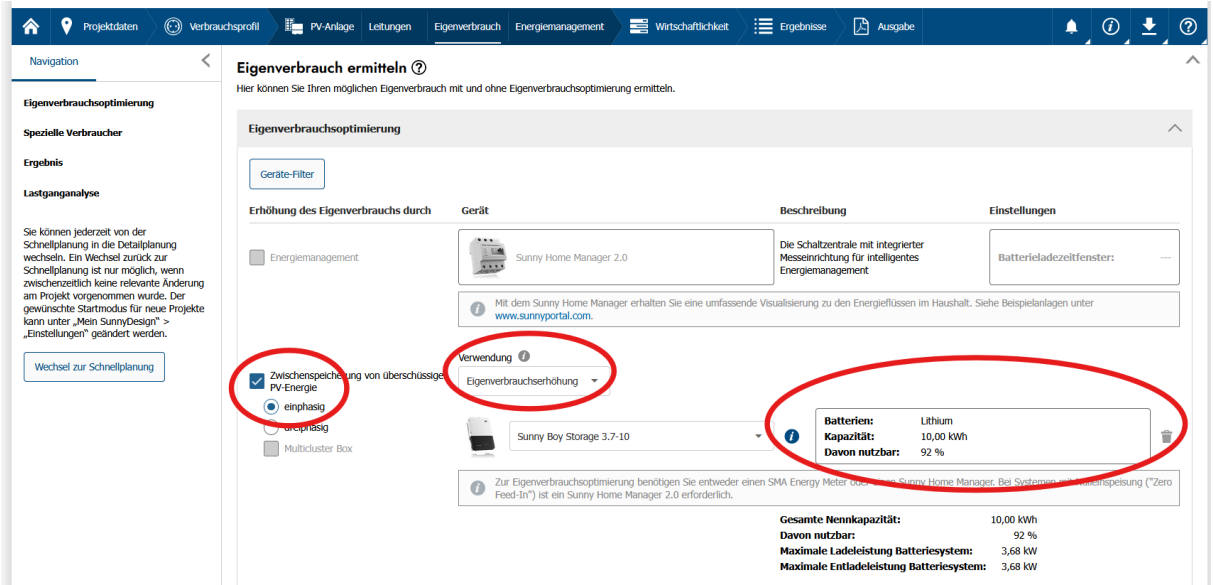


Abbildung 85 Hinzufügen einer Batterie in SunnyDesigner

Die zusätzlichen Abfragen, welche die Wärmeleistung der Wärmepumpe betreffen oder die Ladeleistungen von Elektromobilität, werden in dieser Vorplanung unbeachtet gelassen.

4.9.6 Kosten und Preise

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit sind alle entsprechenden Randdaten einzutragen. Es wird empfohlen, die Investitionskostenschätzung als „vereinfachte Kosteneingabe“ auszuführen, siehe Abbildung 86. Entsprechend sind spezifische Preise für die PV-Module (hier nach Peak-Leistung, 1000€/kW) und den Batteriespeicher (hier je Speicherkapazität, 800 €/kWh) zu hinterlegen. Die eingetragenen Werte bilden etwa den Preisstand von 2025 ab. Sie sollten nach einer gewissen Projekterfahrung an die lokalen Verhältnisse angepasst werden.

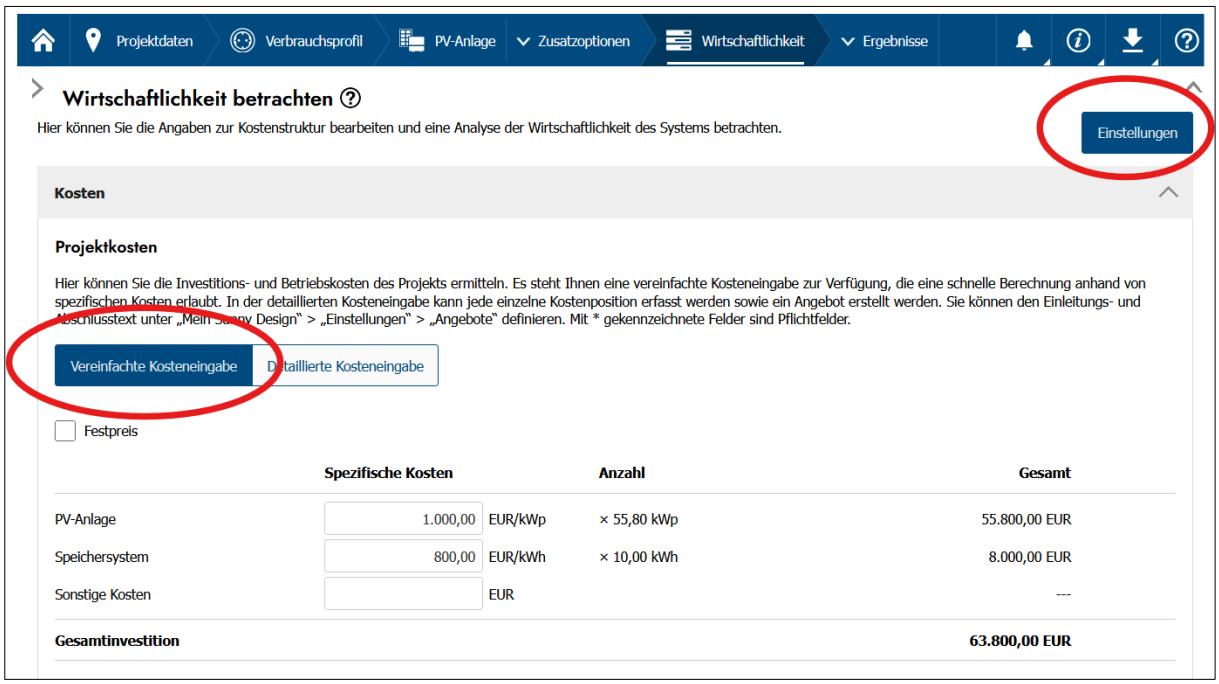


Abbildung 86 Festlegung von Investitionskosten in SunnyDesigner

Wird die Schaltfläche „Einstellungen“ gewählt, öffnet sich der Dialog gemäß Abbildung 87. Es ist ein sinnvoller und aktueller Finanzierungszins (Kalkulationszinssatz) einzutragen, die anderen Eingaben können ohne Änderung übernommen werden. Der Dialog wird mit „OK“ wieder geschlossen.

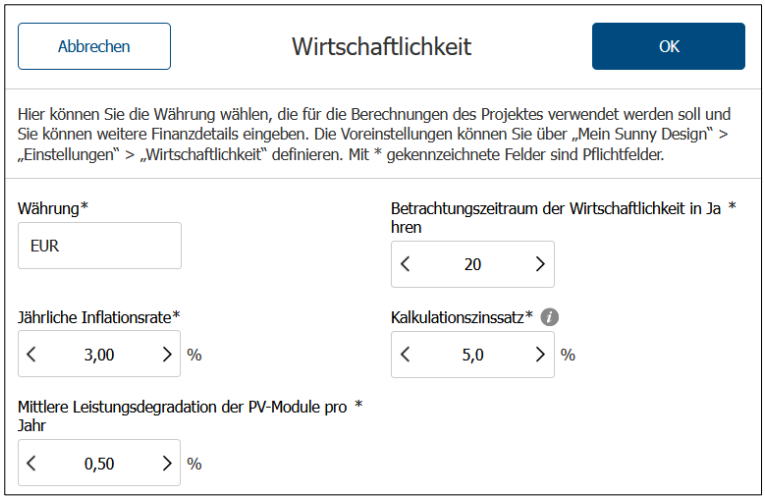


Abbildung 87 Angaben zu Zins und Degradation in SunnyDesigner

Abbildung 88 zeigt die Eingaben zur Finanzierung. Relevant ist die Schaltfläche „Tarif bearbeiten" unten rechts.

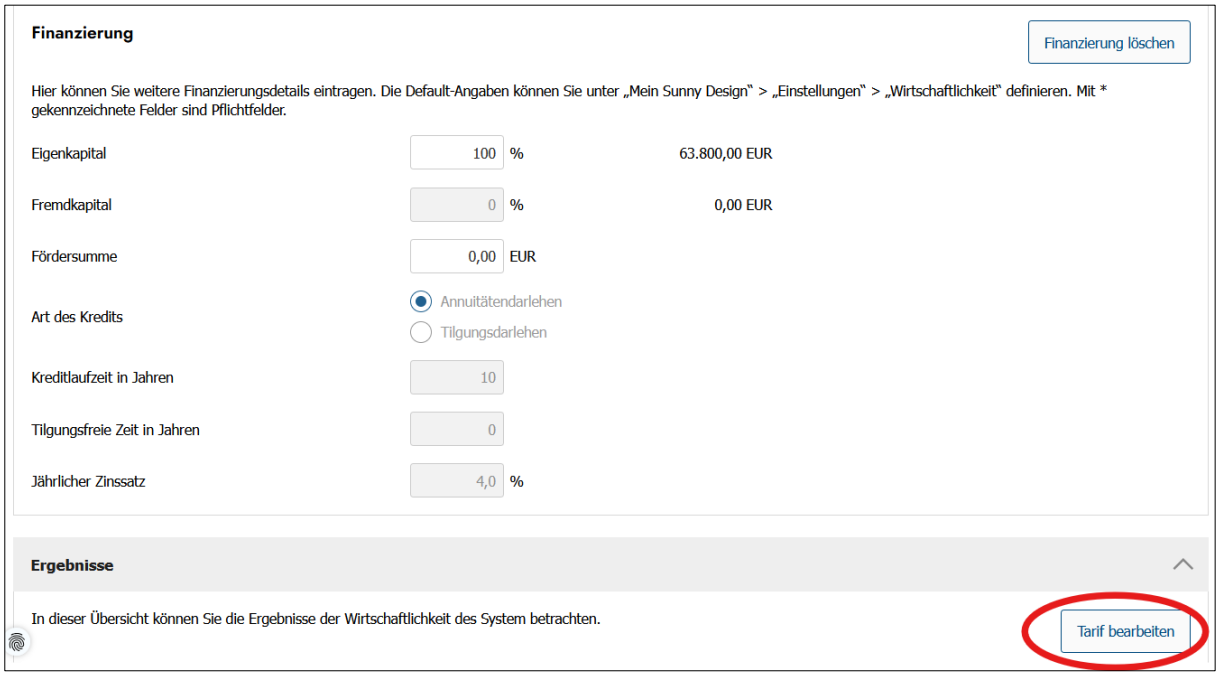


Abbildung 88 Finanzierung der Anlage in SunnyDesigner

Es öffnet sich ein Dialog zur Erfassung der Stromtarife sowie des Emissionsfaktors, siehe Abbildung 89. Die eingetragenen Werte entsprechen etwa dem Datenstand Mitte/Ende 2025, wie sie auch für die Berechnung der Emissionsfreiheit/Klimaneutralität des Gesamtbestandes der Stadt Oldenburg verwendet werden, siehe Kapitel 5. Die Werte sind in Abständen zu aktualisieren.

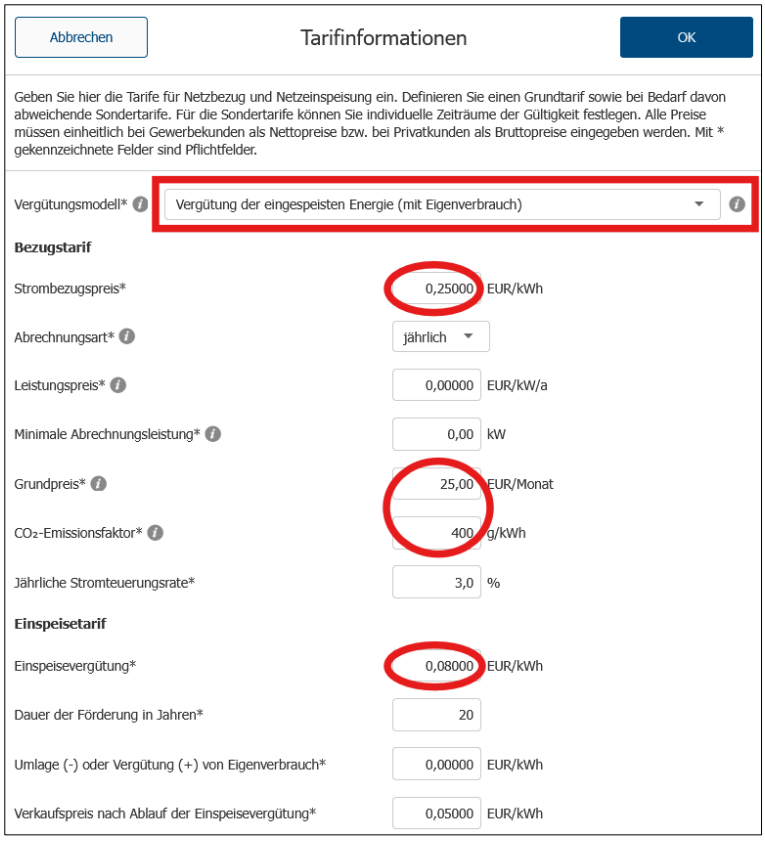


Abbildung 89 Eingabe der Energiepreise und Emissionsbewertung in SunnyDesigner

4.9.7 Ergebnisse

Über den Menüpunkt „Ergebnisse“ können sowohl die technischen Daten des Projektes als auch die Energiebilanz sowie die ökonomische und ökologische Bewertung aufgerufen werden.

Abbildung 90 zeigt beispielhaft für die Kita die technischen Projektergebnisse, jedoch ohne den optionalen Batteriespeicher. Das Dach bietet Platz für eine Anlage mit 124 Modulen. Die Gesamtleistung liegt bei knapp 56 kW. Es sind 3 Wechselrichter vorhanden.

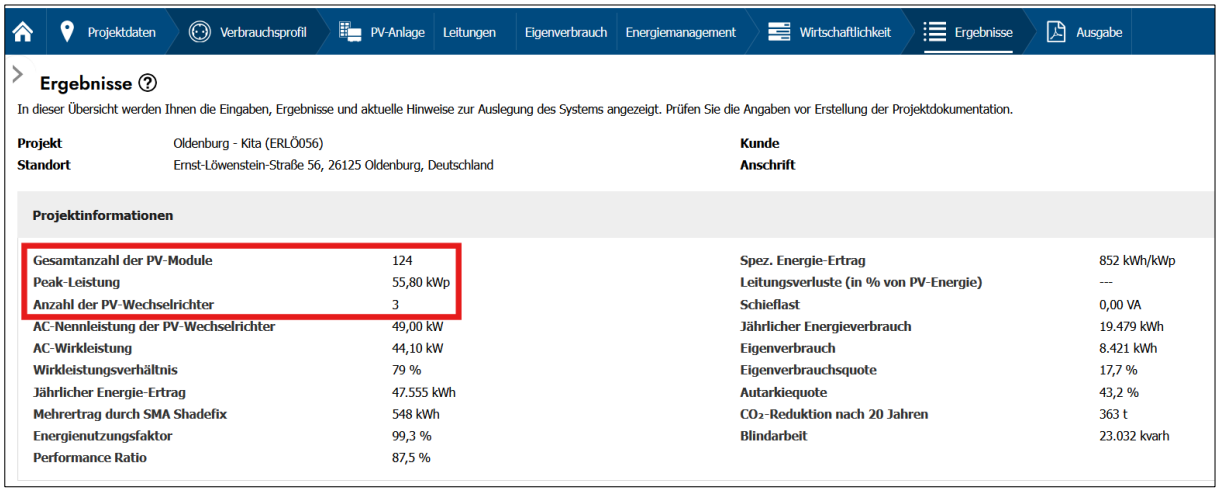


Abbildung 90 Technische Projektergebnisse in SunnyDesigner

Abbildung 91 zeigt die Energiebilanz in Form eines Kreisdiagramms sowie als Balkendiagramme. Der Erzeugung von über 47 MWh/a steht ein Verbrauch von knapp 20 MWh/a gegenüber. Aus dem produzierten Strom können bzw. müssen über 39 MWh/a ins Netz gespeist werden, da sie nicht direkt benötigt werden. Aus dem Netz müssen etwa 11 MWh/a bezogen werden, insbesondere in der kalten Jahreszeit (Balkendiagramm).

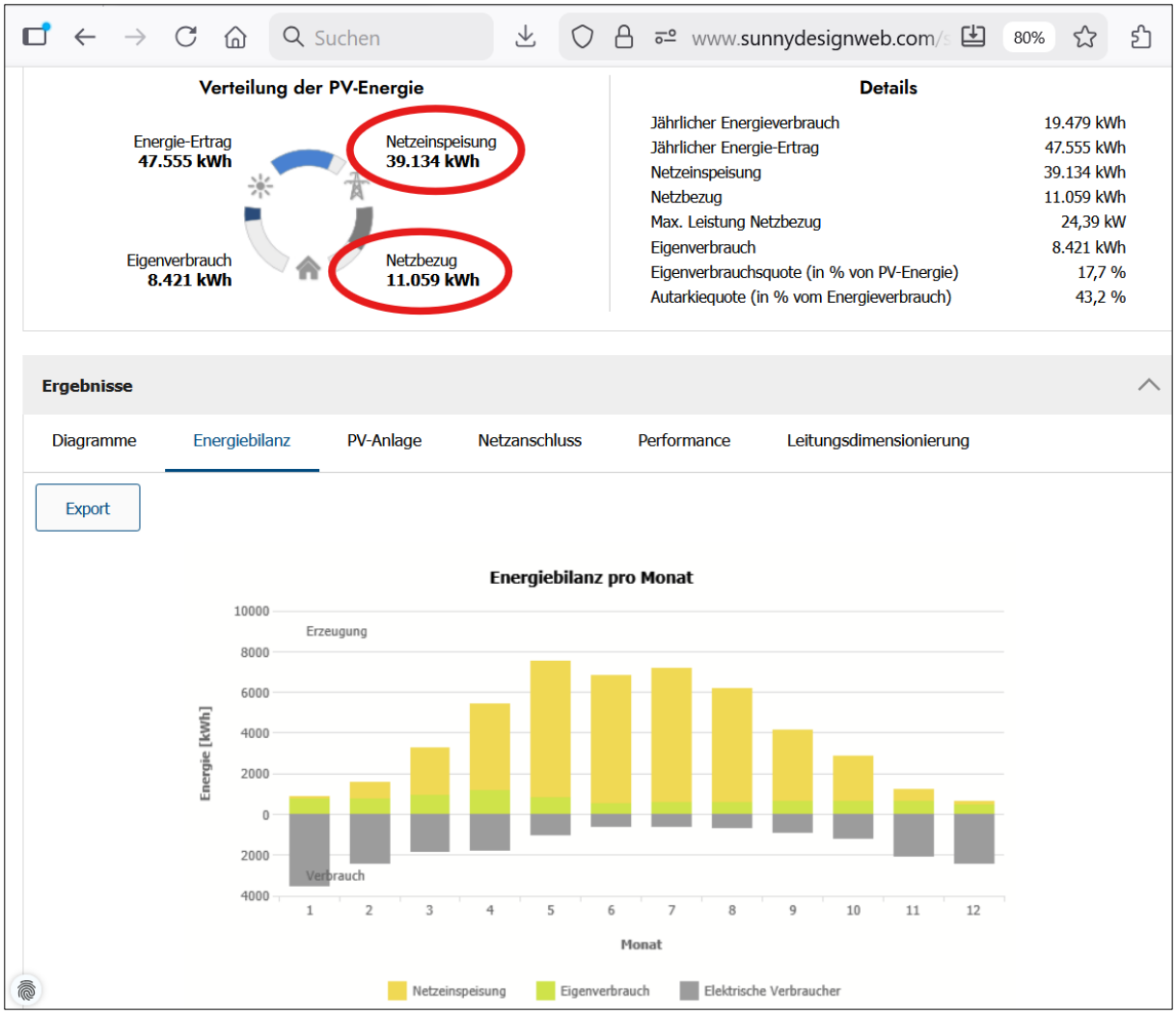


Abbildung 91 Energiebilanzergebnisse in SunnyDesigner

Abbildung 92 zeigt die Kosten- und Emissionsbewertung. Die Investition liegt bei knapp 56.000 €. In einem Zeitraum von etwa 12 Jahren ist das System wirtschaftlich. Es werden 363 Tonnen Emissionen eingespart. Die konkrete Weiterverwendung der Daten in der Portfolioanalyse ist im Kapitel 5 nachzulesen.

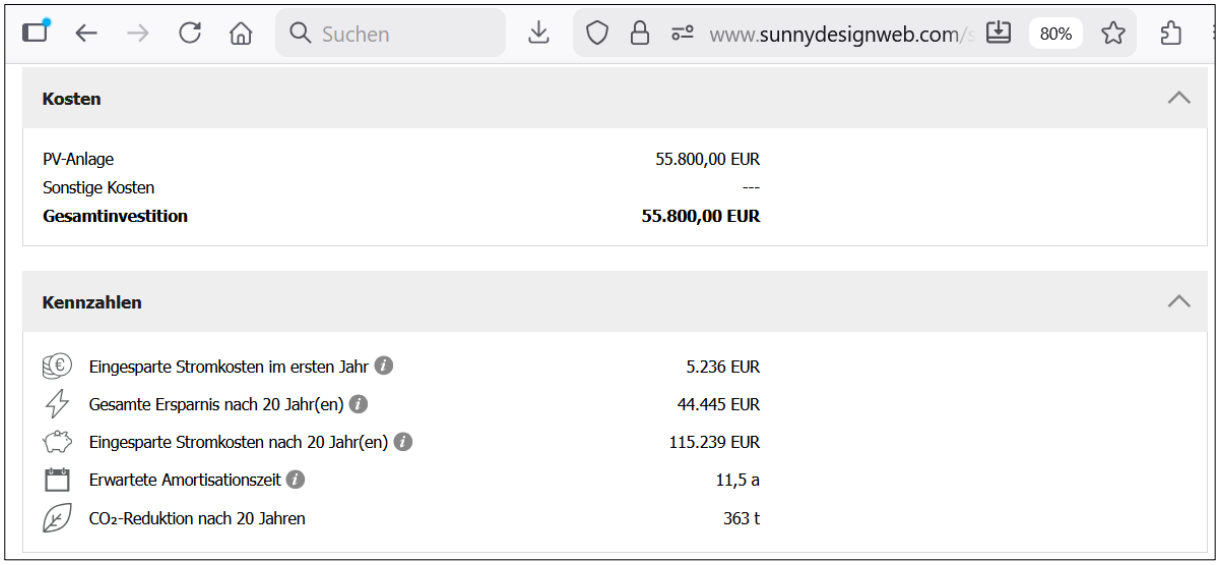


Abbildung 92 Ökonomische und ökologische Projektergebnisse in SunnyDesigner

4.9.8 Bericht Backup

Ist ein Projekt abgeschlossen, wird die Sicherung der Projektdaten empfohlen. Es handelt sich um einerseits einen ausführlichen PDF-Bericht (Abbildung 93), andererseits um ein Backup der Berechnungsdatei (Abbildung 94). Dieses kann als Startdatei für ein neues Projekt verwendet werden.

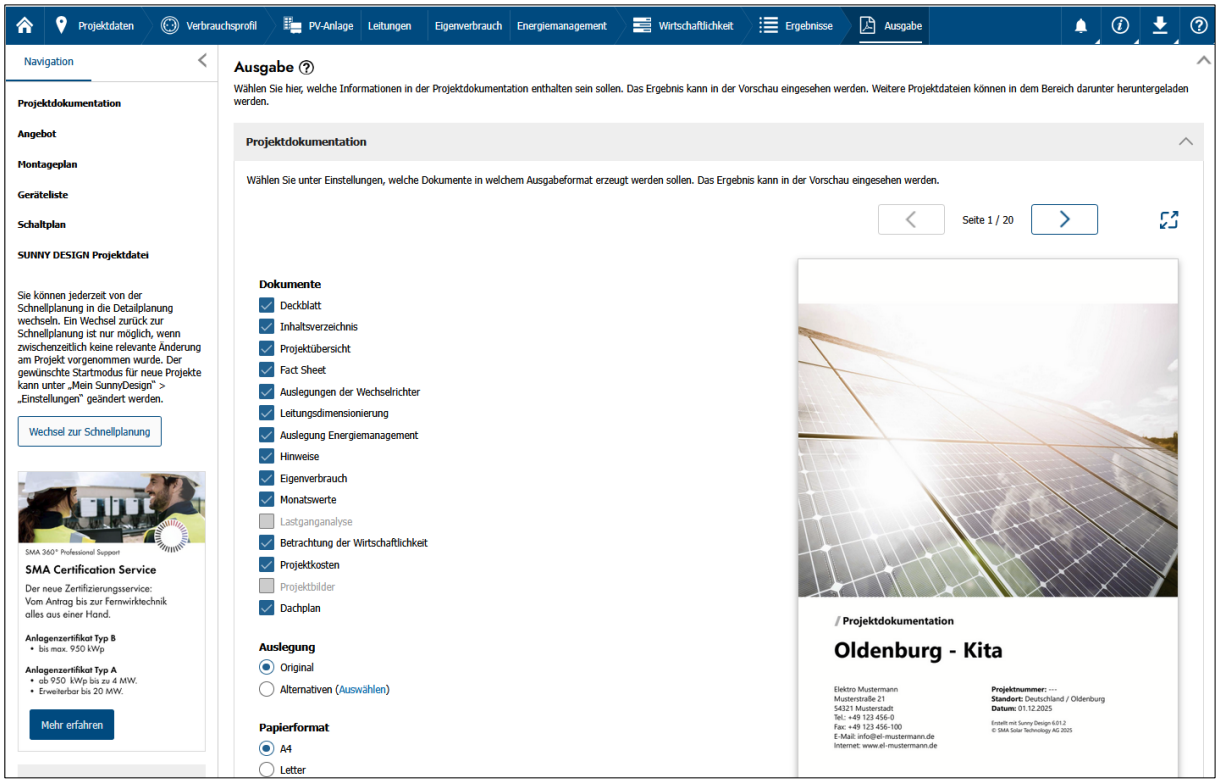


Abbildung 93 Projektdokumentation in SunnyDesigner

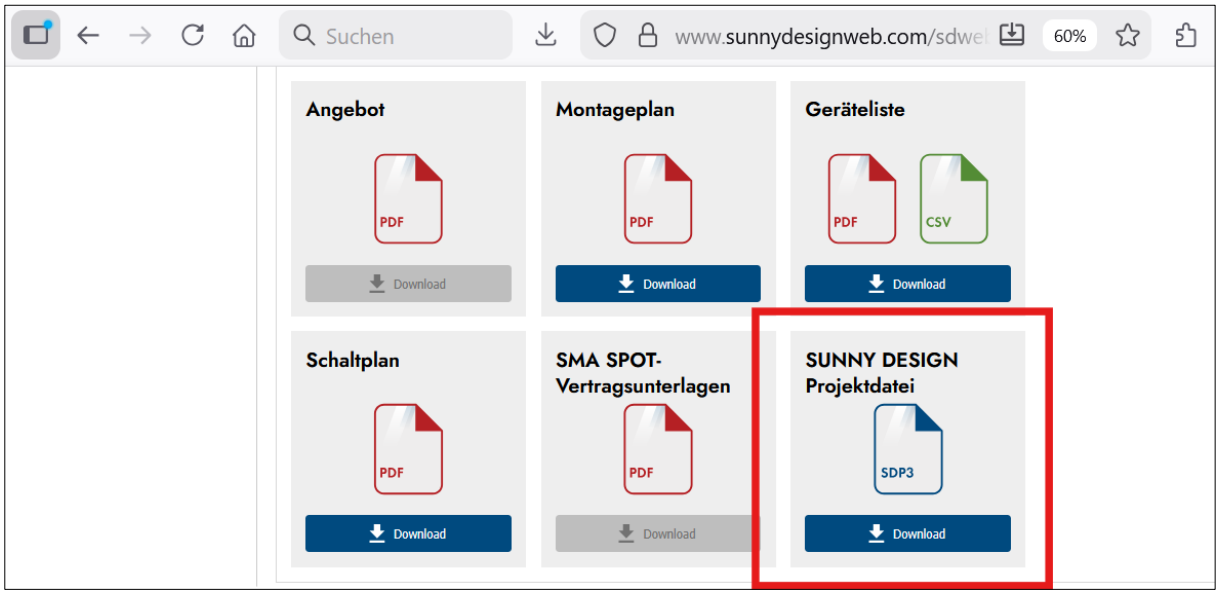


Abbildung 94 Backup der Berechnungsdatei in SunnyDesigner

5 Mögliche Gebäudeentwicklung bis zur Klimaneutralität

Das nachfolgende Kapitel skizziert die mögliche Gebäudeentwicklung bis zu einer Klimaneutralität. Wie in Kapitel 2.5 beschrieben führen verschiedene Wege zum Ziel. Es werden 2 aufeinander aufbauende Varianten untersucht, deren Schwerpunkt vorrangig der Ausbau der Photovoltaik in Verbindung mit Wärmepumpen ist (Variante 1), aber auch die Verbesserung des Baukörpers in den Fokus gerückt (Variante 2). Aufbereitet werden Endenergie, Emissionen und jährliche Kosten. Die Annahmen der Berechnung werden am Ende des Kapitels zusammengestellt.

5.1 Bestandsdaten

Die Ausgangsdaten der Analyse entstammen der vorhergehenden Untersuchung des IBP [1]. An der Datenbank mit Flächen und Verbrauchswerten für bestehende Gebäude der Stadt Oldenburg sowie für den geplanten Zubau sind keine Änderungen erfolgt. Der Datenbestand von 2020 ist als Startwert des Jahres 2025 angesetzt worden, unabhängig davon, ob die in der Tabelle (aus damaliger Sicht) genannten Neubauten der Jahre 2021 bis 2025 tatsächlich umgesetzt wurden.

Der Ausgangswert für den Wärmeverbrauch liegt bei 44.649.667 kWh/a. Das entspricht einem Kennwert von 101 kWh/(m²a). Der Erdgasanteil beläuft sich auf 96,7 %. Die Energieträger Holz und Strom für Wärmepumpen decken zu gleichen Teilen den restlichen Bedarf. Insgesamt 91,1 % dieser Gesamtmenge entstammen einer Verbrauchsmessung, die restlichen 8,9 % sind mithilfe von Kennwerten abgeschätzt.

Hinsichtlich des Stromverbrauchs für allgemeine Anwendungen (jenseits der Wärmeversorgung) startet die Untersuchung mit 10.091.478 kWh/a bzw. einem Kennwert von 23 kWh/(m²a). Davon sind 86,6 % durch Verbrauchsmessung und 13,4 % durch Abschätzung über Kennwerte bestimmt worden.

Aus den Endenergien lassen sich Emissionen und Energiekosten berechnen. Zur Anwendung kommen die Energiepreise und Emissionsfaktoren nach Kapitel 5.5.

Es sind festzustellen: Emissionen für die Wärmeversorgung (alle Energieträger) von 8.912 t/a sowie weitere 4.037 t/a für den Allgemeinstrom. Die Summe von jährlich knapp 13.000 Tonnen führt zu einem flächenbezogenen Kennwert von 29 kg/(m²a) für das CO_2-Äquivalent als Startwert der Verbesserungen. Die geplanten Neubauten sind in diesem Wert enthalten, auch wenn ihr Baujahr erst nach 2025 festgelegt wurde.

Die Energiekosten betragen 4,532 Mio. €/a für Wärme und 2,523 Mio. €/a für Strom. Die insgesamt festzustellenden Energiekosten von 7,055 Mio. €/a führen zu einem flächenbezogenen Kennwert von 16 €/(m²a).

Der Wärmeanteil liegt bei 82 % für die Endenergie, 69 % an den Emissionen und 64 % der Energiekosten. Der zu 100 % fehlende Rest ergibt sich aus dem Stromverbrauch.

5.2 Varianten

Zur Erreichung der Emissionsfreiheit zu einem bestimmten Zeitpunkt wird nachfolgende Strategie verfolgt. In der Annahme, dass Erdgasverbrauch und die daraus entstehenden Emissionen langfristig nicht möglich sind, werden alle Gebäude einer Elektrifizierung durch Einbau von Wärmepumpen unterzogen. Der nun ausschließlich vorhandene Energieträger Strom kann bilanziell kompensiert werden durch selbstproduzierten Strom mit einer Photovoltaikanlage. Die zur Verfügung stehenden Dachflächen werden maximal mit Photovoltaik bestückt. Dies entspricht der Variante 1, die noch keine Klimaneutralität erzielt.

Ausgehend von dieser Vorüberlegung wird zunächst in zwei Richtungen überlegt: sukzessive werden die Gebäude energetisch verbessert bis zur Klimaneutralität (Variante 2a „maximale Dämmung“). Alternativ wird die Photovoltaikfläche bis zur Klimaneutralität vergrößert, auch über die zur Verfügung stehenden Dachflächen hinaus (Variante 2c „maximale Photovoltaik“).

Zuletzt entsteht ein Kompromiss, der die Gebäude nur so weit verbessert, wie es eine vermutete Wärmepumpentauglichkeit erfordert, anschließend wird die Photovoltaikfläche so weit erhöht, bis die Klimaneutralität eintritt (Variante 2b „Kompromiss“).

5.2.1 Variante 1: Elektrifizierung und Photovoltaik

Die erste Variante geht davon aus, dass alle Gebäude im vorhandenen baulichen Zustand verbleiben. Dies dient der Berechnung der erforderlichen maximal zusätzlichen Mengen für Wärmepumpenstrom – im Sinne einer Grenzwertbetrachtung. Es ist dabei klar, dass der vorhandene energetische Zustand vieler Gebäude ohne Änderung noch nicht zu einer Wärmepumpentauglichkeit führt. Zusätzlich werden alle Dachflächen untersucht – ebenfalls im Sinne einer Grenzwertbetrachtung – hinsichtlich potenzieller Lieferung von Photovoltaikstrom.

Aus diesen beiden Grenzbetrachtungen resultiert das Wissen für die Konzeption der Varianten 2a und 2c: welche Diskrepanz besteht zwischen Angebot und Nachfrage an Strom, welche bauliche Verbesserung ist zur Kompensation erforderlich (Variante 2a, Minderung der Nachfrage) oder welcher erhöhte Photovoltaikausbau löst das Problem (Variante 2c, Erhöhung des Angebots).

Die Betrachtung der Variante 1 umfasst folgende Schritte, die gebäudeweise (also 345-mal) ausgeführt werden. Die entstehenden Einzelergebnisse werden pro Cluster oder insgesamt über alle Gebäude ausgewertet durch Summen oder Mittelwertbildung.

- Umbau auf Wärmepumpen
    - Annahme einer Wärmeerzeugereffizienz im Bestand und Bestimmung der erzeugten Wärmemenge Q_{outg} aus der Energie Q für Wärme
    - Aufteilung der erzeugten Wärmemenge Q_{outg} auf die Bereiche Heizung und Warmwasser
    - Abschätzung der neuen Wärmeerzeugereffizienzen für die Wärmepumpen, im Bereich der Gebäudeheizung nach Baustandard
    - Bestimmung der Endenergie für Strom, getrennt für Heizung und Warmwasser und deren Summe
- Einbau der Photovoltaik
    - Abschätzung der zur Verfügung stehenden Dachflächen nach Cluster (Geometrie der Typgebäude)
    - Abschätzung der installierten Peakleistung für die Photovoltaik
- Endenergie- und Emissionsbilanz
    - Berechnung des Strombedarfs aus den Anteilen Allgemeinstrom und Wärmepumpenstrom
    - Berechnung der Stromproduktion der Photovoltaikanlagen
    - bilanzielle Bewertung von Angebot und Nachfrage, auf Endenergieebene und hinsichtlich der Emissionen (bilanzielle Autarkie bzw. Emissionsfreiheit)
- Investitionskostenbilanz
    - Abschätzung der Wärmepumpenleistungen
    - Abschätzung der Investitionskosten für Photovoltaik und Wärmepumpen auf Basis der Leistungen
- Energiekostenbilanz
    - Abschätzung möglicher Selbstnutzung des erzeugten Photovoltaikstroms, entsprechend Ermittlung der Strommengen, die ins Netz zurückgespeist werden
    - Berechnung der notwendigen Zukäufe von Strom aus dem Netz
    - Preisung der Menge von Einkauf und Verkauf und Bildung der jährliche Nettoenergiekosten
- Gesamtkostenbilanz
    - Umrechnung der Investitionskosten in Jahreskapitalkosten
    - Summenbildung aus Jahreskapitalkosten und die Jahresenergiekosten

Alle dazu erforderlichen Annahmen sind detailliert in Kapitel 5.5 beschrieben.

Im Detail ergeben sich folgende Ergebnisse hinsichtlich der bilanzierten technischen Anlagen:

- Photovoltaik: 20.432 kW Peakleistung, installiert auf zur Verfügung stehen Flächen der oberen Gebäudeabschlüsse von 308.302 m², vorhanden in 306 Gebäuden (alle außer Denkmal)
- Wärmepumpen für Heizung: installierte Leistung 18.145 kW in 345 Gebäuden (angegeben ist der Leistungskennwert A-7W35), die mit einer mittleren Jahresarbeitszahl von 2,68 arbeiten
- Wärmepumpen für Trinkwarmwasser: Installierte Leistung 3.637 kW in 245 Gebäuden (nur Gebäude mit Trinkwarmwasserbedarf, angegeben ist der Leistungskennwert A-7W55), die mit einer mittleren Jahresarbeitszahl von 2,98 arbeiten

Die Ergebnisse dieser Variante sind den Kapiteln 5.3 und 5.4 zu entnehmen.

5.2.2 Variante 2a: zusätzlich Dämmung

Die Variante 2a widmet sich vorrangig der baulichen Verbesserung der Gebäudehüllen zur Erzielung der Klimaneutralität. Als Voraussetzung: alle Gebäude haben Wärmepumpen, die Dachflächen werden mit Photovoltaik belegt, jedoch nur bis zur Grenze der verfügbaren Dachflächen.

Die grundsätzliche Vorgehensweise der Gebäudeverbesserung kann wie folgt beschrieben werden: sie erfolgt abgestuft, je schlechter ein Gebäude ist, desto größer der Sanierungsgrad. Gebäude unter Denkmalschutz werden gesondert behandelt. Das Resultat ist keine vollständige Hüllflächensanierung, im Detail siehe 5.5.

Eine Übersicht über die Grenzen einer Minimal-, Teil- oder Vollsanierung in dieser Variante gibt Tabelle 8. Ebenfalls dargestellt ist, welche Anteile an allen vorhandenen Gebäudeflächen von dieser Maßnahme betroffen sind und um wie viele Einzelprojekte es sich handelt.

	Sanierungsgrenzen und betroffene Nettogrundflächen			
	ohne Sanierung	Minimalsanierung	Teilsanierung	Vollsanierung
gilt für Gebäude mit folgendem Wärmeverbrauchskennwert im Bestand, [kWh/(m²a)]	< 60	60 … < 90	90 … < 120	≥ 120
Nettogrundflächen, [m²]	65.310	81.770	149.120	143.893
Anteile	14,8 %	18,6 %	33,9 %	32,7 %
Projektzahlen	42	50	80	173

Tabelle 8 Sanierungsgrenzen und betroffene Nettogrundflächen für die Variante 2a

Abbildung 95 zeigt die Darstellung im Histogramm der Bestandsgebäude. Es ist sichtbar, dass etwa in der Hälfte aller Gebäude bzw. einem Drittel der Fläche (→ viele kleine Projekte) eine Vollsanierung angesetzt wird.

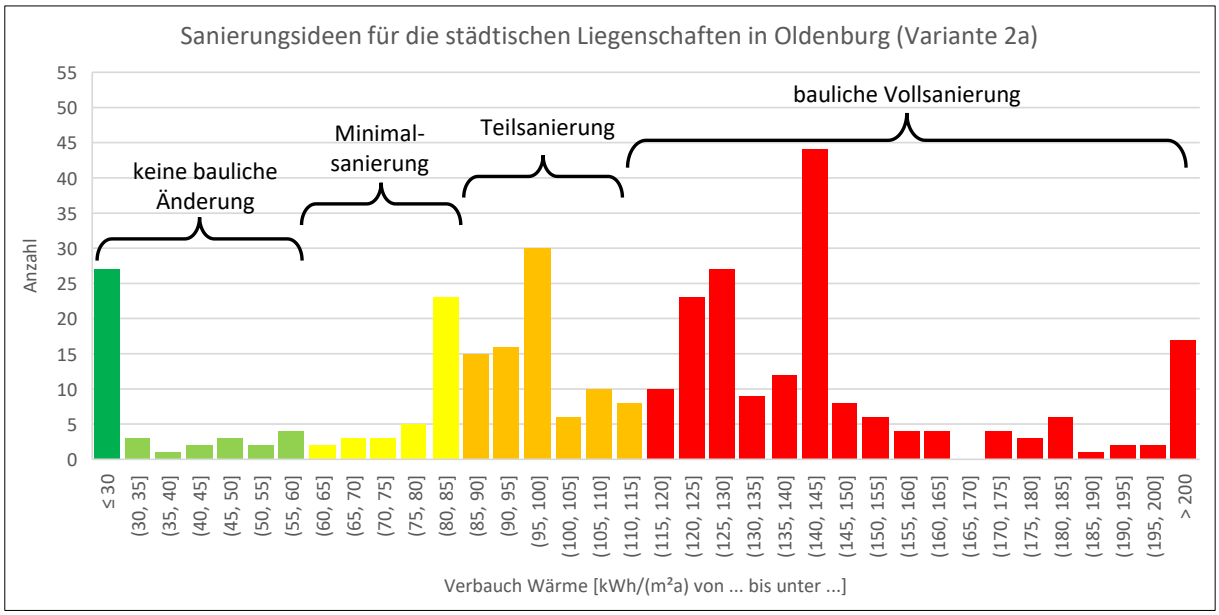


Abbildung 95 Sanierungsideen in der Variante 2a für den Gebäudebestand

Bei den Minimal- und Teilsanierungen wird vorzugsweise der obere Gebäudeabschluss verbessert – im Zuge des Ausbaus der Photovoltaik wird dies als besonders sinnvoll angesehen. Weitere Ausführungen zu den erreichten Wärmedurchgangskoeffizienten nach der Verbesserung sind Kapitel 5.5 zu entnehmen.

Die Betrachtung dieses Szenarios umfasst folgende Schritte, die zunächst gebäudeweise ausgeführt werden. Die entstehenden Einzelergebnisse werden pro Cluster oder insgesamt über alle Gebäude ausgewertet durch Summen oder Mittelwertbildung. Sofern eine identische Vorgehensweise wie im Szenario 1 gegeben ist, wird auf Kapitel 5.2.1 verwiesen.

- Bauliche Verbesserung
    - Festlegung, welcher energetische Zustand des Gebäudes überhaupt zu einer Sanierung führt und zu welcher Sanierungstiefe, so dass die Emissionsfreiheit erzielt wird (variable Position dieses Szenarios)
    - Bestimmung der verminderten erzeugten Wärmemenge Q_{outg} (auf Basis der Ausgangsmenge des Bestandes, siehe Szenario 1)
- Umbau auf Wärmepumpen
    - Abschätzung der neuen Wärmeerzeugereffizienzen für die Wärmepumpen, im Bereich der Gebäudeheizung nach Baustandard
    - Bestimmung der Endenergie für Strom, getrennt für Heizung und Warmwasser und deren Summe
- Einbau der Photovoltaik
    - Abschätzung der zur Verfügung stehenden Dachflächen nach Cluster (Geometrie der Typgebäude)
    - Abschätzung der installierten Peakleistung für die Photovoltaik
- Endenergie- und Emissionsbilanz analog Szenario 1
- Investitionskostenbilanz
    - Abschätzung der baulichen Investitionskosten
    - Abschätzung der Wärmepumpenleistungen
    - Abschätzung der Investitionskosten für Photovoltaik und Wärmepumpen auf Basis der Leistungen
- Energiekostenbilanz analog Szenario 1
- Gesamtkostenbilanz analog Szenario 1

Alle dazu erforderlichen Annahmen sind detailliert in Kapitel 5.5 beschrieben.

Im Detail ergeben sich folgende Ergebnisse hinsichtlich der bilanzierten technischen Anlagen:

- Photovoltaik: 20.432 kW Peakleistung, installiert auf zur Verfügung stehen Flächen der oberen Gebäudeabschlüsse von 308.302 m², vorhanden in 306 Gebäuden (alle außer Denkmal)
- Wärmepumpen für Heizung: installierte Leistung 8.657 kW in 345 Gebäuden (angegeben ist der Leistungskennwerte A-7W35), die mit einer mittleren Jahresarbeitszahl von 3,04 arbeiten
- Wärmepumpen für Trinkwarmwasser: Installierte Leistung 3.499 kW in 245 Gebäuden (nur Gebäude mit Trinkwarmwasserbedarf, angegeben ist der Leistungskennwert A-7W55), die mit einer mittleren Jahresarbeitszahl von 2,98 arbeiten

Gegenüber Variante 1 ist der bauliche Standard der Gebäude deutlich besser (Verbesserung um 52 %) und damit die Investitionen in Heizungswärmepumpen geringer (geringere Heizlast). Zudem arbeiten die Wärmepumpen effizienter (geringere Vorlauftemperaturen).

Die Ergebnisse dieser Variante sind den Kapiteln 5.3 und 5.4 zu entnehmen.

5.2.3 Variante 2b: Kompromiss

Die Variante 2b widmet sich zunächst der baulichen Verbesserung der Gebäudehüllen bis auf ein Niveau, welches voraussichtlich zu einer akzeptablen Wärmepumpeneffizienz führt. Darüber hinaus ergibt sich ein Ausbau von Photovoltaik-Flächen bis zur Erzielung der Klimaneutralität. Diese werden über das Maß der zur Verfügung stehenden Dachflächen hinaus installiert. Als Voraussetzung: alle Gebäude haben Wärmepumpen.

Die grundsätzliche Vorgehensweise der Gebäudeverbesserung kann wie folgt beschrieben werden: sie erfolgt abgestuft, je schlechter ein Gebäude ist, desto größer der Sanierungsgrad. Gebäude unter Denkmalschutz werden gesondert behandelt. Das Resultat ist keine vollständige Hüllflächensanierung, im Detail siehe 5.5. Die Gebäudehülle ist im Mittel schlechter als in der Variante 2a, jedoch besser als im Bestand beziehungsweise in Variante 1.

Eine Übersicht über die Grenzen einer Minimal-, Teil- oder Vollsanierung in dieser Variante gibt Tabelle 9. Ebenfalls dargestellt ist, welche Anteile an allen vorhandenen Gebäudeflächen von dieser Maßnahme betroffen sind und um wie viele Einzelprojekte es sich handelt.

	Sanierungsgrenzen und betroffene Nettogrundflächen			
	ohne Sanierung	Minimalsanierung	Teilsanierung	Vollsanierung
gilt für Gebäude mit folgendem Wärmeverbrauchskennwert im Bestand, [kWh/(m²a)]	< 75	75 … < 120	120 … < 165	≥ 165
Nettogrundflächen, [m²]	79.876	216.324	127.801	16.092
Anteile	18,2 %	49,2%	29,0%	3,7%
Projektzahlen	50	122	138	35

Tabelle 9 Sanierungsgrenzen und betroffene Nettogrundflächen für die Variante 2a

Abbildung 96 zeigt die Darstellung im Histogramm der Bestandsgebäude. Es ist sichtbar, dass in einem sehr großen Anteil aller Gebäude (fast 50 %) nur eine Minimalsanierung anfällt und dies 122 überdurchschnittlich große Gebäude sind.

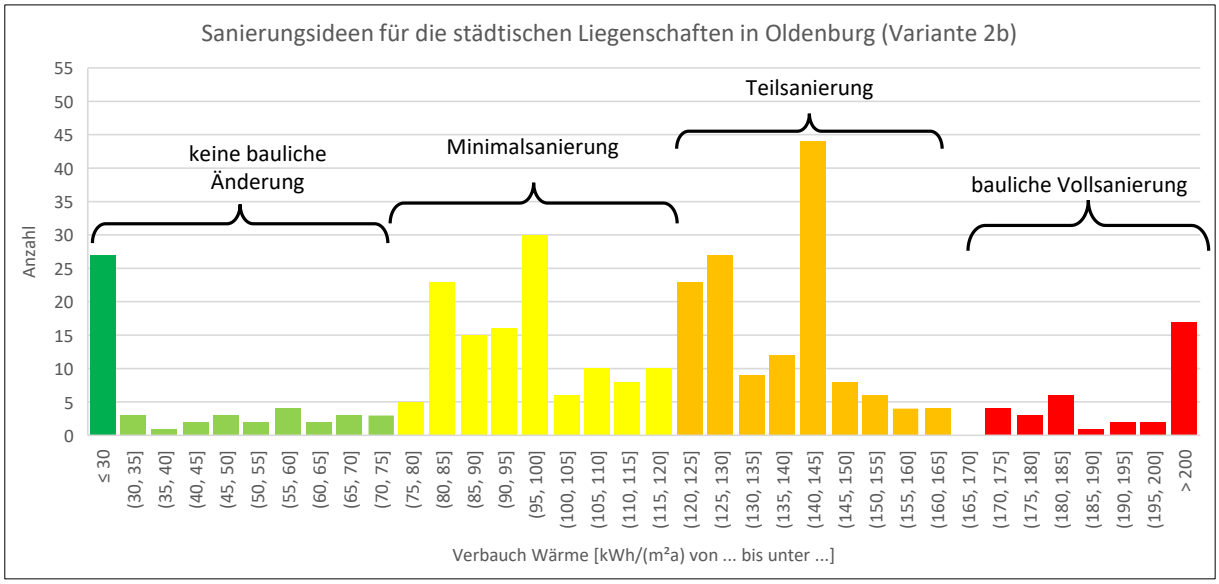


Abbildung 96 Sanierungsideen in der Variante 2b für den Gebäudebestand

Bei den Minimal- und Teilsanierungen wird vorzugsweise der obere Gebäudeabschluss verbessert – im Zuge des Ausbaus der Photovoltaik wird dies als besonders sinnvoll angesehen. Weitere Ausführungen zu den erreichten Wärmedurchgangskoeffizienten nach der Verbesserung sind Kapitel 5.5 zu entnehmen.

Die Betrachtung dieses Szenarios umfasst folgende Schritte, die zunächst gebäudeweise ausgeführt werden. Die entstehenden Einzelergebnisse werden pro Cluster oder insgesamt über alle Gebäude ausgewertet durch Summen- oder Mittelwertbildung. Sofern eine identische Vorgehensweise wie im Szenario 1 gegeben ist, wird auf Kapitel 5.2.1 verwiesen.

- Bauliche Verbesserung
  - Festlegung, eines energetischen Zustandes der Gebäude, die zu einem energetisch sinnvollen Wärmepumpenbetrieb führt
  - Bestimmung der verminderten erzeugten Wärmemenge Q_{outg} (auf Basis der Ausgangsmenge des Bestandes, siehe Szenario 1)
- Umbau auf Wärmepumpen
  - Abschätzung der neuen Wärmeerzeugereffizienzen für die Wärmepumpen, im Bereich der Gebäudeheizung nach Baustandard
  - Bestimmung der Endenergie für Strom, getrennt für Heizung und Warmwasser und deren Summe

- Einbau der Photovoltaik
    - Festlegung notwendiger Photovoltaikleistung, auch über die zur Verfügung stehenden Dachflächen hinaus, so dass die Emissionsfreiheit erzielt wird (variable Position dieses Szenarios)
- Endenergie- und Emissionsbilanz analog Szenario 1
- Investitionskostenbilanz analog Variante 2a
    - Abschätzung der baulichen Investitionskosten
    - Abschätzung der Wärmepumpenleistungen
    - Abschätzung der Investitionskosten für Photovoltaik und Wärmepumpen auf Basis der Leistungen
- Energiekostenbilanz analog Szenario 1
- Gesamtkostenbilanz analog Szenario 1

Alle dazu erforderlichen Annahmen sind detailliert in Kapitel 5.5 schrieben.

Im Detail ergeben sich folgende Ergebnisse hinsichtlich der bilanzierten technischen Anlagen:

- Photovoltaik: 23.088 kW Peakleistung, installiert auf zur Verfügung stehen Flächen der oberen Gebäudeabschlüsse von 308.302 m², vorhanden in 306 Gebäuden (alle außer Denkmal) sowie Überbelegung der Dachflächen um den Faktor 1,13
- Wärmepumpen für Heizung: installierte Leistung 11.747 kW in 345 Gebäuden (angegeben ist der Leistungskennwert A-7W35), die mit einer mittleren Jahresarbeitszahl von 2,97 arbeiten
- Wärmepumpen für Trinkwarmwasser: Installierte Leistung 3.499 kW in 245 Gebäuden (nur Gebäude mit Trinkwarmwasserbedarf, angegeben ist der Leistungskennwert A-7W55), die mit einer mittleren Jahresarbeitszahl von 2,98 arbeiten

Gegenüber Variante 1 ist der bauliche Standard der Gebäude deutlich besser (Verbesserung um 35 %), jedoch nicht so gut wie in Variante 2a. Dies verringert die Investitionen in Heizungswärmepumpen (geringere Heizlast) und verbessert die Wärmepumpeneffizienz (geringere Vorlauftemperaturen) gegenüber Variante 1.

Die Ergebnisse dieser Variante sind den Kapiteln 5.3 und 5.4 zu entnehmen.

5.2.4 Variante 2c: zusätzlich erhöhter Ausbau von Photovoltaik

Die Variante 2c widmet sich ausschließlich einem erhöhten Ausbau von Photovoltaik-Flächen zur Erzielung der Klimaneutralität. Diese werden über das Maß der zur Verfügung stehenden Flächen hinaus installiert. Als Voraussetzung: alle Gebäude haben Wärmepumpen, aber keines der Gebäude wird baulich verbessert.

Die Betrachtung dieses Szenarios umfasst folgende Schritte, die zunächst gebäudeweise ausgeführt werden. Die entstehenden Einzelergebnisse werden pro Cluster oder insgesamt über alle Gebäude ausgewertet durch Summen- oder Mittelwertbildung. Sofern eine identische Vorgehensweise wie im Szenario 1 gegeben ist, wird auf Kapitel 5.2.1 verwiesen.

- Umbau auf Wärmepumpen analog Variante 1
- Einbau der Photovoltaik
    - Festlegung notwendiger Photovoltaikleistung, auch über die zur Verfügung stehenden Dachflächen hinaus, so dass die Emissionsfreiheit erzielt wird (variable Position dieses Szenarios)
- Endenergie- und Emissionsbilanz analog Szenario 1
- Investitionskostenbilanz analog Szenario 1
- Energiekostenbilanz analog Szenario 1
- Gesamtkostenbilanz analog Szenario 1

Alle dazu erforderlichen Annahmen sind detailliert in Kapitel 5.5 schrieben.

Im Detail ergeben sich folgende Ergebnisse hinsichtlich der bilanzierten technischen Anlagen:

- Photovoltaik: 29.830 kW Peakleistung, installiert auf zur Verfügung stehen Flächen der oberen Gebäudeabschlüsse von 308.302 m², vorhanden in 306 Gebäuden (alle außer Denkmal) sowie Überbelegung der Dachflächen um den Faktor 1,46
- Wärmepumpen für Heizung: installierte Leistung 18.145 kW in 345 Gebäuden (angegeben ist der Leistungskennwerte A-7W35), die mit einer mittleren Jahresarbeitszahl von 2,68 arbeiten
- Wärmepumpen für Trinkwarmwasser: Installierte Leistung 3.637 kW in 245 Gebäuden (nur Gebäude mit Trinkwarmwasserbedarf, angegeben ist der Leistungskennwert A-7W55), die mit einer mittleren Jahresarbeitszahl von 2,98 arbeiten

Gegenüber Variante 1 sind der bauliche Standard der Gebäude sowie die Ausstattung mit Wärmepumpen und deren Effizienzen identisch.

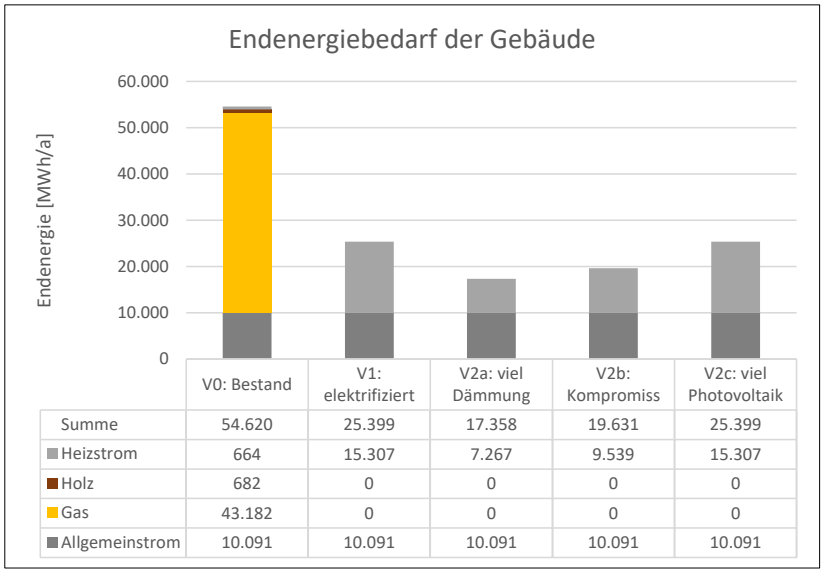
Die Ergebnisse dieser Variante sind den Kapiteln 5.3 und 5.4 zu entnehmen.

5.3 Ergebnisse für alle Gebäude

Für die Summe der 345 Gebäude zeigen nachfolgende Tabellen und Abbildungen die Ergebnisse der Bilanzierung. Vorzugsweise erfolgen Darstellungen in absoluten Zahlen.

5.3.1 Endenergie

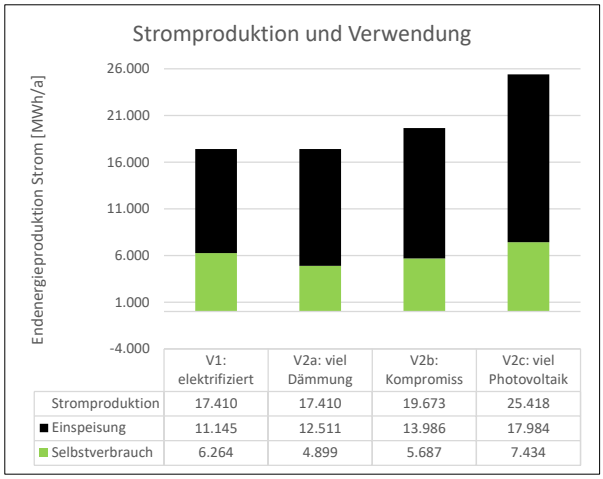
Abbildung 97 gibt einen Überblick über den veränderten Endenergiebedarf der Gebäude. Während im Ursprungszustand fast ausschließlich Gas als Energieträger zum Einsatz kommt, weisen alle anderen Varianten für die Wärmeversorgung ausschließlich den Energieträger Strom auf. In den Varianten 2a, 2b und 2c zeigt die summierte Endenergie an, wieviel Strom für das Ziel einer bilanziellen Emissionsfreiheit mit den jeweiligen Photovoltaikanlagen zu erzeugen ist.



	V0: Bestand	V1: elektrifiziert	V2a: viel Dämmung	V2b: Kompromiss	V2c: viel Photovoltaik
Summe	54.620	25.399	17.358	19.631	25.399
Heizstrom	664	15.307	7.267	9.539	15.307
Holz	682	0	0	0	0
Gas	43.182	0	0	0	0
Allgemeinstrom	10.091	10.091	10.091	10.091	10.091

Abbildung 97 Absoluter Endenergiebedarf für Wärme- und Strom in 5 Szenarien

Abbildung 98 (links) schlüsselt die Stromproduktion der Photovoltaikanlagen nach ihrer Verwendung auf. Ein in allen Varianten recht ähnlicher Anteil (grün) kann im Gebäude selbst verwendet werden, der Rest (schwarz) wird ins Netz zurückgespeist. Die Stromproduktion der Varianten 1 und 2a sind gleich hoch, wegen des geringeren Strombedarfs der Gebäude wird in Variante 2a mehr Energie ins Netz zurückgespeist. Eine vergrößerte Fläche (Faktor 1,45) des Photovoltaikfeldes in Variante 2c führt zu einer proportional größeren Produktion, jedoch nicht zu einer ebenso proportionalen Selbstnutzung des Stroms, was im Vergleich von Variante 1 und 2c sichtbar ist.



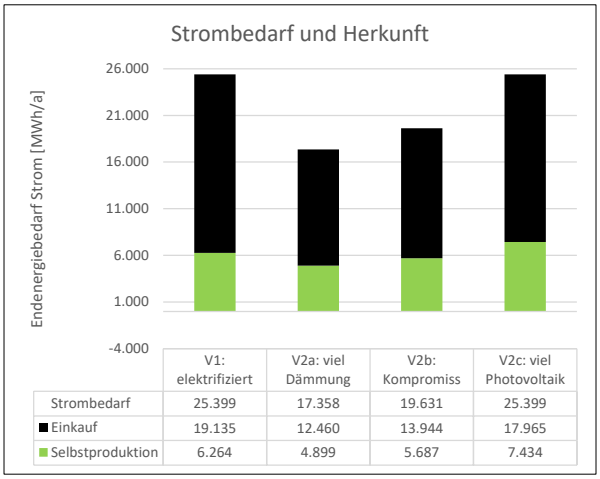


Abbildung 98 Strombilanz nach Verwendung und Herkunft in 4 Verbesserungsszenarien

Abbildung 98 (rechts) zeigt den Blick auf die Strombilanz aus Sicht der Gebäudeversorgung. Ein Teil der Bedarfsdeckung entstammt der Photovoltaik (grün), der Rest wird aus dem Netz bezogen (schwarz). Der Bedarf an Strom hängt vom baulichen Standard ab, Varianten 1 und 2c sind identisch, in diesem Fall entsprechen sie dem Bestandsniveau.

5.3.2 Emissionen

Abbildung 99 zeigt die Emissionsbilanz der Gebäude. Bestimmungsgemäß wird in den Varianten 2a bis 2c eine bilanzielle Emissionsfreiheit erreicht. Es wird im Verlauf eines Jahres jeweils genau so viel Strom erzeugt, wie die Gebäude benötigen.

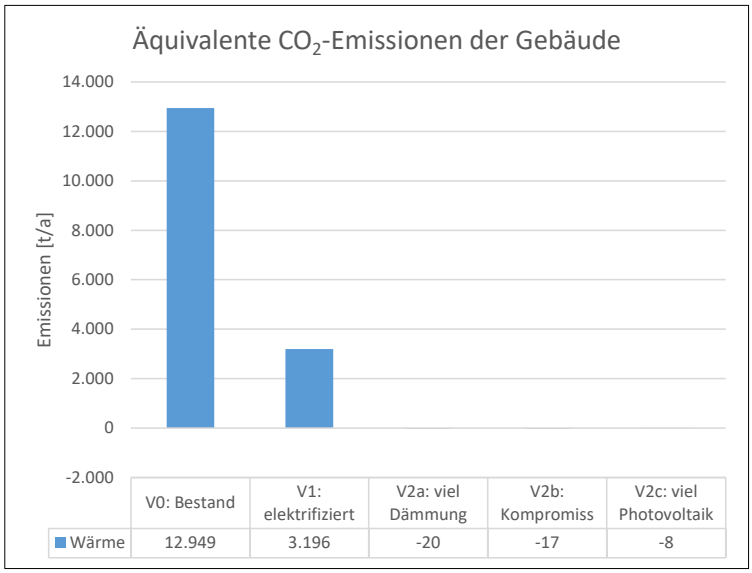
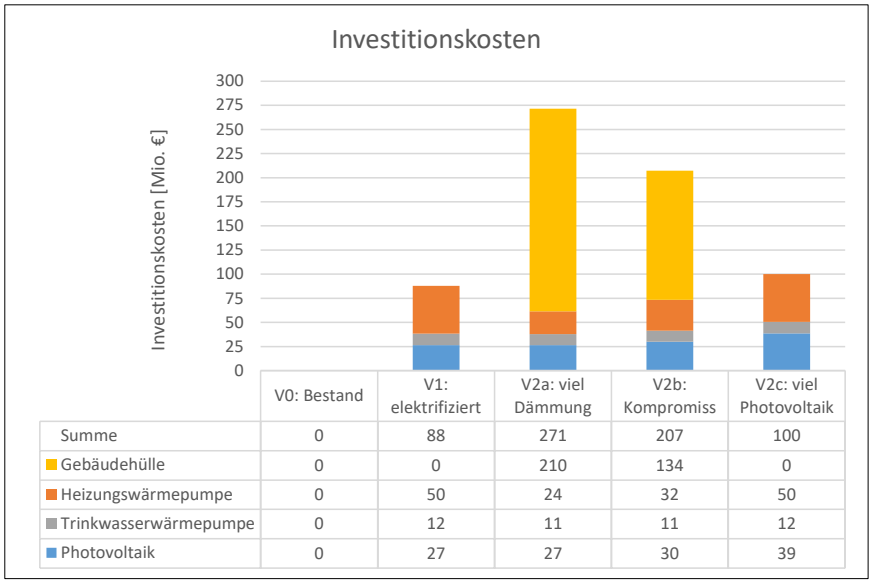


Abbildung 99 Absolute äquivalente CO_2-Emissionen für 5 Szenarien

Ein exaktes Erreichen der Zahl 0 als Ergebnis wäre möglich gewesen, jedoch wird die gefundene Annäherung als genau genug eingeschätzt. Die Abweichungen vom exakten Ergebnis ergeben sich durch die Genauigkeitseingabe der erforderlichen Flächenüberdimensionierung für Photovoltaik, z. B. In der Variante 2c der Überdimensionierung mit einem Faktor von 1,45 bezogen auf die vorhandene Dachfläche (auf die dritte Nachkommastelle wurde verzichtet).

5.3.3 Investitionskosten

Abbildung 100 gibt einen Überblick über die erforderlichen Investitionskosten. Die Werte sind noch nicht in Jahreskapitalkosten umgerechnet, es handelt sich um den insgesamt benötigten Einsatz von Kapital (ohne Zins). Gut sichtbar ist, dass der Verzicht auf die Maßnahmen an der Gebäudehülle in den Varianten 1 und 2c zu deutlich geringeren Investitionskosten führt, aber auch, dass eine überwiegende Teilsanierung in der Variante 2b gegenüber einer Vollsanierung in der Variante 2a den Kapitalbedarf mindert.



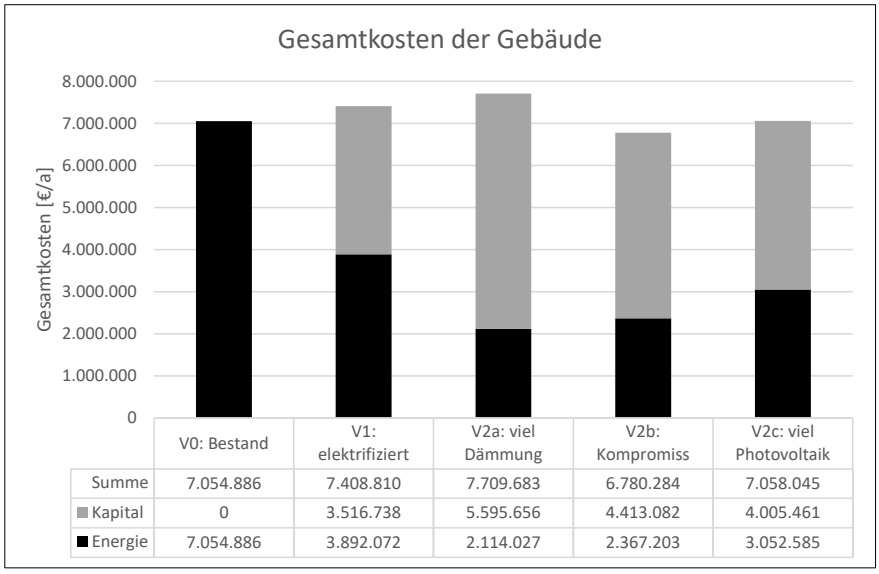
	V0: Bestand	V1: elektrifiziert	V2a: viel Dämmung	V2b: Kompromiss	V2c: viel Photovoltaik
Summe	0	88	271	207	100
Gebäudehülle	0	0	210	134	0
Heizungswärmepumpe	0	50	24	32	50
Trinkwasserwärmepumpe	0	12	11	11	12
Photovoltaik	0	27	27	30	39

Abbildung 100 Investitionskostenschätzung für 5 Szenarien

Sofern eine Klimaneutralität bis zum Jahr 2035 erreicht werden soll, sind die angezeigten Summen über 10 Jahre auszugeben. In der Variante 2c erscheint dies nach Ansicht der Autoren im Hinblick auf den zur Verfügung stehenden Haushalt der Stadt Oldenburg als machbar: circa 10 Mio. € pro Jahr für 10 Jahre. In den Varianten 2a und 2b ergeben sich entsprechend höhere Werte. Es kann – nicht muss – vermutet werden, dass die Umsetzungen der Varianten 2a und 2b bis zur Erreichung der Klimaneutralität mehr als 10 Jahre in Anspruch nehmen würden. In der Kompromisslösung 2b und einem Umsetzungshorizont von 20 Jahren ergeben sich ebenso Ausgaben von circa 10 Mio. € pro Jahr.

5.3.4 Jährliche Kosten

Die Energiemengen lassen sich in jährliche Energiekosten umrechnen, die Investitionskosten in jährliche Kapitalkosten. Abbildung 101 zeigt das Resultat, die jährlichen Gesamtkosten. Trotz unterschiedlicher Herangehensweisen ergeben sich recht ähnliche Gesamtkosten. Die Variante 1 erreicht die Emissionsfreiheit nicht, dies soll in diesem Vergleich nicht überbewertet werden.



	V0: Bestand	V1: elektrifiziert	V2a: viel Dämmung	V2b: Kompromiss	V2c: viel Photovoltaik
Summe	7.054.886	7.408.810	7.709.683	6.780.284	7.058.045
Kapital	0	3.516.738	5.595.656	4.413.082	4.005.461
Energie	7.054.886	3.892.072	2.114.027	2.367.203	3.052.585

Abbildung 101 Absolute Jahresgesamtkosten für 5 Szenarien

Die Variante 2a mit dem Schwerpunkt einer erhöhten Gebäudeverbesserung und nur der Nutzung der in den Gebäuden zur Verfügung stehenden Dachflächen für Photovoltaik führt zu den höchsten Gesamtkosten. Wird ausschließlich auf den Ausbau der Photovoltaik gesetzt, auch deutlich über das Maß der zur Verfügung stehenden Dachflächen hinaus, ergibt dies die zweithöchsten Gesamtkosten in Variante 2c.

Da sich der energetische Standard der Gebäude nicht ändert, bleiben die Energiekosten höher. Die Kompromisslösung 2b trägt diesen Namen, da sie aus den Varianten 2a und 2c einen sinnvollen Mittelweg wählt. Auch hier werden mehr Dachflächen benötigt, als in den Gebäuden verfügbar sind.

5.3.5 Äquivalenter Emissionspreis

Eine mögliche Verbindung der ökonomischen und ökologischen Bewertung ist die Darstellung des äquivalenten Emissionspreises, d. h. das Verhältnis der eingesetzten jährlichen Kapitalkosten zu den jährlichen Emissionsminderungen.

Abbildung 102 zeigt die Auswertung am Beispiel der Variante 2a. Jedes Gebäude ergibt einen Punkt im Diagramm. Kleine Gebäude liegen links, große rechts. Gebäude mit einem günstigen Verhältnis von Kapitaleinsatz zu Einsparung liegen unten im Diagramm, gegenteilige oben. Die entsprechenden Mittelwerte beider Achsen sind markiert. Eine Darstellung dieser Art kannst zur Priorisierung der Sanierungsreihenfolge beitragen, siehe Kapitel 2.5.

Die Auswertung zeigt viele bauliche Vollsanierungen, entsprechend dem Ansatz dieser Variante. Unter allen Varianten, welche die Emissionsfreiheit erreichen, schneidet die Variante 2a mit einem Kennwert von 431 €/t am schlechtesten ab.

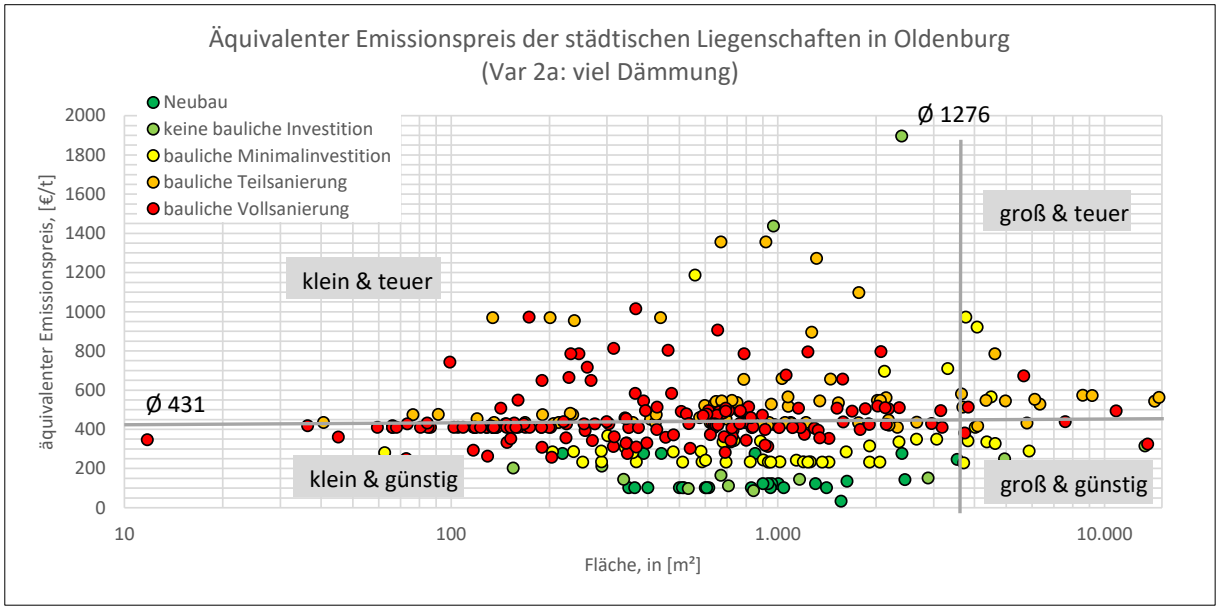


Abbildung 102 Äquivalenter Emissionspreis und Gebäudeflächen nach Wärmeverbrauchsklasse in Variante 2a

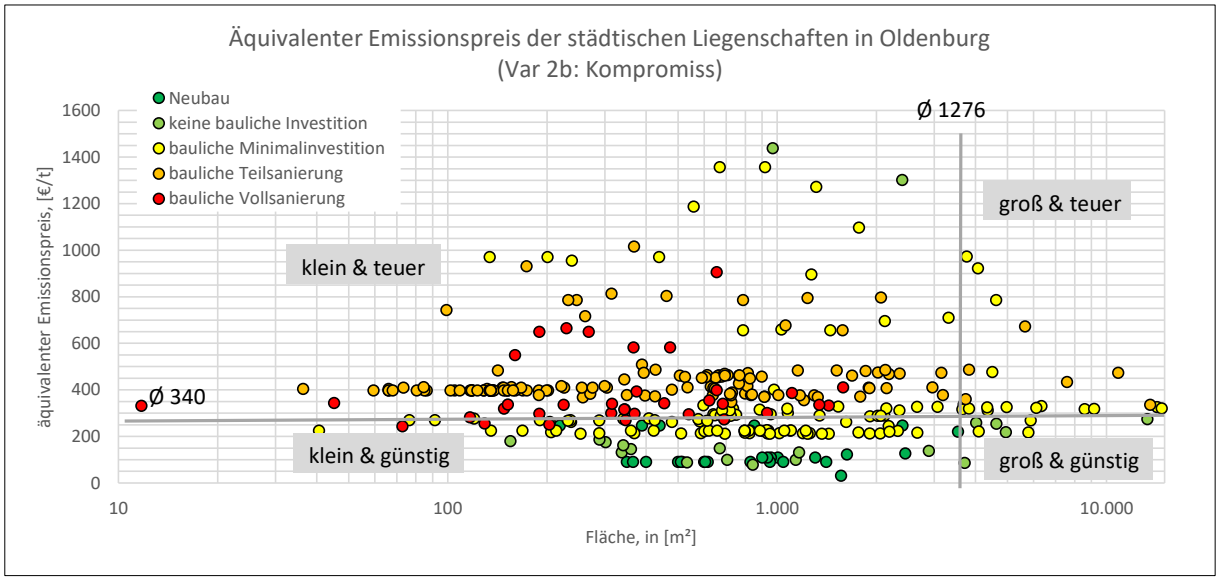


Abbildung 103 Äquivalenter Emissionspreis und Gebäudeflächen nach Wärmeverbrauchsklasse in Variante 2b

Abbildung 103 liefert die Ergebnisse für die Variante 2b. Entsprechend deutlich geringerer Sanierungsaktivitäten an der Gebäudehülle enthält das Diagramm weniger rote Markierungen (Vollsanierungen), stattdessen ist es geprägt von Teil- und Minimalsanierungen. Aufgrund des insgesamt günstigeren Verhältnisses von Kapitaleinsatz zu Einsparung bei der Photovoltaik (verglichen mit Dämmmaßnahmen) sinkt der mittlere äquivalente Emissionspreis auf 340 €/t.

Abbildung 104 liefert die Ergebnisse für Variante 2c. Da keine baulichen Sanierungen stattgefunden haben, wird auf die farbige Markierung verzichtet. Der äquivalente Emissionspreis fällt mit 309 €/t sehr gering aus.

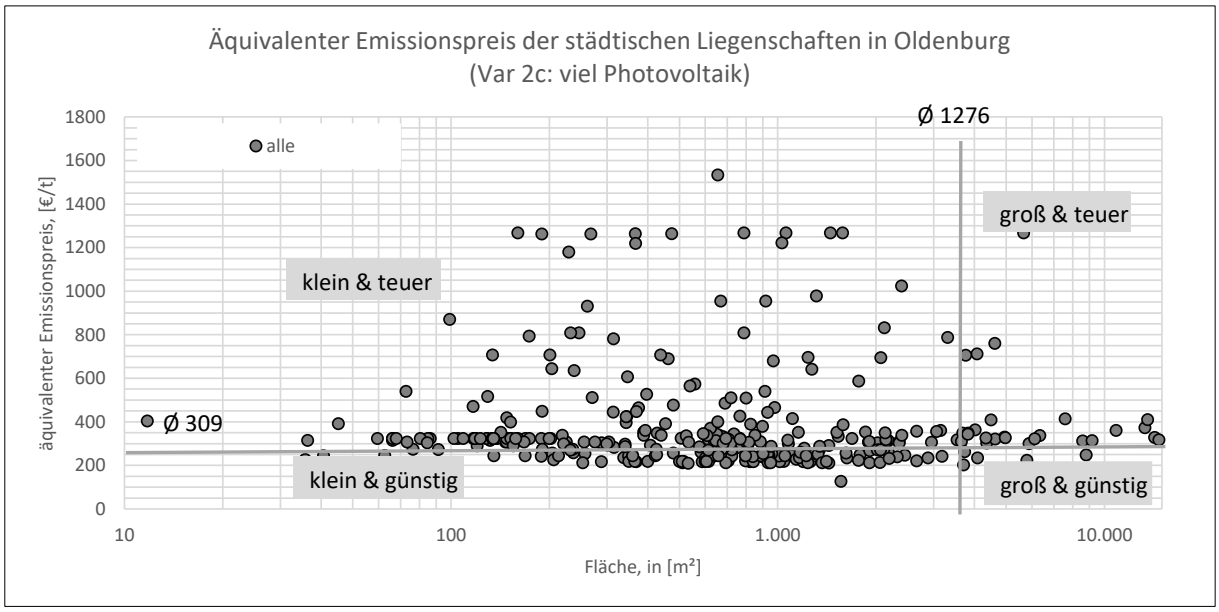


Abbildung 104 Äquivalenter Emissionspreis und Gebäudeflächen nach Wärmeverbrauchsklasse in Variante 2c

Allen Auswertungen gemein ist die Erkenntnis, dass es Sanierungen mit unter 100 €/t bis fast 2000 €/t im Gebäudebestand der Stadt Oldenburg geben kann. Zur Schonung des Budgets sind – egal welche Strategie ergriffen wird – die Projekte mit den geringeren Kennwerten zu bevorzugen. Um eine Unzahl kleiner Baustellen zu umgehen, könnte der Beginn mit großflächigen Gebäuden sinnvoll sein. Zumal hier schnelle Erfolge sichtbar werden.

5.4 Ergebnisse der Gebäudecluster

Die nachfolgenden Auswertungen beziehen sich vorzugsweise auf die einzelnen Gebäudecluster und deren Besonderheiten. Es werden vorzugsweise flächenbezogene Kennwerte angegeben, da sich mit ihnen die verschiedenen Gebäudecluster gut vergleichen lassen.

5.4.1 Endenergie

Tabelle 10 zeigt die absoluten Endenergien für die Wärmeversorgung und den Allgemeinstrom und deren Summe. Aus den Beträgen in MWh/a werden im unteren Teil der Tabelle Kennwerte für die jeweiligen Cluster bezogen auf die Nettogrundfläche abgeleitet.

Die graphische Darstellung der flächenbezogenen Kennwerte ist Abbildung 105 bis Abbildung 107 zu entnehmen, Dabei sind zur besseren Vergleichbarkeit die Schulen gemeinsam in einer Grafik dargestellt. Die Trends der verschiedenen Varianten, die sich in der gesamten Liegenschaft zeigen, lassen sich auch für jeden einzelnen Cluster erkennen.

Cluster		Endenergie, [MWh/a]														
		V0: Bestand			V1: elektrifiziert			V2a: viel Dämmung			V2b: Kompromiss			V2c: viel Photovoltaik		
		Wärme	Strom	Summe	Wärme	Strom	Summe	Wärme	Strom	Summe	Wärme	Strom	Summe	Wärme	Strom	Summe
1	KITA	2196,8	515,1	2711,8	729,8	515,1	1244,9	373,8	515,1	888,9	496,7	515,1	1011,8	729,8	515,1	1244,9
2	GRUND-SCHULE	8022,9	979,9	9002,8	2651,7	979,9	3631,5	1113,5	979,9	2093,4	1479,7	979,9	2459,5	2651,7	979,9	3631,5
3	WEIT. SCHULE	15213	2813,4	18026,4	4978,6	2813,4	7791,9	2291,7	2813,4	5105,1	3479,4	2813,4	6292,8	4978,6	2813,4	7791,9
4	BERUFS-SCHULE	3688,5	1339,2	5027,8	1400,3	1339,2	2739,6	790,2	1339,2	2129,5	896,5	1339,2	2235,8	1400,3	1339,2	2739,6
5	SPORT-HALLE	5236,3	1405,2	6641,4	1751,7	1405,2	3156,9	777,6	1405,2	2182,8	998,9	1405,2	2404,1	1751,7	1405,2	3156,9
6	VERWAL-TUNG	4407,0	1347,5	5754,5	1735,0	1347,5	3082,5	1115,8	1347,5	2463,3	1200,1	1347,5	2547,6	1735,0	1347,5	3082,5
7	REST	5885,2	1691,2	7576,4	2060,4	1691,2	3751,6	804,3	1691,2	2495,5	988,1	1691,2	2679,3	2060,4	1691,2	3751,6
	ALLE	44650	10092	54741	15307	10092	25399	7267	10092	17359	9539	10092	19631	15307	10092	25399

Cluster		flächenbezogene Endenergie, [kWh/(m²a)]														
		V0: Bestand			V1: elektrifiziert			V2a: viel Dämmung			V2b: Kompromiss			V2c: viel Photovoltaik		
		Wärme	Strom	Summe	Wärme	Strom	Summe	Wärme	Strom	Summe	Wärme	Strom	Summe	Wärme	Strom	Summe
1	KITA	82	19	101	27	19	46	14	19	33	18	19	38	27	19	46
2	GRUND-SCHULE	100	12	112	33	12	45	14	12	26	18	12	31	33	12	45
3	WEIT. SCHULE	103	19	122	34	19	53	15	19	34	23	19	42	34	19	53
4	BERUFS-SCHULE	72	26	98	27	26	54	15	26	42	18	26	44	27	26	54
5	SPORT-HALLE	124	33	158	42	33	75	18	33	52	24	33	57	42	33	75
6	VERWAL-TUNG	102	31	134	40	31	72	26	31	57	28	31	59	40	31	72
7	REST	122	35	157	43	35	78	17	35	52	20	35	55	43	35	78
	ALLE	101	23	124	35	23	58	17	23	39	22	23	45	35	23	58

Tabelle 10 Endenergie und flächenbezogene Endenergie nach Cluster und im Mittel aller Gebäude

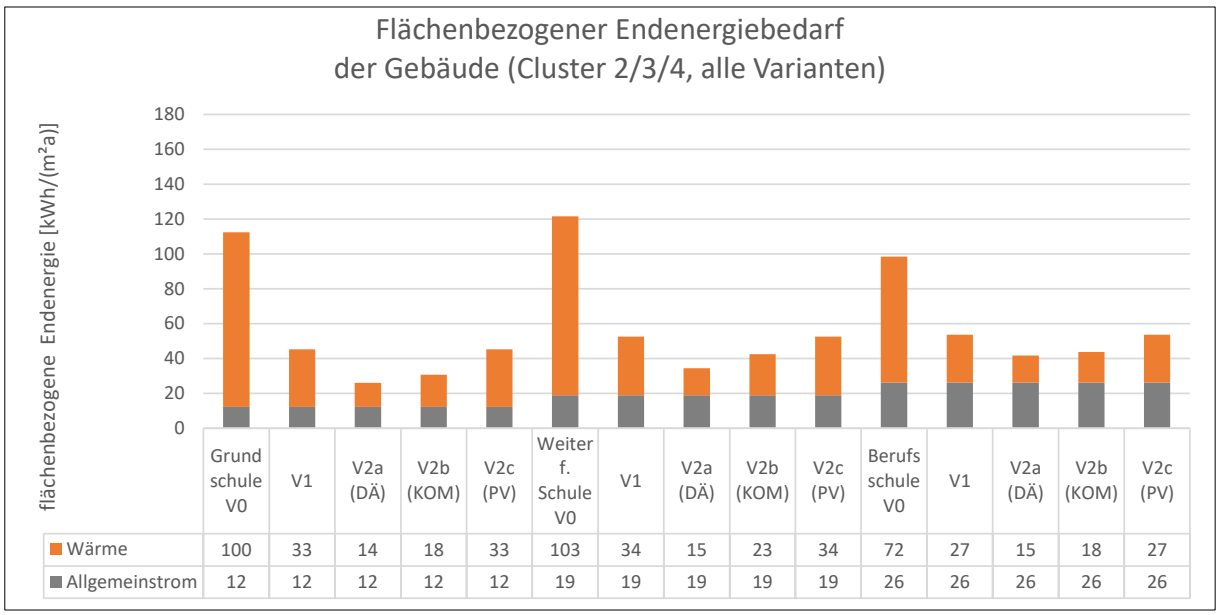
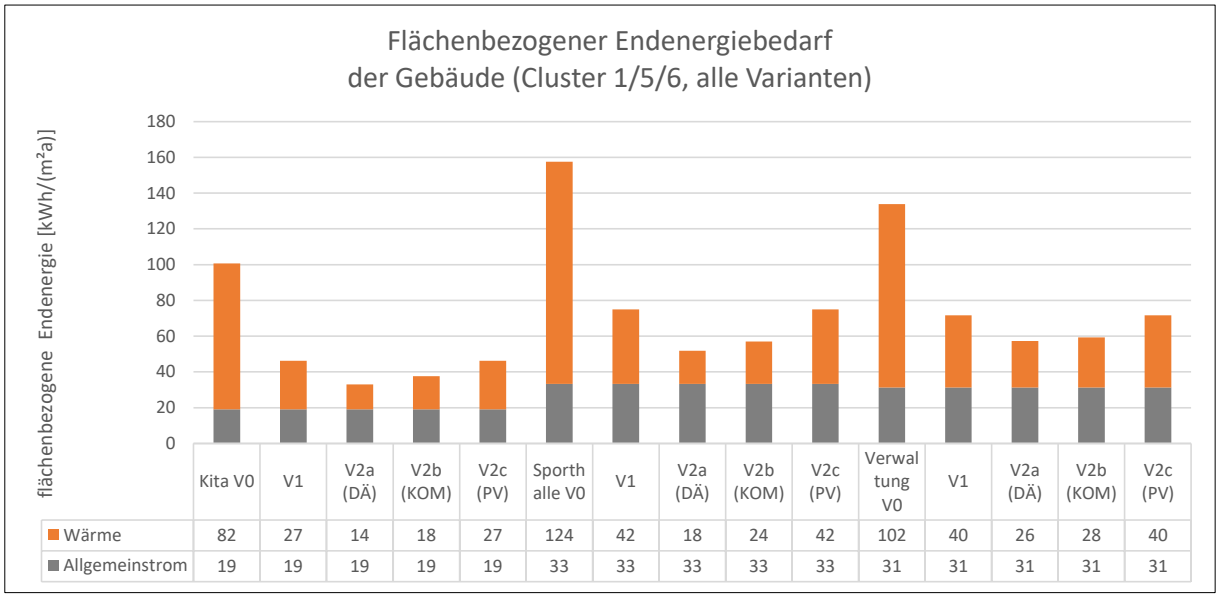


Abbildung 105 Flächenbezogener Endenergiebedarf der Cluster 2, 3 und 4 für 5 Szenarien

Unter den Schulen zeigen sich die Grundschulen als energieextensiv, was an ihrer Nutzung liegt. Die weiterführenden Schulen enthalten vielfach eine Mensa, was den Verbrauch intensiviert. Die Berufsschulen lassen sich aufgrund ihrer Geometrie (mehr Geschossigkeit) gut verbessern, siehe Abbildung 105.

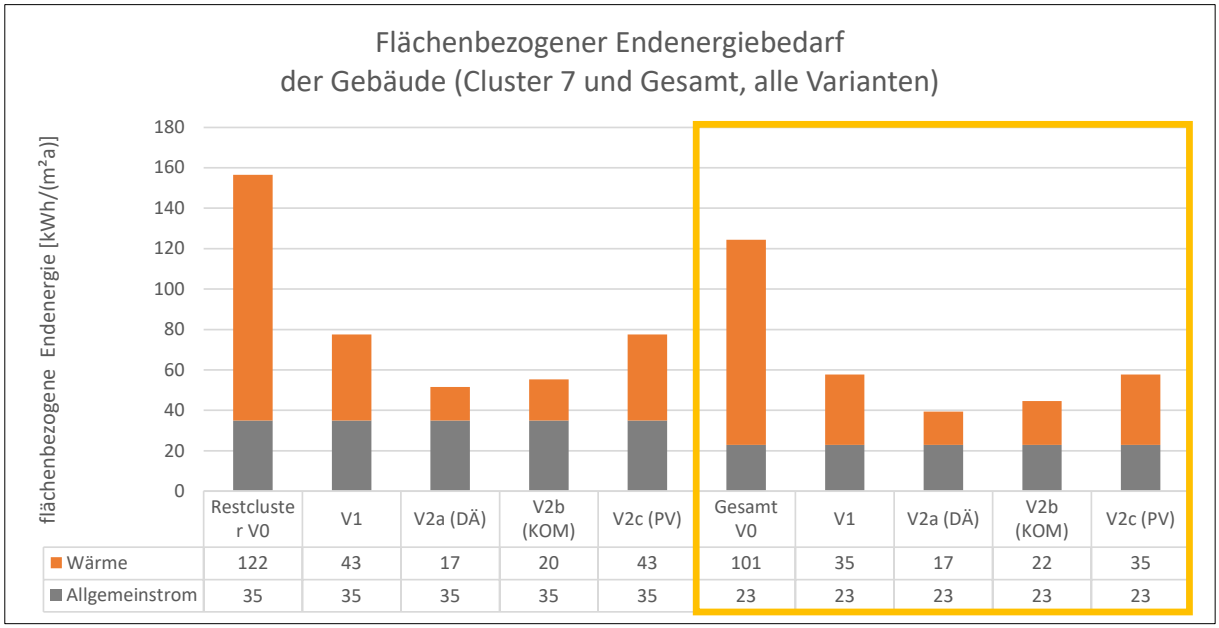
Abbildung 106 zeigt das mehrfach angesprochene Phänomen, dass sich aufgrund der abweichenden Geschosshöhen in Sporthallen erhöhte flächenbezogene Verbrauchskennwerte geben. In den Verwaltungsgebäuden ist der Stromverbrauch tatsächlich höher aufgrund der Nutzung.



	Kita V0	V1	V2a (DÄ)	V2b (KOM)	V2c (PV)	Sporthalle V0	V1	V2a (DÄ)	V2b (KOM)	V2c (PV)	Verwaltung V0	V1	V2a (DÄ)	V2b (KOM)	V2c (PV)
Wärme	82	27	14	18	27	124	42	18	24	42	102	40	26	28	40
Allgemeinstrom	19	19	19	19	19	33	33	33	33	33	31	31	31	31	31

Abbildung 106 Flächenbezogener Endenergiebedarf der Cluster 1, 5 und 6 für 5 Szenarien

Abbildung 107 liefert neben den Erkenntnissen für den Restcluster 7 auch die Zusammenfassung für die Gesamtheit aller Gebäude. Für eine detaillierte Analyse wird auf das Kapitel 5.3.1 verwiesen, Welches die absoluten Zahlen enthält.



	Restcluster V0	V1	V2a (DÄ)	V2b (KOM)	V2c (PV)	Gesamt V0	V1	V2a (DÄ)	V2b (KOM)	V2c (PV)
Wärme	122	43	17	20	43	101	35	17	22	35
Allgemeinstrom	35	35	35	35	35	23	23	23	23	23

Abbildung 107 Flächenbezogener Endenergiebedarf des Clusters 7 und Liegenschaftsmittel für 5 Szenarien

5.4.2 Emissionen

Tabelle 11 stellt die einzelnen Bilanzergebnisse für die Emissionen zusammen, als absolute Mengen und auf die Nettogrundfläche bezogen. Negative Werte in einzelnen Varianten zeigen an, dass in den betreffenden Clustern mehr Energie erzeugt als benötigt wird. Die bilanzielle Emissionsfreiheit ist in diesem Cluster gegeben, er trägt dazu bei, in anderen Clustern zu kompensieren.

Cluster	Klarname	jährliche äquivalente CO_2-Emissionen, [t/a]				
		V0: Bestand	V1: elektrifi-ziert	V2a: viel Dämmung	V2b: Kompro-miss	V2c: viel Photovoltaik
1	KITA	706	-134	-276	-309	-424
2	GRUNDSCHULE	2.030	-593	-1.208	-1.328	-1.534
3	WEITSCHULE	4.199	1.412	338	591	628
4	BERUFSSCHULE	1.195	562	318	291	316
5	SPORTHALLE	1.609	210	-180	-228	-274
6	VERWALTUNG	1.423	1.031	783	790	937
7	REST	1.789	708	205	176	343
	ALLE	12.949	3.196	-20	-17	-8
Cluster	Klarname	jährliche flächenbezogene äquivalente CO_2-Emissionen, [kg/(m²a)]				
		V0: Bestand	V1: elektrifi-ziert	V2a: viel Dämmung	V2b: Kompro-miss	V2c: viel Photovoltaik
1	KITA	26	-5	-10	-11	-16
2	GRUNDSCHULE	25	-7	-15	-17	-19
3	WEITSCHULE	28	10	2	4	4
4	BERUFSSCHULE	23	11	6	6	6
5	SPORTHALLE	38	5	-4	-5	-7
6	VERWALTUNG	33	24	18	18	22
7	REST	37	15	4	4	7
	ALLE	29	7	0	0	0

Tabelle 11 Emissionen und flächenbezogene Emissionen nach Cluster und im Mittel aller Gebäude

Abbildung 108 bis Abbildung 110 liefern wiederum die Ergebnisse als graphische Darstellungen. Zur besseren Übersichtlichkeit sind alle Schulen in einer Grafik abgebildet. Es zeigt sich, dass die Grundschulen mehr Energie erzeugen können als sie selbst benötigen und somit Emissionen vermeiden. In den anderen beiden Schultypen ist dies nicht der Fall.

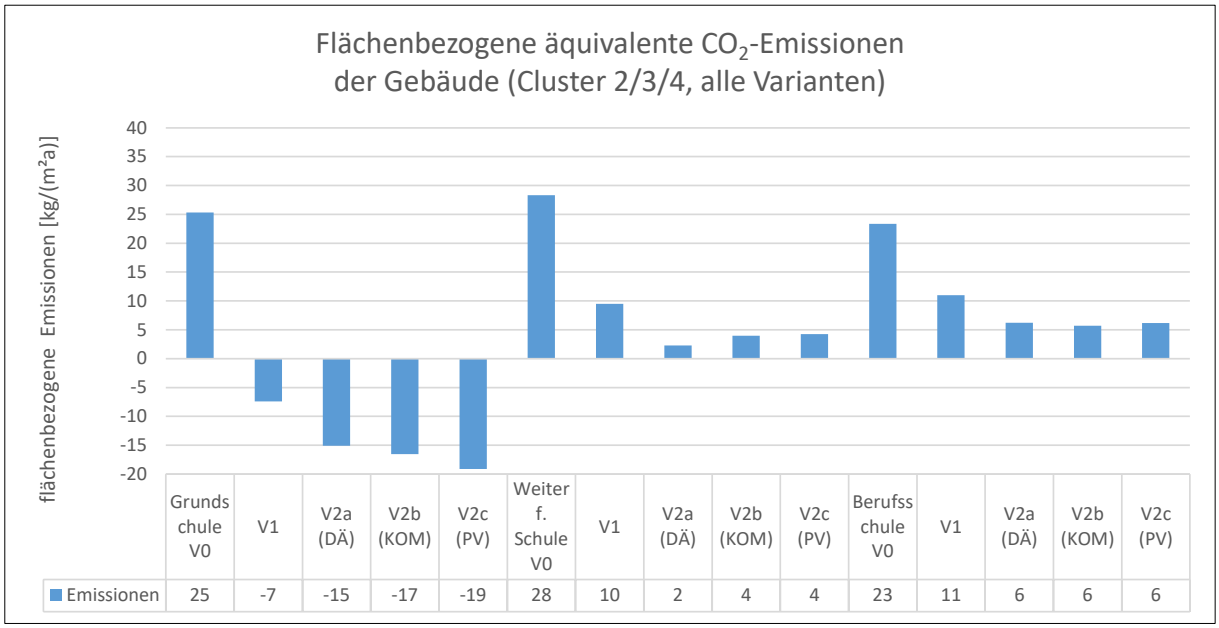


Abbildung 108 Flächenbezogene äquivalente Emissionen der Cluster 2, 3 und 4 für 5 Szenarien

Abbildung 109 zeigt, dass sich verallgemeinern lässt: in energieextensiven Nutzungen (hier Kita und Sporthalle) ergibt sich eine negative Emissionsbilanz, diese Gebäude produzieren mehr Energie als sie selbst benötigen. Dies ist bei Verwaltungsgebäuden und anderen energieintensiven Nutzungen nicht der Fall.

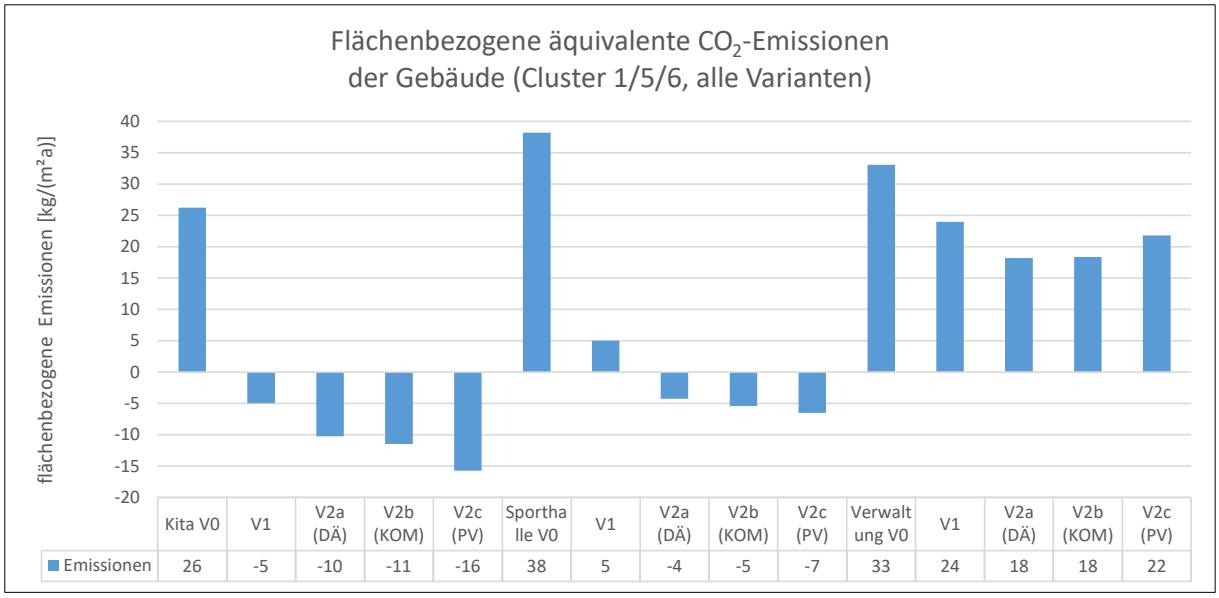


Abbildung 109 Flächenbezogener äquivalente Emissionen der Cluster 1, 5 und 6 für 5 Szenarien

Im Mittel aller Gebäude heben sich die energieintensiven und -extensiven Nutzungen auf, so dass sich die Emissionsfreiheit ergibt, siehe Abbildung 110.

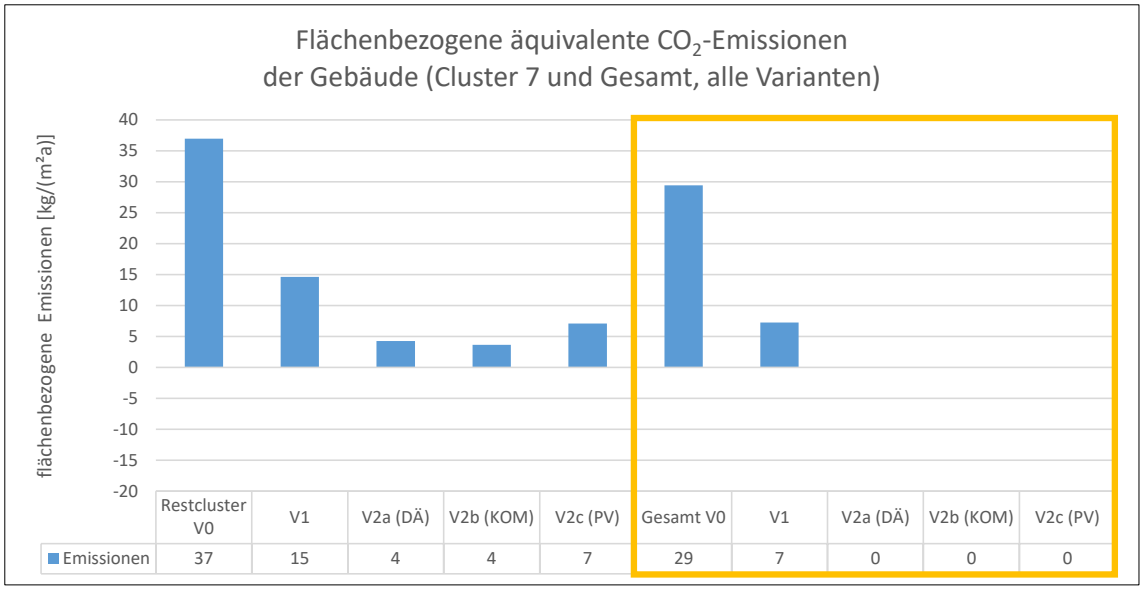


Abbildung 110 Flächenbezogener äquivalente Emissionen des Clusters 7 und Liegenschaftsmittel für 5 Szenarien

5.4.3 Jährliche Kosten

Die jährlichen Kosten, bestehend aus Energiekosten und Kapitalkosten zeigt Tabelle 12, einerseits in absoluten Zahlen, andererseits flächenbezogen.

Abbildung 111 bis Abbildung 113 zeigen je Cluster, welche der Sanierungsvarianten am günstigsten wäre. In der Regel ergibt sich dasselbe Bild pro Cluster wie im Liegenschaftsmittel: die Kompromisslösung stellt ein Optimum dar. Unter den Schulen zeigt sich, dass die Grundschulen in den Varianten 2a und 2b keine Energiekosten mehr aufweisen. Sie sind energieextensiv - verglichen mit anderen Gebäudeclustern - aber auch geprägt von geringerer Geschossigkeit, was eine überproportionale Ausstattung mit Photovoltaik ermöglicht. Somit können sie aus der Rückspeisung von Strom ins Netz Gewinne generieren.

Jahreskosten, [1000 €/a]																
Cluster		V0: Bestand			V1: elektrifiziert			V2a: viel Dämmung			V2b: Kompromiss			V2c: viel Photovoltaik		
		Energie	Kapital	Summe	Energie	Kapital	Summe	Energie	Kapital	Summe	Energie	Kapital	Summe	Energie	Kapital	Summe
1	KITA	386,1	0,0	386,1	103,5	225,6	329,2	32,5	321,1	353,7	38,1	208,1	246,2	39,0	269,9	308,9
2	GRUND-SCHULE	1073,5	0,0	1073,5	275,9	708,2	984,1	-11,3	1164,3	1153,0	-1,2	925,8	924,5	85,2	851,8	937,0
3	WEIT. SCHULE	2247,8	0,0	2247,8	1297,2	1110,0	2407,2	675,6	2008,1	2683,7	876,5	1390,9	2267,3	1060,0	1229,6	2289,7
4	BERUFS-SCHULE	686,6	0,0	686,6	474,1	265,9	739,9	329,3	259,6	588,8	331,3	251,3	582,5	394,0	303,3	697,3
5	SPORT-HALLE	874,7	0,0	874,7	417,3	532,0	949,2	206,7	917,0	1123,8	219,1	767,4	986,5	293,1	605,9	898,9
6	VERWAL-TUNG	780,7	0,0	780,7	687,4	244,8	932,2	534,5	285,3	819,8	545,3	275,9	821,2	653,9	259,0	912,9
7	REST	1005,5	0,0	1005,5	636,7	430,2	1066,9	346,7	640,2	986,9	358,1	593,9	952,0	527,4	485,9	1013,3
	ALLE	7054,9	0,0	7054,9	3892,1	3516,7	7408,8	2114,0	5595,7	7709,7	2367,2	4413,1	6780,3	3052,6	4005,5	7058,0

flächenbezogene Jahreskosten, [€/(m²a)]																
Cluster		V0: Bestand			V1: elektrifiziert			V2a: viel Dämmung			V2b: Kompromiss			V2c: viel Photovoltaik		
		Energie	Kapital	Summe	Energie	Kapital	Summe	Energie	Kapital	Summe	Energie	Kapital	Summe	Energie	Kapital	Summe
1	KITA	14,3	0,0	14,3	3,8	8,4	12,2	1,2	11,9	13,1	1,4	7,7	9,1	1,4	10,0	11,5
2	GRUND-SCHULE	13,4	0,0	13,4	3,4	8,8	12,3	-0,1	14,5	14,4	0,0	11,5	11,5	1,1	10,6	11,7
3	WEIT. SCHULE	15,2	0,0	15,2	8,7	7,5	16,2	4,6	13,5	18,1	5,9	9,4	15,3	7,1	8,3	15,4
4	BERUFS-SCHULE	13,4	0,0	13,4	9,3	5,2	14,5	6,4	5,1	11,5	6,5	4,9	11,4	7,7	5,9	13,6
5	SPORT-HALLE	20,8	0,0	20,8	9,9	12,6	22,5	4,9	21,8	26,7	5,2	18,2	23,4	7,0	14,4	21,3
6	VERWAL-TUNG	18,2	0,0	18,2	16,0	5,7	21,7	12,4	6,6	19,1	12,7	6,4	19,1	15,2	6,0	21,2
7	REST	20,8	0,0	20,8	13,2	8,9	22,0	7,2	13,2	20,4	7,4	12,3	19,7	10,9	10,0	20,9
	ALLE	16,0	0,0	16,0	8,8	8,0	16,8	4,8	12,7	17,5	5,4	10,0	15,4	6,9	9,1	16,0

Tabelle 12 Kosten und flächenbezogene Kosten nach Cluster und im Mittel aller Gebäude

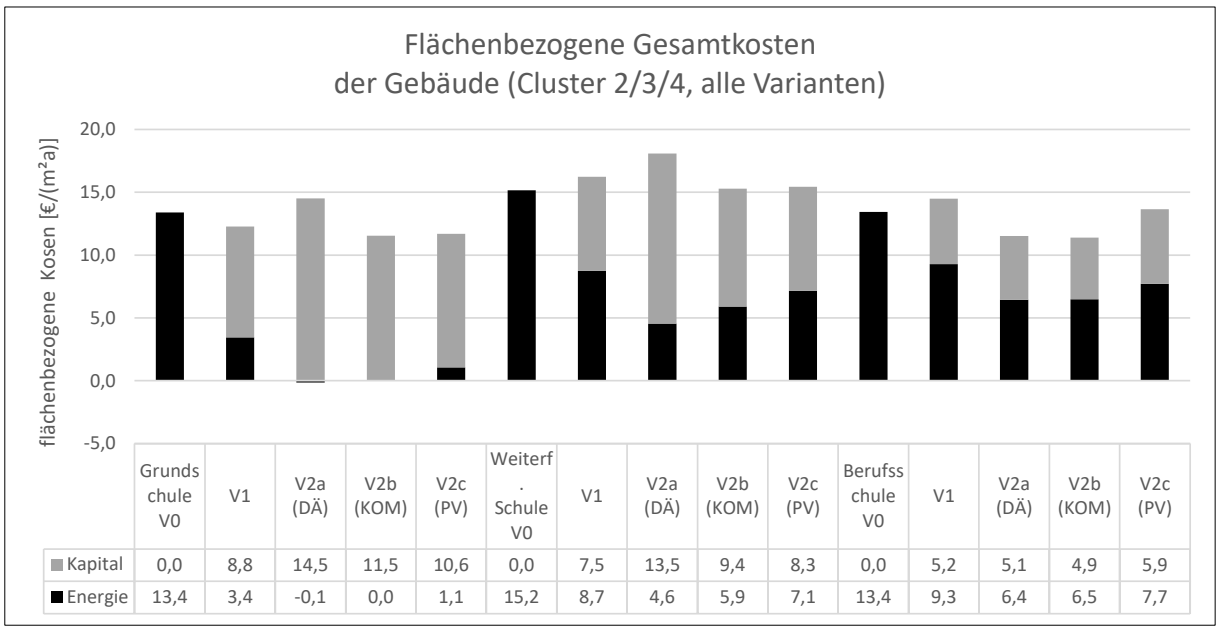
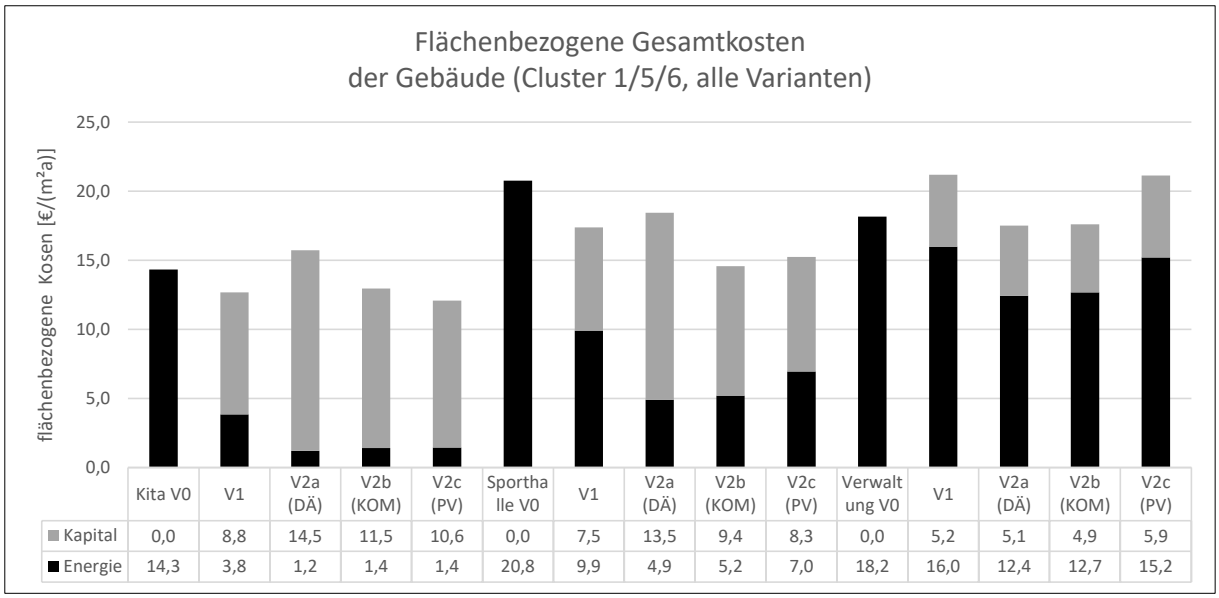


Abbildung 111 Flächenbezogene Jahresgesamtkosten der Cluster 2, 3 und 4 für 5 Szenarien

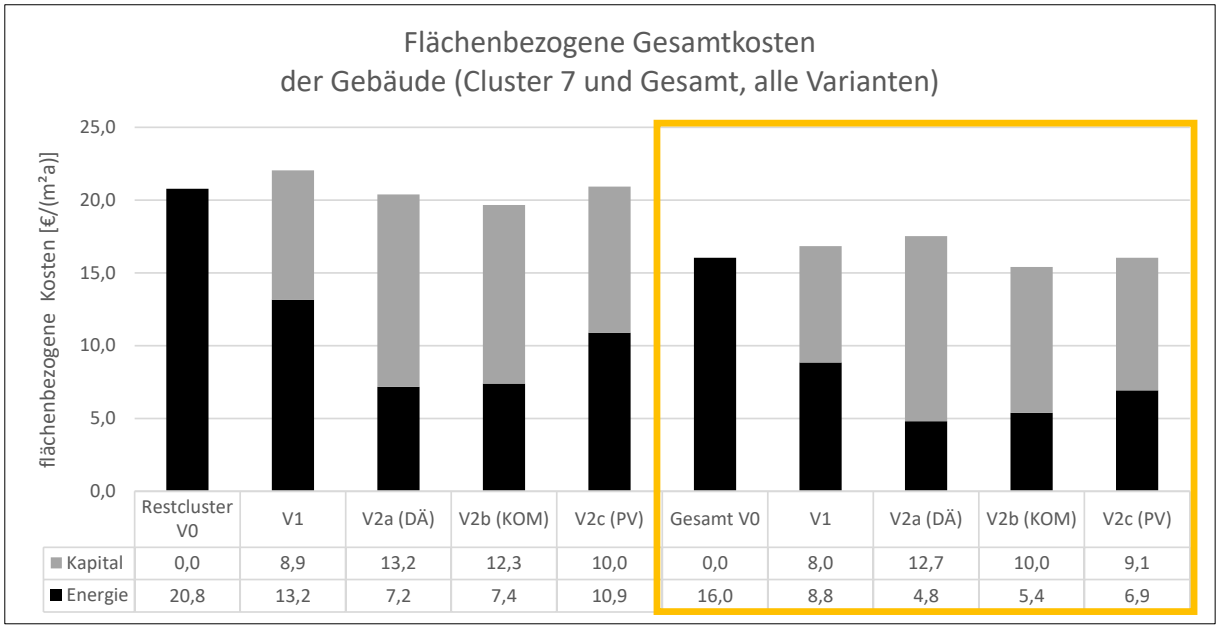
Abbildung 112 zeigt, dass die Verwaltungsgebäude in jeder Sanierungsvariante höhere Kosten aufweisen als im Bestand (unter der Annahme, dass keine Investition in die bestehenden Gebäude getätigt werden müssen). Ein Grund dafür ist die hohe Denkmalquote, sie führt dazu, dass unterproportional viel Photovoltaik installiert werden kann. Damit generieren diese Gebäude deutlich weniger Gewinne durch Rückspeisung von Strom. Ihre Energiekosten sinken zwar, jedoch nicht proportional zu denen anderer Cluster. Zudem sind sie energieintensiv in puncto Allgemeinstrom.



	Kita V0	V1	V2a (DÄ)	V2b (KOM)	V2c (PV)	Sportha lle V0	V1	V2a (DÄ)	V2b (KOM)	V2c (PV)	Verwalt ung V0	V1	V2a (DÄ)	V2b (KOM)	V2c (PV)
Kapital	0,0	8,8	14,5	11,5	10,6	0,0	7,5	13,5	9,4	8,3	0,0	5,2	5,1	4,9	5,9
Energie	14,3	3,8	1,2	1,4	1,4	20,8	9,9	4,9	5,2	7,0	18,2	16,0	12,4	12,7	15,2

Abbildung 112 Flächenbezogene Jahresgesamtkosten der Cluster 1, 5 und 6 für 5 Szenarien

Auf eine vertiefte Analyse zum Mittelwert aller Gebäude – siehe Abbildung 113 rechts – wird verzichtet, es wird auf Kapitel 5.3.4 verwiesen.



	Restcluster V0	V1	V2a (DÄ)	V2b (KOM)	V2c (PV)	Gesamt V0	V1	V2a (DÄ)	V2b (KOM)	V2c (PV)
Kapital	0,0	8,9	13,2	12,3	10,0	0,0	8,0	12,7	10,0	9,1
Energie	20,8	13,2	7,2	7,4	10,9	16,0	8,8	4,8	5,4	6,9

Abbildung 113 Flächenbezogene Jahresgesamtkosten des Clusters 7 und Liegenschaftsmittel für 5 Szenarien

5.4.4 Äquivalenter Emissionspreis

Abschließend wird der äquivalente Emissionspreis dargestellt. Für jeden Cluster wird eine andere Farbe gewählt, so dass in den Grafiken erkennbar wird, wie viele Gebäude es jeweils gibt, ob sie eher klein oder groß sind und welche Kosten anfallen, um in ihnen Emissionen zu sparen.

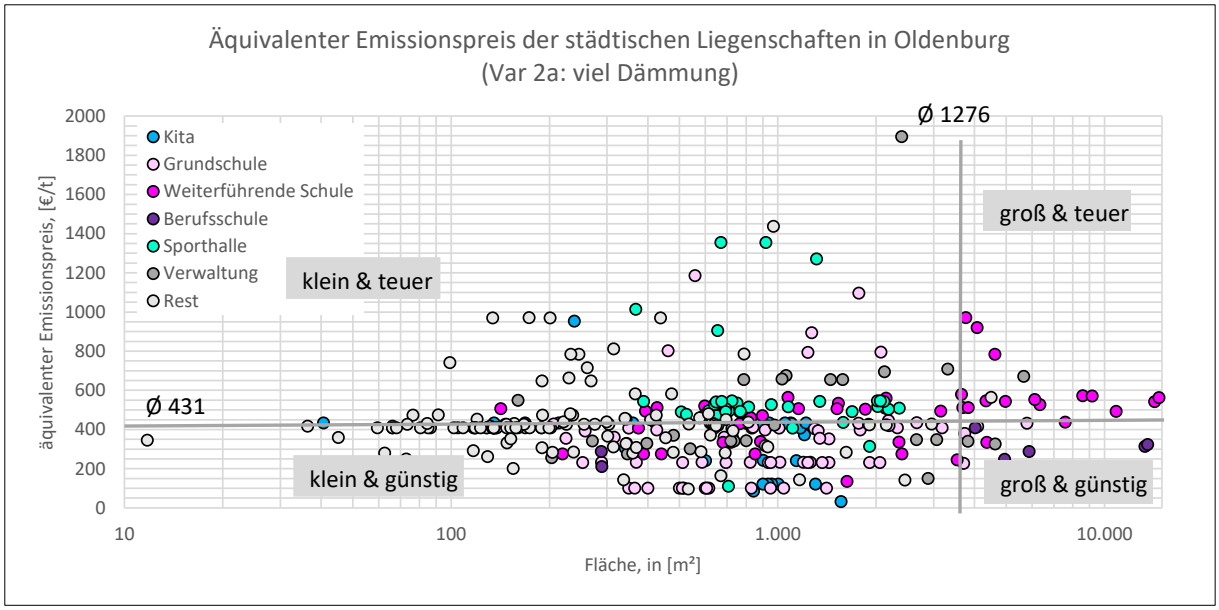


Abbildung 114 Äquivalenter Emissionspreis und Gebäudeflächen nach Gebäudeclustern in der Variante 2a

Abbildung 114 zeigt den äquivalenten Emissionspreis für die Variante 2a. Es gibt folgende Trends: die Kitas sind im Mittel klein und vergleichsweise günstig hinsichtlich das Verhältnisses Investition und Emissionsminderung (hellblau).

Die Grundschulen liegen hinsichtlich ihrer Fläche im Mittelfeld, viele von ihnen landen auch hinsichtlich des äquivalenten Emissionspreises im Mittelfeld, einige erweisen sich als sehr ungünstig bei einer Sanierung (rosa).

Die weiterführenden Schulen sind teils sehr groß, die kleineren von ihnen ähneln den Grundschulen, unter den großen weiterführenden Schulen sind einige teure Verbesserungen zu verzeichnen (pink).

Die Berufsschulen gehören zu den größeren Gebäuden, vielfach führen sie zu sehr günstigen äquivalenten Emissionspreisen (lila). Bei einer Entscheidung zur Investitionsreihenfolge lägen sie somit eher vorn.

Die Sporthallen liegen im Mittelfeld der Flächen. Bei ihnen sind Investitionen in Maßnahmen vergleichsweise teuer, damit ergeben sich insgesamt höhere äquivalente Emissionspreise (türkis).

Die Verwaltungsgebäude sind fast in jeder Größenklasse zu finden. Ihre äquivalenten Energiepreise lassen sich nicht gut standardisieren, es ist zu vermuten, dass vor allen Dingen die größere Denkmalquote eine Rolle spielt. Sie vermindert den Einsatz von Photovoltaik, was für das einzelne Projekt ungünstig ist. Den erhöhten Dämmkosten stehen dann keine Einnahmen aus dem Verkauf von Überschussstrom gegenüber.

Der Restcluster besteht aus überproportional vielen kleinen Gebäuden. In diesen finden sich häufig hohe äquivalente Emissionspreise.

Abbildung 115 zeigt die Auswertung für die Variante 2b. Verglichen mit der Variante 2a liegen die Einzelwerte weiter unten, das heißt bei geringeren äquivalenten Emissionspreisen. Die grundsätzlichen Trends der Variante 2a lassen sich dennoch erkennen: günstig sind viele Kitas, Grundschulen und Berufsschulen.

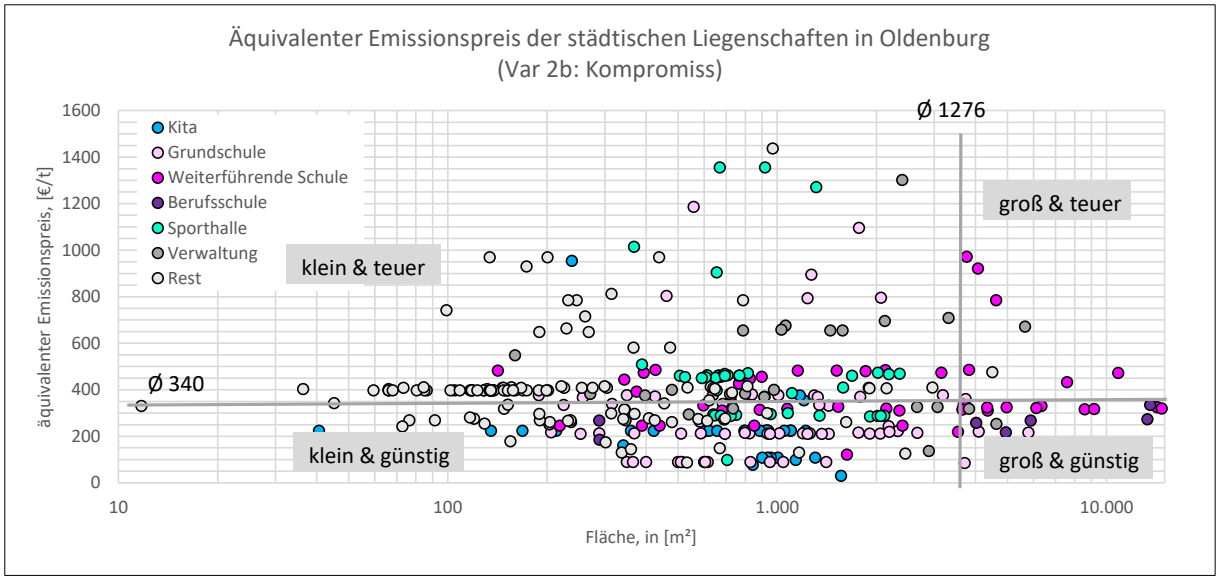


Abbildung 115 Äquivalenter Emissionspreis und Gebäudeflächen nach Gebäudeclustern in der Variante 2b

Abbildung 116 zeigt die Ergebnisse der reinen Photovoltaik-Variante 2c. Alle Werte liegen mehr oder weniger auf ähnlichem Niveau, als Ausreißer lassen sich die denkmalgeschützten Gebäude erkennen. Hier kann keine Photovoltaik installiert werden, die Emissionsminderung ergibt sich allein aus der Umstellung auf die Wärmepumpe. Dies kann vergleichsweise teuer sein.

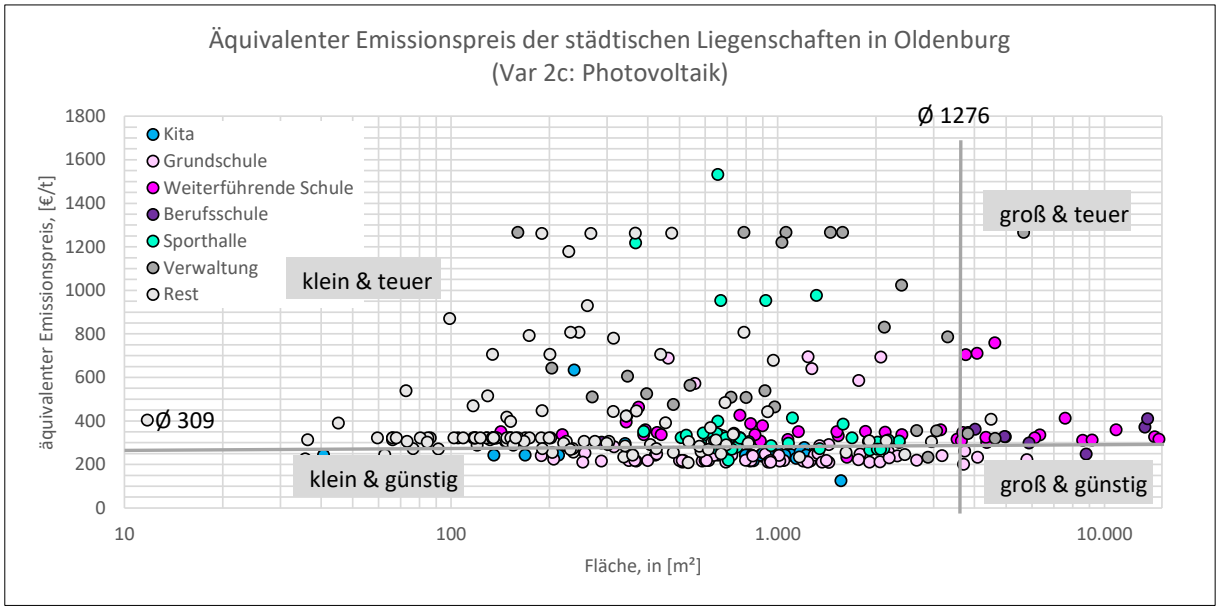


Abbildung 116 Äquivalenter Emissionspreis und Gebäudeflächen nach Gebäudeclustern in der Variante 2c

5.5 Annahmen und Randdaten

Der nachfolgende Abschnitt fasst die getroffenen Annahmen für die Bilanzierung zusammen und erläutert deren Hintergründe.

5.5.1 Investitions- und Energiekosten

Tabelle 13 zeigt die Annahmen zu den Investitionskosten. Für die baulichen Maßnahmen besteht ein Bezug zur Bauteilfläche, für die anlagentechnischen Maßnahmen ein Bezug zur Leistung. In Unkenntnis der realen Verhältnisse wird in den Kategorien Außenwand, oberer Gebäudeabschluss und unterer Gebäudeabschluss mit dem angezeigten Mittelwert gerechnet.

Es werden keine dynamischen Preisentwicklungen der Investitionen angesetzt, d.h. unabhängig vom Zeitpunkt der tatsächlichen Umsetzung ist der Preis konstant. Die Kostenkennwerte liegen insgesamt höher als in der Studie des IBP [1] vor 5 Jahren angesetzt. Dies ist der Preiserhöhung aller Bauprodukte geschuldet. Der Zuwachs ist bei der Photovoltaik minimal, bei den Wärmepumpen deutlich, bei den baulichen Maßnahmen liegen die Preissteigerungen im Mittelfeld.

Komponente		Kostenkennwerte		Lebensdauern [a]
		Einzelwerte, [€/m²]	Festlegungen, [€/m²] bzw. [€/kW]	
Außenwand	Außendämmung	180	140	50
	Kerndämmung	100		
Fenster			700	
Tür			1000	
unterer Abschluss	Dach	300	200	
	Geschossdecke	100		
unterer Abschluss	Bodenplatte	300	200	
	Kellerdecke	100		
Trinkwarmwasserwärmepumpe mit Speicher			2100	25
Heizungswärmepumpe mit Speicher			2500	
Photovoltaikfeld mit Wechselrichter			1000	

Tabelle 13 Annahmen zu Investitionskosten

Der Aufschlag für die Planung wird mit 1,3 angesetzt (etwas höher als in IBP [1], dort 1,25). Für die Bildung der Kapitalkosten wird kein Zins angesetzt.

Die Energiepreise werden ohne Verteuerung angenommen. Es gelten die Festlegungen für das Jahr 2025, im Einzelnen:

- Erdgas: 0,10 €/kWh (früher: ≈ 0,049 €/kWh)
- Holz: 0,07 €/kWh (früher: ≈ 0,014 … 0,042 €/kWh)
- Strombezug aus dem Netz: 0,25 €/kWh (früher: ≈ 0,21 … 0,23 €/kWh)
- Stromeinspeisung in das Netz: 0,08 €/kWh (früher: ≈ 0,053 €/kWh)

Die Energiepreise liegen deutlich über den Annahmen der IBP-Studie [1], da dies die Marktbewegung seitdem erforderlich gemacht hat.

5.5.2 Gebäudehülle, Wärmebedarf und Wärmeerzeugerleistung

Tabelle 14 stellt die Annahmen zu den Wärmedurchgangskoeffizienten in verschiedenen Sanierungsvarianten zusammen.

Es ist davon auszugehen, dass unter Denkmalschutz stehende Gebäude eher sehr alten Baualtersklassen zuzuordnen sind. Die Außenwände sind tendenziell ungedämmt und bleiben auch so. Ebenfalls werden die Fenster und Türen nicht saniert, von denen angenommen wird, dass sie in den letzten Jahrzehnten bereits verbessert wurden. Die oberen und unteren Gebäudeabschlüsse werden als vormals ungedämmt angenommen und im Rahmen von Verbesserungen geändert. Im Bereich des Daches oder der oberen Geschossdecke wird dabei ein sehr guter Wärmedurchgangskoeffizient erreicht. Bei den unteren Gebäudeabschlüssen ist dies nicht immer der Fall, da bei nicht unterkellerten Gebäuden die Verbesserungsoptionen begrenzt sind. Daher wird eine vergleichsweise moderate Änderung nach unten angenommen.

Gebäude, bei denen im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nur eine Minimalsanierung angedacht wird, sind bereits auf besserem Niveau. Das zeigt sich an den Annahmen der Bauteilqualitäten vorher. Das angenommene Niveau liegt im Bereich der Wärmeschutzverordnung 1995 oder der EnEV 2002. Hier wird lediglich die Verbesserung des oberen Gebäudeabschlusses vorgesehen, welche im Rahmen der Installation der Photovoltaik umgesetzt werden kann. Das dann erreichbare Niveau wird als hervorragend eingestuft.

Die Teilsanierung betrifft Gebäude der älteren Wärmeschutzverordnung. Sie sind nicht ungedämmt, vor allem nicht in den oberen und unteren Gebäudeabschlüssen. Die Wände weisen nur wenig Dämmung auf. Es wird davon ausgegangen, dass diese Gebäude noch nicht so alt sind, als dass sie schon neue Fenster und Türen erhalten hätten. Verbessert werden alle Flächen bis auf die Außenwände. Der jeweils erreichte Zustand ist sehr gut, abgesehen von den Problemlagen am unteren Gebäudeabschluss – wie oben beschrieben.

Die Vollsanierung betrifft ältere Gebäude mit wenig bis keinem Wärmeschutz, die nicht unter Denkmalschutz stehen. Hier werden alle Bauteile verbessert. Die erreichten Qualitäten sind gut bis sehr gut. Die Probleme des unteren Gebäudeabschlusses, der nicht immer sanierbar ist, sind auch hier gegeben.

Zustand		Wärmedurchgangskoeffizient U, [W/(m²K)]				
		Außenwand	Fenster	Tür	oberer Abschluss	unterer Abschluss
Denkmal	vorher	1,00	1,90	2,5	1,00	1,20
	nachher	1,00	1,90	2,5	0,15	0,45
Minimalsanierung	vorher	0,35	1,90	2,5	0,45	0,40
	nachher	0,35	1,90	2,5	0,10	0,40
Teilsanierung	vorher	0,85	2,90	2,5	0,45	0,85
	nachher	0,85	0,70	1,0	0,10	0,25
Vollsanierung	vorher	1,00	1,90	2,5	0,45	0,85
	nachher	0,15	0,70	1,0	0,10	0,25

Tabelle 14 Annahmen zu Wärmedurchgangskoeffizienten vor und nach einer baulichen Verbesserung

Tabelle 15 fasst die Sanierungsvarianten noch einmal zusammen, markiert, welche Flächen geändert werden und welche nicht, und gibt für die einzelnen Gebäudecluster an, welcher Anteil an der Gebäudehülle saniert wird. Wie beschrieben lassen sich die Abstufungen zwischen Minimal- und Vollsanierung gut erkennen. Die Denkmalsanierung entspricht knapp der Teilsanierung. Im Vergleich der verschiedenen Cluster streuen die Kennwerte, da vor allen Dingen eine unterschiedliche Geschossigkeit vorhanden ist, die sich in der Größe der oberen und unteren Gebäudeabschlüsse niederschlägt. In einer eingeschossigen Kita hat eine Denkmalsanierung mit Dämmung der oberen und unteren Flächen eine größere Auswirkung als in einem mehrgeschossigen Verwaltungsgebäude.

	Sanierungsanteile der Hüllflächen, [m²/m²]				
	Denkmal-sanierung	ohne Sanierung	Minimal-sanierung	Teilsanierung	Voll-sanierung
Außenwand					x
Fenster und Türen			x		x
oberer Gebäudeabschluss	x		x		x
unterer Gebäudeabschluss	x		x		x
1 KITA	0,72	0,00	0,36	0,80	1,00
2 GRUNDSCHULE	0,74	0,00	0,37	0,83	1,00
3 WEITSCHULE	0,57	0,00	0,28	0,75	1,00
4 BERUFSSCHULE	0,64	0,00	0,33	0,78	1,00
5 SPORTHALLE	0,68	0,00	0,34	0,76	1,00
6 VERWALTUNG	0,52	0,00	0,24	0,69	1,00

Tabelle 15 Sanierungsanteile an der Hülle verschiedener baulicher Verbesserungen

Tabelle 16 zeigt, welche Reduktionen der benötigten Heizwärme in den einzelnen Gebäudeclustern zu erwarten ist, wenn die angedachten Sanierungen umgesetzt werden. Es gilt die mittlere Geometrie wie in der Studie des IBP [1] beschrieben. Zur Ermittlung der Zahlen gelten darüber hinaus die Wärmedurchgangskoeffizienten aus Tabelle 14.

		Reduktionsfaktor für die Heizwärme nach einer Sanierung, [-]				
		Denkmal-sanierung	ohne Sanierung	Minimal-sanierung	Teilsanierung	Vollsanierung
1	KITA	54%	100%	74%	44%	25%
2	GRUNDSCHULE	53%	100%	74%	42%	26%
3	WEITSCHULE	69%	100%	86%	42%	28%
4	BERUFSSCHULE	62%	100%	81%	42%	27%
5	SPORTHALLE	57%	100%	76%	48%	25%
6	VERWALTUNG	72%	100%	87%	47%	27%
7	REST	61%	100%	80%	44%	26%

Tabelle 16 Annahmen zur Reduktion der Heizwärme vor und nach einer baulichen Verbesserung

Tabelle 17 zeigt die zu den baulichen Sanierungen zugehörigen Investitionskosten. Auch hier gilt eine Gewichtung anhand der typischen Geometrien sowie der Einzelkosten nach Tabelle 13. Je umfänglicher die Sanierung ist, desto höher der Kennwert. Weisen die Gebäude eines Clusters vergleichsweise viele kostenintensive Bauteile auf, z. B. Fenster und Türen, verschiebt dies den Investitionskostenkennwert nach oben. Je größer die Geschossigkeit eines Gebäudes, desto günstiger kann verbessert werden. Berufsschulen und Verwaltungsgebäude schneiden an dieser Stelle günstig ab.

		Investitionskostenkennwerte einer Sanierung, [€/m²]				
		Denkmal-sanierung	ohne Sanierung	Minimal-sanierung	Teilsanierung	Vollsanierung
1	KITA	378	0	190	532	603
2	GRUNDSCHULE	452	0	226	643	717
3	WEITSCHULE	202	0	101	447	509
4	BERUFSSCHULE	163	0	84	293	332
5	SPORTHALLE	443	0	221	631	740
6	VERWALTUNG	136	0	63	299	357
7	REST	296	0	148	474	543

Tabelle 17 Annahmen zu Investitionskostenkennwerten nach einer baulichen Verbesserung

Für die Umrechnung von Energiemengen in den Fingerabdruck des Gebäudes H werden Annahmen der Heizgrenztemperatur und der Heizgradtage benötigt. Folgende Annahmen werden getroffen:

- Heizgrenze 17 °C und Heizgradtage G = 64,1 kKh/a: Kita
- Heizgrenze 10 °C und Heizgradtage G = 33,4 kKh/a: Sporthalle
- Heizgrenze 15 °C und Heizgradtage G = 50,1 kKh/a: alle anderen Gebäudecluster

Für die Umrechnung des Fingerabdruckes H in eine Heizlast (netto) wird die minimale Außentemperatur bzw. die Temperaturdifferenz zwischen Heizgrenztemperatur und minimaler Außentemperatur benötigt. Es wird definiert:

- minimale Außentemperatur für alle Gebäude: -9 °C
- Auslegungs-Temperaturdifferenz 26 K: Kita
- Auslegungs-Temperaturdifferenz 21 K: Sporthalle
- Auslegungs-Temperaturdifferenz 24 K: alle anderen Gebäudecluster

5.5.3 Warmwasserbedarf und Warmwasserleistung

Die Kennwerte für die zu erzeugende Warmwassermenge (Nutzen plus Verluste ab Erzeuger) $q_{outg,W}$ in den einzelnen Gebäudeclustern ergeben sich aus der Analyse der Beispielgebäude (Vgl. Kapitel 3). Tabelle 18 fasst die verallgemeinerten Ergebnisse zusammen. Die Werte sind bezogen auf die Nettogrundfläche. Aus der Überlegung heraus, dass noch Optimierungspotential in Kitas bestehen dürfte, ist der Kennwert für die Sanierungsvarianten leicht besser angesetzt. Eine abweichende Vorgehensweise ergibt sich für die weiterführenden Schulen und die Sporthallen. Hier wird davon ausgegangen, dass der heute festgestellte Bedarf auch künftig zu decken ist.

Cluster	Klarname	Energiekennwert für Trinkwarmwasser $q_{outg,w}$ [kWh/(m²a)]	
		Bestand (Variante 0, 1)	verbessert (Variante 2)
1	KITA	18	12
2	GRUNDSCHULE	0	0
3	WEITSCHULE	14	14
4	BERUFSSCHULE	0	0
5	SPORTHALLE	28	28
6	VERWALTUNG	0	0
7	REST	11	11

Tabelle 18 Annahmen zum Energiekennwert für die Trinkwassererwärmung

Die Kostenschätzung der Trinkwasserwärmepumpen benötigt eine Wärmeleistung. Sie kann aus der zu erzeugenden Energiemenge und einer Annahme zur Laufzeit der Wärmepumpe ermittelt werden ($\dot{Q} = Q/t$). Da die untersuchten Gebäude eine ausgeprägte Tagnutzung des Trinkwasserbedarfs aufweisen (Zapfung des Warmwassers innerhalb einer kurzen Zeit), wird einheitlich für alle Gebäudecluster von 1.200 h/a als Wärmepumpenlaufzeit ausgegangen. Dieser Zahl liegt die Überlegung zugrunde, dass es 200 Betriebstage gibt, an denen die Wärmepumpe für je 6 Stunden läuft. Eine längere Laufzeit wird als unrealistisch angesehen, da sich ein unnötig hoher Speicherbedarf für das erzeugte Warmwasser ergeben würde.

5.5.4 Anlagentechnische Effizienzen

Als Umrechnungsfaktoren der Endenergie im Bestand Q in eine Wärmemenge Q_{outg}, die den Wärmeerzeuger verlässt, werden folgende Effizienzen angenommen:

- Gaskessel, im Mittel Baujahr 2004, Brennwertkessel: $\eta_a = 0{,}90$
- Holzkessel, unbekannte Baujahre, eher nach der Jahrtausendwende: $\eta_a = 0{,}80$
- Wärmepumpen im Bestand: 2,70

Es sind nur sehr wenige Holzkessel und Wärmepumpen im Bestand festzustellen, so dass vor allem die Annahme zur Effizienz des Gaskessels relevant ist für die vorliegende Untersuchung.

Die Effizienz der Außenluft-Wärmepumpen in der Sanierung wird aus den Typgebäuden der Gebäudecluster abgeleitet. Für jedes der Gebäude ist eine Wärmepumpenauslegung mit der EAV erfolgt (siehe Kapitel 4.6), die als Nebenprodukt eine Jahresarbeitszahl liefert. Abbildung 117 zeig die Ergebnisse der untersuchten Clustergebäude. Mit besserer Gebäudehülle (hier ausgedrückt durch die „Gebäudenote“) sinkt die Vorlauftemperatur und steigt die Jahresarbeitszahl. Dies ist unabhängig vom konkreten Cluster eine verallgemeinerbare Feststellung. Die angezeigte Funktionsgleichung wird verwendet zu Bewertung aller 345 Gebäude.

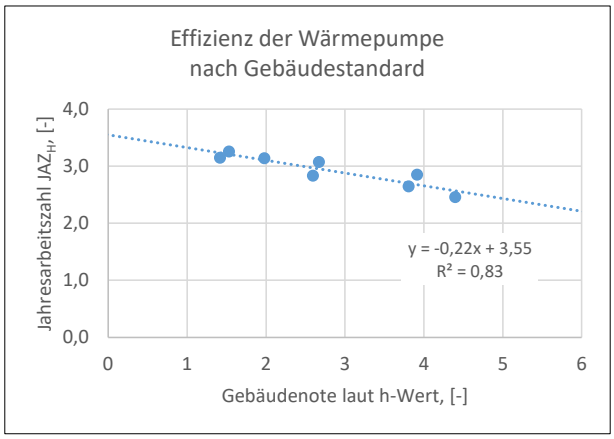


Abbildung 117 Annahmen zur Effizienz der Wärmepumpe je nach Gebäudestandard

Für die Wärmepumpen im Trinkwasserbetrieb wird die Jahresarbeitszahl auf den Wert 2,98 festgelegt. Dadurch, dass das Lastprofil keine Jahreszeitenabhängigkeit aufweist, ergibt sich ein besserer Wert (trotz der teils höheren Trinkwarmwassertemperaturen).

5.5.5 Photovoltaik

Die Ansätze für die Bewertung der Photovoltaik leiten sich ebenfalls aus der Untersuchung der Clustergebäude (Vgl. Kapitel 3) ab. Für jedes der Gebäude ist eine Photovoltaikanlage geplant worden mithilfe des Online-Tools „SunnyDesigner“ (siehe Kapitel 4.9). Diese liefert die Erkenntnisse für die nachfolgenden Kennwerte.

Abbildung 118 zeigt den in den Beispielprojekten gefundenen Zusammenhang zwischen der Fläche des oberen Gebäudeabschlusses (Dach oder oberste Geschossdecke) aus dem baulichen Aufmaß und der installierten Peakleistung für die Photovoltaik. Eine sehr gute Korrelation ist gegeben, so dass die sich ergebenden Kennwerte für alle Gebäude in allen Clustern Verwendung finden (Ausnahme: Denkmal).

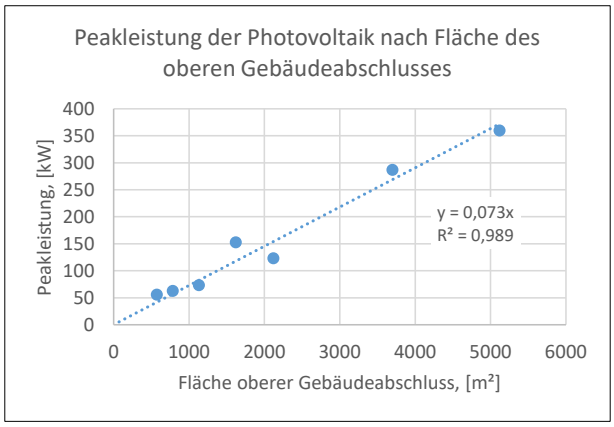


Abbildung 118 Annahmen zur installierbaren Peakleistung je nach Fläche des oberen Gebäudeabschlusses

Die Simulation ist unter Berücksichtigung teils ungünstiger Aufstellwinkel auf dem Flachdach, aber auch von Verschattungssituationen erfolgt. Verluste von Wechselrichtern werden berücksichtigt, ebenso die Alterung der Module. Der Ertrag pro Peakleistung kann im Mittel aller Projekte mit 852 (kWh/a)/kW angesetzt werden.

Abbildung 119 zeigt die Projektergebnisse der Clustergebäude im Hinblick auf die Selbstnutzungsquote des erzeugten Photovoltaikstroms. Mit größerer Dimensionierung des Kollektorfeldes steigen die Erträge und sinkt die Nutzung. Entsprechendes gilt bei kleinerer Dimensionierung, jeweils bezogen auf den Strombedarf. Die Projekte zeigen Selbstnutzungsquoten zwischen knapp 20 % bis zu 50 %. Für die Extrapolation wird die angezeigte Funktion verwendet, die im besten Falle für sehr kleine Anlagen zu einer Selbstnutzungsquote von maximal 60 % führt. Von einer linearen Regression wurde abgesehen, da sich insbesondere für überdimensionierte Kollektorfelder (rechter Bereich der Grafik) negative Werte ergeben hätten.

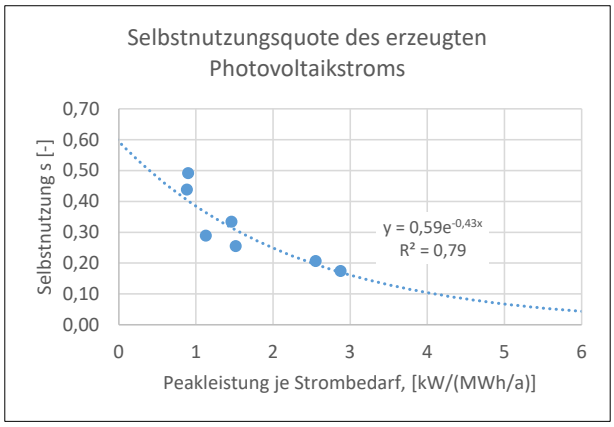


Abbildung 119 Annahmen zur Selbstnutzung des PV-Stroms je nach Dimensionierung der Anlage

Die erforderlichen Dachflächen für die einzelnen Gebäude ergeben sich aus den geometrischen Beschreibungen der Typgebäude über das Flächenverhältnis $Fläche_{OGD}/Fläche_{NGF}$ [1].

5.5.6 Emissionen

Die Emissionsbewertung erfolgt mit CO_2-Äquivalenten. Sie werden im Zeitverlauf nicht modifiziert, auch wenn für den Netzstrom im Verlauf der nächsten Jahre eine Minderung zu erwarten ist. Es werden angenommen:

- Strom: 400 g/kWh
- Holz: 15 g/kWh
- Erdgas (brennwertbezogen): 200 g/kWh

Der Einfluss veränderlicher Bewertungskennwerte für den Energieträger Strom auf das Ergebnis in dieser Untersuchung ist vernachlässigbar. Eine Emissionsfreiheit der Oldenburger Gebäude tritt nur ein, wenn genauso viel Strom benötigt wird wie erzeugt wird. Die bilanzielle Energie ist somit null im Zielzustand. Die Wahl des korrekten Emissionsfaktors für Strom ist entsprechend nicht von Bedeutung. Für eine variable Betrachtung aller Zwischenzustände auf dem Weg bis zur Emissionsfreiheit sind die Werte von Bedeutung. Diese Zwischenzustände sind nicht Teil der vorliegenden Untersuchung.

Durch die Annahme des Emissionsfaktors für Strom mit Stand 2024 ist die Berechnung sehr konservativ durchgeführt. Übernimmt man die Ziele der früheren Ampelregierung, dass bis zum Jahr 2030 der Strom zu 80% erneuerbar ist, könnte im Mittel der nächsten 10 Jahre auch von einem halb so großen Emissionsfaktor ausgegangen werden.

In der Zeit bis zum Erreichen der Klimaneutralität wird weniger CO_2 emittiert. Jedoch wird der Zeitpunkt zum Erreichen der Klimaneutralität dadurch nicht verändert, dieser kann erst eintreten wenn die städtischen PV-Anlagen so viel Strom erzeugen, wie die städtischen Gebäude benötigen (oder sobald der Netzstrom selbst 100% regenerativ ist, was bis 2035 nicht zu erwarten ist).

5.6 Anknüpfung an die IBP-Studie

Die Annahmen und Erkenntnisse der Energiebilanz für den Gesamtbestand der städtischen Liegenschaften Oldenburg knüpfen an die IBP-Studie [1] an.

Zuallererst ist das komplette Mengengerüst aller 345 Gebäude zu nennen. Jegliche Wärmeverbräuche, Stromverbräuche und Nettogrundflächen wurden übernommen. Gleiches gilt für die Wahl der Typgebäude aus jedem Cluster und deren geometrische Beschreibung.

Die Hochrechnung in ein Zielszenario erfolgte jedoch abweichend. Während die IBP-Studie passend zum damaligen Projektauftrag eine Emissionsfreiheit mit Hilfe von „Effizienzgebäuden 40“ untersucht hat, liegt der Schwerpunkt der vorliegenden Studie auf der Elektrifizierung.

Vergleichend kann man sagen: der Zielzustand der Gebäude in der IPB-Variante enthält noch bedeutend mehr Dämmung (und weniger Photovoltaik) als die aktuell untersuchte Variante 2a „maximale Dämmung“. Entsprechend ist der Wärmeschutz im Zielzustand nach IBP besser, aber die Investitionskosten entsprechend höher. Mit der vorliegenden Untersuchung ist die IBP-Studie komplettiert um weitere Varianten mit weniger Dämmung und mehr Photovoltaik.

Auf eine detaillierte Untersuchung der LED-Beleuchtung sowie von RLT-Anlagen wird im Rahmen der vorliegenden Studie aus Zeit- und Kostengründen verzichtet. Ein Heizkörpertausch wird ebenfalls nicht untersucht, da davon auszugehen ist, dass die vorgeschlagenen baulichen Maßnahmen auch unter Verwendung der bestehenden Heizkörper zu einer Wärmepumpentauglichkeit führen (besserer Wärmeschutz führt zu niedrigeren Vorlauftemperaturen).

Die in der IPB-Studie erkannte Notwendigkeit einer erhöhten Sanierungsrate von 7 %/a bzw. 11 %/a kann bekräftigt werden. Es sind zwar andere Verbesserungsmaßnahmen in beiden Studien als Vorschläge definiert, jedoch hat sich der Zeithorizont noch verkürzt. Während damals 15 Jahre Zeit waren, sind es jetzt nur noch 10 Jahre.

Die in beiden Studien ermittelten Endenergiemengen im Zielzustand sind vergleichbar, das gilt ebenso für die Größenordnung an notwendiger Photovoltaikflächen (IBP und Variante V2a).

Sowohl die Investitionskosten als auch die Energiekosten sind seit der IBP-Studie angestiegen. Dennoch sind die finalen Ergebnisse vergleichbar (IBP und Variante V2a). Beide Untersuchungen kommen auf etwa 2,2 Mio. €/a als jährliche Energiekosten.

5.7 Empfehlungen

Die Umsetzung der Variante 2b führt unter den getroffenen Annahmen zu den geringsten Gesamtkosten und einer Emissionsfreiheit am Ende der Umsetzung. Sofern dies innerhalb von 10 Jahren erfolgt, ergeben sich jährlich Investitionen von etwa 20 Mio. € bei einer Projektanzahl von etwa 35 Gebäuden pro Jahr.

Ist aus Kostengründen und aus Kapazitätsgründen diese Sanierungsquote nicht zu halten, kann eine beschleunigte Emissionsfreiheit mit der Variante 2c erreicht werden. Sie führt zu geringeren Investitionskosten, aber langfristig nicht zu den geringsten Jahresgesamtkosten.

Idealerweise können über einen längeren Zeitraum betrachtet alle Gebäude eine verbesserte Dämmung erhalten (Variante 2a oder gemäß IBP), jedoch realistisch erst im vorgesehenen Sanierungszyklus für die einzelnen Hüllbauteile.

6 Verzeichnisse und Übersichten

6.1 Verzeichnis wichtiger Formelzeichen und Abkürzungen

Abkürzung	Langfassung, ggf. Übersetzung und Erläuterung
Abkürzungen für Verbände, Vereine, Kammern, Gesellschaften, Ministerien, Ämter, Institute	
BNetzA	Bundesnetzagentur
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin
IBP	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf
Abkürzungen für Gesetze, Verordnungen, Förderprogramme	
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude (Förderprogramm)
EH	Effizienzhaus
EG	Effizienzgebäude
EnEV	Energieeinsparverordnung
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GMG	Gebäudemodernisierungsgesetz
MiSpel	Festlegung zur Marktintegration von Speichern und Ladepunkten
WSchV	Wärmeschutzverordnung
Abkürzungen für Rechenverfahren, Technologien, Begriffe der energetischen Bilanzierung und Bewertung	
BGF	Bruttogrundfläche
EAV	Energieanalyse aus dem Verbrauch
EE	erneuerbare Energie
ETS	EU Emissions Trading System, Emissionszertifikatehandel
FW	Fernwärme
KG	Kostengruppe
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
NGF	Nettogrundfläche
NT	Niedertemperatur (bei Kesseln)
PH	Passivhaus
PHPP	Passivhaus-Projektierung-Paket
PtX	Power to X, mit (Überschuss)strom hergestelltes synthetisches Gas oder Öl
PV	Photovoltaik
PVT	Photovoltaik-Thermische Module
QS	Qualitätssicherung
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
THG	Treibhausgase
TWW	Trinkwarmwasser
VAR	Variante
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WP	Wärmepumpe
WPB	Worst-Performing-Building
WRG	Wärmerückgewinnung (hier in einer Lüftungsanlage)
Abkürzungen, die gleichzeitig Formelzeichen sind	
COP	Coefficient of Performance, Leistungszahl
JAZ	Jahresarbeitszahl

Tabelle 19 Wichtige Abkürzungen

Formel-zeichen	relevante/häufige Einheit	Erläuterung
A	m²	Fläche (allgemein)
COP	-	Leistungszahl (Leistungsverhältnis)
E	kg/a, t/a, Mt/a	Emissionsmenge (allgemein)
e_{CO2}	g/kWh, t/MWh	Emissionsfaktor
h	W/(m²K)	temperatur- und nutzflächenbezogene Wärmeverlustleistung für Transmission und Lüftung
H	W/K, kW/K	temperaturbezogene Wärmeverlustleistung für Transmission und Lüftung
H	kWh/m³, kWh/l, kWh/kg	Heizwert (Index i) oder Brennwert (Index s)
H_T'	W/(m²K)	mittlerer hüllflächenbezogener Transmissionswärmeverlust
JAZ	-	Jahresarbeitszahl (Energiemengenverhältnis)
$k_{äqu}$	€/kWh	äquivalenter Energiepreis (einer Sanierungsmaßnahme)
k_{CO2}	€/t	äquivalenter CO_2-Preis (einer Sanierungsmaßnahme)
n	h^{-1}	Luftwechsel
Q	kWh, MWh, GWh, TWh	Energiemenge (allgemein)
$\dot{Q}$	kW, MW, GW	Leistung (allgemein)
Q_E	kWh/a, TWh/a	Endenergie (an das Gebäude geleifert)
Q_h	kWh, MWh, GWh, TWh	Heizwärmebedarf
Q_{outg}	kWh	erzeugte Wärmemenge
$Q_{outg,h}$	kWh	erzeugte Wärmemenge für Heizung
$Q_{outg,w}$	kWh	erzeugte Wärmemenge für Warmwasser
Q_P	kWh/a, TWh/a	Primärenergie (Endenergie plus Vorverluste)
Q_w	kWh, MWh, GWh, TWh	Nutzwärmebedarf für Trinkwarmwasser
t	h, d, mon	Zeit (allgemein)
t_{HP}	t/a, h/a	Heizperiodenlänge
U	W/(m²K)	Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils
V	m³	Volumen (allgemein)
η_a	-	Jahresnutzungsgrad (Energiemengenverhältnis)
η_K	-	Kesselwirkungsgrad (Leistungsverhältnis)
ϑ	°C	Temperatur (allgemein)
ϑ_a	°C	Außentemperatur (in der Heizperiode)
ϑ_{HG}	°C	Heizgrenztemperatur
ϑ_i	°C	Innentemperatur
ϑ_R	°C	Rücklauftemperatur
ϑ_V	°C	Vorlauftemperatur

Tabelle 20 Wichtige Formelzeichen

6.2 Literaturverzeichnis

[1] Fraunhofer IBP, „Szenarienbewertung für die energetische Sanierung der städtischen Liegenschaften der Stadt Oldenburg gemäß BEG 40 EE-Standard | IBP-Bericht Nr. 032/2021/951," Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart, 2021.

[2] K. Jagnow und D. Wolff, „Gutachten: Energiespareffekte und Kosten-Nutzen-Relationen der energetischen Gebäudesanierung," Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin, 2020.

[3] unbekannt, „Vorbericht zum Haushalt 2025," Stadt Oldenburg, Oldenburg, 2024.

[4] K. Paschko, „Wie viel „öko" braucht die Wärmedämmung?," *Die Wohnungswirtschaft,* pp. 36-40, April 2022.

[5] K. Jagnow und D. Wolff, „DBU-Projekt "EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft", Bericht 0: Zusammenfassung und Projektüberblick (Abschlussbericht)," 31 März 2021. [Online]. Available: https://www.delta-q.de/wp-content/uploads/2021/12/21-08-23-DBU_AZ-33780_01_Wirklich_effizient_Bericht_0.pdf.

[6] A. Schünemann, K. Jagnow und D. Wolff, „Vorschläge für das GEG 2019 - Es würde auch viel einfacher gehen!," *TGA Fachplaner,* Nr. 8, 2017.

[7] K. Jagnow, D. Wolff und R. Becker, Neuerkerode 2050: Immobilienentwicklung und Modernisierung der Energieversorgung in einer Sozialeinrichtung, Berlin: Pro Business GmbH (Book on demand), 2016.

[8] S. Lange, „„Batteriespeicher zwischen Eigenverbrauch, Markt und Netz"," *DGS Zeitschrift Solarenergie 4/2025,* pp. 20-21, April 2025.

[9] K. Jahnke, T. Loitz und weitere, „Wirksam Sanieren: Chancen für den Klimaschutz - Feldtest zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden," co2online, SEnerCon, Fraunhofer ISE, Ostfalia für BMU, Berlin, Freiburg, Wolfenbüttel, 2015.

[10] D. Wolff und A. Unverzagt, „Klimaschutzkampagne "Sanierungswirkung"," Ostfalia Hochschule für BMU, Wolfenbüttel, 2015.

[11] D. Wolff, „Was tut sich bei der Energiewende und beim Klimaschutz?," DV Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung, Berlin, 2019.

[12] VDI, „VDI 4650 Blatt 1 Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen," Verein Deutscher Ingenieure.

6.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Mittlere Energiekosten für Wärme und Strom der städtischen Gebäude Oldenburg 10
Abbildung 2 Ampel zur Beurteilung des h-Wertes 12
Abbildung 3 Entwicklung des Ergebnishaushaltes der Jahre 2018-2028 [3] 13
Abbildung 4 Bildung von Prioritäten mit Handlungsempfehlung 18
Abbildung 5 Umrechnung des h-Wertes in eine Gebäudebewertung 19
Abbildung 6 Beispielsteckbrief Neuerkerode [7] 21
Abbildung 7 Leistungsanteil der Wärmepumpe bei Normaußentemperatur in % nach VDI 4650 Tabelle 28 [12] 30
Abbildung 8 EAV für den Gaszähler eines EFH, vor Auskopplung der zentralen Warmwasserbereitung 32
Abbildung 9 EAV für den Gaszähler eines EFH, nach Auskopplung der zentralen Warmwasserbereitung 32
Abbildung 10 Beispielhafte Ermittlung der Grundlast 34
Abbildung 11 Beispielhafte Ermittlung der maximalen Winterspeichermenge 35
Abbildung 12 Histogramm zur Häufigkeit von Gebäudeflächen im Gesamtbestand der städtischen Liegenschaften Oldenburg 37
Abbildung 13 Histogramm der Häufigkeit des Wärmeverbrauchs im Gesamtbestand der städtischen Liegenschaften Oldenburg 37
Abbildung 14 Histogramm der Häufigkeit des Wärmeverbrauchs im Gesamtbestand der städtischen Liegenschaften Oldenburg 38
Abbildung 15 Histogramm der Häufigkeit von Bestandswärmeerzeugern im Gesamtbestand der städtischen Liegenschaften Oldenburg 41
Abbildung 16 Bildung von Prioritäten nach Gebäudeverbrauch und Gebäudegröße 42
Abbildung 17 Bildung von Prioritäten mit Handlungsempfehlung 42
Abbildung 18 Ansichten Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56 [Quelle: Stadt Oldenburg] 43
Abbildung 19 Ansichten Grundschule Küpkersweg 16 [Quelle: Stadt Oldenburg] 44
Abbildung 20 Ansichten Grundschule Alexanderstraße 500 [Quelle: Stadt Oldenburg] 45
Abbildung 21 Ansichten IGS Kreyenbrück [Quelle: Stadt Oldenburg] 45
Abbildung 22 Ansichten BBS III Am Heidbrook 10 [Quelle: Stadt Oldenburg] 46
Abbildung 23 Sporthalle Feststraße 10 [Quelle: Stadt Oldenburg] 47
Abbildung 24 Verwaltungsgebäude Feststraße 10 [Quelle: Stadt Oldenburg] 48

Abbildung 25 Wärmeverlustleistung (H-Wert) eines Gebäudes, Darstellung mit dem Excel-Tool „EAV“ 52
Abbildung 26 Ampel zur Beurteilung des h-Wertes für Wohnbauten [Jagnow/Wolff] 52
Abbildung 27 Exceldatei Gebäudedaten BBS III Am Heidbrook 10 [Quelle: Stadt Oldenburg] 55
Abbildung 28 Exceldatei Gebäudedaten BBS III Am Heidbrook 10 [Quelle: Stadt Oldenburg] 55
Abbildung 29 Exceldatei Gebäudedaten BBS III Am Heidbrook 10 [Quelle: Stadt Oldenburg] 56
Abbildung 30 Exceldatei Gebäudedaten BBS III Am Heidbrook 10 [Quelle: Stadt Oldenburg] 56
Abbildung 31 H-Wert-Rechner Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56, Ergebnis und Grunddaten 58
Abbildung 32 H-Wert-Rechner Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56, Hüllflächen und Volumen 59
Abbildung 33 H-Wert-Rechner Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56, Transmission und Lüftung 59
Abbildung 34 H-Wert-Rechner Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56, Qualitätssicherung 60
Abbildung 35 H-Wert-Rechner Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56, Vor- und Rücklauftemperaturen 60
Abbildung 36 H-Wert-Rechner Verwaltungsgebäude Pferdemarkt 14, Altbau von 1853 61
Abbildung 37 H-Wert-Rechner Verwaltungsgebäude Pferdemarkt 14, „Neubau“ von 1986 61
Abbildung 38 EAV-Tool Verwaltungsgebäude Pferdemarkt 14, gesamte Liegenschaft 62
Abbildung 39 Deckblatt der Energieanalyse aus dem Verbrauch 63
Abbildung 40 Blatt „Vorgaben“ der Energieanalyse aus dem Verbrauch 63
Abbildung 41 Gebäudedaten der Stadt Oldenburg, Bsp. Kita ERLÖ056, Blatt „Verbrauch Erdgas“, blau: eigene Anpassung 64
Abbildung 42 Zählerschema EAV Tool 65
Abbildung 43 Zählerdaten in EAV-Tool 65
Abbildung 44 Witterungskorrektur im Blatt „WittKorr_Beratung“ 66
Abbildung 45 Einzelwerte im Blatt „EAV_Brennstoff“ 67
Abbildung 46 Energieanalyse der Brennstoffe, Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56 67
Abbildung 47 Energieanalyse der Brennstoffe, Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56 68
Abbildung 48 Verbrauchsdaten Erdgas Heizung und Warmwasser getrennt für die Sporthalle Alexanderstraße 500 69
Abbildung 49 Energieanalyse der Wärmeproduktion für H1 & W1 (Summe Wärmeproduktion), Sporthalle Alexanderstraße 500 69
Abbildung 50 Energieanalyse der Wärmeproduktion für H1 (Heizwärme Produktion), Sporthalle Alexanderstraße 500 70
Abbildung 51 Energieanalyse der Wärmeproduktion für W1 (Trinkwarmwasser Produktion), Sporthalle Alexanderstraße 500 70
Abbildung 52 Energieanalyse des Stromverbrauchs, Kindertagesstätte Ernst-Löwenstein-Straße 56 71
Abbildung 53 H-Wert-Rechner, Grundschule Alexanderstraße 500, angenommener Ist-Zustand vor Sanierung 72
Abbildung 54 EAV-Tool, Blatt „EAV_Brennstoff“, Grundschule Alexanderstraße 500, Jahre 2022-2024 73
Abbildung 55 H-Wert-Rechner, Grundschule Alexanderstraße 500, angenommener Zustand nach Sanierung 74
Abbildung 56 Geschätzte Vor- und Rücklauftemperaturen aus H-Wert-Rechner Kita ERLÖ 76
Abbildung 57 Eingabedaten zur Leistungsbemessung für Außenluftwärmepumpen mit dem EAV-Tool, Blatt „WP_DIM“ 76
Abbildung 58 Eingabedaten zur Leistungsbemessung für Außenluftwärmepumpen mit dem EAV-Tool, Blatt „WP_DIM“ 77
Abbildung 59 Grafik Leistungskennlinien und Heizsteigung H im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM“ 77
Abbildung 60 Jahresdauerlinie im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM“ 78
Abbildung 61 Einzelwerte der Wärme- und Energiemengen im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM“ 79
Abbildung 62 Effizienzkennwerte im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM“ 79
Abbildung 63 Prüfstandsdaten für Kaskaden im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM“, Berufsbildende Schule Am Heidbrook 10 80
Abbildung 64 Grafik Leistungskennlinien und Heizsteigung H für Kaskaden im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM“, Berufsbildende Schule Am Heidbrook 10 81
Abbildung 65 Grafik Leistungskennlinien und Heizsteigung H für Kaskaden im Exceltool EAV, Blatt „WP_DIM“, Berufsbildende Schule Am Heidbrook 10, Defekt an 1/5 der Leistung 81
Abbildung 66 Energieanalyse aus dem Verbrauch, IGS Kreyenbrück 2017-2018 82
Abbildung 67 Energieanalyse aus dem Verbrauch, IGS Kreyenbrück 2022-2023 82
Abbildung 68 Eingaben im Blatt „Stundenprofil“ des Lastprofilgenerators 84
Abbildung 69 Beispielhaftes Lastprofil für eine Kita 84
Abbildung 70 Eingaben im Blatt „Jahresprofil“ des Lastprofilgenerators 86
Abbildung 71 Eingaben im Blatt „Tages- und Wochenprofil“ des Lastprofilgenerators 87
Abbildung 72 Erstellung einer Kopie des Blattes „CSV“ 87
Abbildung 73 Speichern der „CSV“ in einer separaten Datei 88
Abbildung 74 Löschen aller Verlinkungen in der neuen Datei 88
Abbildung 75 Speichern neuen Datei 88
Abbildung 76 „Projektverwaltung“ in SunnyDesigner 89
Abbildung 77 „Projektdaten“ in SunnyDesigner 90
Abbildung 78 Anlegen eines neuen Verbrauchsprofils in SunnyDesigner 90
Abbildung 79 Detailinformationen des Verbrauchsprofils in SunnyDesigner 91
Abbildung 80 Überblick über die PV-Anlage in SunnyDesigner 91
Abbildung 81 Definition von Dachflächen in SunnyDesigner 92
Abbildung 82 Bestückung mit PV-Modulen in SunnyDesigner 92
Abbildung 83 Hinzufügen von Wechselrichtern in SunnyDesigner 93
Abbildung 84 Ausstattung mit Strings und Wechselrichtern in SunnyDesigner 93
Abbildung 85 Hinzufügen einer Batterie in SunnyDesigner 94
Abbildung 86 Festlegung von Investitionskosten in SunnyDesigner 94

Abbildung 87 Angaben zu Zins und Degradation in SunnyDesigner ... 95
Abbildung 88 Finanzierung der Anlage in SunnyDesigner ... 95
Abbildung 89 Eingabe der Energiepreise und Emissionsbewertung in SunnyDesigner ... 96
Abbildung 90 Technische Projektergebnisse in SunnyDesigner ... 96
Abbildung 91 Energiebilanzergebnisse in SunnyDesigner ... 97
Abbildung 92 Ökonomische und ökologische Projektergebnisse in SunnyDesigner ... 97
Abbildung 93 Projektdokumentation in SunnyDesigner ... 98
Abbildung 94 Backup der Berechnungsdatei in SunnyDesigner ... 98
Abbildung 95 Sanierungsideen in der Variante 2a für den Gebäudebestand ... 101
Abbildung 96 Sanierungsideen in der Variante 2b für den Gebäudebestand ... 103
Abbildung 97 Absoluter Endenergiebedarf für Wärme- und Strom in 5 Szenarien ... 105
Abbildung 98 Strombilanz nach Verwendung und Herkunft in 4 Verbesserungsszenarien ... 106
Abbildung 99 Absolute äquivalente CO_2-Emissionen für 5 Szenarien ... 106
Abbildung 100 Investitionskostenschätzung für 5 Szenarien ... 107
Abbildung 101 Absolute Jahresgesamtkosten für 5 Szenarien ... 107
Abbildung 102 Äquivalenter Emissionspreis und Gebäudeflächen nach Wärmeverbrauchsklasse in Variante 2a ... 108
Abbildung 103 Äquivalenter Emissionspreis und Gebäudeflächen nach Wärmeverbrauchsklasse in Variante 2b ... 108
Abbildung 104 Äquivalenter Emissionspreis und Gebäudeflächen nach Wärmeverbrauchsklasse in Variante 2c ... 109
Abbildung 105 Flächenbezogener Endenergiebedarf der Cluster 2, 3 und 4 für 5 Szenarien ... 110
Abbildung 106 Flächenbezogener Endenergiebedarf der Cluster 1, 5 und 6 für 5 Szenarien ... 111
Abbildung 107 Flächenbezogener Endenergiebedarf des Clusters 7 und Liegenschaftsmittel für 5 Szenarien ... 111
Abbildung 108 Flächenbezogene äquivalente Emissionen der Cluster 2, 3 und 4 für 5 Szenarien ... 112
Abbildung 109 Flächenbezogener äquivalente Emissionen der Cluster 1, 5 und 6 für 5 Szenarien ... 113
Abbildung 110 Flächenbezogener äquivalente Emissionen des Clusters 7 und Liegenschaftsmittel für 5 Szenarien ... 113
Abbildung 111 Flächenbezogene Jahresgesamtkosten der Cluster 2, 3 und 4 für 5 Szenarien ... 114
Abbildung 112 Flächenbezogene Jahresgesamtkosten der Cluster 1, 5 und 6 für 5 Szenarien ... 115
Abbildung 113 Flächenbezogene Jahresgesamtkosten des Clusters 7 und Liegenschaftsmittel für 5 Szenarien ... 115
Abbildung 114 Äquivalenter Emissionspreis und Gebäudeflächen nach Gebäudeclustern in der Variante 2a ... 116
Abbildung 115 Äquivalenter Emissionspreis und Gebäudeflächen nach Gebäudeclustern in der Variante 2b ... 117
Abbildung 116 Äquivalenter Emissionspreis und Gebäudeflächen nach Gebäudeclustern in der Variante 2c ... 117
Abbildung 117 Annahmen zur Effizienz der Wärmepumpe je nach Gebäudestandard ... 121
Abbildung 118 Annahmen zur installierbaren Peakleistung je nach Fläche des oberen Gebäudeabschlusses ... 122
Abbildung 119 Annahmen zur Selbstnutzung des PV-Stroms je nach Dimensionierung der Anlage ... 122

6.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Maßnahmen an der Gebäudehülle im Überblick [eigene Darstellung] ... 24
Tabelle 2 Maßnahmen an den Haupterzeugern im Überblick [2] mit Ergänzungen ... 26
Tabelle 3 Maßnahmen an Zusatzerzeugern und Peripherie im Überblick [2] mit Ergänzungen ... 27
Tabelle 4 Abschätzung des Zeitaufwandes für die Vorplanung von Projekten ... 39
Tabelle 5 Überblick über die Gebäudestruktur der städtischen Gebäude in Oldenburg ... 48
Tabelle 6 Überblick über die Energieverbrauchsstruktur der städtischen Gebäude in Oldenburg ... 49
Tabelle 7 Checkliste der notwendigen Daten für H-Wert-Rechner und EAV-Tool [eigene Darstellung] ... 54
Tabelle 8 Sanierungsgrenzen und betroffene Nettogrundflächen für die Variante 2a ... 101
Tabelle 9 Sanierungsgrenzen und betroffene Nettogrundflächen für die Variante 2a ... 103
Tabelle 10 Endenergie und flächenbezogene Endenergie nach Cluster und im Mittel aller Gebäude ... 110
Tabelle 11 Emissionen und flächenbezogene Emissionen nach Cluster und im Mittel aller Gebäude ... 112
Tabelle 12 Kosten und flächenbezogene Kosten nach Cluster und im Mittel aller Gebäude ... 114
Tabelle 13 Annahmen zu Investitionskosten ... 118
Tabelle 14 Annahmen zu Wärmedurchgangskoeffizienten vor und nach einer baulichen Verbesserung ... 119
Tabelle 15 Sanierungsanteile an der Hülle verschiedener baulicher Verbesserungen ... 119
Tabelle 16 Annahmen zur Reduktion der Heizwärme vor und nach einer baulichen Verbesserung ... 120
Tabelle 17 Annahmen zu Investitionskostenkennwerten nach einer baulichen Verbesserung ... 120
Tabelle 18 Annahmen zum Energiekennwert für die Trinkwassererwärmung ... 121
Tabelle 19 Wichtige Abkürzungen ... 125
Tabelle 20 Wichtige Formelzeichen ... 126