

Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation Anlagenvarianten zur Nutzung erneuerbarer Energien

Energieberatung für Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme (EBN) DIN V 18599
Anwesen: Aleengasse 13, 97979 Märchenstadt

Bericht U3051B-241002

Auftraggeber: Glücksverein e. V.
Aleengasse 13
97979 Märchenstadt

Bearbeitet von: Dr.-Ing. Ivan Diankov
Energieberaternummer: EB973294

Datum: 02.10.2024

Dieser Bericht umfasst 17 Seiten Text, 03 Seiten Anhang und
16 Abbildungen und Diagramme/Tabellen

**DIANKOV
Gebäudetechnik GmbH**

Sitz der Gesellschaft:
Moscheeweg 16
D-97082 Würzburg

Eingetragen beim

A m t s g e r i c h t
W ü r z b u r g
H R B 1 1 7 3 9

Ust-Nr.:257/124/40514

Ust-IdNr.:DE286100489

Geschäftsführer

Dr.-Ing. Ivan Diankov

Bankverbindung:

Deutsche Bank AG
IBAN: DE46 7907
0024 0130 0243 00
BIC: DEUTDEDB790

Leistungsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. Zielsetzung..... | 3 |
| 2. Grundlagen..... | 4 |
| 3. Vorgehensweise..... | 5 |
| 4. Anlagenkonzepte..... | 6 |
| 4.1. Niedertemperatur-Gasheizkessel..... | 6 |
| 4.2. Niedertemperatur-Gasheizkessel und BHKW..... | 6 |
| 4.3. Gaskesselanlage und Photovoltaikanlage..... | 7 |
| 4.4. Gaskesselanlage und Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher..... | 7 |
| 4.5. Wärmepumpe, Photovoltaikanlage und Batteriespeicher..... | 8 |
| 5. Die Photovoltaikanlage..... | 9 |
| 5.1. Ausrichtung..... | 9 |
| 5.2. Module und Feldaufteilung..... | 10 |
| 6. Ergebnisse..... | 11 |
| 6.1. Wärmebilanz..... | 11 |
| 6.2. Strombilanz..... | 11 |
| 6.3. Bilanz der PV-Anlage..... | 12 |
| 6.4. Jahresdauerlinie..... | 14 |
| 6.5. Amortisation..... | 15 |
| 7. Zusammenfassung..... | 16 |
| 8. Anhang..... | 17 |

1. Zielsetzung

Durch Gebäude- und Anlagensimulationen soll das reale Verhalten des Kletterzentrums des Glücksvereins e. V. abgebildet und analysiert werden. Dabei werden Baustoffdaten, Randbedingungen und anlagenspezifische Informationen in das Simulationsmodell integriert. Optimierungspotenziale sollen identifiziert werden, um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern und mögliche Schwachstellen frühzeitig zu erkennen. Die Ergebnisse dienen als Entscheidungsgrundlage für Investitionen, um die Effizienz und Rentabilität der energietechnischen Anlagen des Kletterzentrums langfristig zu steigern und auf erneuerbare Energien umzustellen.



Bild 01: Nordansicht des Kletterzentrums mit dem Haupteingang

2. Grundlagen

- [1] Werkpläne Stand 10.10.2008 (Archiv)
- [2] Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) vom 16. Oktober 2023
- [3] Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand vom 8. Oktober 2020
- [4] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle/KfW: Bundesförderung für effiziente Gebäude - Liste der technischen FAQ - Effizienzhäuser / Effizienzgebäude Version 5.0 (03/2023)
- [5] KfW: Infoblatt KfW-Wärmebrückenbewertung, Dokumentationshilfen und erweiterte Verfahren zur Wärmebrückenbewertung Stand: 11/2015
- [6] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz Stand 02/2013
- [7] DIN 4108-4 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte Stand 11/2020
- [8] DIN EN ISO 10456: Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte Stand 05/2010
- [9] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teile 1 bis 11 Stand 09/2018
- [10] DIN EN ISO 6946: Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren Stand 03/2018
- [11] DIN EN ISO 10077-1 Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1: Allgemeines (ISO 10077-1: 2017, korrigierte Fassung 2020-02); Deutsche Fassung EN ISO 10077-1: 2017
- [12] DIN EN ISO 9972 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren Stand 12/2018
- [13] DIN EN 1507 Lüftung von Gebäuden - Rechteckige Luftleitungen aus Blech - Anforderungen an Festigkeit und Dichtheit Stand 07/2006
- [14] DIN EN 12237 Lüftung von Gebäuden - Luftleitungen - Festigkeit und Dichtheit von Luftleitungen mit rundem Querschnitt aus Blech Stand 07/2003
- [15] DIN EN 12599 Lüftung von Gebäuden - Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen Stand 01/2013
- [16] ETU Software GmbH: Energieberater 18599 3D PLUS 11.9.6
- [17] ETU-Simulation 5.5.4.5 Hottgenroth Software AG, Gebäudesimulation nach dem 2k Modell der VDI 6007, gekoppelt mit einer dynamischen Anlagensimulation

3. Vorgehensweise

Die energetische Bewertung des Gebäudes erfolgt gemäß der Normenreihe DIN V 18599 [9], die den Nutz-, End- und Primärenergiebedarf für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung berechnet. Diese Methode liefert eine integrale Energiebilanz, die Baukörper, Nutzung und Anlagentechnik unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen und Randbedingungen umfasst. Der Vergleich mit einem fiktiven Referenzgebäude am Standort Potsdam stellt den Bezug zum Gebäudeenergiegesetz [2] her.

Da die normative Berechnung Nutzerverhalten und standortspezifische Wetterdaten nicht einbezieht, ist sie für die genaue Abschätzung des Energieverbrauchs und Einsparpotenzials weniger geeignet. Hier bietet die dynamische Simulation von Gebäude und Anlagentechnik nach [17] detailliertere Ergebnisse. Sie ermöglicht eine stundenbasierte Analyse des Energiebedarfs und der Energiebereitstellung für Anlagentechnik und Gebäude. Ergänzende Detailangaben zur Anlagentechnik liefern zusätzliche nützliche Daten wie bereitgestellte Energie, Speichertemperaturen und COPs von Wärmepumpen, die als Grundlage für Optimierungen dienen.

Eine bewährte Methode bei Gebäudesanierungen ist die schrittweise Verbesserung der Gebäudehülle, die Optimierung des Baukörpers sowie die Installation effizienter Anlagentechnik mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien. In der Praxis werden die wirksamsten Maßnahmen zuerst umgesetzt. Oft lassen sich Verbesserungen sowohl am Baukörper als auch an der Anlagentechnik gleichzeitig realisieren. Diese Untersuchung konzentriert sich jedoch ausschließlich auf die Optimierung der Anlagentechnik, da das Bauwerk relativ neu ist und eine hohe Qualität in der Dämmung und Verglasung aufweist, die den Anforderungen an Neubauten entspricht. Investitionen in die Verbesserung der Gebäudehülle werden daher als unwirtschaftlich eingestuft.

Jahresenergiebilanzen dienen als Grundlage zur Ermittlung von Kosteneinsparungen. Die Bilanzierung erfolgt über die Gebäudehülle. Strom und Brennstoffe werden ins Gebäude eingebracht, in Wärme umgewandelt und über die Gebäudehülle als Verluste an die Umgebung abgegeben. Überhitzungen in den Zonen werden durch nutzerspezifischen Betrieb der Lüftungsanlagen und nächtliche Temperaturabsenkung im Sommer reguliert.

Zu den Wärmegewinnen zählen der Stromverbrauch von Beleuchtung und Geräten, der in Wärme übergeht, die Körperwärme der Personen sowie die Solargewinne durch transparente Bauteile. Verluste entstehen durch Wärmetransmission über Bauteile und Lüftungsverluste in den Wintermonaten. Der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung wird ebenfalls berücksichtigt. Die Beleuchtung wurde im letzten Jahr auf den neuesten Stand der Technik gebracht, und die Antriebstechnik der Lüftungsgeräte wird in den folgenden Betrachtungen als konstant, also ohne Effizienzverbesserung, angenommen.

Derzeit erfolgt die gesamte Wärmeversorgung für Heizung und Warmwasser über eine Niedertemperatur-Gasheizkesselanlage. Das BHKW ist aufgrund von Verschleiß aktuell außer Betrieb. Ein Fernwärmeanschluss von der Südseite, „Dr.-Maria-Probst-Straße“, wäre möglich, wird jedoch aufgrund hoher Investitions- und Betriebskosten in der weiteren Betrachtung nicht berücksichtigt.

Die Ausgangssituation dient als Basis für den Effizienzvergleich. Alle vorgeschlagenen Alternativen basieren auf unverändertem Nutzerverhalten und gleichbleibenden klimatischen Bedingungen.

4. Anlagenkonzepte

Folgende Anlagenkonzepte werden untersucht:

- Variante 01: Niedertemperatur-Gasheizkessel
Heizung und Warmwasser über die bestehende Niedertemperatur-Gasheizkesselanlage.
- Variante 02: Niedertemperatur-Gasheizkessel und BHKW
Heizung und Warmwasser über die Gasheizkesselanlage, unterstützt durch ein runderneueres BHKW.
- Variante 03: Niedertemperatur-Gasheizkessel + Photovoltaikanlage + Heizstab
Heizung über die Gasheizkesselanlage, Warmwasser über einen Heizstab, der mit der Photovoltaikanlage gekoppelt ist.
- Variante 04: Niedertemperatur-Gasheizkessel + PV + Batteriespeicher + Heizstab
Wie Variante 03, jedoch ergänzt um einen Batteriespeicher.
- Variante 05: Wärmepumpe + PV + Batteriespeicher + Heizstab
Heizung und Warmwasser über eine Luft-Wasser-Wärmepumpe, gekoppelt mit einer Photovoltaikanlage, Heizstab und Batteriespeicher.

4.1. Niedertemperatur-Gasheizkessel

Diese Variante entspricht der Ausgangssituation. Die bestehende Gaskesselanlage bleibt in Betrieb, es werden jedoch Optimierungsmaßnahmen durch eine verbesserte Zeit- und Temperatursteuerung umgesetzt. Die zentrale Lüftungsanlage wird in den Wintermonaten weiterhin über die Zentralheizung beheizt.

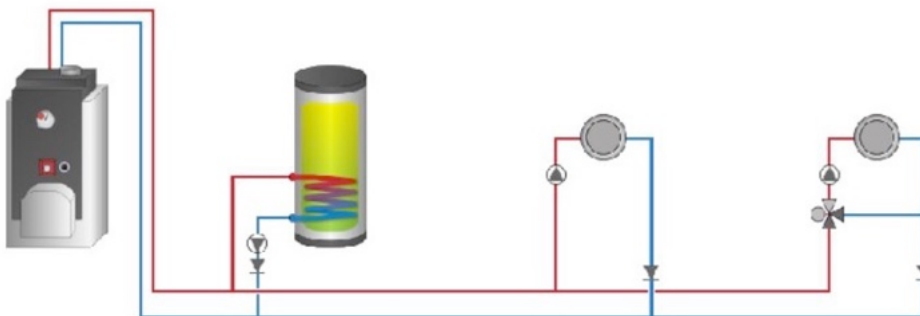


Bild 02: Anlagenschema zu Istzustand der Heizungsanlage (Variante 01)

4.2. Niedertemperatur-Gasheizkessel und BHKW

Die BHKW-Anlage wird instand gesetzt und weiterhin zur Unterstützung eingesetzt.

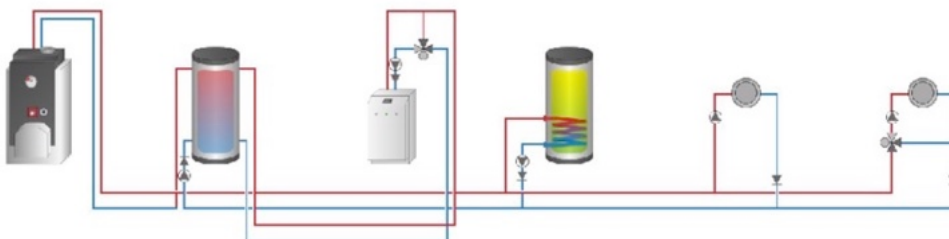


Bild 03: Anlagenschema zur Variante 02

4.3. Gaskesselanlage und Photovoltaikanlage

Im ersten Ausbauschritt kann erneuerbarer Strom aus der Photovoltaikanlage auf den Dächern zur Direktbeheizung des Warmwasserboilers genutzt werden. Der Gaskessel bleibt in den Sommermonaten außer Betrieb.

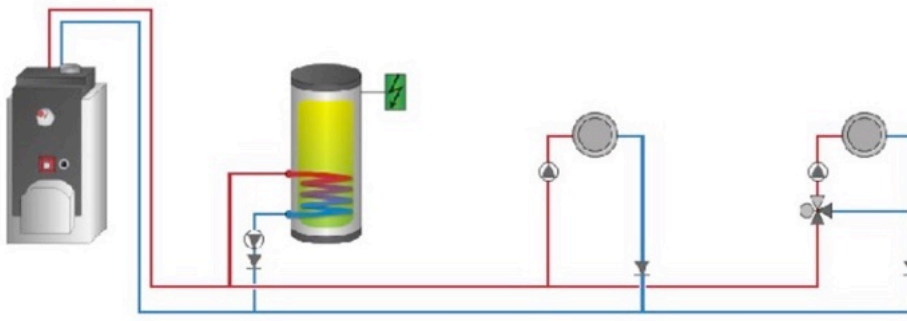


Bild 04: Anlagenschema zum ersten Ausbauschritt (Variante 03)

4.4. Gaskesselanlage und Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher

In der nächsten Ausbaustufe kann der Anteil des genutzten solar gewonnenen Stroms durch die Integration eines Stromspeichers erhöht werden.

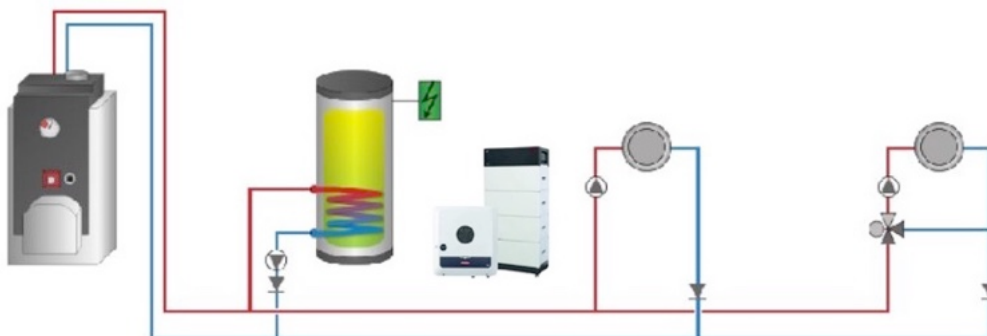


Bild 05: Anlagenschema zur Ausbaustufe mit Stromspeicher (Variante 04)

4.5. Wärmepumpe, Photovoltaikanlage und Batteriespeicher

Das Konzept zur Einbindung einer Wärmepumpe besteht aus zwei Teillösungen: der Integration eines Klima-Split-Systems zur Nutzung der Abluftwärme für die Lufterwärmung in der Lüftungsanlage sowie einer Luft-Wärmepumpe für Heizung und Trinkwassererwärmung. Der Niedertemperatur-Heizkessel, die BHKW-Anlage und die Pufferspeichertechnik werden abgebaut. Die Wärmeverluste bei Rohrleitungen und Speichern werden nahezu eliminiert.

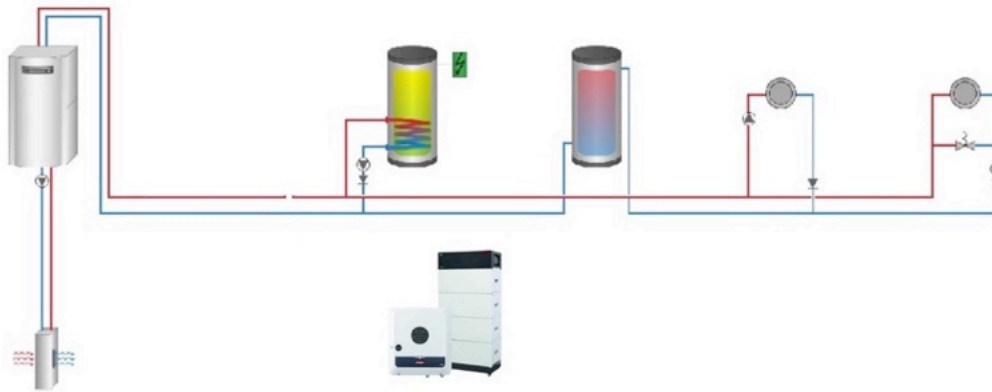


Bild 06: Anlagenschema zur Integration einer Wärmepumpe (Variante 05)

5. Die Photovoltaikanlage

Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der Technologie haben sich Photovoltaikanlagen als eine der besten Investitionen für die Nutzung erneuerbarer Energien etabliert.

Gründe für den Einbau und die Nutzung von Photovoltaikanlagen:

1. Sonnenenergie ist unerschöpflich und kostenlos.
2. Photovoltaik-Strom spart Kosten.
3. Die eigene Strombereitstellung macht unabhängiger.
4. Photovoltaikanlagen haben eine lange Lebensdauer.
5. Photovoltaikanlagen sind eine langfristige Investition und sichern eine Rendite.
6. Photovoltaikanlagen sind umweltfreundlich.
7. Photovoltaikanlagen können recycelt werden.

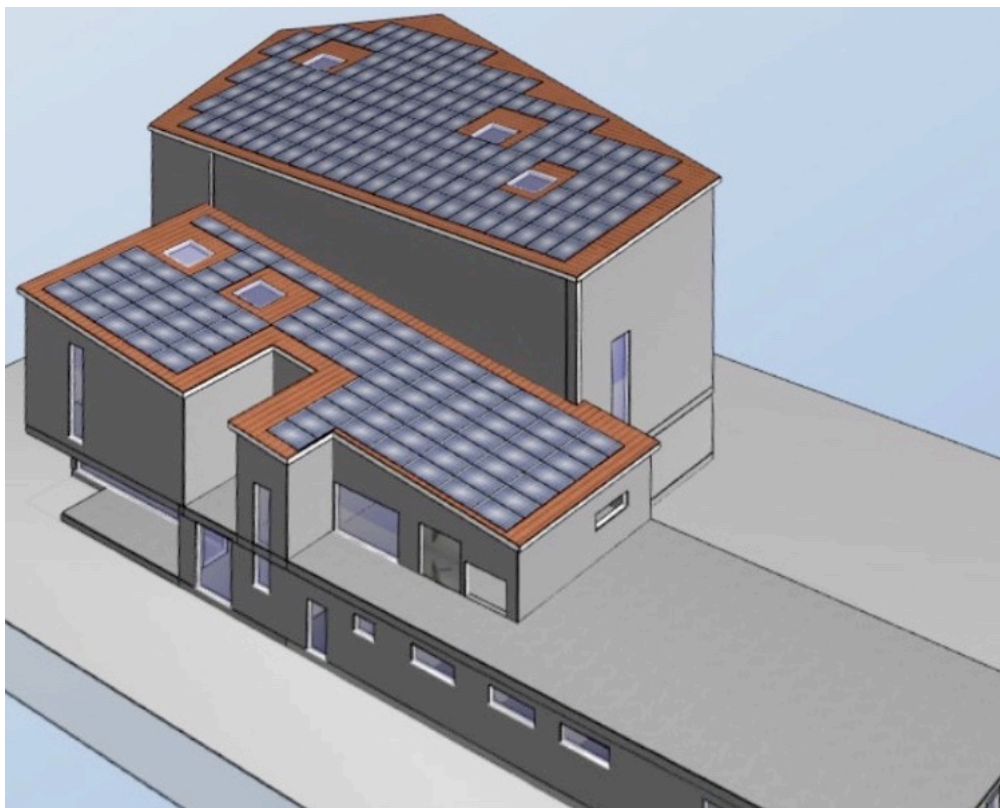


Bild 07: Ansicht der Photovoltaik-Felder

5.1. Ausrichtung

Für die Montage einer Photovoltaikanlage stehen insgesamt 3 Dachflächen zur Verfügung:

- Pultdach über die Kletterhalle mit einer Fläche von ca. 360 m², mit Neigung 5,5° nach Westen
- Pultdach über dem Boulderraum, dem Büro und Lüftungsraum mit einer Fläche von ca. 265 m², mit Neigung 7,5° nach Süden
- Flachdach über die Umkleieräume und den Duschbereichen mit ca. 170 m²

Für die nähere Untersuchung wurden die zwei Pultdachflächen mit PV-Modulen bestückt, siehe *Bild 07*

5.2. Module und Feldaufteilung

Für die Simulation der Photovoltaikanlage wurden Module eines führenden Herstellers verwendet, die den Spezifikationen gemäß *Tabelle 01* entsprechen.

| | |
|---------------------|-------------------------------------|
| Nennleistung | 325 W |
| MPP-Spannung | 33,13 V |
| MPP-Strom | 9,89 A |
| Leerlaufspannung | 40,94 V |
| Kurzschlussstrom | 10,22 A |
| Abmessungen LxB (A) | 1,67m x 1,01m (1,68m ²) |
| Wirkungsgrad | 19,4 % |

Tabelle 01: Spezifikationen der Photovoltaik-Module

Für die Konfiguration der Photovoltaikanlage wurden zwei Felder mit jeweils eigenen Wechselrichtern angenommen, wobei jedes Feld einer Dachfläche entspricht (siehe *Bild 8*).

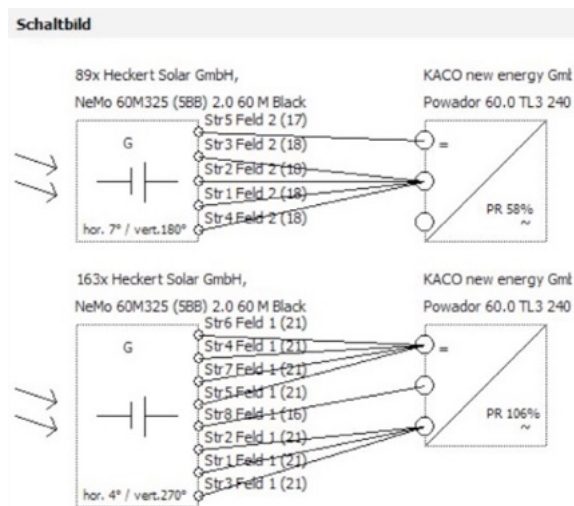


Bild 08: Spezifikationen der Photovoltaik-Module

Es wurde angenommen, dass die Kabelverluste auf der DC-Seite 13,13 W betragen, was einem relativen Verlust von 0,045% bezogen auf die DC-Nennleistung entspricht. Außerdem wurde eine ausreichende Hinterlüftung für die Modulaufstellung vorausgesetzt.

6. Ergebnisse

6.1. Wärmebilanz

In allen fünf Simulationsvarianten wird der Wärmebedarf aus der aktuellen Situation ermittelt (siehe Tabelle 2).

| | |
|--|-------------------------|
| Heizkörper und Fußbodenheizung: | 36.118 kWh/Jahr |
| Lüftungsanlage: | 45.709 kWh/Jahr |
| Warmwasserbereitung (geschätzt): | 10.220 kWh/Jahr |
| Wärmeverluste am Speicher und Rohrleitungen: | 3.286 kWh/Jahr |
| Gesamter Heizungsbedarf (Nutzwärmebedarf): | 95.332 kWh/Jahr |
| Brennstoffverbrauch (bezogen auf Heizwert, Endwärmebedarf): | 101.533 kWh/Jahr |

Tabelle 02: Jahresbilanzen Heizwärmebedarf (Variante 01)

In Variante 02 wird das BHKW parallel zum Heizkessel betrieben. Der Gasverbrauch steigt aufgrund höherer Wärmeverluste an den Wärmespeichern rund um das BHKW.

In den Varianten 03 und 04 sinkt der Gasverbrauch, da der Warmwasserspeicher in den Sommermonaten durch Strom betrieben wird. In der Praxis könnte der Gaskessel während 4 bis 4,5 Sommermonaten vollständig abgeschaltet werden.

Variante 05 berücksichtigt den vollständigen Umstieg von einer verbrennungsbasierten Technik auf Wärmepumpen. Dadurch entfällt der Gasanschluss und es entstehen keine Kosten für fossile Energien. Im Zuge der Heizungssanierung wird zudem die Lüftungsanlage mit einer Split-Wärmepumpe im Abluftvolumenstrom ausgestattet. Durch das verbesserte Regelverhalten und die höhere Effizienz sinkt der Nutzwärmebedarf für die Lüftung.

6.2. Strombilanz

Der jährliche Stromverbrauch wird auf 30.000 kWh geschätzt. Hauptverbraucher sind neben der Beleuchtung die Ventilatoren der Lüftungsanlagen, Kühlschränke, Bürotechnik und die Umwälzpumpen der Heizungsanlage.

Wird das BHKW instandgesetzt, werden jährlich etwa 25.000 kWh Strom bereitgestellt. Die Hälfte davon wird für den Eigenverbrauch genutzt, wodurch der Netzbezug in Variante 02 um 12.500 kWh sinkt. Die restlichen 12.500 kWh werden gegen Vergütung ins Netz eingespeist.

Variante 03 sieht die Installation einer Photovoltaikanlage als Grundlage für die Nutzung erneuerbarer Energien vor. Dies führt über das Jahr zu Stromeinsparungen und in den Sommermonaten kann der Gasverbrauch komplett vermieden werden. Durch den Einsatz eines Batteriespeichers in Variante 04 erhöht sich der Eigenverbrauch, während der Netzbezug weiter sinkt.

In Variante 05 steigt der Stromverbrauch aufgrund des vollständigen Umstiegs auf Wärmepumpentechnik. Besonders in den Wintermonaten erhöht die Wärmepumpe den Netzbezug, dieser bleibt jedoch unter dem Niveau des Istzustandes.

6.3. Bilanz der PV-Anlage

Die Diagramme 01 bis 03 zeigen die Ergebnisse der Strombilanz der Photovoltaikanlage für die Varianten 03 bis 05.



Diagramm 01: Strombilanz der Photovoltaikanlage (Variante 03)

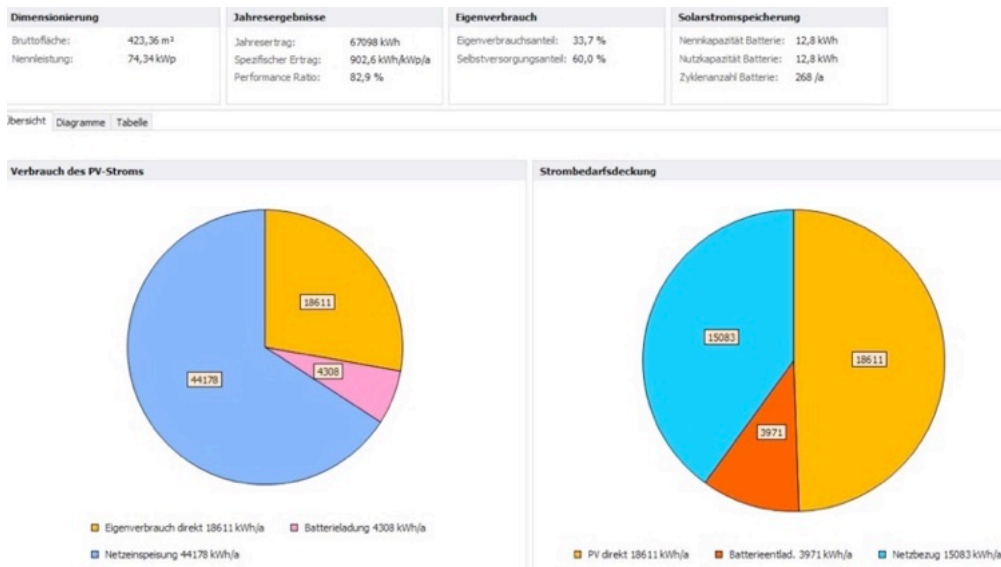


Diagramm 02: Strombilanz der Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher (Variante 04)

Der Eigenverbrauchsanteil steigt von 27,2 % in Variante 03 auf bis zu 36,1 % in Variante 05. Der Selbstversorgungsanteil bleibt in allen drei Varianten um bzw. über 50 % (siehe Tabelle 03).

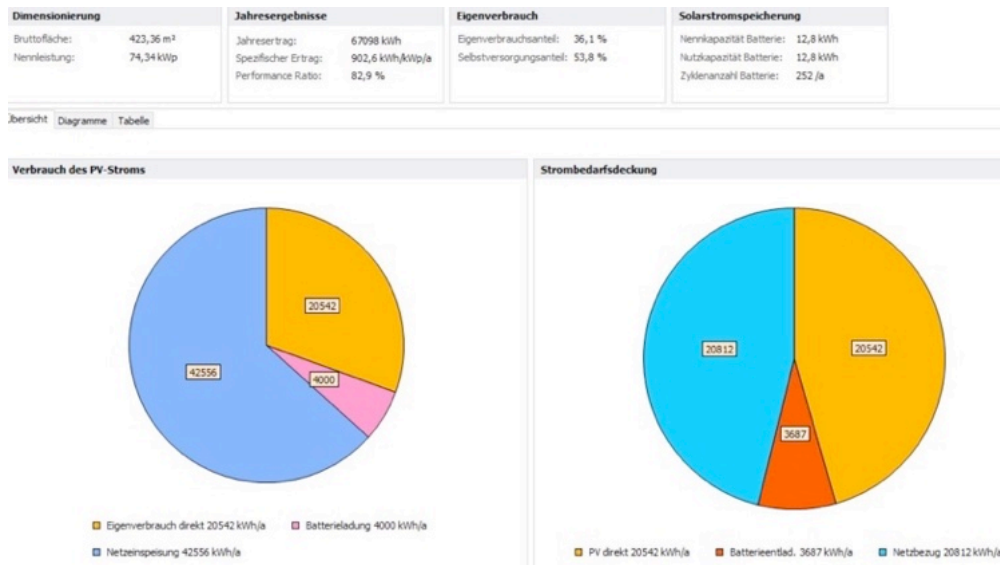


Diagramm 03: Strombilanz der Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher und Wärmepumpenanlage (Variante 05)

| | Variante 03 | Variante 04 | Variante 05 |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Eigenverbrauchsanteil | 27,20% | 33,70% | 36,10% |
| Selbstversorgungsanteil | 49,60% | 60,00% | 53,80% |

Tabelle 03: Eigenverbrauchs- und Selbstversorgungsanteile der Photovoltaikanlage

6.4. Jahresdauerlinie

Die Jahresdauerlinie ist eine Grafik, die zeigt, wie häufig im Jahr eine bestimmte Heizleistung benötigt wird. Sie verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der erforderlichen Heizleistung und der Anzahl der Stunden, in denen diese benötigt wird.

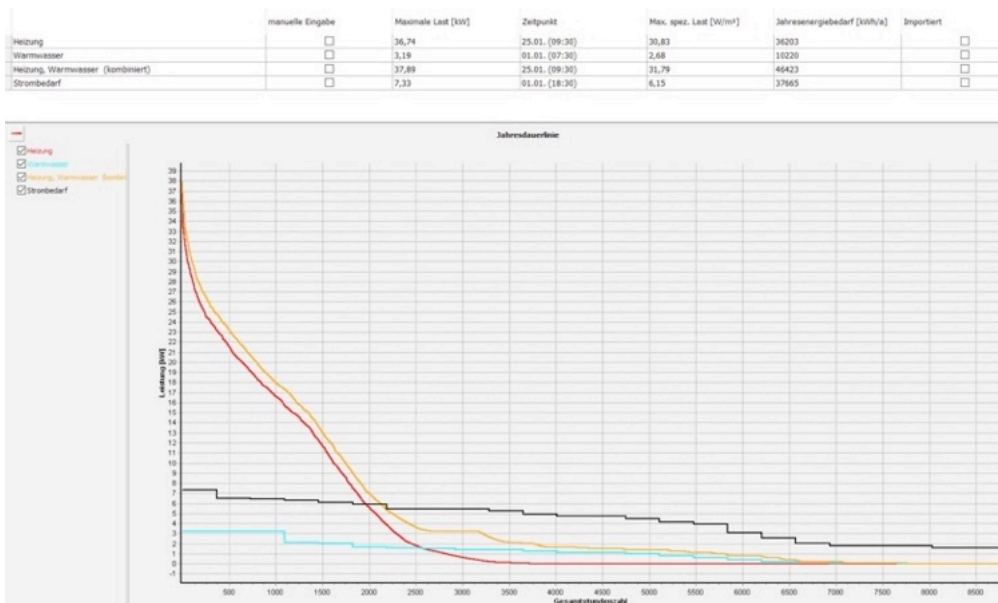


Bild 09: Jahresdauerlinie für die Heizungstechnik unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen nach Einbau der Wärmepumpe (Variante 05)

6.5. Amortisation

Grundlage für eine Amortisationsberechnung bildet die Zusammenstellung aus Tabelle 04. Neben den Angaben zu den laufenden jährlichen Ausgaben spielen sowohl die Finanzierung als auch das Investitionsvolumen eine entscheidende Rolle. Zudem müssen die Fördermöglichkeiten aus der aktuellen „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)“ sowie der KfW-Heizungsförderung berücksichtigt werden.

| | | Variante 01 | Variante 02 | Variante 03 | Variante 04 | Variante 05 |
|------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| Nutzwärmebedarf | Heizkörper, FBH | 36118 kWh/a | 36118 kWh/a | 36118 kWh/a | 36118 kWh/a | 36118 kWh/a |
| | Lüftungsanlage | 45709 kWh/a | 45709 kWh/a | 45709 kWh/a | 45709 kWh/a | 22854 kWh/a |
| | Warmwasser | 10220 kWh/a | 10220 kWh/a | 3407 kWh/a | 2555 kWh/a | 0 kWh/a |
| | Wärmeverluste | 3286 kWh/a | 4877 kWh/a | 3286 kWh/a | 3286 kWh/a | 0 kWh/a |
| Summe | | 95332 kWh/a | 96923 kWh/a | 88519 kWh/a | 87667 kWh/a | 58972 kWh/a |
| Endwärmebedarf | Bezogen auf Heizwert | 101533 kWh/a | 103227 kWh/a | 94277 kWh/a | 93369 kWh/a | 0 kWh/a |
| | Wärmebereitstellung Heizkessel | 101533 kWh/a | 76601 kWh/a | 94277 kWh/a | 93369 kWh/a | 0 kWh/a |
| | Wärmebereitstellung BHKW | 0 kWh/a | 26626 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a |
| | Wärmebereitstellung Wärmepumpe | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 58972 kWh/a |
| Strom | Haushaltsstrom | 30000 kWh/a | 30000 kWh/a | 30000 kWh/a | 30000 kWh/a | 30000 kWh/a |
| | Strom WW | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 6813 kWh/a | 7665 kWh/a | 2129 kWh/a |
| | Strom Wärmepumpe | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 12910 kWh/a |
| | Strombereitstellung BHKW | 0 kWh/a | 12500 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a |
| | Strombereitstellung PV | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 67098 kWh/a | 67098 kWh/a | 67098 kWh/a |
| | Netzeinspeisung | 0 kWh/a | 12500 kWh/a | 48851 kWh/a | 44178 kWh/a | 42556 kWh/a |
| | Netzbezug | 30000 kWh/a | 17500 kWh/a | 18565 kWh/a | 15083 kWh/a | 20812 kWh/a |
| Gas | 9,5 Ct/kWh | 9.645,64 €/a | 9.806,60 €/a | 8.956,27 €/a | 8.870,10 €/a | 0,00 €/a |
| Strom | 28,0 Ct/kWh | 8.400,00 €/a | 4.900,00 €/a | 5.198,20 €/a | 4.223,24 €/a | 5.827,36 €/a |
| Vergütung Gas | 2,4 Ct/kWh | 0,00 €/a | -639,03 €/a | 0,00 €/a | 0,00 €/a | 0,00 €/a |
| Vergütung Strom | 6,0 Ct/kWh | 0,00 €/a | -750,00 €/a | -2.931,06 €/a | -2.650,68 €/a | -2.553,36 €/a |
| Wartung/Instandhaltung | | 600,00 €/a | 1.550,00 €/a | 720,00 €/a | 720,00 €/a | 600,00 €/a |
| Investition | | 0,00 € | 6.000,00 € | 50.000,00 € | 62.000,00 € | 110.000,00 € |
| Tilgung | 10 Jahre/bzw 20 Jahre | 0,00 €/a | 600,00 €/a | 2.500,00 €/a | 3.100,00 €/a | 5.500,00 €/a |
| Zins | 4,53% | 0,00 €/a | 271,80 €/a | 2.265,00 €/a | 2.808,60 €/a | 4.983,00 €/a |
| Kosten | | 18.645,64 €/a | 15.739,38 €/a | 16.708,41 €/a | 17.071,26 €/a | 14.357,00 €/a |

Tabelle 04:

Jahresenergiebilanzen und Kosten aus der Gebäude- und Anlagensimulation

7. Zusammenfassung

Eine bewährte Methode bei Gebäudesanierungen ist die schrittweise Verbesserung der Gebäudehülle, die Optimierung des Baukörpers und die Installation effizienter Anlagentechnik mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien. Diese Untersuchung konzentriert sich jedoch ausschließlich auf die Optimierung der Anlagentechnik, da das Bauwerk relativ neu ist und eine hohe Qualität in der Dämmung und Verglasung aufweist, die den Anforderungen an Neubauten entspricht. Investitionen in die Verbesserung der Gebäudehülle werden daher als unwirtschaftlich erachtet.

Ebenfalls als unwirtschaftlich wird der Anschluss an das Fernwärmenetz eingeschätzt, da die Wärmebezugskosten im Vergleich zum aktuellen Stand (Variante 01) nicht sinken und die Investitionen gleichzeitig das Niveau der Errichtung einer Photovoltaikanlage (Variante 03) erreichen.

Untersucht werden fünf Anlagenkonfigurationen, wobei die erste den Istzustand abbildet. Bei der Instandsetzung des BHKW (Variante 2) werden jährlich etwa 25.000 kWh Strom bereitgestellt. Die Hälfte davon wird für den Eigenverbrauch genutzt, wodurch der Netzbezug in Variante 02 um 12.500 kWh sinkt. Die restlichen 12.500 kWh werden gegen Vergütung ins Netz eingespeist. Das BHKW wird parallel zum Heizkessel betrieben. Der Gasverbrauch steigt aufgrund höherer Wärmeverluste an den Wärmespeichern rund um das BHKW und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen bleibt bestehen. Zudem stellt ein Blockheizkraftwerk eine komplexe Energieumwandlungstechnik dar, die wartungsintensiv und störanfällig ist. Die jährlichen Energieausgaben können jedoch durch die Vergütung für Gas und Strom sowie durch die Reduzierung des Strombezugs auf 2.000 bis 3.000 Euro gesenkt werden.

Variante 03 sieht die Installation einer Photovoltaikanlage als Grundlage für die Nutzung erneuerbarer Energien vor. Dies führt über das Jahr zu Stromeinsparungen. In den Sommermonaten kann außerdem der Gasverbrauch vollständig vermieden werden.

Durch den Einsatz eines ergänzenden Batteriespeichers in Variante 04 erhöht sich der Eigenverbrauch, während der Netzbezug weiter sinkt.

In Variante 05 steigt der Stromverbrauch aufgrund des vollständigen Umstiegs auf Wärmepumpentechnik. Besonders in den Wintermonaten erhöht die Wärmepumpe den Netzbezug, dieser bleibt jedoch unter dem Niveau des Istzustands. Die letzte Variante berücksichtigt den vollständigen Umstieg von einer verbrennungsbasierten Technik auf Wärmepumpen. Dadurch entfällt der Gasanschluss und es entstehen keine Kosten für fossile Energien. Im Zuge der Heizungssanierung wird zudem die Lüftungsanlage mit einer Split-Wärmepumpe im Abluftvolumenstrom ausgestattet. Durch das verbesserte Regelverhalten und die höhere Effizienz sinkt der Nutzwärmebedarf für die Lüftung.

Aus heutiger Sicht stellt die letzte Variante mittelfristig die beste Voraussetzung für die Realisierung eines Konzepts mit einem hohen Selbstversorgungsanteil von über 50 % dar. Über das Jahr gesehen führt dies zur Autarkie, da der selbst bereitgestellte Strom aus der PV-Anlage höher liegt als der Verbrauch. Trotz des höchsten investiven Anteils ist die Variante 05 auch die mit den niedrigsten Energiekosten.



Dr.-Ing. Ivan Diankov

8. Anhang

Anlage 01

Wärmediagramm (Variante 01), Nutzenergie 1 Seite

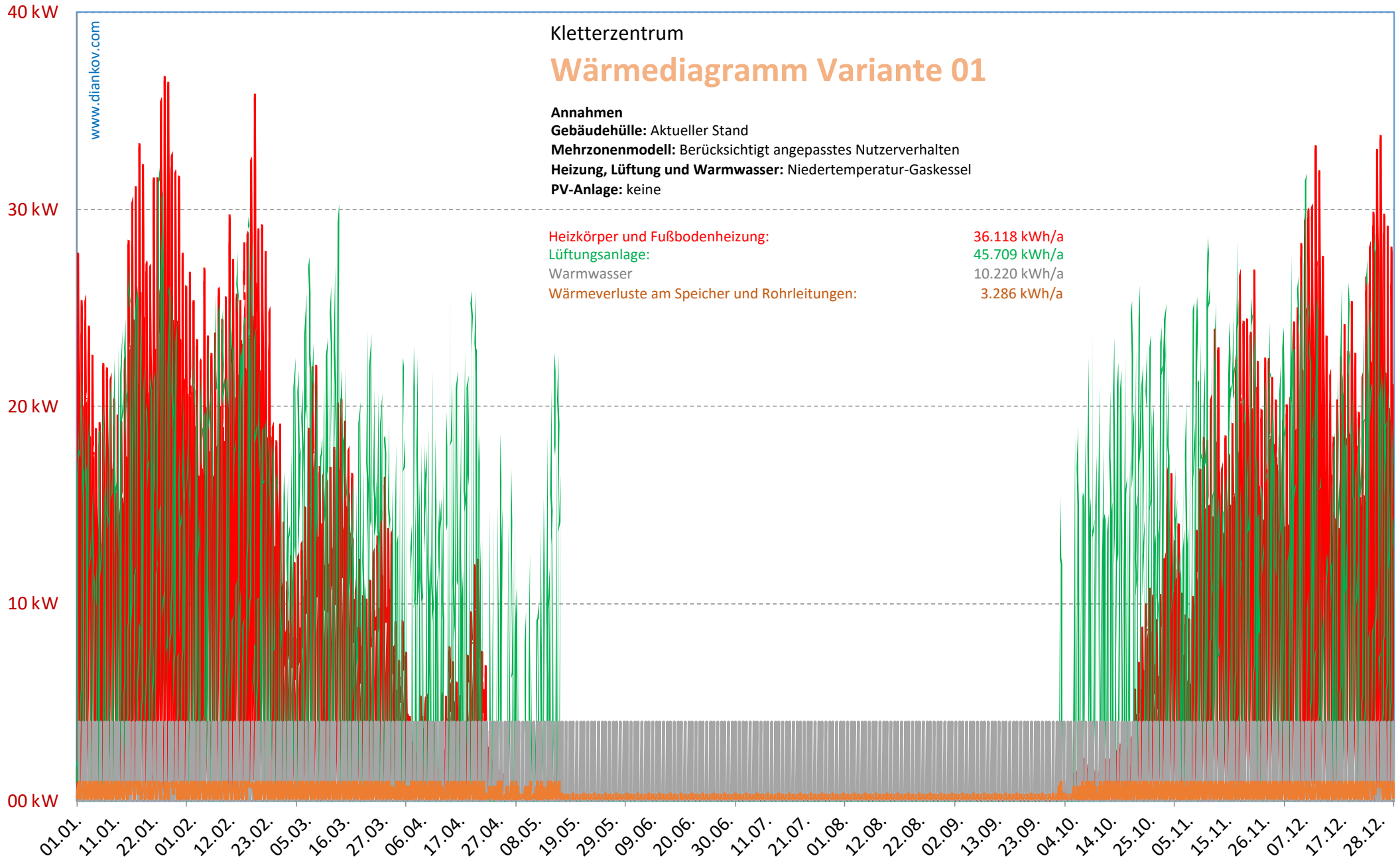
Anlage 02

Wärmediagramm (Variante 01), Brennstoff-Verbrauch 1 Seite

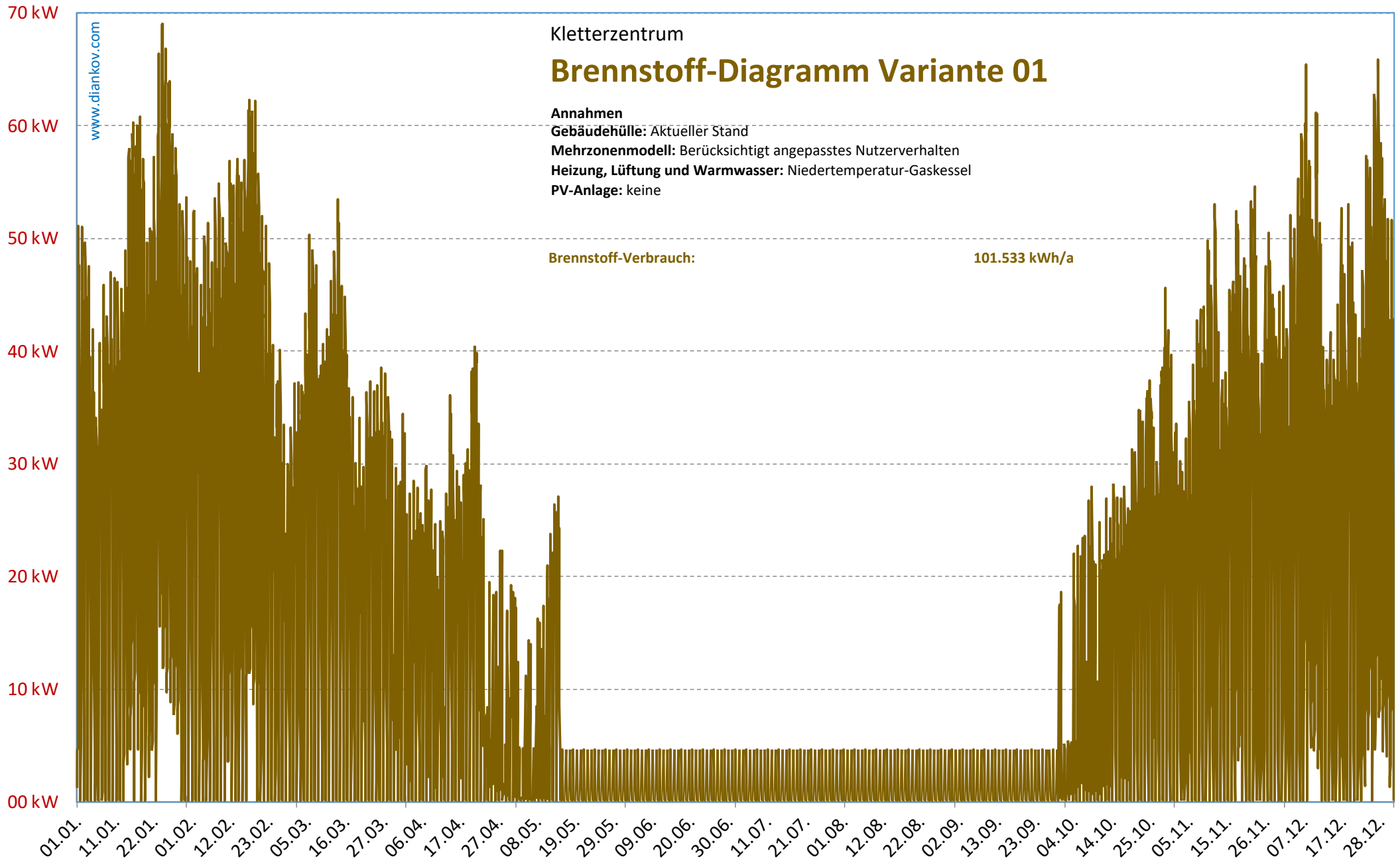
Anlage 03

Jahresenergiebilanzen und Kosten
aus der Gebäude- und Anlagensimulation 1 Seite

Gebäude- und Anlagensimulation



Gebäude- und Anlagensimulation



| | | Variante 01 | Variante 02 | Variante 03 | Variante 04 | Variante 05 |
|------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Nutzwärmebedarf | Heizkörper, FBH | 36118 kWh/a | 36118 kWh/a | 36118 kWh/a | 36118 kWh/a | 36118 kWh/a |
| | Lüftungsanlage | 45709 kWh/a | 45709 kWh/a | 45709 kWh/a | 45709 kWh/a | 22854 kWh/a |
| | Warmwasser | 10220 kWh/a | 10220 kWh/a | 3407 kWh/a | 2555 kWh/a | 0 kWh/a |
| | Wärmeverluste | 3286 kWh/a | 4877 kWh/a | 3286 kWh/a | 3286 kWh/a | 0 kWh/a |
| | Summe | 95332 kWh/a | 96923 kWh/a | 88519 kWh/a | 87667 kWh/a | 58972 kWh/a |
| Endwärmebedarf | Bezogen auf Heizwert | 101533 kWh/a | 103227 kWh/a | 94277 kWh/a | 93369 kWh/a | 0 kWh/a |
| | Wärmebereitstellung Heizkessel | 101533 kWh/a | 76601 kWh/a | 94277 kWh/a | 93369 kWh/a | 0 kWh/a |
| | Wärmebereitstellung BHKW | 0 kWh/a | 26626 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a |
| | Wärmebereitstellung Wärmepumpe | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 58972 kWh/a |
| Strom | Haushaltsstrom | 30000 kWh/a | 30000 kWh/a | 30000 kWh/a | 30000 kWh/a | 30000 kWh/a |
| | Strom WW | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 6813 kWh/a | 7665 kWh/a | 2129 kWh/a |
| | Strom Wärmepumpe | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 12910 kWh/a |
| | Strombereitstellung BHKW | 0 kWh/a | 12500 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 0 kWh/a |
| | Strombereitstellung PV | 0 kWh/a | 0 kWh/a | 67098 kWh/a | 67098 kWh/a | 67098 kWh/a |
| | Netzeinspeisung | 0 kWh/a | 12500 kWh/a | 48851 kWh/a | 44178 kWh/a | 42556 kWh/a |
| | Netzbezug | 30000 kWh/a | 17500 kWh/a | 18565 kWh/a | 15083 kWh/a | 20812 kWh/a |
| Gas | 9,5 Ct/kWh | 9.645,64 €/a | 9.806,60 €/a | 8.956,27 €/a | 8.870,10 €/a | 0,00 €/a |
| Strom | 28,0 Ct/kWh | 8.400,00 €/a | 4.900,00 €/a | 5.198,20 €/a | 4.223,24 €/a | 5.827,36 €/a |
| Vergütung Gas | 2,4 Ct/kWh | 0,00 €/a | -639,03 €/a | 0,00 €/a | 0,00 €/a | 0,00 €/a |
| Vergütung Strom | 6,0 Ct/kWh | 0,00 €/a | -750,00 €/a | -2.931,06 €/a | -2.650,68 €/a | -2.553,36 €/a |
| Wartung/Instandhaltung | | 600,00 €/a | 1.550,00 €/a | 720,00 €/a | 720,00 €/a | 600,00 €/a |
| Investition | | 0,00 € | 6.000,00 € | 50.000,00 € | 62.000,00 € | 110.000,00 € |
| Tilgung | 10 Jahre/bzw 20 Jahre | 0,00 €/a | 600,00 €/a | 2.500,00 €/a | 3.100,00 €/a | 5.500,00 €/a |
| Zins | 4,53% | 0,00 €/a | 271,80 €/a | 2.265,00 €/a | 2.808,60 €/a | 4.983,00 €/a |
| Kosten | | 18.645,64 €/a | 15.739,38 €/a | 16.708,41 €/a | 17.071,26 €/a | 14.357,00 €/a |