

Vertiefende Ergänzung zur Konzeptstudie der Anita Lichtenstein Gesamtschule

**TGA-Modernisierung mit Erneuerbaren Energien
Schule - Sporthalle - Vereinsheim - Gelobad**



Auftraggeber:



Stadt Geilenkirchen



Erstellt durch:

BMR energy solutions GmbH

Berliner Ring 11 52511 Geilenkirchen

Inhaltsverzeichnis

Vertiefende Ergänzung zur Konzeptstudie der Anita Lichtenstein Gesamtschule	1
TGA-Modernisierung mit Erneuerbaren Energien Schule - Sporthalle - Vereinsheim - Gelobad	1
Inhaltsverzeichnis	2
Anlass der Studie und Beschreibung der Aufgabe	4
Varianten	5
Zweck der Konzeptstudie	6
Lage der Anita Lichtenstein Gesamtschule im Stadtgebiet	6
Bestandsanalyse	7
Wärmeversorgung Bestand	8
Anlagenschema Wärmeversorgung Bestand	9
Lüftung	9
Stromversorgung Bestand	10
Anlagenschema Stromversorgung	10
Bauwerksaufnahme /Bestandszeichnungen/ Grundlagen der Konzepte	11
Fotodokumentation Bestand	12
Analyse Bestand, Verbrauchswerte	17
Wärme	17
Monatliche Aufschlüsselung der Wärmemengen / Gasbezug lt. Wärmemengenzählung im Jahr 2019:	17
Entwicklung der CO ₂ -Preise, Bestandteil der Gasbezugskosten	17
Gemittelter Wärmebedarf, CO ₂ -Emission und CO ₂ -Kosten für 1, 5, 10 und 20 Jahre	18
Fazit der CO ₂ -Preis Entwicklung der Bestandsanlage OHNE Änderung der Anlagentechnik	18
Analyse Bestand, Strombezug	20
Entwicklung der Strombezugskosten – insbesondere CO₂-Betrachtung	21
Verbrauchskostenprognose Wärme und Strom	21
Wärmebezug / Heizung - Einordnen des Bestandes zum Vergleich (Benchmark)	22
Wirtschaftliche Betrachtung und CO ₂ Emission des Bestandes	22
Heizlastberechnung aufgrund modernisierter Gebäudesubstanz	23
Variante 3 – Ersatz der 3 Erdgas Niedertemperaturkessel durch 2 Pelletkessel (Wärmeerzeugung)	24
Vorbemerkung	24
Allgemeine Beschreibung der Technik	24
TGA Schema Pelletkessel	25
Wirtschaftliche Betrachtung	26
Variante 4 – BHKW mit ergänzender Spitzenlasttechnik durch zwei Pelletkessel (Wärme- und Stromerzeugung)	27
Allgemeine Beschreibung der Technik	27
TGA Schema BHKW und Spitzenlast-Pelletkessel	27
Wirtschaftliche Betrachtung	28

Variante 6 – Ersatz der 3 Erdgas-Niedertemperaturkessel durch Pellet Anlage mit BHKW und Luftwärmepumpe für Schwimmhalle	30
Vorbemerkung	30
Allgemeine Beschreibung der Technik	30
TGA Schema Pellet Anlage, Luftwärmepumpe für Schwimmhalle und Gastherme	31
Vergleich der Varianten Wärmeversorgung / Zusammenfassung	34
Interpretation und Zwischenergebnis Wärmerzeugung – Ausschluss der Variante 5 – Ersatz durch optimierte Variante	35
Zukünftige Stromversorgung und Einspeisevergütung	36
Förderung – Förderprogramme	37
Tabelle – Förderprogramme 2021	38
Festlegung der Photovoltaik Anlagen- und Speichergröße	39
Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Variantenergebnisse	47
Fazit Strom Eigenversorgung	48
Empfehlung	49
Grundlage der Konzeptstudie, Verwendungszweck	50

Anlass der Studie und Beschreibung der Aufgabe

Die Stadt Geilenkirchen beabsichtigt die technische Gebäudeausrüstung des Gebäudeensembles der Anita Lichtenstein Gesamtschule, bestehend aus Gesamtschule mit Mensa, Gelobad, Sporthalle und Bürgerhaus zu erneuern.

Hierzu wurde am 15.06.2021 eine Konzeptstudie im Umwelt und Bauausschuss der Stadt Geilenkirchen vorgestellt.

Mit der Vorstellung des Konzeptes ergaben sich weitergehende Fragen an Varianten und ergänzende Aufgabenstellungen. Es wurden folgende Wünsche geäußert:

- Variante 5 mit Luftwärmepumpe und Niedertemperatur-Pelletanlage darzustellen.
- Fördermöglichkeiten darzulegen und deren wirtschaftliche Auswirkungen im Anlagendesign zu berücksichtigen

Aufgrund der geänderten Anforderungen und zur besseren Übersichtlichkeit werden im folgenden die CO₂ trächtigen Varianten mit Gas-Brennwert-Anlagen (Variante 1+2) weder vertieft, noch dargestellt.

Darüber hinaus können durch den Erkenntnisgewinn aus der Konzeptstudie und in Kombination mit den Fördermöglichkeiten, die Darstellung von PV-Anlagen auf eine 300 kWp Anlage eingegrenzt werden.

Die zukünftige Energieversorgung soll unter Berücksichtigung der folgenden Prämissen erfolgen:

- umfängliche Nutzung von Erneuerbaren Energien
- falls möglich und sinnvoll - Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung
- Minderung der momentanen CO₂-Emission
- Kostenoptimierung des Betriebs
- wirtschaftlich sinnvolle Autarkie des Ensembles
- wirtschaftlicher (Zu)Gewinn, welcher aus Erneuerbaren Energie erzielt werden kann

Mit der Nutzung Erneuerbarer Energie soll nicht nur eine möglichst wirtschaftlich sinnvolle Autarkie des Ensembles, sondern insbesondere eine langfristig und wirtschaftlich effiziente, sowie nachhaltige Versorgung ermöglicht werden.

Im Rahmen der Konzepte sind zu berücksichtigen

- die bereits in Teilen modernisierten Gebäude der Gesamtschule
- zukünftige Modernisierungen (Gesamtschule) bzw. Neubauten (z.B. Turnhalle)
- die bereits neu errichtete Schwimmhalle
- das vorhandene Nahwärmenetz
- das bereits errichtete Bürgerhaus / Vereinsheim

Varianten

Vergleichskriterien:

Die Studie soll mögliche Varianten aufzeigen, die miteinander hinsichtlich der folgenden Kriterien verglichen werden sollen:

- Investitionskosten
- Verbrauchskosten
- Einsparpotential gegenüber der aktuellen Versorgung des Ensembles
- CO₂ Reduktion gegenüber der aktuellen Versorgung
- Autarkiegrad / Lokalversorgungsanteil

Mit dem Auftraggeber wurden folgende Varianten für eine vertiefende Betrachtung definiert:

Variante 3

Eine in der CO₂ Emission maximal minimierende Wärmeerzeugung.

Variante mit nachwachsenden Rohstoffen, in diesem Fall Holzpellets als Brennstoff, für modulierende Pelletskessel, sowie eine ergänzende Stromerzeugung mittels einer 300 kWp Photovoltaik Anlage.

Variante 4

Eine in der CO₂ Emission maximal minimierende Wärmeerzeugung mittels Holzpellets als modulierender Spitzenlastkessel (wie Variante 3),

mit zusätzlicher Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), sowie eine ergänzende Stromerzeugung mittels einer 300 kWp Photovoltaik Anlage.

Variante 5

(aus Vergleichsgründen herangezogene Variante mit Luftwärmepumpe - ohne BHKW)

Eine in der CO₂ Emission maximal minimierende Wärmeerzeugung mittels Holzpellets als modulierender Spitzenlastkessel mit weiterer Unterstützung durch eine Luft-Wärmepumpe.

Diese nutzt Lüftungswärmeverluste des Schwimmbades, sowie den preiswert gewonnenen Strom aus der PV zur Erwärmung des Schwimmbeckenwassers.

Zur Deckung des Warmwasserbedarfes in Verbindung mit der erforderlichen Wasserhygiene wurde ein 90 KW Gasbrennwertkessel zur Warmwassererzeugung im Sommer vorgesehen.

Dieser ersetzt im Sommer den Betrieb der für die Warmwasserdeckung alleine zu großen Pelletanlage.

Variante 6

(verbesserte Variante 5 mit BHKW, ohne Gasbrennwertkessel)

Eine in der CO₂ Emission maximal minimierende Wärmeerzeugung mittels Holzpellets als modulierender Spitzenlastkessel mit zusätzlicher Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), sowie eine ergänzende Stromerzeugung mittels 300 kWp Photovoltaik Anlage (wie Variante 4), mit weiterer Unterstützung durch eine Luft-Wärmepumpe. Diese nutzt Lüftungswärmeverluste des Schwimmbades, sowie den preiswert gewonnenen Strom aus BHKW und PV zur Erwärmung des Schwimmbeckenwassers.

Zweck der Konzeptstudie

Diese Konzeptstudie dient der ersten Beratung des Bauherrn, der Definition von Planungszielen und der Beauftragung von Fachleuten. Sie ist ein erster Baustein zur Vorbereitung einer nachfolgenden Vorentwurfsplanung. Sie ist Teil zur Klärung der Aufgabenstellung und soll Bauherrn und Planer in der Definition der Aufgabe unterstützen.

Sie ersetzt keine Planung eines Bauvorhabens, sondern bereitet diese vor.

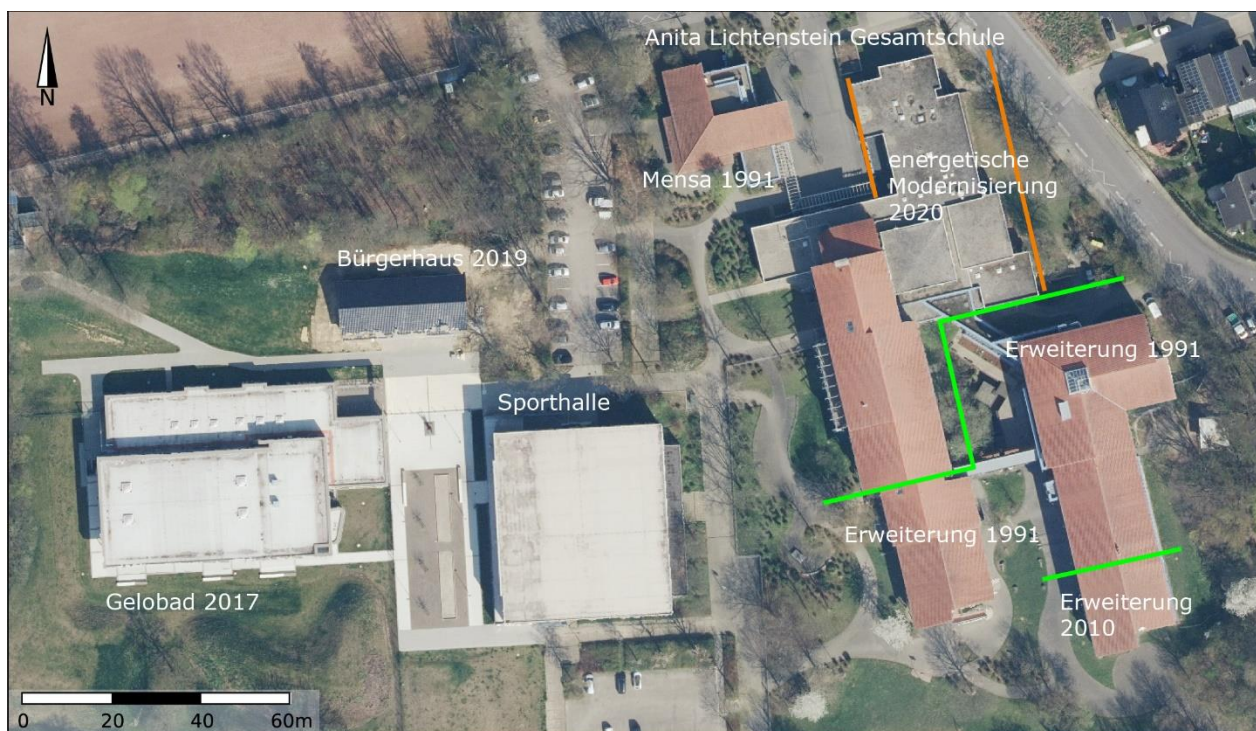
Sie ist Bestandteil der Grundlagenermittlung und fußt auf ersten Annahmen.

Lage der Anita Lichtenstein Gesamtschule im Stadtgebiet

Die Anita Lichtenstein Gesamtschule der Stadt Geilenkirchen liegt im Norden der Stadt.

Das Ensemble erstreckt sich von der Jahn- und Josefstraße im Süden bis zur Robert-Koch- und Pestalozzistraße im Norden und Osten. Im Osten wird das Schulgelände durch Solitäre mit einer Mischnutzung und im Westen durch die Sportanlage des Sportzentrums Bauchem begrenzt. Die Haupteinschließung erfolgt über die Pestalozzistraße.

In der Nachbarschaft befinden sich überwiegend Wohnbebauungen, bestehend aus Ein- und Zweifamilienhäusern.



Ausschnitt aus Tim-online 2020

Bestandsanalyse

Die Anita Lichtenstein Gesamtschule wurde 1974 zunächst als Hauptschule zusammen mit dem Sportzentrum in damals zeitgemäßer Bauweise mit Flachdach errichtet.

1994 -95 wurde die Schule in mehreren Bauabschnitten zur Gesamtschule mit Mensa ausgebaut, das Flachdach mit einem Satteldach saniert, und auch 2010 wurde sie mit einem Anbau um mehrere Räume (ca. 607m² NF) erweitert.

Das Gebäudeensemble der Schule ist heute ein heterogenes ein- bis dreigeschossiges Bauwerk, teils mit Flach-, teils mit Satteldach. Im Bereich des Altbaus ist das Gebäude unterkellert. Die Neubauerweiterungen sind nicht unterkellert.

2017 wurde nach einem Brand (2013) das als Einheit mit der Sporthalle gebaute Schwimmbad als separates Gebäude neu errichtet und in Betrieb genommen. Sporthalle und Schwimmbad stehen nun als Solitäre. 2018 ist das Bürgerhaus / Vereinsheim projektiert und umgesetzt worden.

Zuletzt (2020) ist mit der energetischen Sanierung des ursprünglichen Hauptschulkörpers begonnen worden. Dabei wurden im ersten Schritt bei einem Teil des Altbaues Dach, Fassaden, Fenster und Heizkörper ertüchtigt.

Das Ensemble ist durch ein Nahwärmenetz verbunden, dessen Heizzentrale sich im UG des Altbaus befindet. Daneben befinden sich die ehemaligen Ölbunker, welche von außen zugänglich sind. Am Kopf der Sporthalle sind die Verteilung des Nahwärmenetzes und die Hauptverteilung des Stromnetzes platziert.

Der Kernbereich der Schule ist die 1974 erbaute Hauptschule. Diese ist anhand der Beton- und der neuen Vorhangfassade ablesbar. Die Stadt Geilenkirchen hat hier mit der Sanierung und somit energetischen Modernisierung begonnen. Der östliche Teil dieses Kerns wurde gerade (2020) energetisch ertüchtigt. Dach und Fassaden, inklusive Fenster wurden auf den heutigen Stand der Technik modernisiert.

Dennoch befindet sich noch ein weiterer, großer Teil, die rückwärtige Betonfassade, bauteiltechnisch im ursprünglichen Zustand und ist somit außen ungedämmt. Die eloxierten Aluminium Profile der -Fenster sind thermisch nicht getrennt und auch das Glas entspricht mit seinen Transmissionswerten keinem Standard. Diese ursprünglichen Fenster entsprechen den damaligen „Allgemein anerkannten Regeln der Technik“ (AaRdT). Deren Transmissionswerte sind mit keiner, auch nicht mit der ersten Wärmeschutzverordnung von 1977, konform. Da mit der energetischen Sanierung bereits begonnen wurde, ist zukünftig von einem geringeren Energiebedarf auszugehen.

Die Verbesserung der Transmissionswärmeverluste aufgrund der energetisch besseren Bauteile wird signifikant erkennbar sein. Allerdings ist dies nicht der bedeutendste Wärmeverlust. Da in einer Schule der Wärmebedarf insbesondere durch den Lüftungswärmeverlust bestimmt ist, liegt hier ein weiteres und erhebliches Einsparpotential. Mittels einer Lüftung mit Wärmerückgewinnung, in Kombination mit einer Gebäudeleittechnik, die das Nutzerverhalten mit der Regelung der Wärmeverteilung verknüpft, könnte der Wärmebedarf in einer ähnlichen Größenordnung verringert werden.

Durch den neuen, erst 3 Jahre alten Ersatz der Schwimmsporthalle (Gelobad), mit den bereits umgesetzten Maßnahmen in der Schule, und den zukünftig durch die Instandhaltung ausgelösten Modernisierungen der Schule und der Sporthalle, ist von einem sinkenden Energiebedarf im Vergleich zum Stand des Einbaues der Heizkessel (1991) auszugehen.

Somit wird die Wärmeerzeugung mit geringeren Grund- und Spitzenlasten ausgelegt werden können.

Wärmeversorgung Bestand

Zur Wärmeversorgung des Gebäudeensembles sind im Jahr 1995 im Keller der Schule drei Niedertemperatur-Gaskessel, Fabrikat Fröhling mit Zweistoffbrenner (Erdgas/Öl) installiert worden.

Es handelt sich dabei um die folgenden Modelle:

2 x FSM 800 : Nennleistung 930 KW

1 x FSM 650: Nennleistung 760 KW

Aus Gründen der Versorgungssicherheit wurden die Heizungskessel mit Zweistoffbrennern für Gas und Öl ausgestattet. Mit der Zusage des Gasversorgungsunternehmens (GVU), eine Vollversorgung mit Sicherheit leisten zu können, wurde die Instandhaltung der Öl-Technik mit Kosten für Tankprüfung und Wartung betriebswirtschaftlich, aber auch aus Gründen des Emissionsschutzes, fragwürdig. Daher wurden die Öltanks Ende 2020 demontiert.

Die im Untergeschoss neben der Heizzentrale liegenden „Öl-Bunker“ der Schule sind von außen gut zugänglich. Sie sind sowohl für andere Brennstoffe, wie auch für eine andere Nutzung geeignet. Die Verteilung der Wärme geschieht zum einen in der Haupt-Verteilung der Heizzentrale, zum anderen sind zusätzlich Absperungen und Abzweigungen in einer weiteren Verteilung in der Sporthalle für das Nahwärmenetz vorhanden. Hier wird zwischen Sporthalle, Gelobad und Vereinsheim verteilt.

Die bestehende Niedertemperaturkaskadenanlage ist aufgrund der soliden und robusten Technik einsatzbereit und wird dies auch noch in den kommenden Jahren sein. Mit weiteren Laufzeiten wird aber das Schadens- und Reparaturrisiko steigen.

Die verwendete Technik ist unter heutigen Gesichtspunkten veraltet.

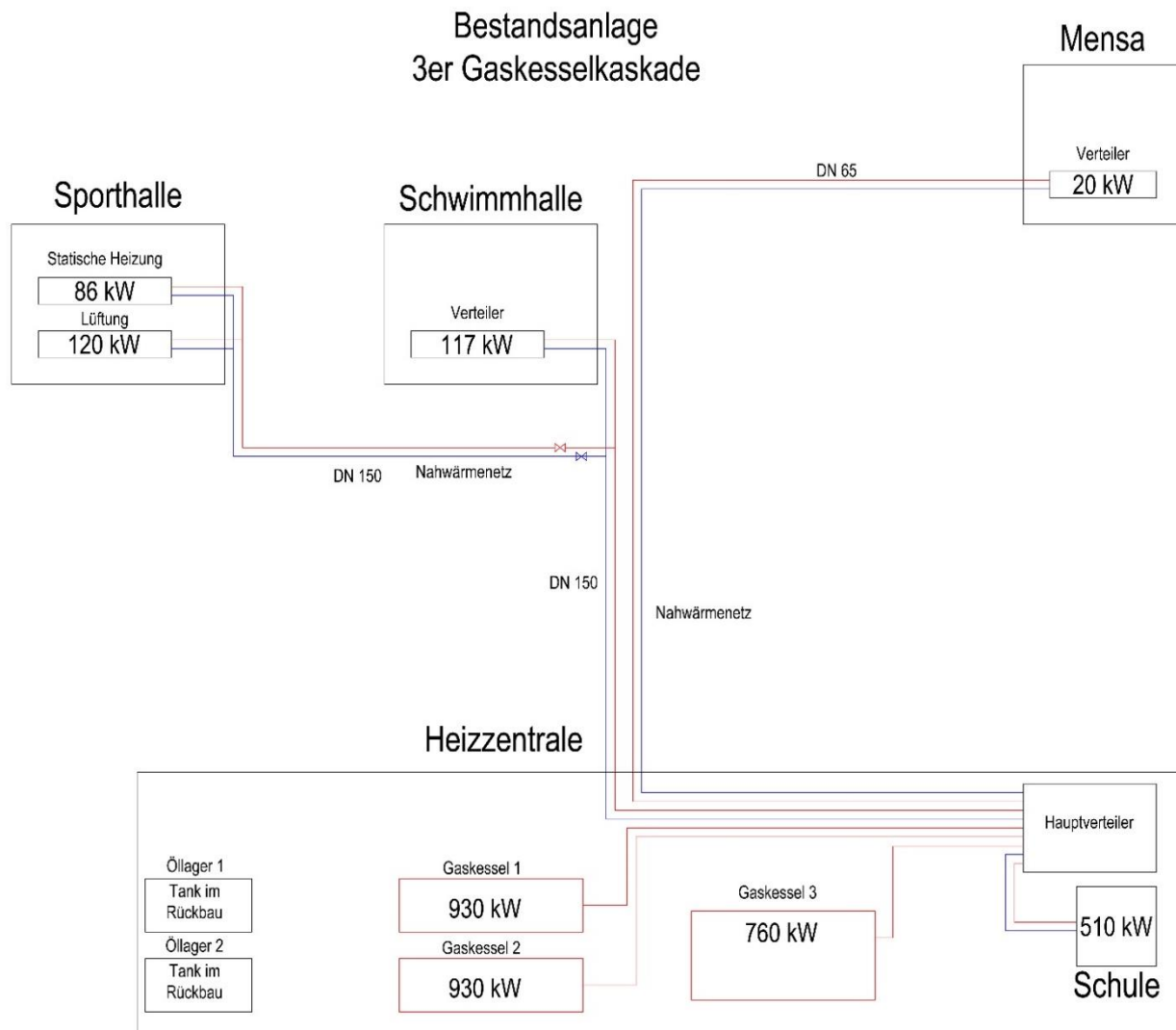
Bei einem reparaturbedingten Austausch der Kessel wird automatisch eine Gasbrennwertanlage installiert werden.

Der Gasbrennwerteffekt (max. 15%) wird durch die noch erforderliche hohe Vorlauftemperatur verringert. Dagegen wird eine zwangsläufig mit dem Wechsel verbundene neue Steuerung Energie und CO₂ zusätzlich einsparen können.

Aufgrund der bereits durchgeführten Gebäudemodernisierungen und dem Neubau des Schwimmbades mit neuester Technik, konnten die neuen Anbauten nicht nur mit der vorhandenen Heizungstechnik versorgt werden, sondern es kann auch von einem geringeren Wärmebedarf ausgegangen werden.

Aufgrund des früheren höheren Wärmebedarfs vor der Sanierung und Modernisierung ist die Bestandsanlage bereits jetzt, ohne die noch weiter folgenden Gebäudemodernisierungen überdimensioniert.

Anlagenschema Wärmeversorgung Bestand



Lüftung

Die ursprüngliche Lüftung in den Klassenräumen war eine Schachtlüftung. Hier verstärkt ein Schacht mittels der vorhandenen Thermik die natürliche Lüftung. Die Luft strömt über Undichtigkeiten in den Fenstern und Türen oder über Öffnungen zu den Fluren nach. Es konnten Abluftschächte pro Klasse identifiziert werden. Diese enden im Dachraum unterhalb des Satteldaches. Sie sind nicht über Dach geführt. Insoweit wird diese nicht mehr im erforderlichen Maß funktionieren.

Eine solche Lüftung ist vermutlich nicht mehr konform mit den neueren Wärmeschutzverordnungen. Diese fordern Luftdichtigkeit der Fenster oder einem, dem Lüftungskonzept entsprechend nachgewiesenen Zustrom, über definierte Öffnungen in den Fensterprofilen oder eine mechanische Lüftung.

Es handelt sich aktuell um eine natürliche Lüftung, die mit neuen Fenstermontagen geprüft und evtl. neu dimensioniert werden sollte.

Es existiert weder eine Kühlung, noch eine andere Luftaufbereitung.

Stromversorgung Bestand

Das gesamte Ensemble der Anita Lichtenstein Gesamtschule ist mittels eines zentralen, dedizierten Trafos an ein Mittelspannungsnetz angebunden. Am Verknüpfungspunkt des Wärmenetzes vor der Sporthalle befindet sich die übergeordnete Hauptverteilung des Niederspannungsnetzes des Ensembles. Der zugehörige Mittelspannungstrafo wandelt Mittelspannung (10 kV, 20 kV oder 30 kV) in die erforderliche Spannung des Niederspannungsnetzes (400V).

Ein Anschluss an ein Mittelspannungsnetz ist günstig, um größere Strommengen, wie aus Photovoltaik oder einem BHKW, abzunehmen oder einzuspeisen. Somit entfällt bei großen Strommengen ein separater Anschluss, oder das vorhandene Netz begrenzt die einzuspeisende Strommenge und somit die Anlagengröße.

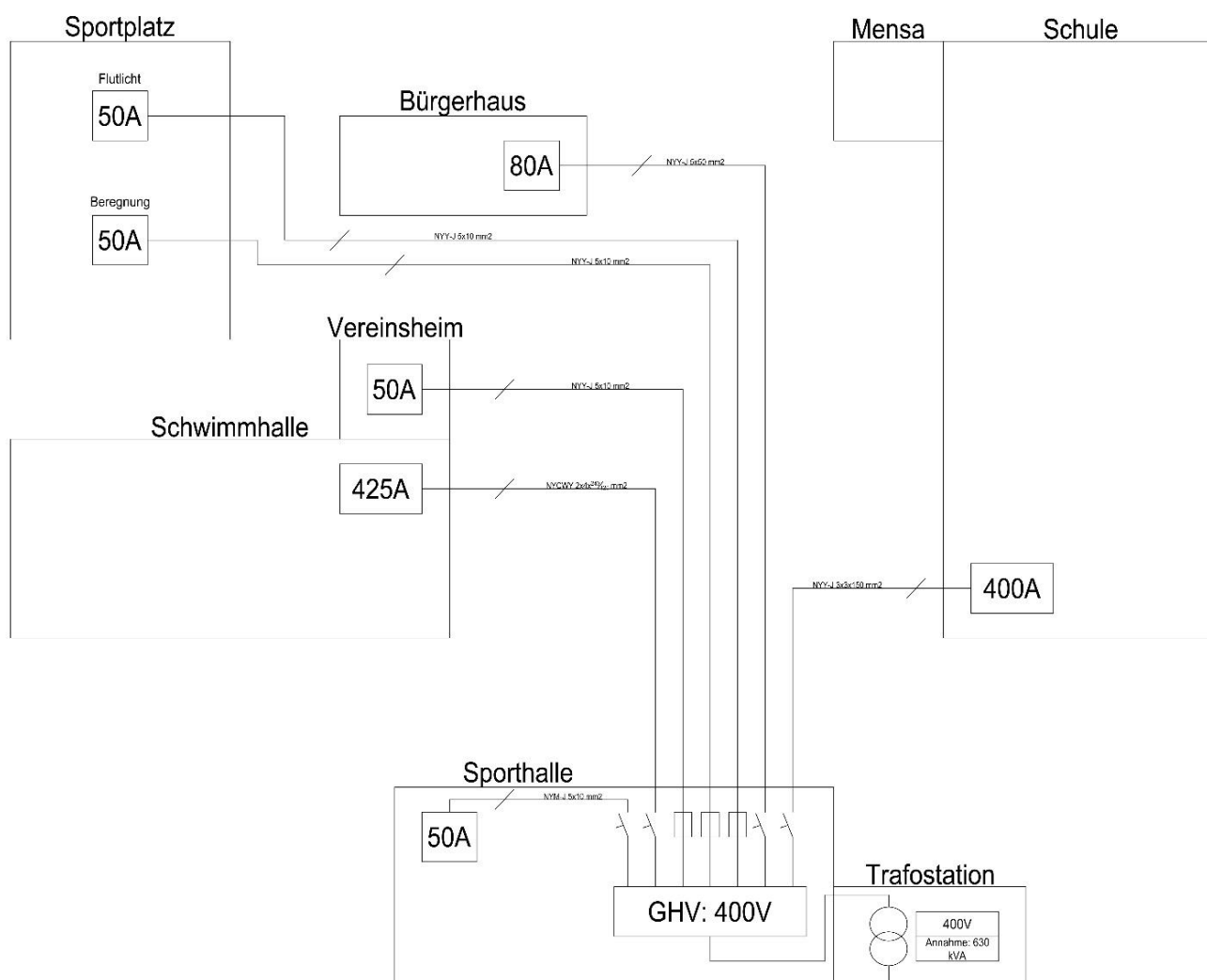
Mit einem separaten Anschluss begrenzt lediglich die Trafogröße die einzuspeisende Strommenge auf die maximal Werte des verlegten Mittelspannungskabels.

Der Mittelspannungstrafo könnte voraussichtlich max. eine Leistung von 100 kVA in das Mittelspannungsnetz einspeisen, wenn auf dem Gelände Überkapazitäten von Strom produziert und abgenommen werden sollen.

Auf dem Gelände befindet sich aktuell keine Anlage zur Erzeugung regenerativer Energien.

Die Stadt Geilenkirchen hat zur Versorgung des Ensembles einen Ökostromvertrag abgeschlossen, der zu 100 % auf Erneuerbaren Energien beruht.

Anlagenschema Stromversorgung



Bauwerksaufnahme /Bestandszeichnungen/ Grundlagen der Konzepte

Zur Fundierung der Konzepte wurden Flächen ermittelt. Diese dienen u.a. als Grundlage zur Ermittlung des aktuellen Heizungsbedarfes im Bestand. Diese Flächen basieren auf Abmessungen der Umrisse, für eine Plausibilitätsprüfung wurden auch Bauteildicken der Außenwände angenommen und somit „Netto-Flächen“ ermittelt.

Da die Umrisse durch eine Digitalisierung der maßstäblichen Papierpläne mittels Abfahren in Kombination mit den lesbaren Maßeintragungen erstellt wurden, sind die Annahmen fundiert, können aber nicht zentimetergenau sein.

Zur genauen Ermittlung wäre eine komplette Digitalisierung der vorhandenen Papierpläne erforderlich. Dies ist prinzipiell vor und mit einer möglichen größeren Instandhaltungsmaßnahme oder Modernisierung dringend zu raten.

Auf Basis dieser Grundlagen wurden die Brutto Geschoss Flächen (BGF) durch die Umrisse ermittelt und daraus Netto Raum Flächen (NRF) abgeleitet (NRF= NF, VF, TF). Dies stellt sowohl die Grundlage für die Geometriedaten, wie auch für die Flächen- und Volumenannahmen der Konzept-Berechnungen dar.

Diese Flächenermittlung ist Grundlage der Heizlastberechnung (Seite 23)

Somit ergeben sich folgende Nutzflächen (NF) aus den zeichnerisch ermittelten Bruttogeschossflächen des Ensembles:

NF mit innen-Mauerwerk, ohne außen-Mauerwerk

Geschosse	Altbau	Neubau und Erweiterungen			NF / Geschoss
	Bestand Schule	Erweiterung 1	Erweiterung 2	Mensa	
UG	nicht relevant	0 m ²	0 m ²	0 m ²	-
EG	2975 m ²	1142 m ²	262 m ²	340 m ²	4719 m ²
1. OG	1493 m ²	1154 m ²	262 m ²		2909 m ²
2. OG	920 m ²	1122 m ²	262 m ²		2304 m ²
	5388 m ²	3418 m ²	786 m ²	340 m ²	9932 m ²
Summen	5388 m ²		4204 m ²	340 m ²	
Annahme	5500 m²		4500 m²	400 m²	

Fotodokumentation Bestand



Abb. 01 Heizkessel mit Zweistoffbrenner (Öl und Gas)



Abb. 02 Heizkreis Hauptverteilung



Abb. 03 Trafo

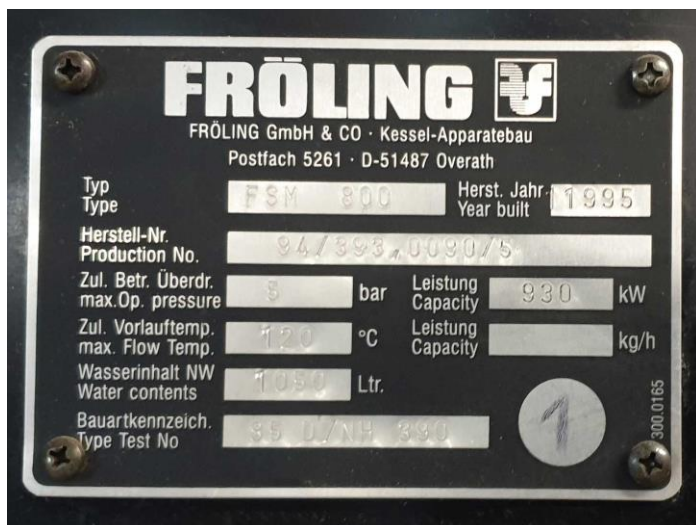


Abb. 04 Typenschild Brenner 1

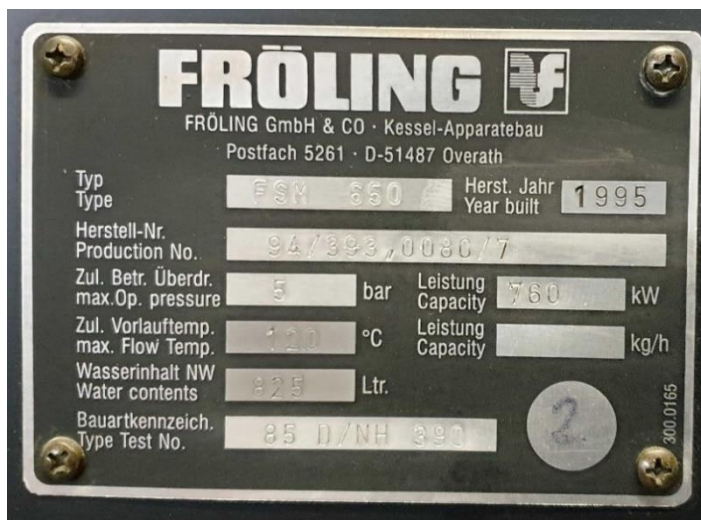


Abb. 05 Typenschild Brenner 2

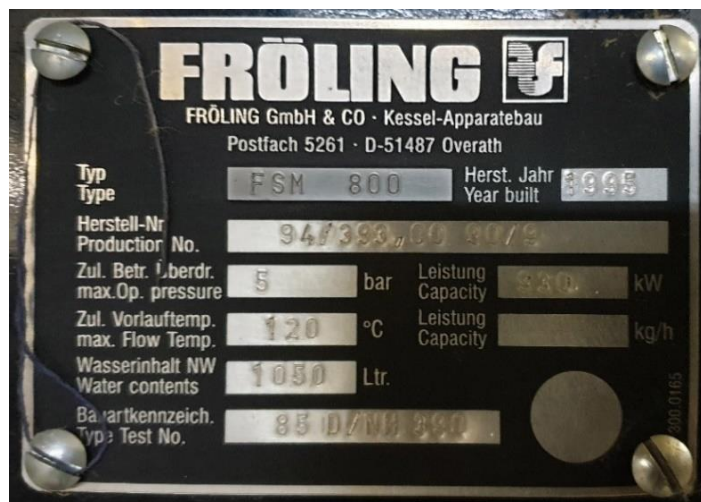


Abb. 06 Typenschild Brenner 3



Abb. 07 Öltank 1 mit Außenfenster



Abb. 08 Öltank 1, Blick in den Nachbarraum von Tank 2

Beide Aufnahmen fanden vor der Demontage statt. Beide Räume eignen sich als Pelletslager.

Abb. 08 Ursprünglicher Baukörper mit Betonfassade, Fensterbändern und der Satteldachergänzung



Abb. 09 Ursprünglicher Sichtbeton mit Relief und original Fensterbänder aus eloxierten Aluminiumfenstern (mit tw. erneuerten Gläsern)



Abb. 10 Erweiterung 1991



Abb. 11 Erweiterung 1991 (Putz-Ziegelfassade) und Ergänzung 2010 (Ziegelfassade)

Analyse Bestand, Verbrauchswerte

Wärme

In den Jahren 2017, 2018 und 2019 wurden die folgenden Gasmengen bezogen:

2017: 1.616.564 kWh

2018: 2.710.331 kWh

2019: 2.744.691 kWh

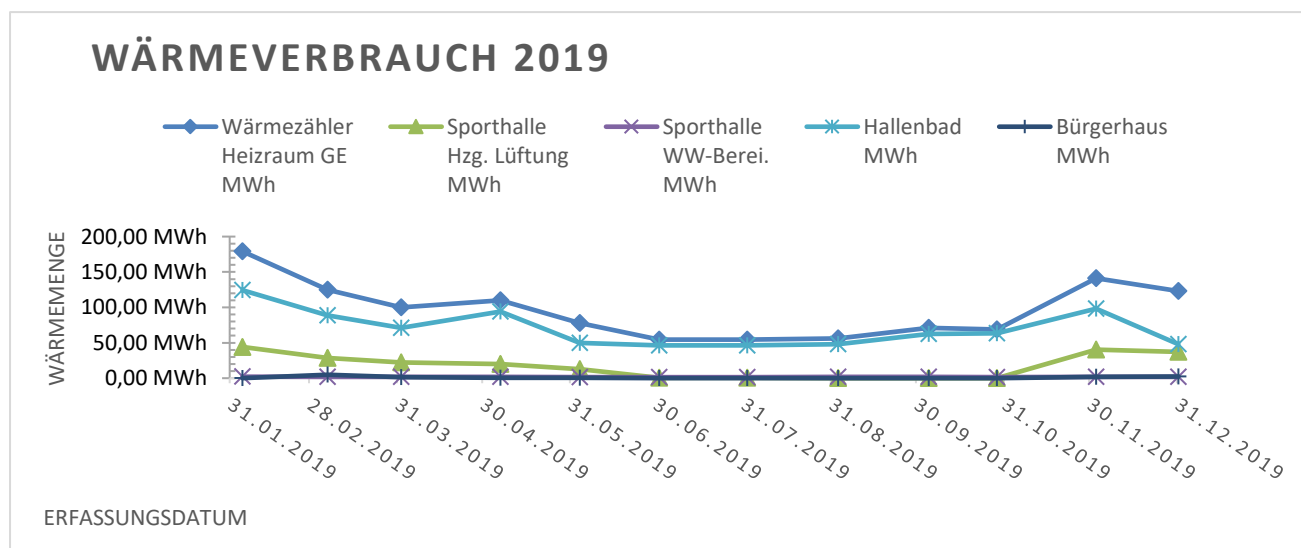
Monatliche Aufteilung der Wärmemengen / Gas Bezug lt. Wärmemengenzählung im Jahr 2019:

(blaue Schrift / Annahme, hergeleitet aus der August-Ablesung und interpoliert den Verbrauch für Juli und August)

Ablese Datum	Wärmezähler Heizraum GE MWh	Sporthalle Hzg. Lüftung MWh	Sporthalle WW-Bereich MWh	Hallenbad MWh	Bürgerhaus MWh
04.02.2019	179,14 MWh	44,13 MWh	2,16 MWh	124,30 MWh	0,00 MWh
06.03.2019	125,00 MWh	28,70 MWh	2,00 MWh	88,60 MWh	4,87 MWh
01.04.2019	100,00 MWh	22,10 MWh	1,70 MWh	70,90 MWh	1,49 MWh
06.05.2019	110,00 MWh	20,00 MWh	2,10 MWh	94,10 MWh	0,51 MWh
03.06.2019	78,00 MWh	12,90 MWh	1,50 MWh	50,00 MWh	0,50 MWh
01.07.2019	54,50 MWh	0,55 MWh	1,55 MWh	46,35 MWh	0,02 MWh
01.08.2019	54,50 MWh	0,55 MWh	1,55 MWh	46,35 MWh	0,02 MWh
02.09.2019	56,00 MWh	0,00 MWh	1,80 MWh	48,20 MWh	0,00 MWh
04.10.2019	71,00 MWh	0,00 MWh	1,80 MWh	62,30 MWh	0,00 MWh
28.10.2019	69,00 MWh	0,00 MWh	1,50 MWh	63,30 MWh	0,00 MWh
02.12.2019	141,00 MWh	40,10 MWh	2,10 MWh	98,00 MWh	2,03 MWh
31.12.2019	122,90 MWh	37,29 MWh	1,80 MWh	47,78 MWh	2,23 MWh

Summe:	<u>2.229,11 MWh</u>	Lastgang Wärme/Gasmenge:	2.744.691,00 kWh
			2.744,69 MWh
		Wärmemenge Zähler:	2.229,11 MWh
		Verlust absolut:	515,59 MWh
		Verlust, prozentual:	19%
		Effizienz:	81%

Diagramm Wärmeverbrauch nach Nutzungen 2019



Weitere Preisentwicklungen, wie z.B. Rohstoffpreise, Netzauschalen oder eine andere Besteuerung ist nicht vorhersehbar und wurde daher auch nicht im Szenario prognostiziert.

Diese Betrachtung basiert auf den von der Bundesregierung definierten Klimazielen und zeigt ein Szenario des Anstiegs von CO₂-Kosten innerhalb bereits jetzt definierter Abgabewerte. Der CO₂-Preis für 2021 ist mit 25 €/to definiert und soll schrittweise bis auf 55 €/t CO₂ im Jahr 2025 ansteigen. Eine genaue Abstufung ist z.Zt. offen, für das Jahr 2026 wird ein Preiskorridor von min. 55 bis 65 € to/CO₂ angestrebt.

Zur Einhaltung der Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens wird in diversen Quellen für 2050 ein Preis von 150 €/t CO₂ empfohlen. Diese Zahlen sind im folgenden Szenario einbezogen und dargestellt worden:

Jahr	Wärmemenge lt. Lastgang	CO ₂ bei Erdgas pro kWh	247 g CO ₂ / kWh
2017	1.616.564,03 kWh tlw. GeloBad		
2018	2.710.331,61 kWh	Mittelwert Wärme	
2019	2.744.691,38	2.727.511,50 kWh	X 247 g CO₂/ kWh = 673.695,34 kg CO₂/a
			673,70 t CO₂/a

CO₂-Preis – mögliche Entwicklung (blaue Schrift sind Annahmen und stellen ein Szenario dar)

Jahr	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2050
CO ₂ -Preis / to	25 €/t CO ₂	35 €/t CO ₂	40 €/t CO ₂	45 €/t CO ₂	50 €/t CO ₂	55 €/t CO ₂	150 €/t CO ₂

Gemittelter Wärmebedarf, CO₂-Emission und CO₂-Kosten für 1, 5, 10 und 20 Jahre

	1 Jahr	5 Jahre	10 Jahre	20 Jahre
Wärmeverbrauch	2.727.511,50 kWh	13.637.557,48 kWh	27.275.114,95 kWh	54.550.229,90 kWh
CO ₂ Emission	673,70 t CO ₂ /a	3.368,48 t CO ₂ /a	6.736,95 t CO ₂ /a	13.473,91 t CO ₂ /a
CO ₂ -Kosten Wärme	16.842 €	131.371 €	316.637 €	687.169 €
Jahresdurchschnitt	16.842 €	26.274 €	31.664 €	34.358 €
CO ₂ -Kosten 2021	16.842 €	16.842 €		
CO ₂ -Kosten 2022	23.579 €	23.579 €		
CO ₂ -Kosten 2023	26.948 €	26.948 €		
CO ₂ -Kosten 2024	30.316 €	30.316 €		
CO ₂ -Kosten 2025	33.685 €	33.685 €		
		131.371 €		
CO ₂ -Kosten 2026	37.053 €	(5 x 37.053,- €) =	131.371 € 185.266 € 316.637 €	131.371 € 185.266 €
CO ₂ -Kosten 2031	37.053 €		(10 x 37.053 €) =	370.532 € 687.169 €
CO ₂ -Kosten 2041	37.053 €			
CO ₂ -Kosten 2050	101.054 €			

Fazit der CO₂-Preis Entwicklung der Bestandsanlage OHNE Änderung der Anlagentechnik

Ergeben sich aufgrund des gemittelten Wärmebedarfes der ALGS bereits Mehrkosten für CO ₂ in			
2021	in Höhe von	16.842,- €,	so sind es für
2023	bereits	23.579,- €	und alleine für
2025		33.685,- €.	

In der Summe sind es von 2021-2025 (5 Jahre)	131.371,- €	
somit bis 2031 (die nächsten 10 Jahre)	316.637,-€	
und in den darauf folgenden 10 Jahren weitere	370.532,-€	prognostizierte CO ₂ -Kosten.

Eine genaue Betrachtung ist wegen der unklaren Art der Steigerung nicht möglich. Dennoch würde in einem Szenario aufgrund der eingegangenen Verpflichtungen der Bundesregierung innerhalb der nächsten

20 Jahre (bis 2041)	687.169,- €	zus. Kosten
---------------------	-------------	-------------

für eine CO₂-Emission der aktuellen Bestandsanlage angenommen werden können.

Die gezeigte Größenordnung eines nicht unwahrscheinlichen CO₂-Preisszenarios ist mehr, als nur interessant. Für eine Investitionsentscheidung ist ein Szenario über die CO₂-Kostenentwicklung sinnvoll, da diese bereits heute aufgrund eingegangener Verpflichtungen der Bundesregierung grob abbildbar ist.

Dieses Szenario könnte den unteren Rahmen einer Preisentwicklung für Brennstoffkosten darstellen, wenn die weitere Zusammensetzung des Gaspreises unverändert bleibt.

Darüber hinaus liefert diese auch weitere und wesentliche Parameter, sich für die Anlagenart entscheiden zu können.

Die Art des Brennstoffes entscheidet zukünftig nicht nur aufgrund seines Erstellungspreises über eine Kostenentwicklung, sondern mit der CO₂-Bepreisung wurde ein weiterer Preisbestandteil als „Klimaabgabe“, „CO₂-Besteuerung“ oder auch Preis für seine Umweltverträglichkeit hinzugefügt.

Damit wird prinzipiell allen kohlenstoff basierten Stoffen ein zusätzliches Kriterium für Umweltverträglichkeit, das sich auf deren Kostenentwicklung und damit auf ihre Marktrelevanz auswirkt, hinzugefügt.

Umweltverträglichkeit kann sich zukünftig aber auch anders darstellen und die umzuwandelnde Ressource erneut anders bewerten. Daher handelt es sich um ein Szenario, das sich so nur unter aktuell gültigen Prämissen auswirken wird.

Dennoch ist CO₂ in jedem Fall mindestens für die nächsten 50 Jahre ein zu berücksichtigender Faktor.

Dieser ist nicht nur wegen internationaler Verpflichtungen und des Preises relevant, sondern auch aufgrund weiterer Gesichtspunkte:

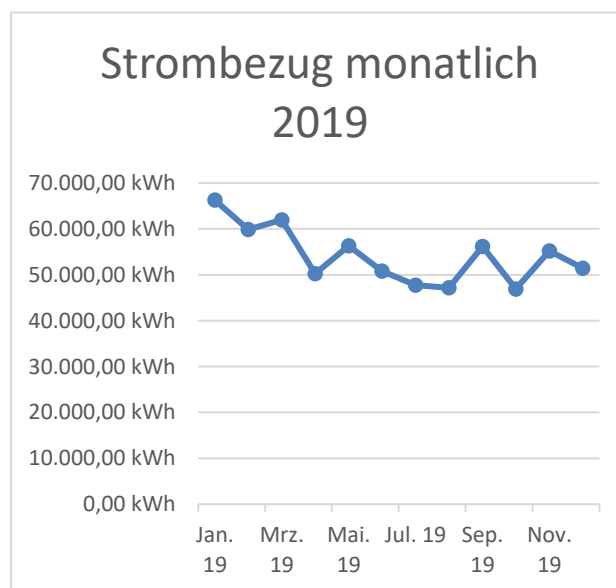
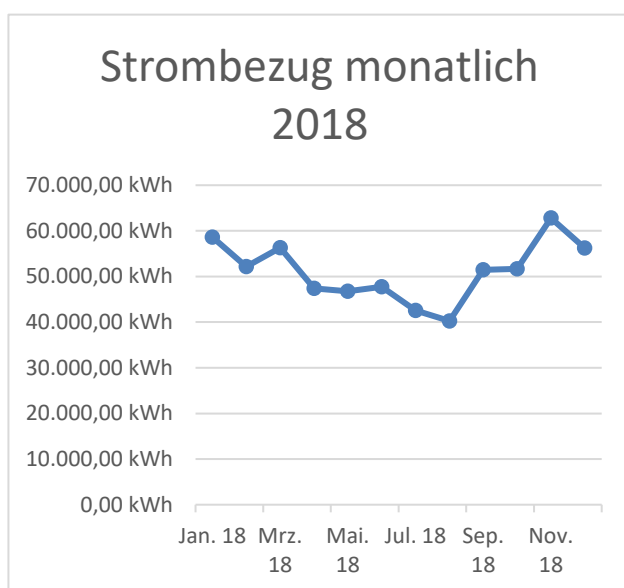
Das Gefährdungspotential ist nicht nur klimatechnischer, sondern auch sozialer und politischer Natur.

Analyse Bestand, Strombezug

In den Jahren 2018 und 19 wurden im gesamten Gebäudeensemble die folgenden Strommengen bezogen:

2018		2019	
Jan. 18	58.624,92 kWh	Jan. 19	66.275,50 kWh
Feb. 18	52.151,58 kWh	Feb. 19	59.846,75 kWh
Mrz. 18	56.293,37 kWh	Mrz. 19	61.996,43 kWh
Apr. 18	47.373,13 kWh	Apr. 19	50.234,20 kWh
Mai. 18	46.748,90 kWh	Mai. 19	56.317,13 kWh
Jun. 18	47.741,50 kWh	Jun. 19	50.775,00 kWh
Jul. 18	42.524,03 kWh	Jul. 19	47.757,10 kWh
Aug. 18	40.260,72 kWh	Aug. 19	47.170,60 kWh
Sep. 18	51.449,55 kWh	Sep. 19	56.146,60 kWh
Okt. 18	51.666,80 kWh	Okt. 19	46.925,98 kWh
Nov. 18	62.787,45 kWh	Nov. 19	55.189,78 kWh
Dez. 18	56.220,42 kWh	Dez. 19	51.461,07 kWh
613.842,38 kWh		650.096,13 kWh	

Diagramme monatliche Stromverbräuche 2018 und 2019



Bei den dargestellten Strommengen fällt die unten angegebene Menge CO₂, bezogen auf konventionellen Strommix und einem Ökostromtarif, an.

Die Stadt Geilenkirchen bezieht für das Gebäudeensemble aktuell 100 % Ökostrom, bei den Vergleichsbetrachtungen im Hinblick auf eine Eigenversorgung wird dies berücksichtigt.

Daher fallen bereits jetzt nur 12,64 t CO₂ bei der Stromversorgung pro Jahr an.

Jahr	Strommenge lt. Lastgang:	CO ₂ bei konvent. Strom pro kWh	400 g CO ₂ / kWh
2017	509.753,30 kWh tlw. GeloBad	CO ₂ bei Öko Strom pro kWh	20 g CO ₂ / kWh
2018	613.842,38 kWh	Mittelwert Strom:	
2019	650.096,13 kWh	631.969,25 kWh	
$\underline{\underline{631.969,25 \text{ kWh}}} \times 20 \text{ g CO}_2/\text{ kWh} = \underline{\underline{12.639,39 \text{ kg CO}_2/\text{a}}}$			
12,64 t CO₂/a			

Entwicklung der Strombezugskosten – insbesondere CO₂-Betrachtung

Auch beim Strombezug wird der CO₂-Preis schrittweise von 21,-€/to bis 2025 auf 55,- €/t CO₂ erhöht, dementsprechend ist mit den folgenden Kosten bei der zukünftigen CO₂-Bepreisung, ohne eine Eigenversorgung, zu rechnen.

	1 Jahr	5 Jahre	10 Jahre	20 Jahre
Stromverbrauch	631.969,25 kWh	3.159.846,25 kWh	6.319.692,50 kWh	12.639.385,00 kWh
CO ₂ Emission	12,64 to CO ₂ /a	63,20 to CO ₂ /a	126,39 to CO ₂ /a	252,79 to CO ₂ /a
CO ₂ Kosten Strom	315,98 €	2.464,68 €	5.940,51 €	13.903,32 €
Jahresdurchschnitt	315,98 €	492,94 €	594,05 €	695,17 €

Verbrauchskostenprognose Wärme und Strom

In der folgenden Tabelle werden die zu erwartenden Energiebezugskosten des aktuellen Bestands auf Grundlage des gemittelten Verbrauches für Strom und Wärme von 2020 bis 2023 dargestellt.

2020

Strom	631.969,25 kWh	17,33 ct/kWh	109.520,27 €
Wärme	2.727.511,50 kWh	4,29 ct/kWh	117.010,24 €
			226.530,51 €

2021

Strom	631.969,25 kWh	17,33 ct/kWh	109.520,27 €
CO ₂ Strom	12,64 to CO ₂ /a	25 €/t CO ₂	315,98 €
Wärme	2.727.511,50 kWh	4,29 ct/kWh	117.010,24 €
CO ₂ Wärme	673 ,70 t CO ₂ /a	25 €/t CO ₂	16.842,38 €
			243.688,88 €

2022

Strom	631.969,25 kWh	17,33 ct/kWh	109.520,27 €
CO ₂ Strom	12 ,64 to CO ₂ /a	35 €/t CO ₂	442,38 €
Wärme	2.727.511,50 kWh	4,29 ct/kWh	117.010,24 €
CO ₂ Wärme	673 ,70 t CO ₂ /a	35 €/t CO ₂	23.579,34 €
			250.552,23 €

2023

Strom	631.969,25 kWh	18,15 ct/kWh	114.702,42 €
CO ₂ Strom	12,64 to CO ₂ /a	40 €/t CO ₂	505,58 €
Wärme	2.727.511,50 kWh	4,29 ct/kWh	117.010,24 €
CO ₂ Wärme	673 ,70 t CO ₂ /a	40 €/t CO ₂	26.947,81 €
			259.166,05 €

Aufgrund des gemittelten Strom- und Wärmeverbrauchs zeigen die Szenarien für die Jahre von 2021 bis 2023 deutlich erhöhte Bezugskosten von Wärme und Strom. Zur Steigerung tragen nicht nur erhöhte Bezugskosten der Energieträger bei, sondern auch die damit verbundene CO₂-Abgabe, welche erstmalig 2021 erhoben wird.

Die Energiekosten liegen daher im Jahr **2023** bereits um ca. **32.500,- €** höher als 2021.

Wärmebezug / Heizung - Einordnen des Bestandes zum Vergleich (Benchmark)

Damit die Varianten mit dem Bestand verglichen werden können, ist im Folgenden eine vereinfachte und sehr konservative Darstellung getroffen worden.

Eine Gegenüberstellung mit den tatsächlichen Verbräuchen der Jahre 2018 -2019 würde den Vergleich verzerren, daher wird der theoretische Verbrauch des Bestandes als Vergleichsgröße hergeleitet.

Diese Darstellung (Benchmark) vergleichen wir mit den zu gewichtenden Varianten in den folgenden Betrachtungen.

Wirtschaftliche Betrachtung und CO₂ Emission des Bestandes

Verbrauchsermittlung	Der Gesamtverbrauch der zentralen Kesselanlage beträgt gemäß Wärmemengenzähler im Durchschnitt der letzten zwei Jahre	2.211,00 MWh/a	
		2.211.000,00 kWh/a	
Verbrauchskosten	Für die Verbrauchskosten wurde ein mittlerer Gaspreis von 4,29 ct/kW angenommen CO ₂ -Steuer - bis 2025 / 25,00 €/t	94.851,90 €/a	
		12.160,50 €/a	
	Jahreskosten des Bestands	107.012,40 €/a	
	in 10 Jahren	1.070.124,00 €/a	
	in 15 Jahren	1.605.186,00 €/a	
CO ₂ -Betrachtung	Für die CO ₂ -Bilanz wurde der Wert 0,22 kg CO ₂ /kWh angenommen	486,42 t CO ₂	
		in 10 Jahren	4.864,20 t CO ₂
		in 15 Jahren	7.296,30 t CO ₂

Heizlastberechnung aufgrund modernisierter Gebäudesubstanz

Aufgrund der Gebäudemodernisierung ist zukünftig von einem geringeren Wärmebedarf auszugehen. Im Folgenden wird dieser aufgrund neuer, spezifischer Gebäudekennwerte und unter Berücksichtigung einer neuen Steuerung der Heizungsanlage (Nachtabsendkung) ermittelt:

Heizlastberechnung über spezifische Werte

60 W/m ²	anrechenbare Grundrissfläche Altbestand Schule	5.500,00 m ²
40 W/m ²	anrechenbare Grundrissfläche Erweiterung Schule	4.500,00 m ²
50 W/m ²	Mensa	400,00 m ²
	Heizlast - Summe Schule und Mensa	530,00 kW
60 W/m ²	Sporthalle	1.950,00 m ²
	Heizlast - Summe Sporthalle	117,00 kW
	Hallenbad gemäß Wärmebedarfsberechnung	86,00 kW
36.600 m ³ /h	Wärmebedarf aus Hallenbad Lüftung	119,46 kW
	Heizlast - Summe Hallenbad	205,46 kW
	Heizlast - Summe Kesselleistung	852,46 kW
	Jahresbedarf über Vollbenutzungsstunden	
1.200 h/a	Schulgebäude - die angenommenen Werte setzen eine Modernisierung der Regelungstechnik voraus	636.000,00 kWh/a
1.400 h/a	Sporthalle - die angenommenen Werte setzen eine Modernisierung der Regelungstechnik voraus	163.800,00 kWh/a
	Sporthalle - Warmwasserbereitung gemäß Jahresverbrauch	22.250,00 kWh/a
	Schwimmhalle - gemäß Jahresverbrauch	842.560,00 kWh/a
	Summe Jahresbedarf	1.664,61 MW/a

Bei den weiteren Betrachtungen wird dementsprechend von dem oben genannten Jahresbedarf zur Wärmeversorgung ausgegangen.

Variante 3 – Ersatz der 3 Erdgas Niedertemperaturkessel durch 2 Pelletkessel (Wärmeerzeugung)

Vorbemerkung

Aus der Bestandsanalyse geht die CO₂-Emission durch die Verbrennung des fossilen Energieträgers Erdgas hervor. Diese ist nicht nur klimaschädlich, eine solche Emission läuft auch den Emissionszielen für den Gebäudebestand entgegen. Diese Bundesziele leiten sich aus dem Pariser Klimaschutzabkommen ab. Für die gesamte Betriebszeit der Anlage, die auf ca. 20 – 40 Jahre ausgelegt ist, führen fossile Energieträger nicht nur zu steigenden und damit zukünftig erheblichen Betriebskosten, sondern möglicherweise zu einer verkürzten Lebensdauer der Anlagentechnik. Es besteht das Risiko, dass es rechtlich zwingend, oder rentabel werden könnte, CO₂-Belastung im Gebäudebestand entweder erheblich zu mindern, oder gar zu eliminieren.

Bereits jetzt halten Gemeinden im Zuge des „Klima Managements“ auch ihre CO₂-Emission fest und bilanzieren diese. Eine Anlagentechnik mit CO₂-Emissionen muss daher solide begründet sein.

Andererseits folgt daraus auch eine Gegenüberstellung einer alternativen Technologie ohne, oder mit geringster CO₂-Emission. Diese Alternative ist mittels nachwachsender Rohstoffe darstellbar.

Nachwachsende Rohstoffe binden CO₂ aus der Atmosphäre mittels Sonnenenergie und setzen somit das CO₂ frei, welches sie kurzzeitig gebunden haben – bilanziell sind sie fast CO₂ neutral. Lediglich die Verarbeitung und Logistik erfordert noch einen zusätzlichen, aber sehr geringen CO₂ Einsatz.

Allgemeine Beschreibung der Technik

Die hier betrachtete Variante für nachwachsende Rohstoffe ist eine Pellets-Anlage. Der Rohstoff wird aus Abfällen der Holzindustrie gewonnen. Der Betrieb einer Pellets-Anlage erfordert ein Brennstofflager. Als Lagerraum bietet sich das derzeitige Öllager an, das sich direkt neben der vorhandenen Heizzentrale befindet, in welcher die Holzpelletsheizung installiert werden kann.

Die Öltanks der alten Heizungsanlage wurden 2020 bereits rückgebaut.

Das dadurch entstehende Raumvolumen wird zum Lagerraum für Pellets umgerüstet.

Es wird eine Pellets Kaskadenanlage mit zwei Pelletkesseln vorgeschlagen.

Mit einem Austragsystem werden die Pellets vom Lagerraum aus zu den Kesseln geführt.

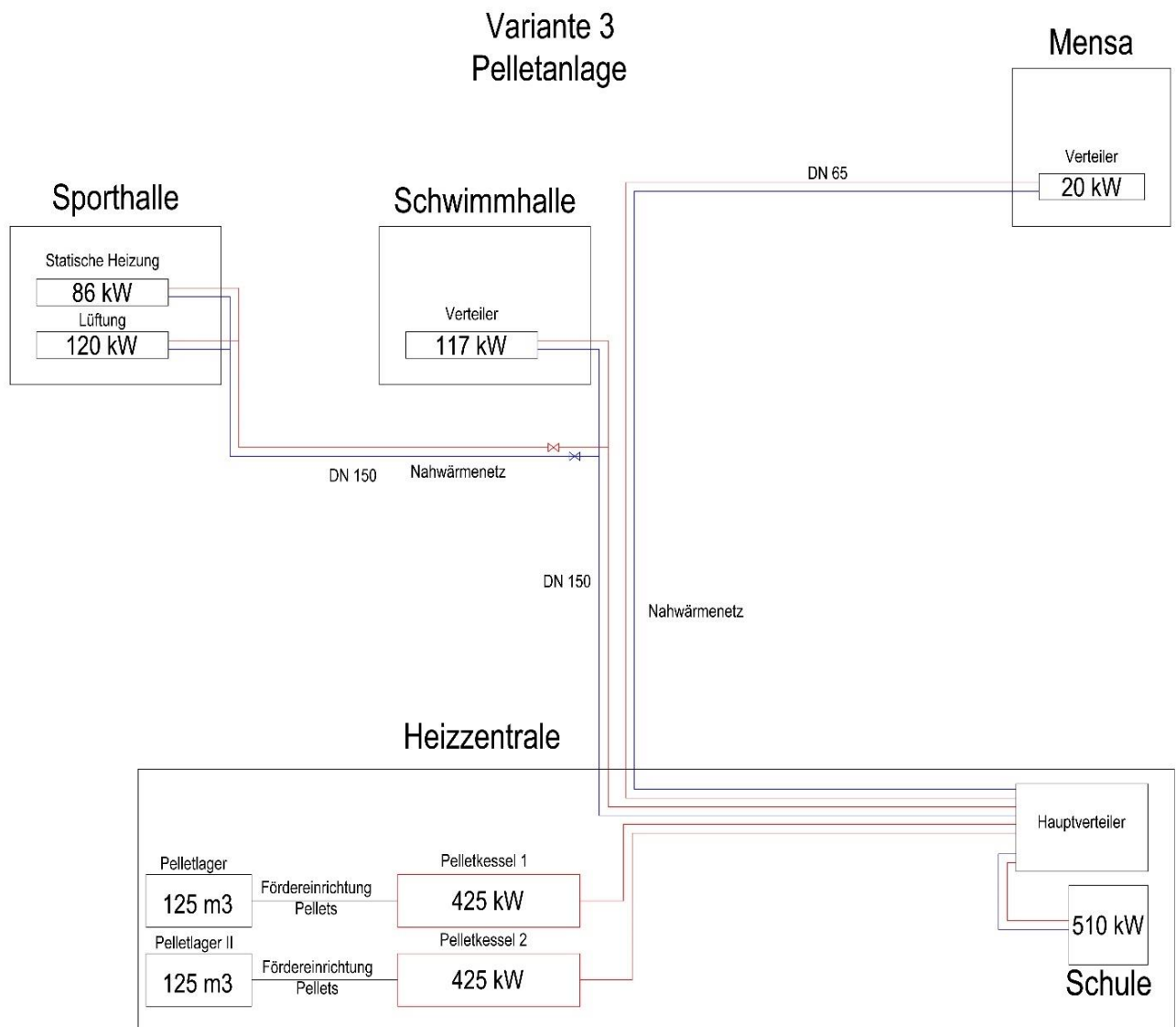
Jeder Kessel ist an einen Lagerraum angeschlossen.

Da Pellets zu den CO₂-neutralen Brennstoffen gehören, fällt bei dieser Anlage kein anrechenbarer CO₂-Ausstoß an.

Das vorhandene Nahwärmenetz kann - wie vorhanden - weiter genutzt werden.

Alle Arbeiten finden ausschließlich in der Heizzentrale statt.

TGA Schema Pelletkessel



Wirtschaftliche Betrachtung

Variante 3	Pellet Anlage	
Anlage	Pellets Kaskadenanlage mit zwei Pelletkesseln, Kesselleistung	850,00 kW
Investitionskosten	Pellet Anlage mit Lager und Fördertechnik	302.000,00 €
Verbrauchsermittlung	Der Gesamtverbrauch der zentralen Kesselanlage beträgt	1.664,61 MWh/a 1.664.610,00 kWh/a
	Brennstoff-Jahresbedarf an Pellets, benötigtes Lagervolumen	475,60 m ³
	Das zur Verfügung stehende Lagervolumen beträgt netto 250m ³ .	2 Füllungen/a
Verbrauchskosten	Für die Verbrauchskosten wurde ein mittlerer Pellets Preis von 4,10 ct/kWh angenommen	68.249,01 €/a
	CO ₂ Steuer 25,00 €/t	- €/a
	Verbrauchskosten im Jahr für Wärme	<u>68.249,01 €/a</u>
	in 10 Jahren	682.490,10 €
	in 15 Jahren	1.023.735,15 €
CO ₂ Betrachtung	Pellets zählen zu den CO ₂ neutralen Brennstoffen	- t CO ₂
CO ₂ Einsparung gegenüber Bestand		486,42 t CO₂
	in 10 Jahren	4.864,20 t CO₂
	in 15 Jahren	7.296,30 t CO₂
Finanzielle Einsparung	Verbrauchskosteneinsparung gegenüber Bestand	38.763,39 €/a
	in 10 Jahren	387.633,90 €
	in 15 Jahren	581.450,85 €

WICHTIG!

Da beim Einkauf der Pellets keine Verhandlungspreise vorliegen, wurde mit einer Pelletspreis-Annahme kalkuliert. Diese wurde unterhalb des mittleren Einkaufspreises der Stadt Geilenkirchen für Erdgas angenommen.

Typischerweise liegen Pelletspreise unter den Erdgaspreisen.

Es ist somit bei Aufträgen in der prognostizierten Größenordnung von signifikant niedrigeren Brennstoffkosten auszugehen.

Dies ist aber eine Annahme und fußt auf dem niedrigsten, gefundenen Preis einer Internetrecherche.

Ohne diese Annahme läge der Pelletspreis auf dem gleichen Niveau, wie der ausgehandelte Erdgaspreis! Eine konservative Annahme mit gleichen Brennstoffkostenpreisen pro kWh würde in der Amortisation zu einer Verlängerung von lediglich ca. 3 Monaten führen.

Variante 4 – BHKW mit ergänzender Spitzenlasttechnik durch zwei Pelletkessel (Wärme- und Stromerzeugung)

Allgemeine Beschreibung der Technik

Die hier betrachtete Variante ist eine Kombination aus einer Pelletanlage und einer Kraftwärmekopplung in Form eines Blockheizkraftwerks. Die Pelletanlage wird wie in Variante 3 beschrieben ausgeführt. Zusätzlich zur Pelletanlage wird ein BHKW eingeplant.

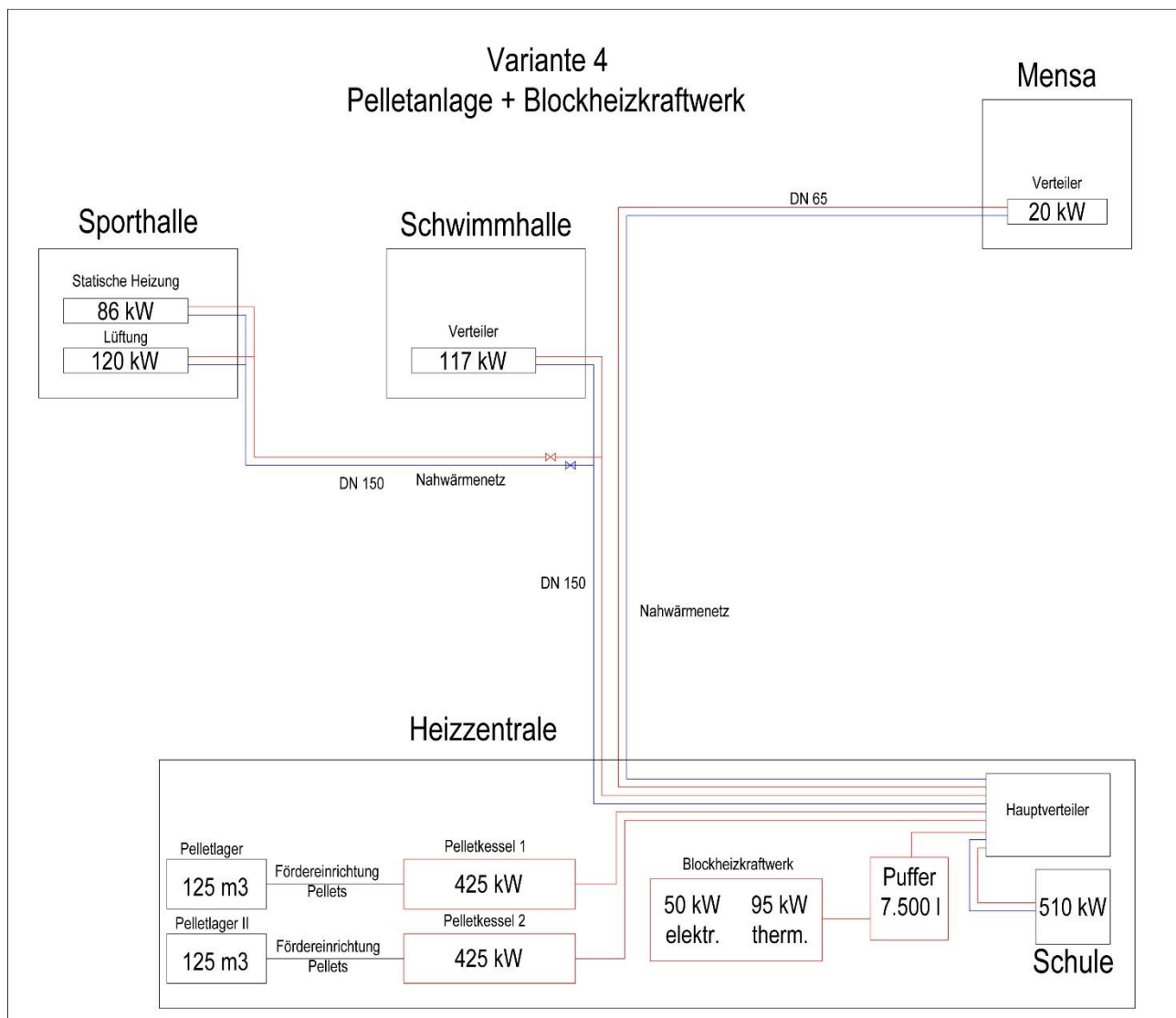
Für das BHKW wurde eine idealisierte thermische Leistung von 95 kW ermittelt.

Dies entspricht einer elektrischen Leistung von 50 kW.

Das vorhandene Nahwärmenetz kann - wie vorhanden- weiter genutzt werden.

Alle Arbeiten finden ausschließlich in der Heizzentrale statt.

TGA Schema BHKW und Spitzenlast-Pelletkessel



Wirtschaftliche Betrachtung

Variante 4		Pellet Anlage mit Blockheizkraftwerk	
Anlage	<p>Die Kombination aus einer Pellet Anlage und einer Kraftwärmekopplung in Form eines Blockheizkraftwerks.</p> <p>Die Pellet Anlage wird wie in Variante 3 beschrieben ausgeführt.</p> <p>Zusätzlich zu der Pellet Anlage wird ein BHKW eingeplant.</p> <p>Für das BHKW wurde eine idealisierte thermische Leistung von 95 kW ermittelt.</p> <p>Dies entspricht einer elektrischen Leistung von 50 kW</p> <p>Das vorhandene Nahwärmenetz kann wie vorhanden weiter genutzt werden.</p> <p>Alle Arbeiten finden ausschließlich in der Heizzentrale statt.</p>		
Investitionskosten	Pellet Anlage	302.000,00	€
	BHKW	150.000,00	€
	Summe Invest	452.000,00	€
Verbrauchsermittlung	Der Gesamtverbrauch der zentralen Kesselanlage beträgt	1.664,61	MWh/a
		1.664.610,00	kWh/a
	Anteil Pellet Anlage	1.094.610,00	kWh/a
	Anteil BHKW thermisch 95 kW	570.000,00	kWh/a
	Anteil BHKW elektrisch 50 kW	300.000,00	kWh/a
	Summe BHKW	870.000,00	kWh/a
	Um den Jahresbedarf an Pellets zu decken, wird ein Lagervolumen von 313 m ³ benötigt	312,75	m ³
	Das zur Verfügung stehende Lagervolumen beträgt netto 250m ³	2	Füllungen/a
Verbrauchskosten	Für die Verbrauchskosten wurde ein mittlerer Pellet Preis von 4,10 ct/kWh angenommen	44.879,01	€/a
	Verbrauchskosten für den therm. Anteil des BHKW bei einem Gaspreis von 4,29 ct/kWh angenommen	24.453,00	€/a
	Für die Stromerzeugung bei 6.000 Vollbenutzungsstunden betragen die Erzeugungskosten	12.870,00	€/a
	Wartungskosten 3,00 ct/kW	9.000,00	€/a
	Der Gesamtgasverbrauch des BHKW beträgt	870.000,00	kWh/a

CO ₂ Betrachtung thermisch BHKW	Für die CO ₂ Bilanz des BHKW wurde der Wert 0,22 kg CO ₂ /kWh angenommen	125,40 t CO ₂
CO ₂ Betrachtung elektr. BHKW	Für die CO ₂ Bilanz des BHKW wurde der Wert 0,22 kg CO ₂ /kWh angenommen	66,00 t CO ₂
CO ₂ Betrachtung BHKW gesamt	Für die CO ₂ Bilanz des BHKW wurde der Wert 0,22 kg CO ₂ /kWh angenommen	191,40 t CO ₂
	in 10 Jahren	1.914,00 t CO ₂
	in 15 Jahren	2.871,00 t CO ₂
CO ₂ Einsparung gegenüber Bestand		295,02 t CO₂
	in 10 Jahren	2.950,20 t CO ₂
	in 15 Jahren	4.425,30 t CO ₂
	CO ₂ Steuer 25,00 €/t	4.785,00 €/a
	Energiesteuerentlastung für Gas Bezug 0,55 ct/kWh	-4.785,00 €/a
	Verbrauchskosten im Jahr für Wärme und Stromerzeugung	91.202,01 €/a
	in 10 Jahren	912.020,10 €
	in 15 Jahren	1.368.030,15 €
Finanzielle Einsparung	Verbrauchkosteneinsparung gegenüber Bestand	15.810,39 €/a
	in 10 Jahren	158.103,90 €
	in 15 Jahren	237.155,85 €

Da die Kosten für den Betrieb, aber nicht der Ertrag (aus Strom) des BHKWs dargestellt ist, erscheint die Verbrauchskosten-Einsparung gering. Eine realistische und damit umfassende Betrachtung (Seite 47) ist nur unter Berücksichtigung der Stromertragsseite möglich. Diese wiederum ist in Abhängigkeit zum Betriebskonzept (Stromproduktion / Verwertungsart / Mess-/ Schaltkonzept / Einspeisevergütung) zu sehen.

Variante 6 – Ersatz der 3 Erdgas-Niedertemperaturkessel durch Pellet Anlage mit BHKW und Luftwärmepumpe für Schwimmhalle

Vorbemerkung

Für Schwimmbäder mit ihrem großen Wasservolumen, und gerade für Wassertemperaturen um 27°, ist die Wärmepumpentechnologie ideal, da die Spreizung zwischen dem zu leistenden Vorlauf und dem zur Verfügung stehenden Wärmereservoir (hier Abluft in der notwendigen Lüftung) gering ist.

In Kombination mit einer regenerativen Energiequelle bieten sich gute Potentiale.

Wärmepumpen nutzen Umweltenergie zur Wärmegegewinnung. Zur Nutzung benötigen diese elektrische Energie. Das Verhältnis von Strom zur Wärmeerzeugung wird entweder als COP-Faktor (Coefficient of Performance-Faktor) umschrieben. Dieser beschreibt das Verhältnis der abgegebenen Heizleistung einer Wärmepumpe zur aufgewendeten elektrischen Leistung des Verdichters.

Eine alternative Kennzahl ist die JahresArbeitsZahl (JAZ). Die JAZ beschreibt das Verhältnis zwischen der jährlich bereitgestellten Wärmemenge und der jährlich eingesetzten Strommenge. Je größer diese Zahl, umso effektiver generiert das Gerät Wärme aus der Umwelt mittels Strom. Nachfolgende Wärmepumpentypen zeigen dabei folgende typische JAZ-Werte:

Luft-Wärmepumpen (LWP) zeigen eine relativ gleichmäßige Verteilung der JAZ im Bereich zwischen 1,9 und 3,3. Im Mittel liegt hier die JAZ bei 2,6, der COP liegt bei bis zu 4,4 (4,4 kWh Wärme durch 1 kWh Strom).

Erdreich-Wärmepumpen zeigen eine Verteilung der JAZ im Bereich zwischen zwischen 2,0 und 4,6. Im Mittel liegt die JAZ bei 3,2, der COP liegt bei > 5 (5 kWh Wärme werden mit ca. 1kWh Strom erstellt)

Wasser-Wärmepumpen zeigen eine JAZ zwischen 2,7 und 4,4; im Mittel beträgt sie somit 3,2.

Allgemeine Beschreibung der Technik

Weil in der Schwimmhalle ganzjährig niedertemperiertes Wasser gebraucht wird, kann zu dessen Erzeugung eine Luftwärmepumpe eingesetzt werden.

In dieser Variante werden für den Winter- und Übergangsbetrieb Pelletskessel betrieben. Vorteilhaft ist, dass im Sommer- bzw. Übergangsbetrieb (Außentemperatur >20°C) die Beckenwassertemperatur und die Lüftungsanlagen über die LWP versorgt werden können und die Pelletanlage abgeschaltet werden kann.

Das BHKW übernimmt sowohl die Wärmeversorgung für Dusch- und Beckenwasser, wie auch die Stromversorgung für die Luftwärmepumpe. Ein Großteil des Stroms zum Betrieb der Luftwärmepumpe kann über das BHKW und insbesondere im Sommer über eine Photovoltaikanlage gewonnen werden. Die energiehaltige Fortluft des Schwimmbads wird als Wärmequelle genutzt.

In der vorhandenen Heizzentrale wird eine Holzpellettheizung mit BHKW installiert.

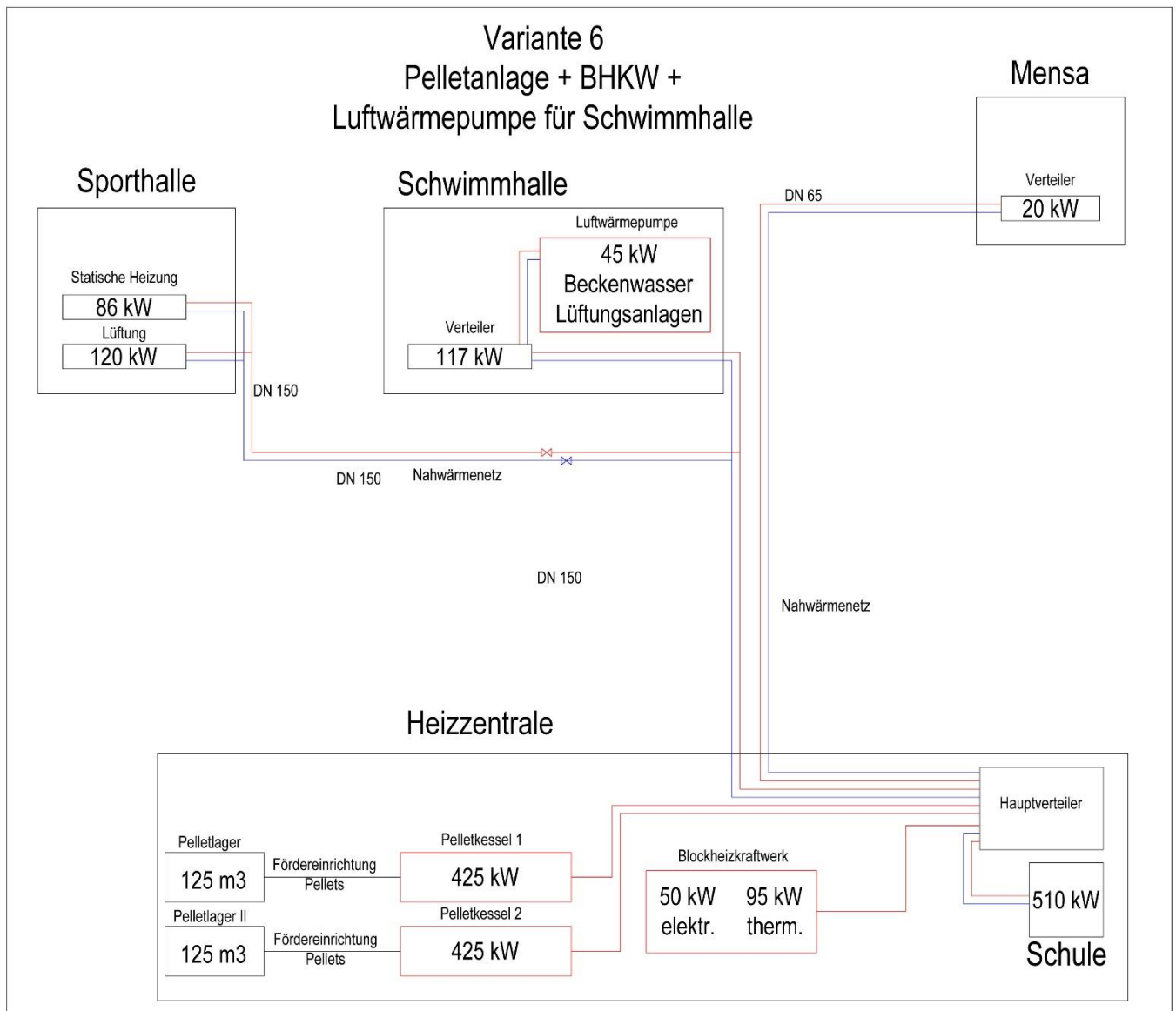
In der Schwimmhalle wird eine Luft-Wärmepumpe (LWP) mit 45 kW Leistung installiert.

Die Pelletanlage mit BHKW wird wie unter Variante 4 beschrieben ausgeführt.

Die Luftwärmepumpe wird auf oder neben der Schwimmhalle installiert.

Innerhalb der Schwimmhalle werden Umschlusarbeiten für die Einbindung in das Bestandsheizungsnetz erforderlich. Das vorhandene Nahwärmenetz kann wie vorhanden weiter genutzt werden.

TGA Schema Pellet Anlage, Luftwärmepumpe für Schwimmhalle und Gastherme



Variante 6		Pellet Anlage mit BHKW + Luftwärmepumpe für Schwimmhalle	
Allgemeine Beschreibung der Technik	Pelletkessel,	850,00	kW
	Kraftwärmekopplung als Gasblockheizkraftwerks,	95 th / 50 el	kW
	Luftwärmepumpe	45	kW
Investitionskosten	Pellet Anlage mit Lager und Fördertechnik	302.000,00	€
	BHKW 90 kW einschl. Abgasrohr	150.000,00	€
	Luftwärmepumpe 45 kW einschl. Einbindung	68.000,00	€
Summe Invest		520.000,00	€
Verbrauchsermittlung	Der Gesamtverbrauch der zentralen Kesselanlage beträgt	1.664.610,00	kWh/a
	Anteil BHKW thermisch 95 kW	570.000,00	kWh/a
	Anteil BHKW elektrisch 50 kW	300.000,00	kWh/a
	Summe BHKW	870.000,00	kWh/a
	Ermittelter Verbrauch der Schwimmhalle für Lüftung, Verdunstung und Auskühlung der Becken. Dieser Anteil kann über eine LWP gedeckt werden.	365.250,00	kWh/a
	Stromeinsatz der LWP bei einem mittleren COP von 4,40	83.011,36	kWh/a
	Pellets Verbrauch unter Berücksichtigung von LWP und BHKW	729.360,00	kWh/a
	Um den Jahresbedarf an Pellets zu decken, wird ein Lagervolumen von 208 m ³ benötigt.	208,39	m ³
	Das zur Verfügung stehende Lagervolumen beträgt netto 250m ³ .	1	Füllung /a
	Für die Verbrauchskosten wurde ein mittlerer Pellets Preis von 4,10 ct/kWh angenommen	29.903,76	€/a
Verbrauchskosten	Verbrauchskosten für den therm. Anteil des BHKW bei einem Gaspreis von 4,29 ct/kWh angenommen	24.453,00	€/a
	Für die Stromerzeugung bei 6.000 Vollbenutzungstunden betragen die Erzeugungskosten	12.870,00	€/a
	Werbungskosten 3,00 ct/kW	9.000,00	€/a
	Stromkosten der LWP ohne Berücksichtigung von Photovoltaikanlage bei einem Strompreis von 18,00 ct/kWh	14.942,05	€/a
CO ₂ Betrachtung	Pellets und Ökostrom zählen zu den CO ₂ neutralen Brennstoffen	-	t CO ₂
CO ₂ BHKW nur thermisch	Für die CO ₂ Bilanz des BHKW wurde der Wert 0,22 kg CO ₂ /kWh angenommen	125,40	t CO ₂
CO ₂ BHKW nur elektrisch	Für die CO ₂ Bilanz des BHKW wurde der Wert 0,22 kg CO ₂ /kWh angenommen	66,00	t CO ₂

CO ₂ BHKW gesamt	Für die CO ₂ Bilanz des BHKW wurde der Wert 0,22 kg CO ₂ /kWh angenommen	191,40 t CO ₂
	in 10 Jahren	1.914,00 t CO ₂
	in 15 Jahren	2.871,00 t CO ₂
CO₂ Einsparung gegenüber Bestand		295,02 t CO₂
	in 10 Jahren	2.950,20 t CO ₂
	in 15 Jahren	4.425,30 t CO ₂
	CO ₂ Steuer 25,00 €/t	4.785,00 €/a
	Energiesteuerentlastung für Gas Bezug 0,55 ct/kWh	-4.785,00 €/a
	Verbrauchskosten im Jahr für Wärme und Stromerzeugung	91.168,81 €/a
	in 10 Jahren	911.688,05 €
	in 15 Jahren	1.367.532,08 €
Finanzielle Einsparung	Verbrauchskosteneinsparung gegenüber Bestand	15.843,59 €/a
	in 10 Jahren	158.435,95 €
	in 15 Jahren	237.653,92 €

Vergleich der Varianten Wärmeversorgung / Zusammenfassung

Zusammenfassung

	Bestands- kesselanlage		Variante 3 Pellet Anlage	Variante 4 Pellet Anlage + BHKW	Variante5 Pellet Anlage + Gastherme + LWP	Variante 6 Pellet Anlage + BHKW + LWP
CO ₂ thermisch	486,42	t/a	- t/a	125,40 t/a	3,30 t/a	125,40 t/a
CO ₂ elektrisch	-	t/a	- t/a	66,00 t/a	- t/a	66,00 t/a
Summe CO ₂	486,42	t/a	- t/a	191,40 t/a	3,30	191,40 t/a
Summe Verbrauchskosten	107.012,40	€/a	68.249,01	91.202,01	68.326,81	91.168,81
Davon: CO ₂ Steuer 25 €/t	12.160,50	€/a	- €/a	4.785,00 €/a	82,50 €/a	4.785,00 €/a
Summe jährliche Einsparung exkl. Einsparungen durch Stromeigenversorgung			38.763,39 €/a	15.810,39 €/a	38.685,59 €/a	15.843,59 €/a
Investition			302.000,00 €	452.000,00 €	384.500,00 €	520.000,00 €
Einsparung in 10 Jahren			387.633,90 €	158.103,90 €	386.855,95 €	158.435,95 €
Einsparung in 15 Jahren			581.450,85 €	237.155,85 €	580.283,92 €	237.653,92 €

Interpretation und Zwischenergebnis Wärmerzeugung – Ausschluss der Variante 5 – Ersatz durch optimierte Variante

Der Variantenvergleich berücksichtigt noch keine zusätzliche Maßnahmen der Energiegewinnung, weder durch ein BHKW, noch durch Erneuerbare Energien, wie Photovoltaik.

Unter der Prämisse geringer Verbrauchskosten, zeichnen sich die Varianten 3 und 5 mit den höchsten jährlichen Einsparungen aus.

Die Varianten 4 + 6 erfordern die größten Investitionen und erscheinen wenig lukrativ aufgrund des geringen Einsparpotentials, da die Stromeinsparungen hier noch nicht berücksichtigt sind.

Die Variante 5 ist hier aus Vergleichsgründen aufgeführt.

Diese Variante wurde ursprünglich nicht weiter verfolgt. Ausschlaggebend für den Ausschluss waren die hohen Investitionskosten und komplexe Anlagentechnik und die geringen Einsparpotentiale insgesamt. Dies wird sich in der Gesamtbetrachtung inkl. Stromkosten und Stromgewinne (Seite 47) zeigen.

Da der Auftraggeber auf eine Wärmepumpenalternative besteht, wurde die Konzeption optimiert und daraus Variante 6 konfiguriert.

In dieser Variante wird der Gasbrennwertkessel durch ein BHKW ersetzt, das Strom erzeugt. Dieser wird auch für die Luftwärmepumpe genutzt.

Da Förderprogramme alternative Energiekonzepte unterstützen, diese aber auch Bedingungen für den Betrieb der Anlagen definieren, folgen weitere Betrachtungen. Diese betreffen den Betrieb und die Stromerzeugung.

Daher wird im Folgenden der Betrieb der Anlagen-Varianten unter Berücksichtigung von Förderprogrammen und deren Förderbedingungen abgebildet. Dies ist in den bisherigen Betrachtungen nicht erfolgt.

Die Variante 5 ist daher noch aus Vergleichsgründen aufgeführt. Somit ist auch eine bessere Einordnung der Variante 6 möglich.

Die neue alternative Betrachtung (Variante 6) einer Wärmepumpe unter dem Gesichtspunkt einer zusätzlichen preiswerten Stromproduktion mittels BHKW und der PV, sowie die Nutzung der BHKW Abwärme für das Duschwasser zeichnen diese alternative Wärmepumpenvariante aus. Sie kompensieren Nachteile der Variante 5 und verbessern die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpe im definierten Betrieb erheblich.

Zukünftige Stromversorgung und Einspeisevergütung

Zur Zeit bezieht das Ensemble der Anita Lichtenstein Gesamtschule den gesamten Strombedarf aus dem öffentlichen Netz.

Zur Senkung der Strombezugskosten ist eine Eigenversorgung insbesondere mit einer Photovoltaikanlage auf den vorhandenen Dachflächen wirtschaftlich sinnvoll. Strom, der mithilfe der Photovoltaik erzeugt wird, kann fast zur Gänze innerhalb des Gebäudeensembles verbraucht werden, da die Zeit der Stromproduktion tagsüber mit der Nutzungszeit des Gebäudes zusammenfällt. Photovoltaik liefert insbesondere im Sommer, aber auch schon im Frühjahr und Herbst emissionsfreien Strom in signifikanter Größenordnung. Wird dieser direkt als Eigenverbrauch abgenommen, erzielt man den größtmöglichen Einspareffekt. Eine Einspeisung des Überschussstroms in das öffentliche Stromnetz wird zwar vergütet, ist aber wirtschaftlich weniger attraktiv. Zum einen erhalten kleinere Anlagen höhere Einspeisevergütungen als größere, zum anderen sinkt die Vergütung für Neuanlagen kontinuierlich, wird aber für 20 Jahre ab der Inbetriebnahme garantiert. Pro kWh in das öffentliche Netz eingespeisten Strom, werden z.Zt. (März 2021), zum Beispiel für eine Anlage mit einer Leistung von 100 kWp, 7,92 ct/kWh vergütet.

siehe Tabelle rechts:
(Quelle Solaranlagenportal)

Einspeisevergütung im März 2021

- Im März 2021 liegt die aktuelle Einspeisevergütung bei 7,92 Cent pro Kilowattstunde bei Anlagen mit weniger als 10 kWp.
- Für größere Anlagen liegt die aktuelle Einspeisevergütung bei 7,70 Cent pro kWh (Anlagen kleiner als 40 kWp).
- Sie erhalten 6,04 Cent pro kWh bei Anlagen größer als 40 kWp.

Inbetriebnahme im Monat	Anlagentyp	Nennleistung der PV-Anlage (kWp)	Einspeisevergütung (Cent/kWh)
Januar 2021	Anlage auf Wohngebäuden, Lärmschutzwänden und Gebäuden nach § 48 Abs. 3 EEG	bis 10	8,16
		>10 bis 40	7,93
		>40 bis 750	6,22
	sonstige Anlagen	bis 750	5,61
Februar 2021	Anlage auf Wohngebäuden, Lärmschutzwänden und Gebäuden nach § 48 Abs. 3 EEG	bis 10	8,04
		>10 bis 40	7,81
		>40 bis 750	6,13
	sonstige Anlagen	bis 750	5,53
März 2021	Anlage auf Wohngebäuden, Lärmschutzwänden und Gebäuden nach § 48 Abs. 3 EEG	bis 10	7,92
		>10 bis 40	7,70
		>40 bis 750	6,04
	sonstige Anlagen	bis 750	5,44
April 2021	Anlage auf Wohngebäuden, Lärmschutzwänden und Gebäuden nach § 48 Abs. 3 EEG	bis 10	7,81
		>10 bis 40	7,59
		>40 bis 750	5,95
	sonstige Anlagen	bis 750	5,36

<https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/wirtschaftlichkeit/einspeiseverguetung>

Auf Basis des jährlichen Zubaus an Photovoltaikleistung wird die Degression der Einspeisevergütung gesteuert. Prinzipiell sinkt die Vergütung um 0,4 % monatlich (Basisdegression).

Diese Basisdegression wird abhängig vom Zubau weiter erhöht oder ausgesetzt. Voraussetzung für diese Modifikation ist dass der Jahreszubau an Photovoltaik Leistung in Deutschland innerhalb eines bestimmten Zubaukorridors (aktuell 2.500 Megawatt) erfolgt. Bei hohem Zubau (2500 MW - 4000 MW pro Monat) verringert sich diese um bis zu 2,5 % je Quartal (§ 49 EEG 2021).

Je größer der nationale Zubau an PV innerhalb eines Quartals ist, desto geringer wird im Folgequartal der eingespeiste Strom vergütet. In jedem Fall sinkt die Vergütung aber pro Quartal um 0,4%. Diese Vergütung ist dann für 20 Jahre garantiert.

Insofern ist der Eigenverbrauch des PV Stromes attraktiv und erspart dagegen den Strombezug in Höhe von aktuell (2022) 17,33 ct/kwh und ab 2023 18,15 ct/kWh.

Die vorausschauende Bilanzierung des Stromertrags (in Euro) ist aus genannte Gründen für eine Rentabilitätsberechnung leider schwer vorhersehbar.

In den folgenden Betrachtungen ist die Vergütung des PV-Stroms daher niedrig mit 5,4 (5,36) ct/kWh angesetzt. Es ist mit einem Vorlauf (Beschlussfassung, Planung, Ausschreibung, Umsetzung, Inbetriebnahme) zur Umsetzung von min. 1 Jahr ausgehen. Prinzipiell ist erkennbar, dass bei einer Entscheidung zur Umsetzung einer PV Anlage die Projektlaufzeit unmittelbaren Einfluss auf den Ertrag (die Einspeisevergütung) der Anlage haben wird.

Die vorhandenen Dachflächen bieten Platz für eine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von ca. 450 kWp. Diese „maximale“ Auslegung ist vorsichtig und berücksichtigt weder detailliert die Flächenpotentiale, noch neuere Hochleistungsmodule.

Allerdings wäre der vorhandene Trafo nicht ausreichend stark dimensioniert, um diese Leistung - insbesondere an Wochenenden - wenn örtlich kein oder nur wenig Strom verbraucht wird, oder bei starker Sonneneinstrahlung in das öffentliche Netz abzuführen. Wir gehen davon aus, daß eine PV-Anlage mit einer Größe von 100 kWp über den vorhandenen Trafo abgeführt werden könnte.

In Kombination mit einem BHKW kann ein Großteil des Strombedarfs des Ensembles durch Eigenerzeugung gedeckt, der Netzbezug minimiert werden und damit auch sehr hohe Autarkiegrade erreicht werden.

Die PV-Anlage kann mit einem Batteriespeicher ergänzt werden, um Phasen geringer Stromerzeugung zu überbrücken. Batteriespeicher sind zur Zeit noch relativ teuer, hier ist zum einen mit einer Preisreduzierung zu rechnen, zum anderen wird diese Technologie durch aktuelle Förderprogramme unterstützt, sodass diese auch wirtschaftlich sinnvoll ist. Flächen für die Einrichtung der Wechselrichter und des möglichen Batteriespeichers wären im Keller der Gesamtschule vorhanden.

Mithilfe von Computer-Simulation wurden nicht nur verschieden PV-Anlagen in unterschiedlichen Leistungsklassen und für die verschiedenen Varianten simuliert, sondern insbesondere der Betrieb einer PV - Anlage mit Speicher in Kombination mit einem BHKW betrachtet. Die Simulation wurde unter Berücksichtigung der Förderbestimmungen zu einer Optimierung des Eigenverbrauchs von PV-Strom genutzt.

Die Ergebnisse befinden sich in der Tabelle „Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Variantenergebnisse“ auf Seite 47.

In der Tabelle sind die Varianten 3-6 zur Wärmeerzeugung mit verschiedenen Ausbaustufen zur Stromerzeugung durch Photovoltaik (PV) mit den Investitionskosten, der CO₂-Emission, Verbrauchskosten, Einsparung und Ertrag, zusammengefasst.

Förderung – Förderprogramme

Ein weiteres wesentliches Kriterium zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind Förderprogramme, die diverse Schwerpunkte setzen und damit bestimmte Technologien stützen.

Im Folgenden sind derzeit aufgelegte Förderprogramme dargestellt. Diese sollen den Ausbau Erneuerbarer Energien fördern und damit zur Minderung von CO₂-Emissionen motivieren.

Das Land NRW fördert insbesondere durch das Programm Progress NRW Photovoltaikanlagen mit Speicher mit bis zu 350.000,- €:

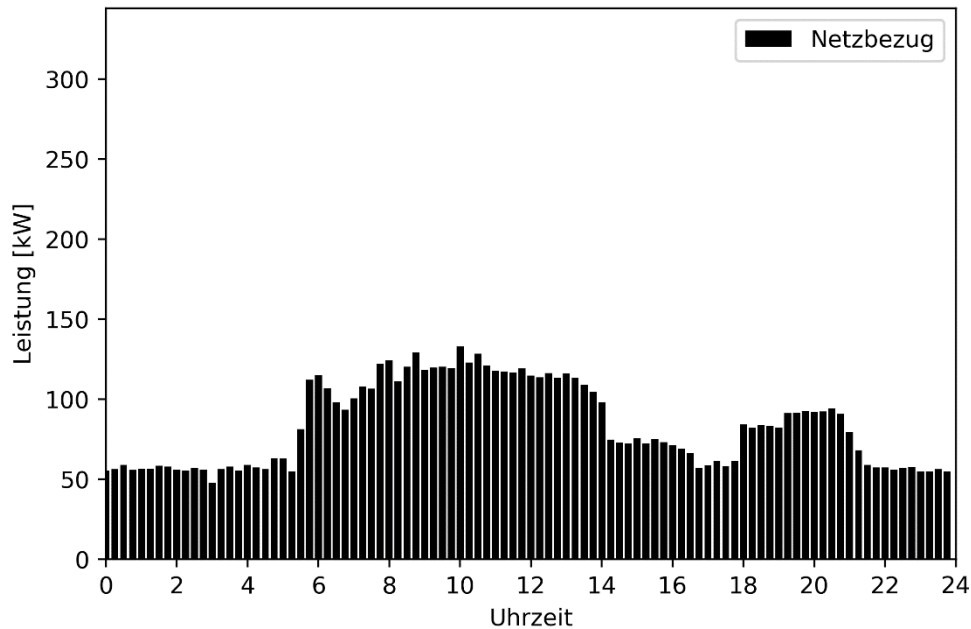
Tabelle – Förderprogramme 2021

Förderprogramm		Fördergegenstand	Förderung	Max Förderung	Anforderung
Progress.nrw	6.1.4	PV Dachanlagen auf kommunalen Gebäuden mit einem Batteriespeicher	90%	350.000,00 €	Dachanlage + Speicher zum Eigenverbrauch Einspeisung max. 20 %!
Progress.nrw	6.1.5	Beratungsleistungen zum PV Ausbau	90%	40.000,00 €	Machbarkeitsstudien, Wirtschaftlichkeits-Analysen, Vorplanungsstudien und Voruntersuchungen der Statik und Standsicherheit
Progress.nrw - Klimaschutztechnik	6.2.3.1		2.000,00 €	2.000,00 €	in Verbindung mit PV o. Solarthermie, Hauptheizung und Wassergeführt Speicher 30 kW pro /KW
Progress.nrw - Klimaschutztechnik	6.2.2	90€ / qm Bruttokollektorfläche			1 qm br. Kollektorfl. / 10 qm "Gewerbe / Wohnfläche" als Hauptheizung...u. Speicher 30 l/KW
BaFa		Solarthermie	30%	30%	Für Kommunen! bestimmte förderfähige Kosten / Liste Förderfähige Solarthermieanlagen
BaFa		Austauschprämie für Gas	40%	40%	Privatpersonen / Gewerbe - Kommunen Liste Förderfähige Biomasseanlagen
BaFa		Austauschprämie für Öl	45%	45%	Privatpersonen / Gewerbe - Kommunen Liste Förderfähige Biomasseanlagen
BaFa		Förderung Biomassen / bestimmte Anlagen - Nach Liste	35%	35%	Für Kommunen! bestimmte förderfähige Kosten / Liste Förderfähige Biomasseanlagen
BaFa		Förderung Wärmepumpen / bestimmte Anlagen - Nach Liste	35%	35%	Für Kommunen! bestimmte, definierte förderfähige Kosten / Luft Wasser WP: JAZ > 3,5; Liste Förderfähige Wärmepumpen
BaFa		Förderung effizienter Wärmepumpen / bestimmte Anlagen - Nach Liste	35%	35%	Für Kommunen! - bestimmte, definierte förderfähige Kosten + „SPF-SHP“ Wert ähnl. COP/JAZ

Kein Anspruch auf Vollständigkeit!

Festlegung der Photovoltaik Anlagen- und Speichergröße

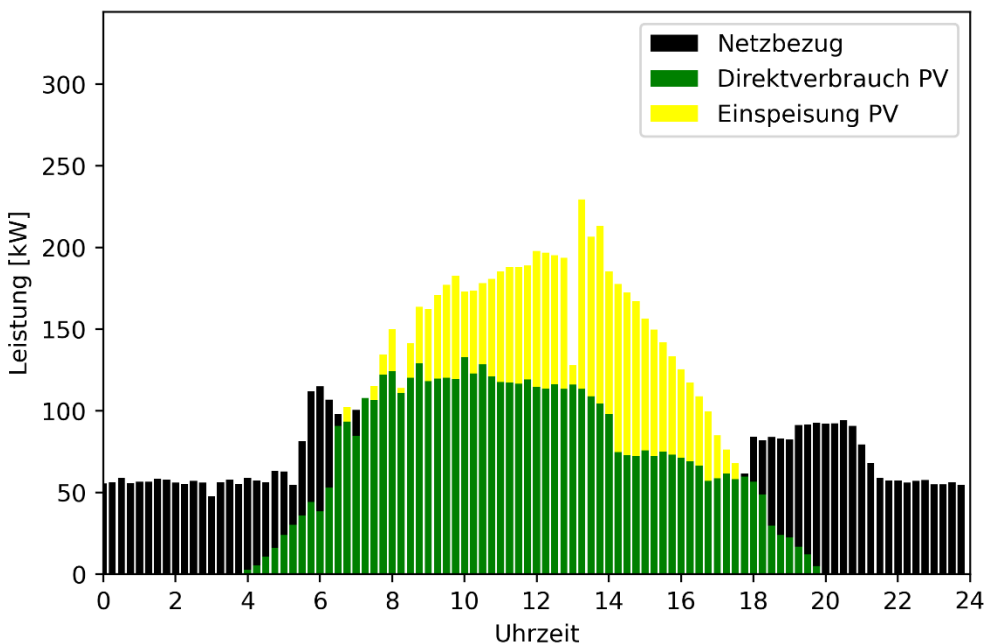
Aus den folgenden Betrachtungen über den Strombezug der Anita Lichtenstein Gesamtschule wurden Anlagenkonzept und Anlagengröße ermittelt.



Der Netzbezug stellt sich an einen Sommertag typischerweise folgendermaßen dar:

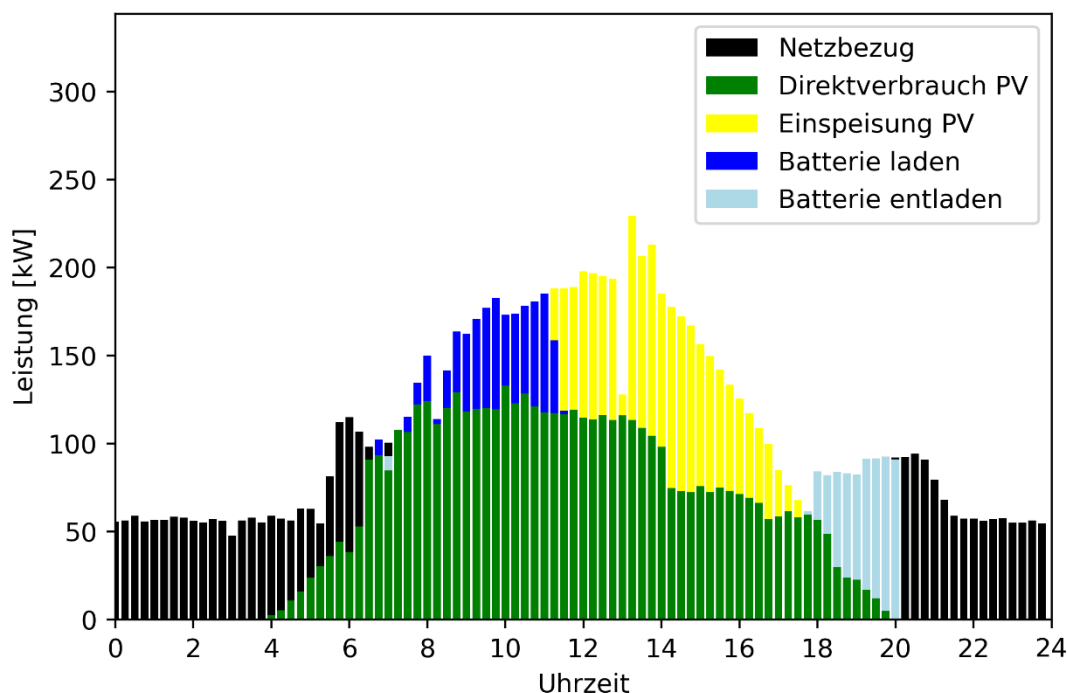
Der Anstieg des Verbrauchs korreliert mit dem Betrieb der Schule und ist ab ca. 6:00 Uhr deutlich abzulesen, genauso wie der Abfall des Strombezugs ab 14:00 Uhr den Schulbetrieb widerspiegelt.

Abends sind Freizeitaktivitäten von Gelobad, der Sporthalle und Sportplatz von 18.00 Uhr bis 21.00 Uhr erkennbar. Ebenso zeigt sich ein hoher durchgehender Verbrauchssockel in der Nacht aufgrund des Betriebs der Anlagentechnik mit den Pumpen für Gelo-Bad und Nahwärmenetz.



Der Einsatz einer 300 kWp Photovoltaik-Anlage liefert an einem typischen Sommertag ab 6.00 Uhr den erforderlichen Strom zum Betrieb des Ensembles. Der Strombedarf wird nicht nur komplett gedeckt, sondern Überschüsse der 300 kWp Anlage werden ab ca. 7:00 Uhr in das öffentliche Netz eingespeist.

Dagegen wird ab ca. 18:00 Uhr der Strombedarf nicht mehr durch die Stromproduktion gedeckt und die erforderlichen Leistung, wird aus dem öffentlichen Netz bezogen.



Durch den Einsatz von Speichern (Größe hier 150 kWh) kann der PV-Strom deutlich besser genutzt werden. Dies ist zum einen sinnvoll, da bereits eine vorbeiziehende Wolke den Stromertrag ohne Speichermöglichkeiten stark minimiert und in diesem

Fall Strom sofort aus anderen Quellen herangezogen wird (Netz/BHKW), zum anderen kann – je nach Strombedarf und Größe des Speichers - am Tag gewonnener Strom Abends abgerufen werden.

Ein Speicher führt zu einer stabilen und dauerhaften Nutzung von PV-Strom und entlastet das öffentliche Netz sowie den CO₂ Haushalt.

Diesen Effekt zeigt die Simulation deutlich. Die Batterie wird aus den Überschüssen Vormittags geladen und deckt einen Teil der Verbrauchspitze am Abend.

Da hier ein Sommertag betrachtet wird, erscheint ein weiterer Ausbau des Speichers sinnvoll. Eine deutliche Erhöhung auf 225 kWh Leistung führt aber über das Jahr betrachtet nur zu einer Erhöhung des Autarkiegrads um weitere 3 %. Damit ist ein zusätzlicher Speicherausbau nicht wirtschaftlich. Dieser Effekt liegt weniger an den geringeren Erträgen der PV in den sonnenärmeren Monaten, sondern an der Stromerzeugung des BHKWs, welches im Folgenden Diagramm dargestellt wird.

Leider sind Speicher aktuell relativ teuer. Der somit gewonnene und gespeicherte Strom ist erheblich teurer, als der direkt aus der PV-Anlage bezogene Strom. Speicher führen somit zu einer besseren Verfügbarkeit und größeren Autarkie, belasten aber die wirtschaftliche Bilanz. Die Rendite minimiert sich.

Förderprogramme zielen genau auf diese Problematik. NRW fördert mit dem Förderprogramm

„Progress.nrw“ u.a. PV Dachanlagen auf kommunalen Gebäuden mit einem Batteriespeicher.

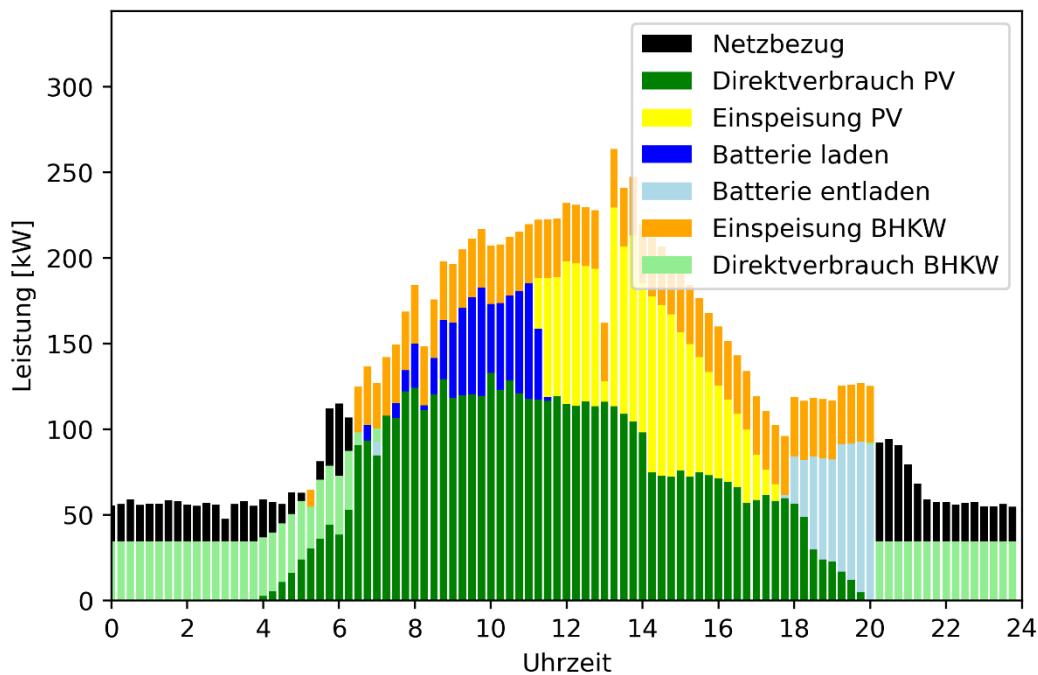
Ziel ist die Förderung des Eigenverbrauchs von CO₂ neutralen PV Strom in kommunalen Einrichtungen.

Eine der Bedingungen des Programms ist daher die maximale Einspeisung von 20% des selbsterzeugten PV-Stroms. Somit ist die Installation eines Speichers zur intensiveren Nutzung selbst erzeugten Stroms nicht nur Klimatechnisch sinnvoll, sondern durch die genannte Förderung auch wirtschaftlich attraktiv.

Die nicht unerhebliche Förderung von 90 % der anrechenbaren Kosten mit maximal 350.000 € ist lukrativ und verbessert die wirtschaftliche Amortisation erheblich, wenn man bedenkt, das die Anlageninvestition mit 1100,- € pro kWp Solaranlagengröße und mit 650,-€ pro kWh Speicher kalkuliert wird.

Aufgrund der zur Verfügung stehenden Dachflächen beträgt die maximale Anlagengröße ca. 450 kWp.

Davon werden in dieser Simulation 300 kWp (Festlegung siehe Seite 45) und somit lediglich 2/3 der ertragreichen Fläche zur PV-Stromerzeugung genutzt.



Die Stromerzeugung des in den Varianten vorgesehenen BHKWs deckt zum Großteil den in der Nacht erforderlichen Strom. In diesem Konzept ist das Laden des Speichers ausschließlich durch die PV-Anlage vorgesehen. Könnte das BHKW den Spei-

cher laden, würden die Bedingungen des Förderprogramms (maximale Einspeisung von 20%) mit dieser Anlagenkombination nicht eingehalten werden, da das BHKW den Speicher häufig vormittags laden würde. Damit würde das Speichern von PV Strom verhindert, wodurch der PV-Strom häufiger in das öffentliche Netz eingespeist werden würde. Aus dem gleichen Grund ist mit diesem Konzept vorgesehen, den gespeicherten PV-Strom durch vollständiges Entladen des Speichers zuerst zu nutzen und erst den darüber hinaus verbleibende Strombedarf aus der BHKW-Erzeugung zu decken.

An einen sonnigen Sommertag wird somit das BHKW einen Teil der Stromerzeugung in das öffentliche Netz einspeisen, da auch im Sommer immer Wärme, z.B. für Duschwasser, benötigt wird. Insgesamt minimiert sich der Strombezug aus dem öffentlichen Netz erheblich.

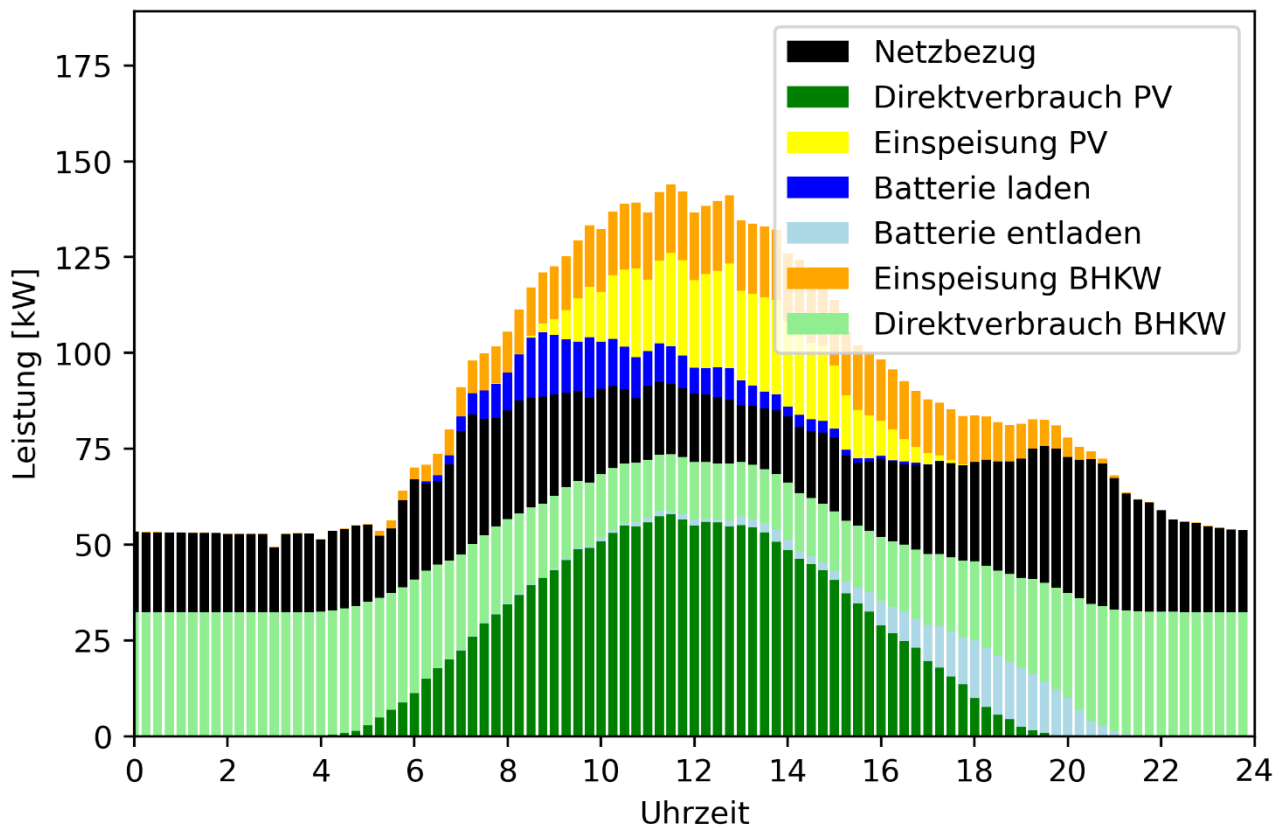
Mit der Simulation von PV-Anlage und dem BHKW wurde eine dem Förderprogramm Prognos.nrw entsprechende Konfiguration der Anlagentechnik und das zugehörige Messkonzept entworfen.

In diesem Konzept wird der BHKW-Strom nicht in die Batterie eingespeist, sodass der Eigenverbrauch des PV-Stroms vor dem BHKW-Strom absolut priorisiert wird.

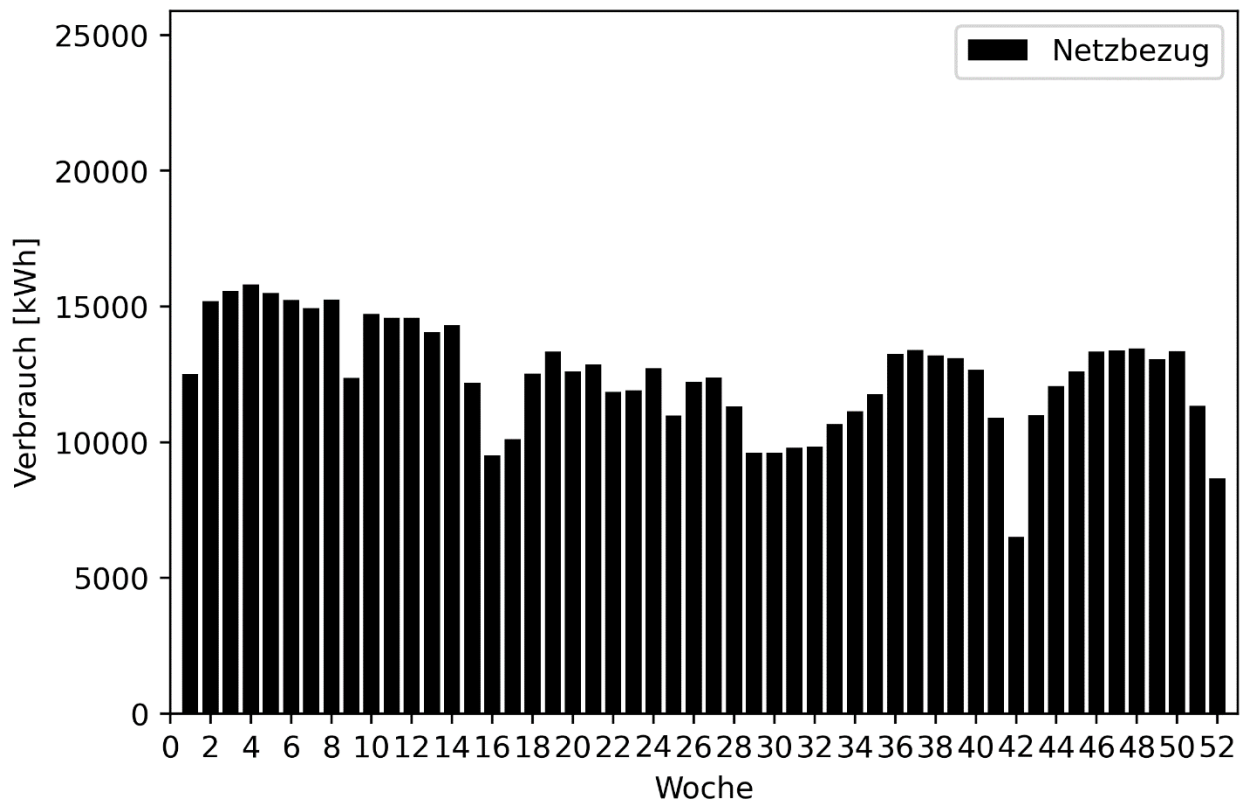
In der Konkurrenzsituation würde immer zuerst der PV Strom in der Schule verbraucht und der BHKW Strom eingespeist werden. Aus ökologischer Sicht ist das sinnvoll. Der PV Strom ist CO₂ neutral und auch der BHKW Strom ist durch die Wärmenutzung primärenergetisch sinnvoller erstellt, als der Strommix aus dem öffentlichen Netz. Dennoch sollte diese Konkurrenzsituation vermieden werden. Daher würde es sich anbieten, das BHKW mit deutlich längeren Laufphasen im Winter zu betreiben, und deutlich weniger im Sommer. Das BHKW wird somit sinnvoll entlang der Wärmeanforderung betrieben und auch die PV mit dem größten CO₂ neutralen Ertrag im Sommer. Wirtschaftlich betrachtet ist die Einspeisevergütung für das BHKW mit 16 ct/kWh plus KWK-Index auskömmlich für den Betrieb.

Unter diesen Prämissen zeigte eine 300 kWp PV Anlage mit einem 150kWh großen Speicher eine Einspeisequote von ca. 20 %, sodass ca. 80 % des sauberen PV Stroms in dem Ensemble der Anita Lichtenstein Gesamtschule genutzt werden. Die dargestellte Betrachtung eines typischen Sommertages zeigt aber nur einen Ausschnitt des Betriebs der Anlage.

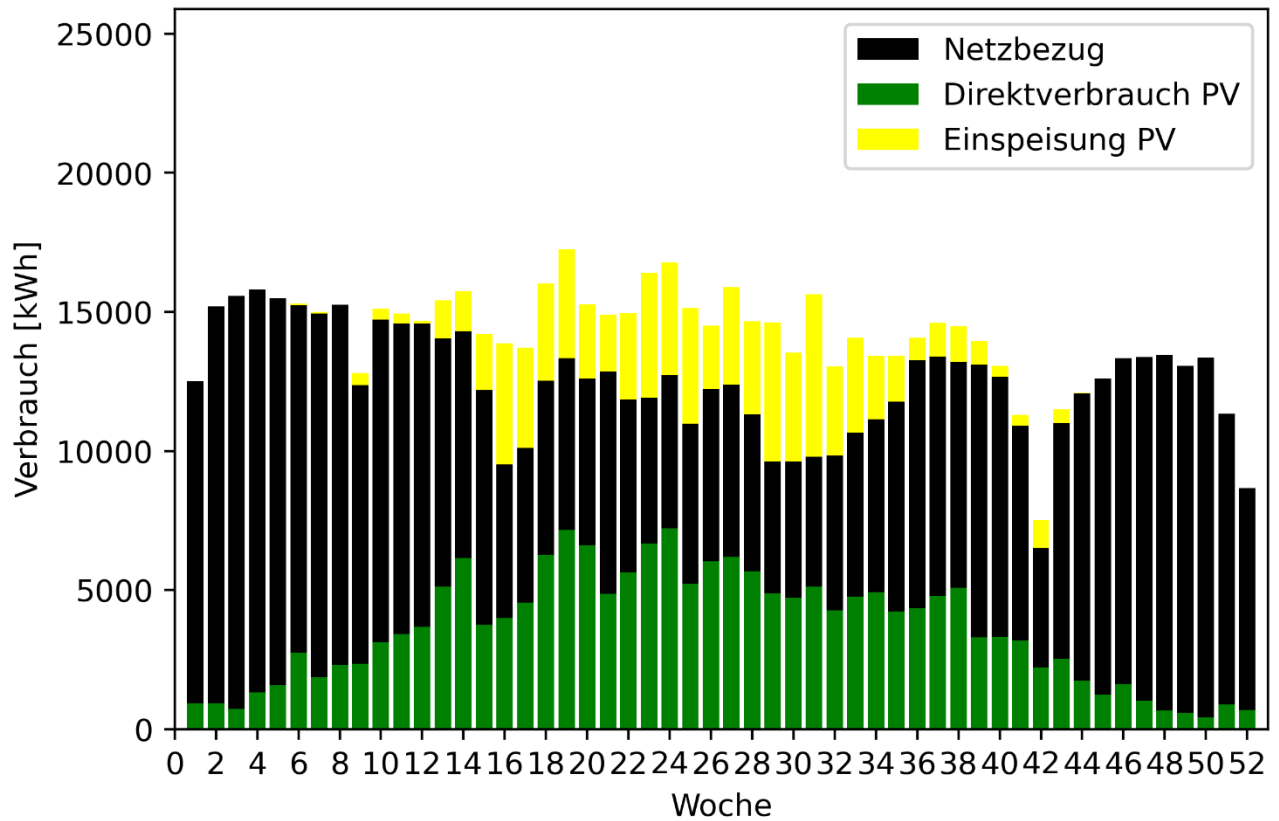
Sinnvoll ist daher die „gemittelte“ Betrachtung eines Durchschnittsages:



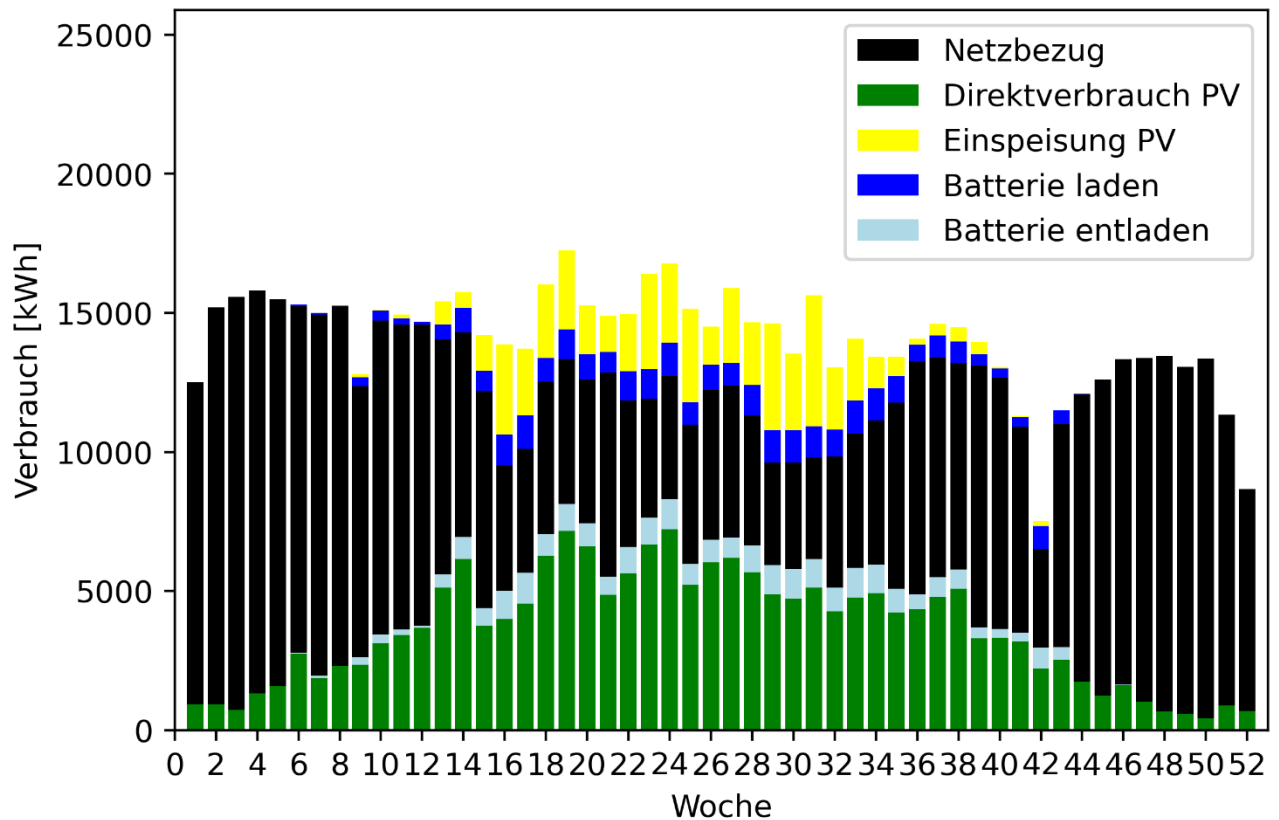
Darauf aufbauend folgt die Betrachtung eines Jahres. Abgebildet ist der Stromverbrauch (Y-Achse) und die Kalenderwochen (X-Achse) eines Jahres. Die Ferien sind deutlich durch die Einbrüche im Bezug ablesbar:



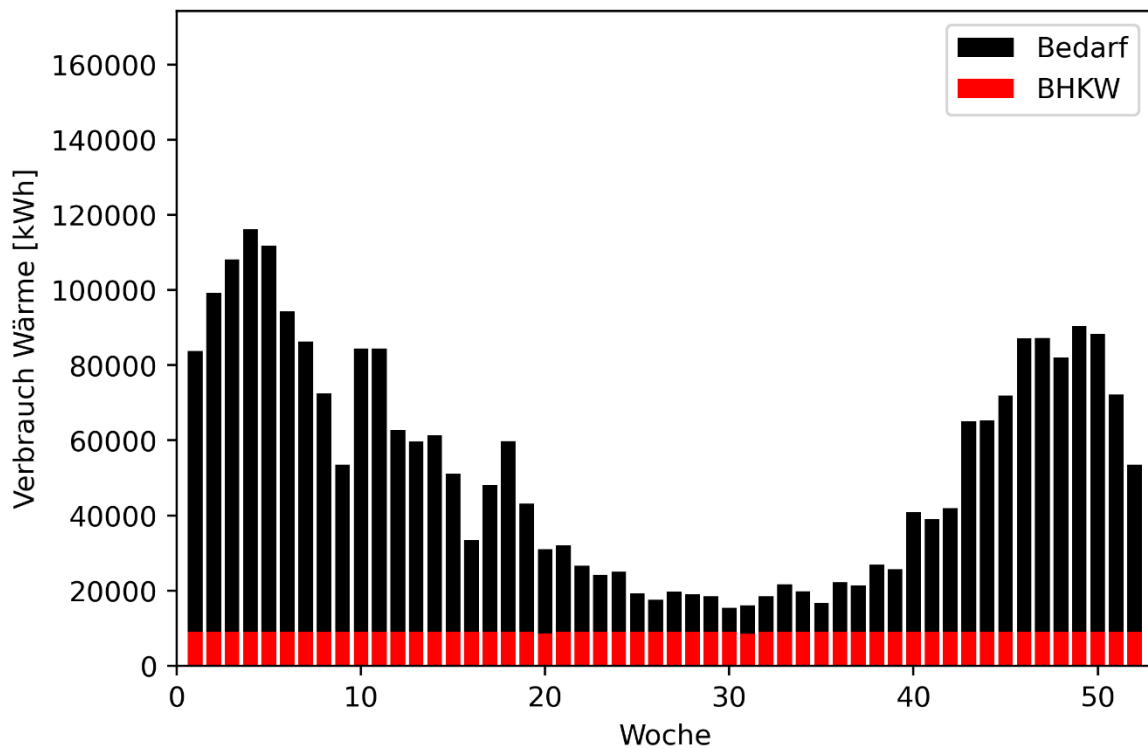
Entsprechend stellt sich der jährliche PV Ertrag, Eigenverbrauch und Einspeisung folgendermaßen dar:



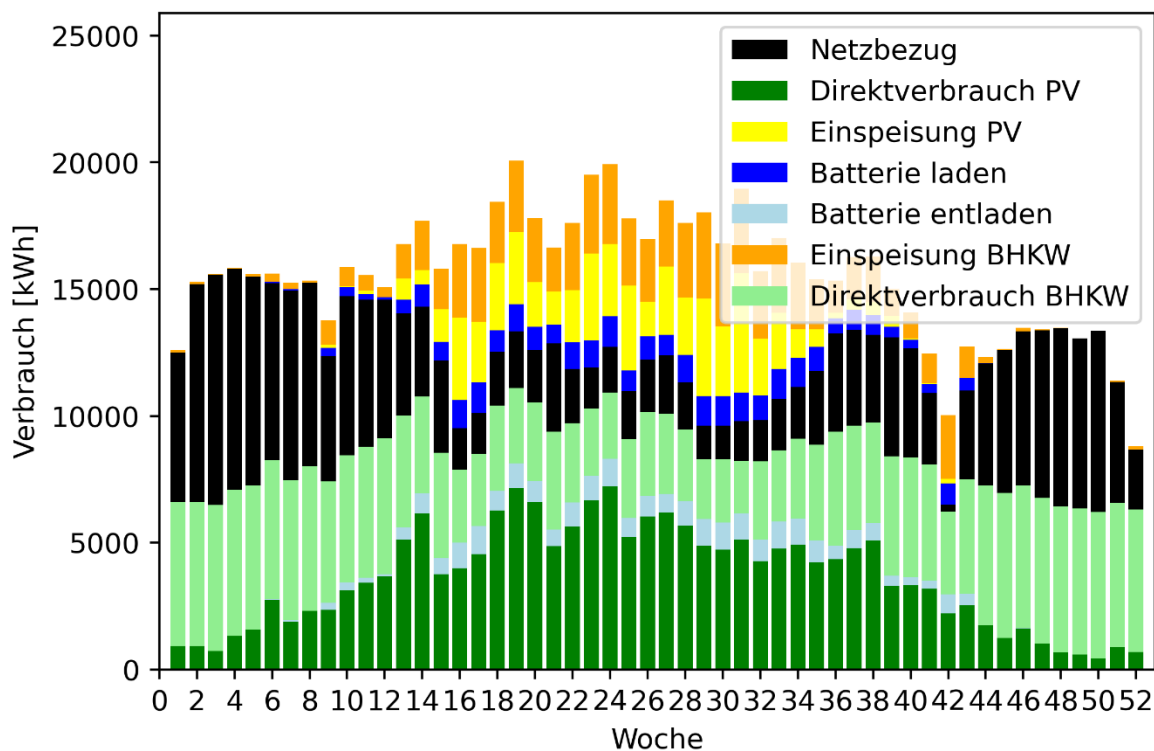
Der Einfluss der Batterie stellt sich wie folgt dar:



Das simulierte wärmegeführte BHKW mit 50 kW deckt den Wärmebedarfssockel des Ensembles ab und erzeugt ganzjährig gleichmäßig Strom und Wärme:



Die mit PV, Speicher und BHKW in den Bedarf der Anita Lichtenstein Gesamtschule eingebundene Anlagenkombination ergibt im Jahresverlauf folgendes Bild:



Die Darstellung zeigt die im Jahresverlauf jeweils gemittelten Wochenbezüge.

Sie zeigt im Sommer einen herausragenden Anteil selbst generierten Stroms aus PV und BHKW. Dagegen ist

primär im Winter der Strombedarf nicht durch die PV-Strom-Erzeugung und dem BHKW Strom zu decken. Dieser restliche Bedarf wird aus dem öffentlichen Netz gedeckt.

Somit ist der Einsatz der PV Anlage nicht nur wirtschaftlich sinnvoll, sondern insbesondere nachhaltig und ökologisch aufgrund der außerordentlich guten CO₂ Bilanz.

Obwohl der Platz auf den Gebäuden eine größere Anlage ermöglichen würde, fördert das Förderprogramm diese größere PV-Anlage nicht, da das Programm auf die Förderung des Eigenverbrauchs von PV Strom abzielt und die Einspeisung von Strom ins öffentliche Netz auf 20 % begrenzt ist. Um 20 % Einspeisung nicht zu überschreiten, ist eine Vielzahl von Anlagenkombinationen denkbar (siehe Abbildung).

Die möglichen förderfähigen Anlagenkombinationen aus PV und Speicher sind in der Abbildung mit dem farbig markierten Bereich dargestellt, für die Kombination 300 kWp PV und 150 kWh Speicher ergibt sich ein beispielsweise Einspeisungsanteil von knapp unter 20 %, womit diese Anlagenkombination voraussichtlich förderfähig wäre. Um beispielsweise 400 kWp PV-Leistung förderfähig zu installieren, wäre überproportional größerer Speicher mit einer Kapazität von ca. 450 kWh erforderlich. Zudem würde die Investitionssumme die maximale Förderhöhe voraussichtlich überschreiten.

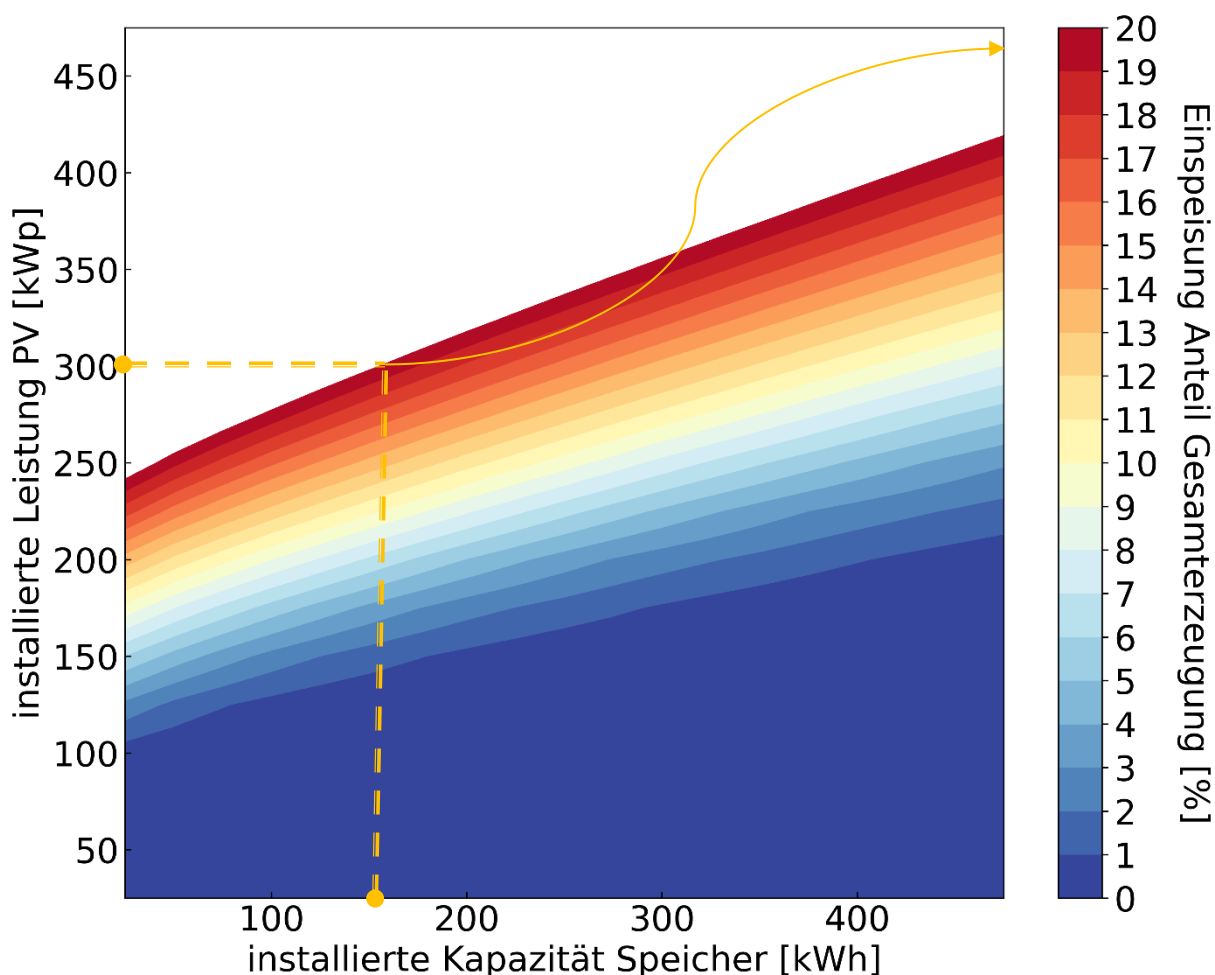


Abbildung: Einspeisungsanteil basierend auf den **historischen** (Mittelwert 2018+2019) Stromverbrauchsdaten des Ensembles der Anita Lichtenstein Gesamtschule als Funktion von installierter PV-Leistung und Kapazität des Stromspeichers.

Daher wäre auch eine größere PV-Anlage förderfähig, allerdings nur in Kombination mit einem deutlich größeren Speicher, was aufgrund der hohen Investitionskosten für den Stromspeicher wirtschaftlich wenig

sinnvoll erscheint. Auch würde eine größere Anlage in Kombination mit einem BHKW wiederum die Einspeisung von BHKW-Strom ins Netz erhöhen, was die Wirtschaftlichkeit des BHKWs verringern würde, und den Förderbedingung max. 20 % PV Strom einzuspeisen, entgegensteht.

Zukünftig wird nachhaltiger und CO₂-neutraler Strom immer wichtiger werden. Alleine durch den Ausbau der Elektro-Mobilität erhöht sich der Strombedarf erheblich. Eine spätere Erweiterung der PV-Anlage ist nicht ausgeschlossen (Förderbedingungen berücksichtigt).

Da die vorhandene Trafo-Anlage auch mit einer 300kWp Anlage ausgebaut werden müsste, empfiehlt sich ein Trafo mit entsprechend sinnvollen Leistungsreserven, welcher nur unerheblich teurer sein könnte. Mit dem erweiterten Bedarf durch eine sich auch lokal abzeichnende Elektromobilität erscheint die Ausbauoption wahrscheinlich und auch wirtschaftlich attraktiv.

Das zur Herstellung der Photovoltaik Module benötigte CO₂ ist in der Regel nach 2,1 Jahren (Fraunhofer 2021) durch den Betrieb der PV-Anlage eingespart. Man spricht hier von einer ökologischen Amortisation von ca. 2,1 Jahren.

Europäische Module schneiden hier besser ab als asiatische, weil der Strommix zur Herstellung der Module in Europa weniger CO₂-intensiv ist.

In der folgenden Tabelle sind die Varianten 3-6 zur Wärmeerzeugung mit verschiedenen Ausbaustufen zur Stromerzeugung durch Photovoltaik (PV) mit den Investitionskosten, der CO₂-Emission, Verbrauchskosten, Einsparung und Ertrag, zusammengefasst.

Der Betrieb von PV, Batterie und BHKW wurde aufgrund des Förderprogramms und zur Stromerzeugung optimiert. Da der PV Strom nur zu 20 % eingespeist werden darf, wird dieser priorisiert verbraucht und gespeichert. Damit wird BHKW Strom nicht in den Speicher geladen. Darüber hinaus wurde zur Verbesserung des Autarkiegrades (Strom) die Laufzeiten des BHKWs erhöht. Dies führt nicht nur zu höherer Ausnutzung (statt 4400 auf 6000 Vollbenutzungsstunden), sondern auch zu vermehrter Wärmeproduktion, die im Ensemble abgenommen wird.

Damit wird zwar auch der Betrieb der Pelletsanlage minimiert, aber die Einsparmöglichkeiten einer Nachtabsenkung werden nicht mehr vollumfänglich ausgenutzt.

Letztendlich ist dies wirtschaftlicher, obwohl nun Wärme außerhalb des Schulbetriebs im Gebäude verbraucht wird.

Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Variantenergebnisse

Zusammenfassung										
"Zentrale" - Wärme + Strom		Bestandskesselanlage	Variante 3 Pelletanlage	Var. 4 Pelletanl. + BHKW	Var. 5 Pelletanl. + Gasth. + LWP	Var. 6 Pelletsanl. + BHKW + LWP				
CO ₂ Emission			0,00 t/a	191,40 t/a	3,30 t/a	191,40 t/a				
CO ₂ Einsparung gegenüber Bestand			486,42 t/a	295,02 t/a	483,12 t/a	295,02 t/a				
CO ₂ Emission thermisch		486,42 t/a	0,00 t/a	125,40 t/a	3,30 t/a	125,40 t/a				
CO ₂ Emission elektrisch			0,00 t/a	66,00 t/a	0,00 t/a	66,00 t/a				
Summe Verbrauchskosten Wärme		107.012,40 €/a	68.249,01 €/a	91.202,01 €/a	68.326,81 €/a	91.168,81 €/a				
Davon: CO ₂ Steuer (bei 25€/t)		12.160,50 €/a	-	4.785,00 €/a	82,50 €/a	4.785,00 €/a				
Einsparung Wärmeversorgung ggü. Bestand			38.763,39 €/a	15.810,39 €/a	38.685,59 €/a	15.843,59 €/a				
Summe Invest			302.000,00 €	452.000,00 €	384.500,00 €	520.000,00 €				
gemittelter Strombedarf Bestand 2021		650.096 kWh								
zusätzlicher Stromertrag aus PV		Bestandsanlage	PV 300kWp+Bat	BHKW PV 300kWp+Bat	LWP PV 300kWp+Bat	LWP+BHKW PV 300kWp+Bat				
PV Anlagengröße			300 kWp	300 kWp	300 kWp	300 kWp				
Stromverbrauch NETZ		650.096 kWh	650.096 kWh	437.874 kWh	350.475 kWh	214.015 kWh	733.096 kWh	518.748 kWh	433.229 kWh	290.827 kWh
Selbst genutzter BHKW Strom				299.621 kWh	223.859 kWh				299.867 kWh	227.584 kWh
Selbst genutzter PV Strom			212.556 kWh		212.556 kWh			214.684 kWh		214.684 kWh
Netzeinspeisung BHKW				379 kWh	76.141 kWh				133 kWh	72.416 kWh
Netzeinspeisung PV			54.562 kWh		54.562 kWh			52.523 kWh		52.523 kWh
Eigenverbrauch aus BHKW & PV			212.556 kWh	299.621 kWh	436.415 kWh	0 kWh	214.684 kWh	299.867 kWh	442.268 kWh	
Einspeisevergütung PV Strom	6,00 ct/kWh		3.274 €	-	3.274 €	-	3.151 €	-	-	3.151 €
Einspeisevergütung BHKW Strom	16,00 ct/kWh		0 €	61 €	12.183 €	0 €	0 €	21 €	11.587 €	
Schätzung Marktwert BHKW Strom/KWK-Index	3,80 ct/kWh		0 €	14 €	2.893 €	0 €	0 €	5 €	2.752 €	
40 % EEG-Umlage auf Eigenverbrauch	2,60 ct/kWh		-5.526 €	-7.790 €	-11.347 €	0 €	-5.582 €	-7.797 €	-11.499 €	
Vergütung selbstgenutzter BHKW Strom	8,00 ct/kWh		0 €	23.970 €	17.909 €	0 €	0 €	23.989 €	18.207 €	
Ersparnis durch selbstgenutzten Strom	18,00 ct/kWh		38.260 €	53.932 €	78.555 €	0 €	38.643 €	53.976 €	79.608 €	
Ersparnis-Summe Strom			36.007 €	70.186 €	103.466 €	0 €	36.213 €	70.195 €	103.806 €	
Strombedarf			650.096 kWh	650.096 kWh	650.096 kWh	733.096 kWh	733.096 kWh	733.096 kWh	733.096 kWh	733.096 kWh
kalkulierte Stromkosten		-117.017 €	-117.017,28 €	-81.010 €	-46.831 €	-13.551 €	-117.017 €	-80.805 €	-46.822 €	-13.212 €
Autarkiegrad Strom		0,0%	0,0%	32,7%	46,1%	67,1%	0,0%	29,3%	40,9%	60,3%
Investitionskosten PV	-1.100,00 €/kWp		-330.000 €	-330.000 €	-330.000 €	-330.000 €	-330.000 €	-330.000 €	-330.000 €	-330.000 €
Investition Batterie 150 kWh	-650,00 €/kWp		-97.500 €	-97.500 €	-97.500 €	-97.500 €	-97.500 €	-97.500 €	-97.500 €	-97.500 €
TRAFO			-100.000 €	-100.000 €	-100.000 €	-100.000 €	-100.000 €	-100.000 €	-100.000 €	-100.000 €
Förderung			350.000 €	350.000 €	350.000 €	350.000 €	350.000 €	350.000 €	350.000 €	350.000 €
Pelletsanlage										
LWP										
BHKW										
Kosten HZ-Anlage			-302.000,00 €	-302.000 €	-452.000,00 €	-452.000 €	-384.500,00 €	-384.500 €	-520.000,00 €	-520.000 €
Netto Invest: BHKW+PV+Sp+Förderung+HZ-Anlage			-302.000,00 €	-479.500 €	-452.000,00 €	-629.500 €	-384.500,00 €	-562.000 €	-520.000,00 €	-697.500 €
laufende Kosten PV	-12,50 €/kWp		0,00 €	-3.750,00 €	0,00 €	-3.750,00 €	0,00 €	-3.750,00 €	0,00 €	-3.750,00 €
Ertrag PV & BHKW			0,00 €	32.257,34 €	70.186,36 €	99.716,27 €	0,00 €	32.462,72 €	70.195,21 €	100.055,74 €
Einsparung durch PV+ BHKW Strom 10 Jahre			322.573,44 €	701.863,56 €	997.162,68 €	0,00 €	324.627,16 €	701.952,12 €	1.000.557,40 €	
Einsparung durch PV+ BHKW Strom 15 Jahre			483.860,16 €	1.052.795,34 €	1.495.744,02 €	0,00 €	486.940,74 €	1.052.928,18 €	1.500.836,10 €	
Investition-, Wärme- und Stromkosten Bestand 2020										
Anlagentechnik			Pellets Heizung	300 kWp	Pellets Hz u. BHKW	300 kWp	Pellets Hz+ GasTh+LWP	300 kWp	Pellets Hz+ BHKW+LWP	300 kWp
Investition			302.000,00 €	479.500 €	452.000,00 €	629.500 €	384.500,00	562.000 €	520.000,00	697.500 €
Restl. Wärmekosten/Jahr	-107.012,40 €		-68.249,01 €	-68.249,01 €	-91.202,01 €	-91.202,01 €	-53.386,81 €	-53.386,81 €	-76.228,81 €	-76.228,81 €
Info: Bereinigung d. Wärmekosten um Stromkosten			0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	14.940,00 €	14.940,00 €	14.940,00 €	14.940,00 €
Restl. Stromkosten/Jahr	-117.017,28 €		-117.017,28 €	-81.009,94 €	-46.830,92 €	-13.551,01 €	-117.017,28 €	-80.804,56 €	-46.822,07 €	-13.211,54 €
Verbleibende Kosten/Jahr	-224.029,68 €		-185.266,29 €	-149.258,95 €	-138.032,93 €	-104.753,02 €	-155.464,09 €	-119.251,37 €	-108.110,87 €	-74.500,35 €
Einsparung Strom (BHKW + PV) / Jahr	0,00 €		0,00 €	32.257,34 €	70.186,36 €	99.716,27 €	-14.940,00 €	17.522,72 €	55.255,21 €	85.115,74 €
Einsparung Wärme / Jahr	0,00 €		38.763,39 €	38.763,39 €	15.810,39 €	15.810,39 €	38.685,59 €	38.685,59 €	15.843,59 €	15.843,59 €
Einsparung Wärme, Strom/Jahr			38.763,4 €/a	71.020,7 €/a	85.996,7 €/a	115.526,7 €/a	23.745,6 €/a	56.208,3 €/a	71.098,8 €/a	100.959,3 €/a
Amortisation HZ-Zentrale + PV			7,79 Jahre	6,75 Jahre	5,26 Jahre	5,45 Jahre	16,19 Jahre	10,00 Jahre	7,31 Jahre	6,91 Jahre
Amortisation HZ-Zentrale + PV OHNE Förderung			7,79 Jahre	11,68 Jahre	5,26 Jahre	8,48 Jahre	16,19 Jahre	16,23 Jahre	7,31 Jahre	10,38 Jahre
CO ₂ Emission		486,42 t/a	0,00 t/a	0,00 t/a	191,40 t/a	191,40 t/a	3,30 t/a	3,30 t/a	191,40 t/a	191,40 t/a
CO ₂ Einsparung			486,42 t/a	486,42 t/a	295,02 t/a	295,02 t/a	483,12 t/a	483,12 t/a	295,02 t/a	295,02 t/a

Fazit Strom Eigenversorgung

Die Zusammenfassung der Simulationen mit den Varianten 3 – 6, in der Kombination mit den Varianten einer 300 kWp Photovoltaikanlagen, zeigen Investitionsaufwand, Betriebskosten, wirtschaftliche Einsparpotentiale und Förderung, aber auch CO₂-Emission und deren finanziellen Auswirkungen durch die CO₂-Abgabe.

Es sind Autarkiegrade von 30% - 67 % in der Stromversorgung möglich.

Der Strombedarf des Ensembles führt zu einer hohen Abnahme von BHKW- und PV-Strom, ein Stromspeicher mit 150 kWh (Seite 40+41 ff) führt zu zusätzlicher Autarkie.

Eine solche „Stromspeicherung“ - damit Ertrag in die Abendstunden „gerettet“ wird - ist in Anbetracht einer z.Zt. großen Förderung (max. 350.000 €) und einer ca. 100.000,- € großen Investition, wirtschaftlich gut darstellbar.

Der Eigenversorgungsanteil mit BHKW und dem Bau einer 300 kWp großen PV-Anlage liegt bei 67 %. Die Netzeinspeisung ist gering - bei ca. 436.000 kWh selbst erzeugten Strom lediglich ca. 54.000 kWh.

Eine weitere Steigerung des Eigenversorgungsanteils ist mittels einer größeren PV-Anlage möglich. Die maximale Dimensionierung mit 450 kWp Leistung wurde mit durchschnittlichen PV-Modulen und mit überschlägig ermittelten Dachflächen ermittelt. Bei genauerer Dimensionierung und möglichen Erträgen aus hochwertigen PV-Modulen stecken hier weitere Potentiale. Die Verwendung ertragreicherer Module und eine detaillierte Dimensionierung der PV-Anlage führt zu zusätzlicher Nutzung der ermittelten Flächen.

Allerdings ist dies weniger wirtschaftlich, da die Anlage teurer, aber nicht höher gefördert wird.

Ein größeres BHKW wäre nicht mehr wärme-, sondern stromgeführt, so dass überschüssige Wärme entstehen würde. Diese überschüssige Wärme müsste besonders im Sommer abgeführt („weggekühlt“) werden. Das würde zu einem teureren Eigenstrompreis für das BHKW führen und es wäre klimatechnisch gegenüber der jetzigen, wärmegeführten Lösung, suboptimal. Darüber hinaus stellt die hier dargelegte BHKW Größe mit 50 kW elektr. Leistung ein „Fördermaximum“ dar. Ein größeres BHKW wäre fördertechnisch und auch wirtschaftlich suboptimal (geringere Einspeisevergütung).

Die Luftwärmepumpe als großer Stromverbraucher senkt die Autarkiequote, da zusätzlicher Strom benötigt wird. Eine Optimierung ist in diesem Fall auch mit weiterer PV-Leistung und Pufferung durch eine Batterie möglich, aber nicht wirtschaftlich.

Der durch eine Wärmepumpe gewünschte preiswerte Wärmeertrag steht in Konkurrenz zur Wärmezeugung durch Pellets. Daher kann auch die optimierte Wärmepumpenvariante 6 die einfachere und auch preiswertere Variante 4 wirtschaftlich nicht toppen. Es zeigt sich auch, dass ohne die Optimierung durch ein BHKW eine reine Wärmepumpenvariante (Variante 5) nicht konkurrenzfähig ist.

Weitere Einsparpotentiale stecken möglicherweise in einer Reduzierung des Strombedarfs z.B. durch neue LED-Technik, bessere Geräte und smarte Steuerung von Wärme und Strom.

Diese Einsparungsmöglichkeiten wurden nicht untersucht.

Darüber hinaus wäre ein Monitoring des Energieverbrauchs pro Klasse sicher auch unter Bildungsgesichtspunkten interessant und könnte eine smarte Steuerung teilweise ersetzen.

Empfehlung

Die PV-Ausbaustufen führen in allen Varianten zu Verbesserungen bezüglich einer größeren Autarkie. Mit der 300 kWp großen PV Ausbaustufe werden maximal 54.000 kWh Strom (Variante 4) in das öffentliche Netz eingespeist, und bis zu ca. 215.000 kWh (Variante 5+6) werden im Eigenbedarf abgenommen. Die maximalen 450 kWp großen PV Ausbaustufe wird den Autarkiegrad kaum verbessern. Selbst diese Größe ist durch bessere Module und eine detaillierte Flächenausnutzung weiter steigerbar, der erzeugte Strom kann aber ohne weiteren Bedarf, wie z.B. Elektro-Ladesäulen im Ensemble nicht abgenommen werden.

Größere Einspeisung mit der derzeitigen EEG-Vergütung erscheint z.Zt. wirtschaftlich nicht sinnvoll.

Eine eindeutige Empfehlung zugunsten einer zentralen Anlagentechnik im Zusammenspiel mit einer PV-Anlage kann ohne eine Prämisse nicht ausgesprochen werden.

Würde die Prämisse „möglichst geringe Betriebskosten“ und damit insgesamt größtes Einsparpotential lauten, wäre ein wärmegeführtes BHKW, das bereits mit lediglich 4150h/a Betriebszeit eine komplette Abnahme des Stroms zeigt, und die Wärme durch die ALGS komplett abnimmt, die richtige Wahl.

Eine Laufzeitoptimierung des BHKWs auf ca. 6000 h ist möglich – Diese wurde hier dargestellt.

Somit sind beide BHKW-Varianten wirtschaftlich sehr attraktiv, zieht man die Laufzeit der Anlagentechnik, von mindestens 30 Jahren in Betracht.

Dennoch kann der Betrieb des BHKWs bereits nach 10 Jahren überdacht werden. Mit größter Wahrscheinlichkeit hat sich bis dahin diese Anlage bereits amortisiert.

Binnen 10 und 15 Jahren sind die Einsparungen beträchtlich.

Die CO₂ Emission wird allerdings nur mit der Pellet / BHKW Variante 4 deutlich gesenkt.

Wichtig ist, dass in diesen Betrachtungen die CO₂-Bepreisung lediglich mit 25,-€/to CO₂ angesetzt ist.

Es ist von deutlich höheren Preisen auszugehen, die aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht verbindlich festgelegt sind. 25 €/to CO₂ sind der unterste und momentan eindeutig festgelegte Preis, siehe Seite 18 ff. Somit sind die wirtschaftlichen Auswirkungen der CO₂ Einspareffekte in diesen Darstellungen entsprechend vorsichtig zu betrachten. Geringere CO₂ Emission wird für zukünftige Dekaden deutlich größere Einspareffekte haben.

Unter dem Gesichtspunkt maximaler Klimaverträglichkeit und geringste CO₂ Emission ist die Pellet Anlage (Variante 3) als CO₂-neutrale Wärmequelle in Kombination mit einem PV-Ausbau die sauberste und klimaverträglichste Anlagenform.

Setzt man als Wärme-Spitzenversorgung Pelletkessel (Variante 4) ein, verbessert dies die CO₂-Bilanz deutlich und zeigt betriebswirtschaftliche Bestwerte mit der zweitgeringsten CO₂-Emission.

Die optimierte Wärmepumpenvariante 6 kann durch die Nutzung des BHKW Stroms für die Luftwärmepumpe als zweitbeste Anlagenform punkten. Aufgrund der komplexeren Technik und des höheren Betriebsrisikos, sowie der geringeren jährlichen Einsparung erreicht sie dennoch nur den 2. Platz.

Daher stellt die Variante 4 zum aktuellen Zeitpunkt einen Kompromiss zwischen lukrativer Wirtschaftlichkeit und akzeptabler Klimaverträglichkeit dar.

Grundlage der Konzeptstudie, Verwendungszweck

Die Konzeptstudie wurde nach bestem Wissen, unter Bezugnahme vorhandener Energiewerte der Jahre 2017 – 2019, angefertigt. Darüber hinaus wurden einzelne Daten aus dem letzten und uns lediglich in Teilen vorliegenden Immobiliengutachten gewonnen. Preisentwicklungen und Betriebsrisiken kann eine Studie und insbesondere eine Konzeptstudie nicht abbilden. Alle Annahmen wurden nach besten Gewissen getroffen, können im Einzelfall aber abweichen.

Die inkludierte Bestandsaufnahme ist in der Güte einer Besichtigung und Foto-Dokumentation erstellt worden. Volumina und Flächen wurden in der Güte von 1000stel Plänen / Dokumentationen (Tim-Online) und mit der Übernahme aus Grobscans von Papierplänen übernommen.

Die Maße und Bestands-Zeichnungen stimmten leider nur grob überein und haben keineswegs die Güte einer CAD-Planung mit digital sauberen Abmessungen.

Die daraus abgeleiteten Kennwerte stellen Provisorien dar, welche in einer Grundlagenermittlung zur Planung durch Messungen, evtl. zerstörenden Untersuchungen und weiteren Bestandsaufnahme mit Aufmaß und Abgleich vorhandener Pläne fundiert werden müssen.

Die Konzept-Grundrisse, aus denen Bauteile, Dimensionen und Volumina ermittelt wurden, sind aufgrund von Absprachen mit dem Bauherrn aufgestellt worden.

Auch wenn die Grundlagen in CAD und mittels genauer Berechnung, digital in mm-Genauigkeit dokumentiert worden sind, sind diese inhaltlich als "Skizze" zu interpretieren.

Die Verwendung der Ergebnisse und Annahmen dieses Berichtes müssen im Kontext seines Auftragsgrundes gesehen werden. Für jede weitere Planung ist diese Reflexion erforderlich. Daher ist eine weitergehende Nutzung, z.B. zur Vorplanung nur mit einer Plausibilitätsprüfung, einer weiteren Fundierung, oder weiteren Ausarbeitung, sinnvoll.

Eine Konzeptstudie ersetzt keine Planung eines Bauvorhabens, sondern bereitet diese vor. Sie dient einzig dem Auftraggeber zur Entscheidungsfindung und Formulierung eines Planungsauftrags. Sie ist Bestandteil der Grundlagenermittlung und fußt auf erste Annahmen, Information und Arbeitsergebnisse, die wir im Hinblick auf unser Verständnis einer zusammenfassenden Darstellung für besonders relevant halten. Daher erhebt sie keinen Anspruch auf eine umfassende Vollständigkeit.

Empfehlungen und Prognosen dieser Konzeptstudie können generelle Betriebsrisiken nicht abbilden. Sie fußen rein auf die logische und theoretische Kausalität und werden daher den tatsächlichen Betrieb nicht widerspiegeln.

Diese Konzeptstudie wurde aufgrund ihrer besonderen Instruktion und einzig zu ihrer Verwendung in Bezug auf eine Diskussion mit der Stadtverwaltung der Stadt Geilenkirchen und zur Beschlussfassung im Ausschuss bzw. Rat der Stadt Geilenkirchen angefertigt. Sie beinhaltet Teile unserer Beratungsleistung, ohne Anspruch auf eine umfassende Kommunikation zu erheben. Sie fußt auf unserem Angebot vom 29.09.2020 und weiteren Absprachen in der Folge der Vorstellung im Ausschuss der Stadt Geilenkirchen. Gegenüber Dritten übernehmen wir keinerlei Verpflichtung, Verantwortung oder Sorgfaltspflichten.