
1. Erforderliche Heizleistung

Die Auswertung der Verbrauchsdaten aus den Jahren 2014 bis 2018 haben das Ergebnis aus dem Jahr 2016 bestätigt. Da jetzt 5 Datenjahre zur Verfügung standen ist das Ergebnis auf jeden Fall belastbar.

Demnach beträgt die erforderliche Heizlast derzeit: 1.250 kW

Für die Neue Heizzentrale gilt:

- Die Heizlast der Jahnhalle in Höhe von 130 kW entfällt.
- Dafür wird eine Reserve für einen Schulneubau mit $3.000 \text{ m}^2 \cdot 45 \text{ W/m}^2 = 135 \text{ kW}$ eingerechnet.
- Die Warmwasserbereitung der Jahnhalle in Höhe von 200 kW entfällt.
- Dafür wird für die neue 3-Feldhalle eine Anschlussleistung in Höhe von 200 kW eingerechnet.
- Etwa 100 kW Leistung entfallen durch Erneuerung der Technik (Wirkungsgradverbesserung) und z.T. der Wärmeleitungen (weniger Verlustleistung).

Ergebnis: Für die neue Heizzentrale ist eine Heizleistung von 1.150 kW einzuplanen.

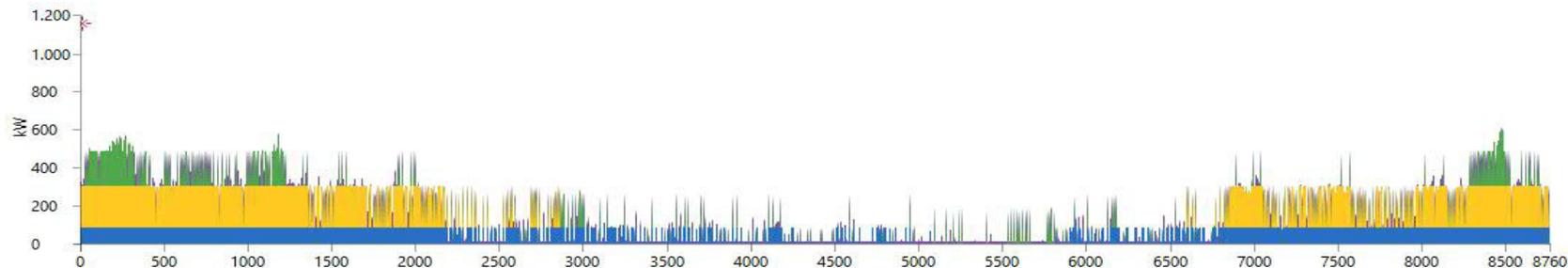
2. Aufteilung der Wärmeerzeuger

Laut Beschluss soll die Wärmeversorgung auf drei Säulen basieren:

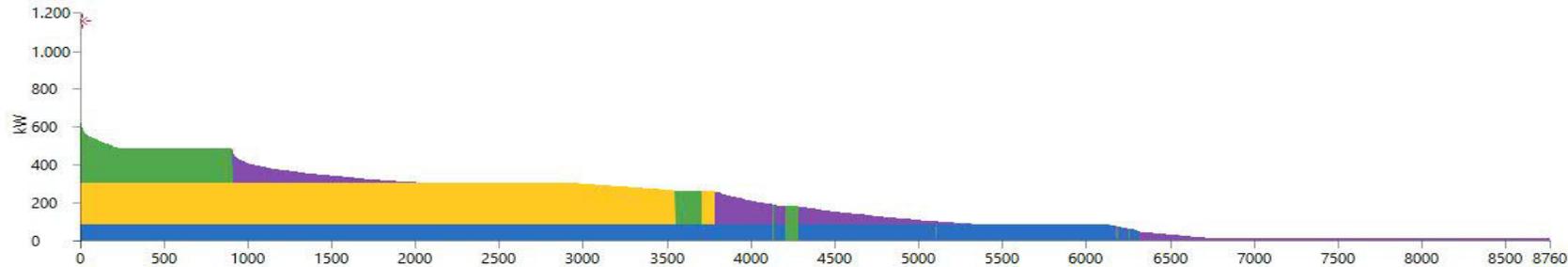
1. Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) zur effizienten Erzeugung von Strom und Wärme
2. Ein Biomassekessel für Pellets oder Hackschnitzel zur Bereitstellung von CO₂-neutraler Wärme
3. Ein Gas-Spitzenlastkessel für die kostengünstige Abdeckung von Lastspitzen und als Redundanz z.B. bei Wartung oder Reparatur der anderen Wärmeerzeuger.
4. Um einen effizienten Betrieb der Komponenten zu ermöglichen wird noch ein Wärme-Pufferspeicher mit benötigt.

Das BHKW ist spezifisch die teuerste Komponente und soll daher möglichst über 5.000 h/a laufen.
Es folgt der Biomassekessel, der einen möglichst hohen Anteil Energie CO₂-neutral bereitstellen soll, aber ebenfalls aufgrund der hohen Investitionskosten möglichst klein gewählt wird.

Die Auswahl erfolgt anhand der Jahresdauerlinie für das Bühlschulzentrum:



Wird diese nach der Heizleistung geordnet ergibt sich folgendes Bild:



Wärmeerzeuger	Rang	Nennleistung [kW]	Brennstoffverbrauch	Erzeugt [kWh]	Anteil [%]	Volllaststunden [h]	Nutzungsgrad [%]	Starts
BHKW 50kW_el 81kW_th	1 - Grundlast	81	Erdgas: 89579 m3	512974	34	6181	57	242
Pelletsessel 60 - 220 kW	2a - Grundlast	200	Pellets: 160 t	737264	49	3687	92	585
Hackschnitzel + Abgasr. 55-220 kW	2b - Grundlast	220	Mischung (70% Wh, 30% Hh):	781432	52	3552	85	631
Gaskessel 180-900 kW	3 - Spitzenlast	900	Erdgas: 39897 m3	260526	17	290	65	726
Pufferspeicher	4- Ausgleich	10.000 L		188033	12			

Aufgrund dieser Ergebnisse schlagen wir vor:

1. Blockheizkraftwerk, 50 kW_elektrisch / 81 kW_thermisch, Laufzeit um 6.000 h/a
2. Biomassekessel ca. 200 kW, Laufzeit um 3.500 h/a
3. Spitzenlastkessel Erdgas bis 900 kW. Da dieser Kessel nur unter 500 h pro Jahr betrieben werden muss, würden wir hier auch keinen Brennwert- sondern einen kostengünstigeren Niedertemperaturkessel vorschlagen.

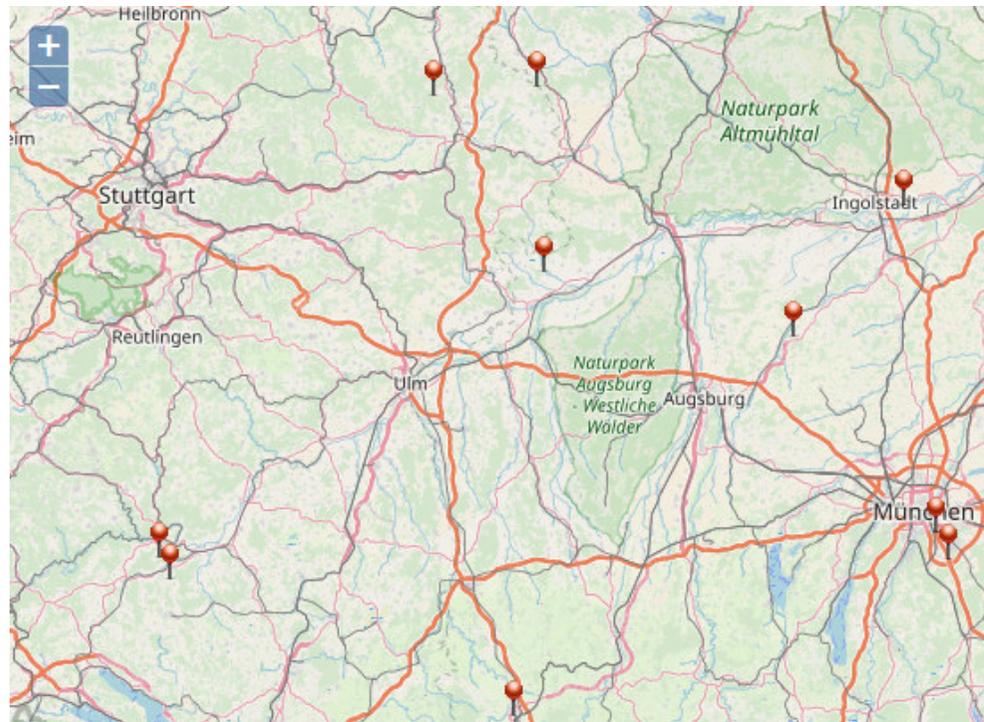
3. Holzpellets oder Hackschnitzel ?

3.1 Vor- und Nachteile

Die Entscheidung, ob Holzpellets oder Holzhackschnitzel eingesetzt werden sollen, ist eine grundlegende, da sie sich massiv auf die Investitionskosten der Anlage auswirkt.

Beide Brennstoffe sind regional und werden i.d.R. über Händler bezogen. Die Produktion erfolgt etwa in einem Umkreis von 100 km.

Die nächsten Pelletswerke (nicht Händler) sind z.B. in Kempten, Krauchenwies, Sigmaringen oder Ziertheim (bei Dillingen)



(Quelle: C.A.R.M.E.N. e.V.)

+ Vorteile von Holzpellets sind:

Die Anlagentechnik ist einfacher:

- Füllen des Pelletslagers über zwei Füllstutzen
- Austragsystem aus dem Pelletslager ist kostengünstig
- Heizkessel ist in der Leistung gut und relativ schnell regelbar.
- genormter und überwachter Brennstoff, kaum Qualitätsschwankungen, keine Fremdstoffe wie Erde oder Steinchen.
- daher sind die Abgaswerte (Staub,CO) ohne Abgasnachbehandlung einhaltbar
- sehr trocken daher kaum Dampfschwaden am Schornstein

- Nachteile von Holzpellets sind:

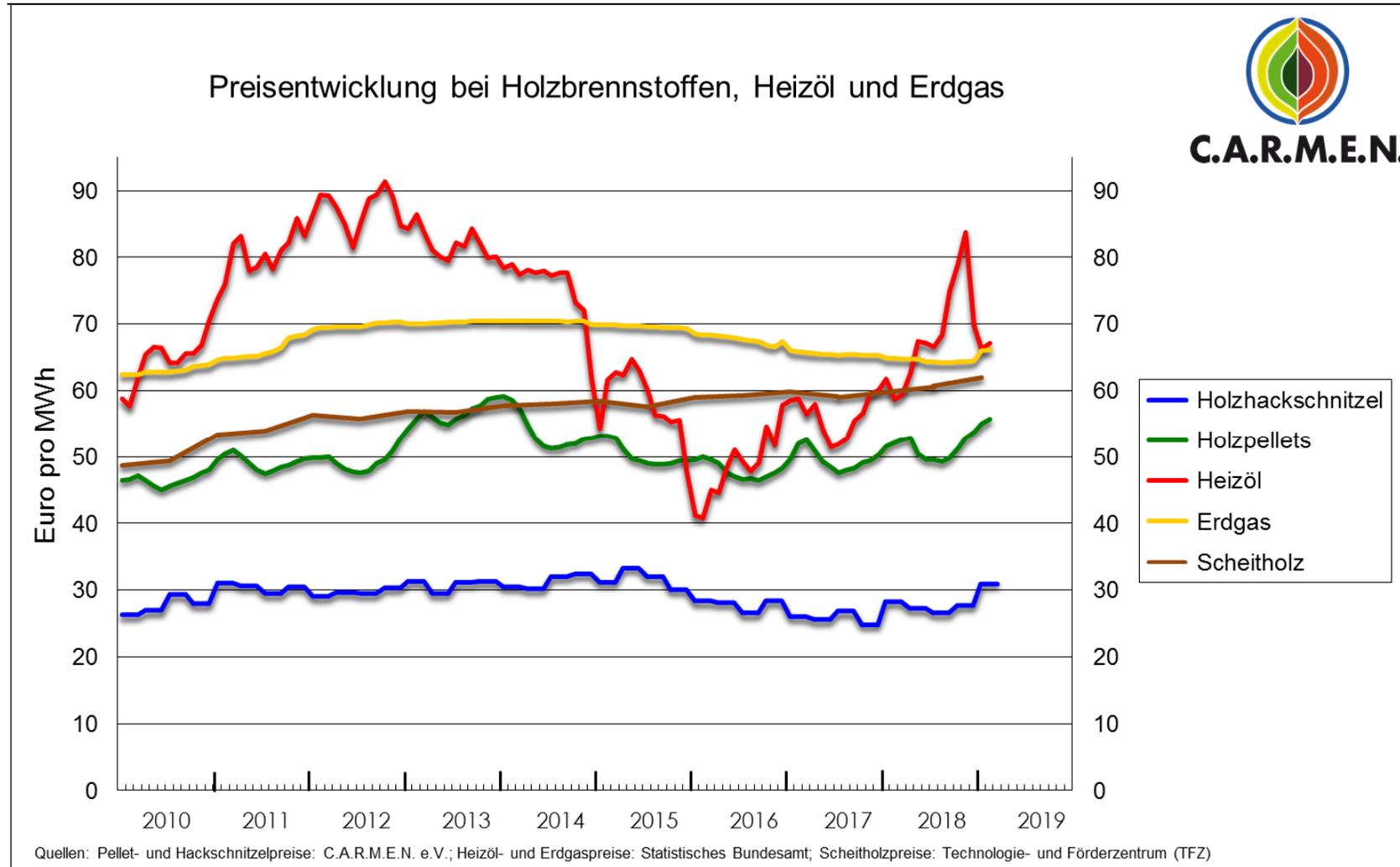
- Der Füllvorgang des Pelletslagers dauert bis zu mehr als eine Stunde
- Pellets sind zwar günstig, kosten aber fast doppelt so viel wie Hackschnitzel (je nach Schnitzelqualität)

+ Vorteile von Holzhackschnitzeln sind:

- sie können auch lokal hergestellt werden.
- Holzhackschnitzel ist der günstigste Brennstoff für den Wärmemarkt.
- Der Füllvorgang dauert jeweils nur wenige Minuten: Anfahren, Bunkerklappe öffnen, abkippen, wegfahren.

- Nachteile von Hackschnitzel sind:

- die Herstellung ist nicht in jedem Fall überwacht. Es könne Fremdstoffe (kleine Äste, Erde, Steinchen) enthalten sein. Diese können Betriebsstörungen auslösen.
- Der Anteil Rinde ist sehr unterschiedlich, je nachdem ob Äste oder Stämme gehäckselt werden, dadurch ist der Ascheanfall deutlich höher.
- Die Energiedichte ist deutlich geringer als bei Pellets. Es muß etwa doppelt so oft angefahren werden. (Je nach Transportvolumen)
- Bei Verwendung von Straßenbegleitgrün kann das Holz stark NaCl (Streusalz) belastet sein. Das führt bei der Verbrennung zu HCl (Salzsäure), was die Anlage in kurzer Zeit stark verschleißt bis hin zum Totalausfall.
- Der technische Aufwand ist deutlich höher, nicht nur bei der Anlagentechnik, auch beim Bauwerk: Technikraum und Bunkerboden sind auf unterschiedlichem Niveau herzustellen, für die hydraulischen Stempel der Schubbodenaustragung sind massive Fundamentkörper zu bauen, der Bunker benötigt eine hydraulische Füllklappe mit Absturzsicherung. Die Heizkessel bekommen eine robustere Feuerung (Rostfeuerung), die aufgrund der höheren Brennstoffmenge im Kessel dann träger reagiert. Die Abgaswerte (Staub, CO) können ohne Abgasnachbehandlung nicht eingehalten werden. Diese verursacht nicht nur Investitions- sondern auch Betriebs- und Wartungskosten.
- Hackschnitzel haben einen Feuchtegehalt von 20 – 35 % (WG20 bzw. WG35) das führt immer auch zu einer sichtbaren Dampffahne am Schornstein.



Fazit: Beide Brennstoffe unterscheiden sich in ihren Eigenschaften deutlich.

Eine Anlage, die für beide Brennstoffe gleichermaßen geeignet ist, gibt es für diese Beanspruchung mit 3.500 Betriebsstunden pro Jahr nicht. Zum Vergleich ein Pelletskessel im modernen Einfamilienhaus kommt auf unter 1000 h/a.

Die Heizkessel sind entweder für den Pelletsbetrieb optimiert, oder für den Hackschnitzelbetrieb.

Da Pellets eine fast doppelt so hohe Energiedichte wie Hackschnitzel haben, würde der Brennrost im Hackschnitzelkessel vorzeitig verschleifen. Umgekehrt würden die Hackschnitzel in der Pelletsanlage Probleme bereiten (Beschickung, Verbrennungsgüte bei Schnitzelfeuchte)

3.2 Kostenvergleich Pellets – Hackschnitzel für die Beschriebene Anlage

Die Brennstoffkosten sind bei Holzhackschnitzel deutlich geringer – die Investitionskosten dafür deutlich höher. Wie wirkt sich das auf die Jahreskosten der Komponenten „Biomassekessel“ aus?

Dazu haben wir für beide Varianten Richtkosten von Herstellern geben lassen.

Der Brennstoffbedarf ist aus der Anlagensimulation bekannt, so kann man die beiden Varianten gegenüber stellen:

Preise Hackschnitzel:

WG 35: Wassergehalt (WG) von 35 %, Süden 82,25 €/t 26,75 €/MWh

WG 20: Wassergehalt (WG) von 20 %, Süden 127,88 €/t 32,46 €/MWh

Angaben zum Preis in €/MWh bezogen auf den Heizwert (Hi) des Brennstoffes

Süden: Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland

Preise Pellets: Süden(20 t) 237,63 €/t 48,50 €/M

Quelle: Brennstoffkosten C.A.R.M.E.N e.V., Herbst 2019

Investition Holzpellets		Investitions Hackschnitzel	
Pelletesbefüllsystem	1.470,00 €	Bunkerdeckel, Fallschutz, Aggregate	27.863,00 €
Austragung+Schnecken	21.898,00 €	Austragung+Schnecken	43.020,00 €
Pelleteskessel 200 (220) kW	26.200,00 €	Hackschnitzelkessel 220 kW	67.580,00 €
		Rauchgasreinigung	35.580,00 €
Abreinigung/Ascheaustrag	21.253,00 €	Abreinigung/Entaschung	32.120,00 €
Steuerung	9.471,00 €	Steuerung	17.210,00 €
Hydraulische Einbindung	5.219,00 €	Hydraulische Einbindung	5.219,00 €
Schallschutz, Montage, Inbetr.	8.229,00 €	Montage, Inbetr.	18.760,00 €
		Mehrkosten Bauwerk	30.000,00 €
Summe netto:	93.740,00 €		277.352,00 €
Summe brutto:	111.550,60 €		330.048,88 €
Kapitalkosten 15 Jahre 1,5%	8.360,09 €		24.735,30 €
Instandhaltung 3% aus Invest	3.346,52 €	(ohne Mehrkosten Bauwerk)	8.830,47 €
Wartung/Inspektion 3% aus Invest	3.346,52 €	(ohne Mehrkosten Bauwerk)	8.830,47 €
	100 h/a		150 h/a
Bedienung/Wartung 25€/h	2.500,00 €		3.750,00 €
Brennstoff			
160 to/a Pellets, 237,63 €/to	38.020,80 €		
230 t/a Hackschnitzel W35		82,25 €/to	18.917,50 €
0 t/a Hackschnitzel W20		127,88 €/to	0,00 €
Kalkulatorische Jahreskosten	55.573,92 €		65.063,73 €

4. Zusammenfassung

Die Nutzung von kostengünstigen Hackschnitzeln rechnet sich bei dieser Anlagengröße nicht. Die Mehrkosten aus aufwändigerer Technik bei Befüllung, Austragung, Verbrennung, Abgasbehandlung und Bauwerk werden nicht durch die günstigeren Brennstoffkosten aufgefangen.

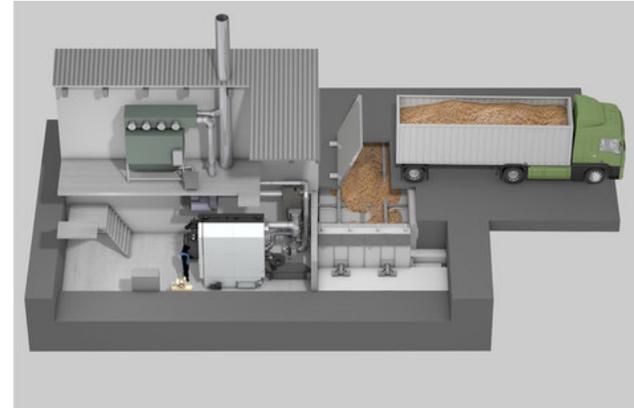
Bei marktüblichen Preisen würden bei der Hackschnitzelvariante **jährliche Mehrkosten in Höhe von 9.400 €** entstehen. Um Preisneutralität zu Pellets zu erlangen, müssten die Hackschnitzel zum halben Marktpreis zur Verfügung stehen.

Ein Betrieb der Pellets-Technik mit Hackschnitzeln funktioniert bei der Einbringung, Austragung und Abgasbehandlung nicht.

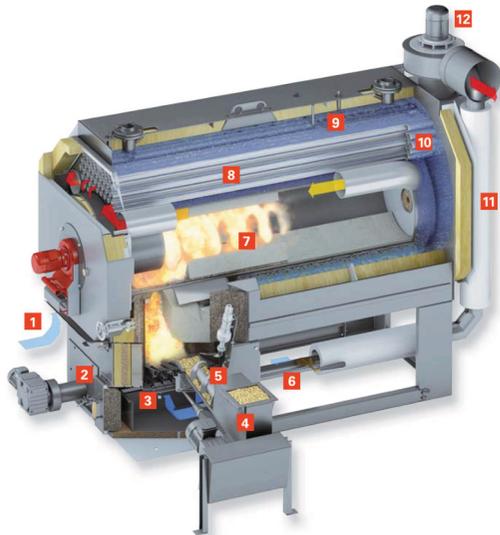
Ein Betrieb der Hackschnitzeltechnik mit Pellets wäre mit Einschränkung möglich, ist aber unwirtschaftlich.



Bauliche Anlage Pellets



Bauliche Anlage Hackschnitzel



Kesseltechnik Pellets



Kesseltechnik Hackschnitzel

Die Empfehlung für die neue Heizzentrale am Bühlschulzentrum lautet daher:

1. Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) zur effizienten Erzeugung von Strom und Wärme mit einer elektrischen Leistung bis 50 kW_{el} und einer thermischen Leistung von 81 kW
2. Ein Biomassekessel für **Holzpellets** zur Bereitstellung von CO₂-neutraler Wärme mit einer Leistung von 200 kW
3. Ein Gas-Spitzenlastkessel für die kostengünstige Abdeckung von Lastspitzen und als Redundanz z.B. bei Wartung mit einer Leistung von 900 kW
4. Um einen effizienten Betrieb der Komponenten zu ermöglichen wird noch ein Wärmepufferspeicher in der Größenordnung 10.000 Liter mit benötigt.

Wärmeerzeuger	Rang	Nennleistung [kW]	Brennstoffverbrauch	Erzeugt [kWh]	Anteil [%]	Volllaststunden [h]	Nutzungsgrad [%]	Starts
BHKW 50kW _{el} 81kW _{th}	1 - Grundlast	81	Erdgas: 89579 m ³	512974	34	6181	57	242
Pelletsessel 60 - 220 kW	2a - Grundlast	200	Pellets: 160 t	737264	49	3687	92	585
Gaskessel 180-900 kW	3 - Spitzenlast	900	Erdgas: 39897 m ³	260526	17	290	65	726
Pufferspeicher	4- Ausgleich	10.000 L		188033	12			

Aufgestellt, Ulm, 09.12.2019

Markus Mörsch VDI
Dipl.-Ing.(FH) SFI

ulma ENERGIEconsult GmbH