fuhrmann + keuthen
ingenieurbüro - technische gebäudeausrüstung

Sanierungskonzept für das Kesselhaus des Meerbusch- Gymnasium unter ökologischen und ökonomischen Aspekten

1. **Erläuterung der Aufgabenstellung**
2. **Basisdaten, Grundlagen**
3. **Erläuterung der einzelnen Varianten**
4. **Trinkwarmwasserbereitung der Turnhalle**
5. **Zusammenfassung**

Aufgestellt:

Kleve, 26. Mai 2009

i.A. Lars Hendriks

1. Erläuterung der Aufgabenstellung

Zur Beurteilung und Bewertung diverser Anlagenvarianten sind unterschiedliche Betrachtungen unter diversen Aspekten durchzuführen.
Im konkreten Fall wird das Kesselhaus des Meerbusch- Gymnasium untersucht. Im Kesselhaus befinden sich zwei Wärmeerzeuger, als Gas- Niedertemperaturkessel, mit einer Gesamtleistung von 3.250 kW. In zuvor begleiteten Maßnahmen, durch unser Büro, wurde bereits ein Wärmeerzeuger mit einer Leistung von 2.000 kW demontiert. Des Weiteren wurde eine neue Wärmeverteilung aufgebaut, die bestehenden Lüftungsgeräte gegen angepasste Geräte ausgetauscht und eine Gebäudeleittechnik (GLT) installiert.
Durch weitere Sanierungsmaßnahmen, wie z.B. die Optimierung der Gebäudehülle durch neue Fensteranlagen, wurde der Wärmebedarf des Gebäudes bis zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Ausarbeitung weiter gesenkt.

Die bestehenden Wärmeerzeuger sind ca. 20 Jahre alt und nur mit erheblichen Kosten auf die GLT aufzuschalten. Ferner entsprechen die Wirkungsgrade der Wärmeerzeuger nicht dem „Stand der Technik“.



Foto: Typenschild eines Wärmerzeugers

Sanierungskonzept für das Kesselhaus in Meerbusch

Aus diesem Grund werden in dieser Ausarbeitung fünf alternative Sanierungsvarianten aufgeführt, welche anhand der gebäudespezifischen Parameter bewertet werden.
Anhand von Investitionsschätzkosten und den zugehörigen Energieeinsparungen werden diese ökonomisch- und anhand von CO_2- Emissionen ökologisch bewertet.

Sämtliche Betrachtungen basieren u. a. auf örtlichen Erkenntnissen die unser Büro im Rahmen der Sanierung bisher gewinnen konnte. Ferner sind Energieverbräuche, die uns zur weiteren Veranlassung zugänglich gemacht wurden, einbezogen.

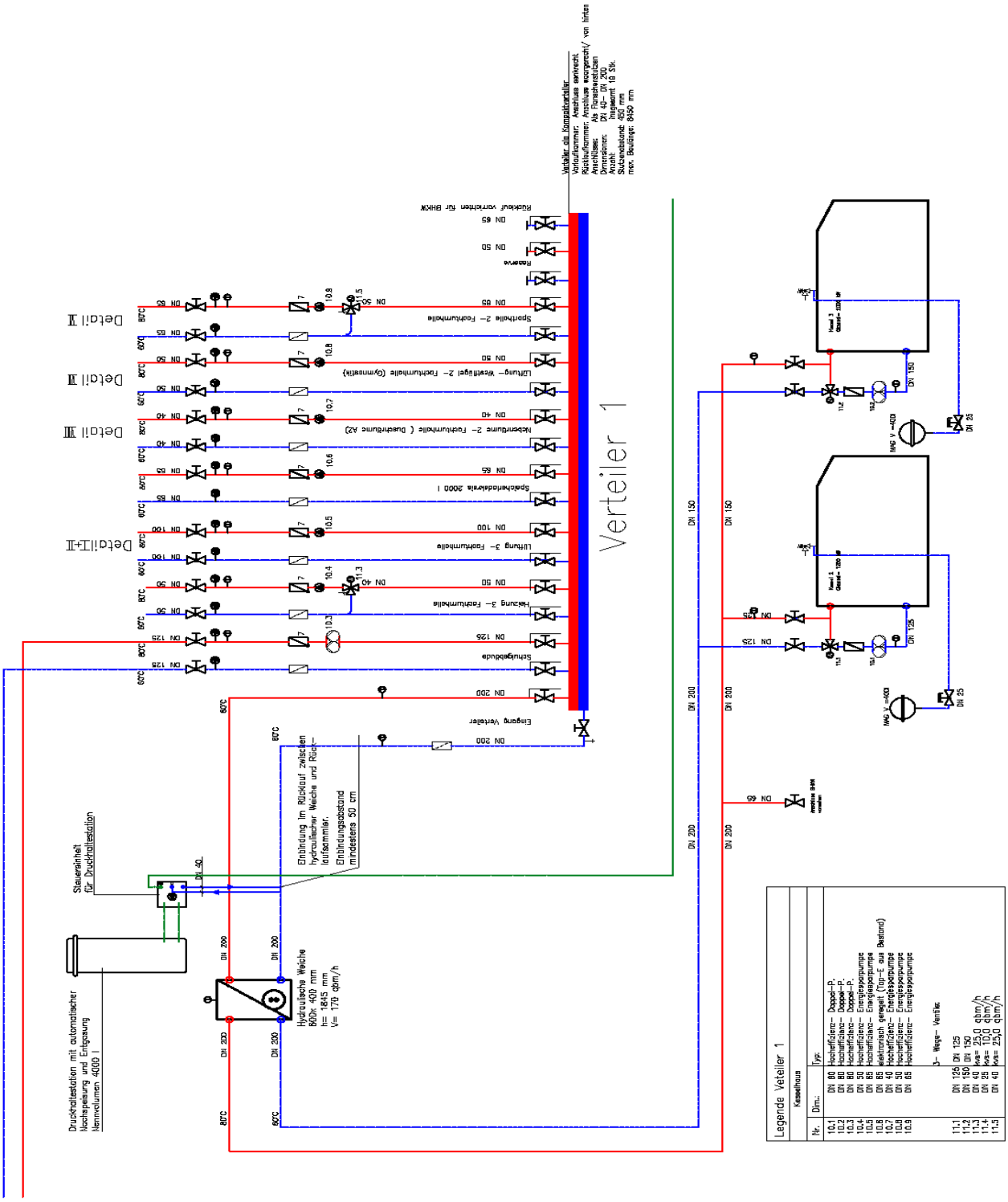


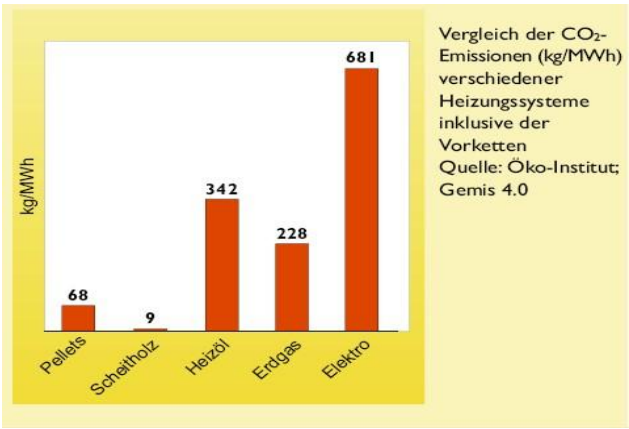
Bild: Hydraulisches Schema des Kesselhauses zum jetzigen Zeitpunkt

2. Basisdaten, Grundlagen

Wie einleitend erwähnt, basieren viele Daten auf unseren bisherigen Erfahrungen mit den spezifischen technischen Gegebenheiten des Gebäudes.
In den Wintermonaten wurde festgestellt, dass auch bei einer Vollnutzung des Gebäudes und bei niedrigen Außentemperaturen nur ein Teillastbetrieb der Kesselanlage abgefordert wurde.
Durch die neue GLT ist eine effiziente Wärmeverteilung möglich, was ebenfalls zur Minderung der Heizleistung führt.
Die Dimensionierung der Wärmeerzeuger kann unter unterschiedlichen Aspekten erfolgen. Die folgenden Varianten sind daher mit unterschiedlichen Gesamtleistungen berechnet worden. Die Gründe für die unterschiedlichen Dimensionierungen werden jeweils in Kürze erläutert.

Es werden folgende spezifischen CO_2- Emissionen für die weiteren Betrachtungen zu Grunde gelegt (Quelle GEMIS):

Strom:	0,681 kgCO_2/kWh
Pellets:	0,068 kgCO_2/kWh
Gas:	0,228 kgCO_2/kWh



Vergleich der CO_2-Emissionen (kg/MWh) verschiedener Heizungssysteme inklusive der Vorketten
Quelle: Öko-Institut; Gemis 4.0

Die Betrachtung der „Emissions-Vorketten“ macht Sinn, um einen objektiven Vergleich der Ökologie erstellen zu können. Hierbei werden alle Aufwendungen berücksichtigt, die zur Erstellung und Lieferung des Brennstoffes bis zum Verbrennungsort notwendig sind.

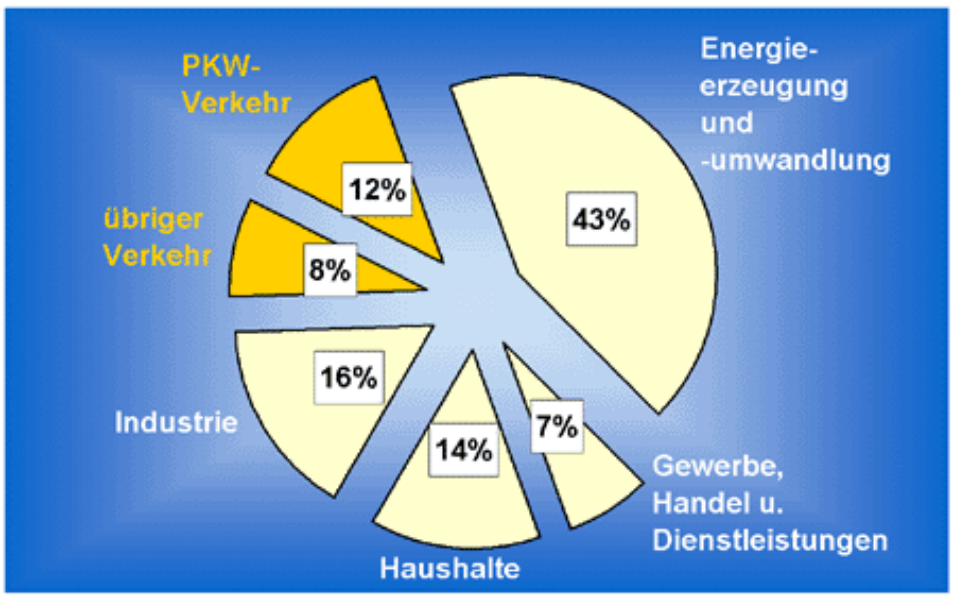
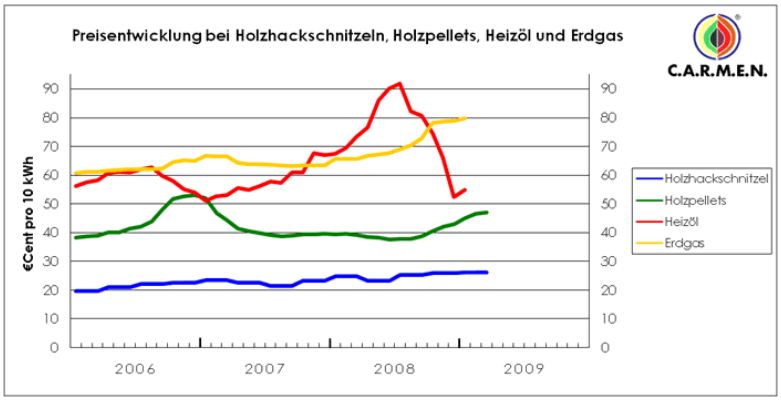


Diagramm zur Übersicht:CO_2- Emissionen in Deutschland

Sanierungskonzept für das Kesselhaus in Meerbusch

Für die Energiegestehungskosten werden folgende Preise zu Grunde gelegt:

Strom:	0,130 €/kWh
Pellets:	0,046 €/kWh
Gas:	0,065 €/kWh



Aus der nebenstehenden Grafik ist zu entnehmen, dass die Kosten für Pellets fast unabhängig von der Energiekrise 2008 gehandelt wurden. Des Weiteren ist die Kopplung und Verzögerung der Gaspreisbindung an den Ölpreis zu erkennen. Bei den geringen Kosten für Holzhackschnitzel sind zusätzliche Kosten für die Lagerung zum Trocknen des Rohstoffes zu berücksichtigen.
In dieser Statistik ist der Strompreis nicht dargestellt. Es ist jedoch festzuhalten, dass dieser proportional zum Gaspreis im Jahr 2008 angestiegen ist. Durch eine effiziente Wärmegestehung, wie z. B. durch Wärmepumpen, wirkt sich die Energiekostensteigerung durch einen Wirkungsgrad von ca. 4,0 bei jedoch nur um 25% aus.

Des Weiteren werden folgende witterungsbereinigte Jahresheizenergieverbräuche berücksichtigt:

Summe 2004:	2.622.934 kWh/a	
Summe 2005:	2.377.606 kWh/a	
Summe 2006:	2.576.918 kWh/a	
Summe 2007:	2.177.205 kWh/a	
Summe 2008:	1.950.814 kWh/a	
Mittelwert:	**2.341.096 kWh/a**	**somit ca. 2.350.000 kWh/a**

Berücksichtigt man nach den einschlägigen Vorschriften und den Kenntnissen aus der Literatur für Halbtagsschulen ca. 1.400 Volllaststunden pro Jahr bzw. für Ganztagsschulen 1.650 Volllaststunden pro Jahr, so ergibt sich eine benötigte Gesamt- Kesselleistung von ca. 1.800 kW.
Der monatliche Maximalwert ist mit ca. 420.000 kWh/a (Januar) zu beziffern. Aus diesem Wert lässt sich eine Gesamtkesselleistung von ca. 2.300 kW ableiten. Die Abweichungen in Höhe von ca. 22% lässt sich durch die vielseitige Nutzung der einzelnen Gebäudekomplexe (Sportstätte mit Trinkwarmwasser, Schulgebäude, Aula, usw.) erklären.

In den jeweiligen Varianten wird die Gesamtkesselleistung zwischen 1.800 kW und 2.300 kW variieren. Die Gründe für die unterschiedlichen Leistungsangaben werden jeweils begründet.

3. Erläuterung der einzelnen Varianten

Folgende fünf Varianten werden aufgeführt, auf Eignung für den Verwendungszweck überprüft und wenn möglich ökologisch und ökonomisch bewertet:

3.1 Niedertemperatur- Gaskesselanlage, bestehend aus zwei Heizkesseln
3.2 Niedertemperatur- Gaskesselanlage, einschl. solarthermischer Unterstützung
3.3 Grundlast BHKW mit Spitzenlast- Gaskesselanlage
3.4 Wärmepumpenanlage als Teillastwärmeerzeuger
3.5 Pellet- oder Holz- Grundlastkessel mit Spitzenlast- Gaskesselanlage

Das bestehende Wärmeverteilungsnetz ist so aufgebaut, dass die Rohrleitungen die angeforderte Wärme auf einen witterungsunabhängigen Temperaturniveau von 80/60°C zu den jeweiligen dezentralen Verteilern führen. Da das Gebäude über 17 dezentrale Lüftungsanlagen mit Heizfunktion verfügt, ist eine nachträgliche Umstellung auf geringere Heizmedientemperaturen nur mit erheblichen Mehraufwendungen zu realisieren und daher nicht wirtschaftlich darstellbar. An den dezentralen Wärmeverteilern im Gebäude werden die Heizkreise der Heizkörper witterungsgeführt beigemischt. Festzuhalten ist der Sachverhalt, dass der Wärmetransport von der Wärmequelle (Kesselhaus) ausschließlich auf einem hohen Temperaturniveau (80/60°C) stattfinden kann.

Zu 3.1 Niedertemperatur- Gaskesselanlage, bestehend aus zwei Heizkesseln

Die Variante 3.1 bildet die Basis aller Betrachtungen. Grundlage dieser Berechnung sind zwei Gas- Niedertemperaturkessel mit einer Heizleistung von je 1575 kW bei einem Normnutzungsgrad von ca. 94%. Die Kessel sind regelungstechnisch als Kaskade geschaltet. Somit ergibt sich ein hoher Modulationsbereich bis zu einer Gesamtheizleistung von ca. 3.150 kW. Somit ist die Anlage ca. 30% überdimensioniert. Diese Überdimensionierung hat zwei Vorteile. Erstens: Auch bei äußerst kalten Außentemperaturen sind die Wärmeerzeuger in der Lage den Gebäudekomplex innerhalb von kürzester Zeit aufzuheizen. Somit entfallen „einzelne Vorheizzeiten“ um den Gesamtgebäudekomplex zum täglichen Schulbeginn auf Wunschtemperatur aufzuheizen. Ein weiterer Vorteil liegt in der Versorgungssicherheit. Selbst wenn aus technischen Gründen nur eine Kesselanlage in Betrieb ist, kann dieser das Gebäude bis zu einer Außentemperatur von ca. -4°C beheizen. Über die GLT- lassen sich die Verbraucher im „Störungsfall“ regulieren, sodass eine Gebäudebeheizung bis zu ca. -8°C möglich ist. Die gewählte Überdimensionierung und daraus resultierende Redundanz der Wärmeerzeugung basiert auf Herstellerspezifische Kesselbaugrößen. Somit wurden Heizkessel gewählt, die eine max. Heizleistung bei gleicher Baugröße und somit (fast) gleichen Investitionskosten bieten.

Pos.			Einheit
1	Investitionskosten (überschlägig. Kostenschätzung) netto	172.500	€
2	Jährliche Energiekosten netto	135.500	€/a
3	Jährliche Energiekostenersparnis netto	17.250	€/a
4	Amortisation (statisch)	10,0	a
5	Jährliche CO2- Ersparnis	59.500	kgCO2/a

Tab. 1 Zusammenfassung Variante 3.1

Zu 3.2 Niedertemperatur- Gaskesselanlage, einschl. solarthermischer Unterstützung

Solarthermische Anlagen zur Heizungsunterstützung werden zur Zeit in vielen Anlagensystemen projektiert. Meistens handelt es sich bei den Gebäuden um Neubauten, die in Abhängigkeit der Wärmeerzeugung errichtet werden. Da es sich bei diesem konkreten Objekt um ein Bestandsgebäude handelt, ist eine Umsetzung aus folgenden Gründen nicht zu empfehlen:

- die Solaranlage bietet gerade im Sommer ein hohes Potential an Wärmeerträgen. Da zu dieser Jahreszeit jedoch keine/ geringe Heizwärme benötigt wird sind keine/ geringe Einsparungen zu verzeichnen.
- Das Heizungssystem fordert unabhängig von der Außentemperatur eine Vorlauftemperatur von mindestens ca. 60-70°C. In den Übergangszeiten sind diese Temperaturen nur schwer mit einer Solarthermieanlage zu erzielen.
- Im Winter steht keine ausreichende Sonnenenergie zur Gebäudeheizung zur Verfügung.
- Da die Sportstätten in den Sommerferien nicht genutzt werden, sind solare Erträge nicht für die Trinkwarmwasserbereitung zu nutzen.
- Die hydraulische Schaltung der Wärmeerzeuger und der Solarthermie sind aufgrund der verschiedenen Leistungen nur mit komplexen Regel- und Messeinrichtungen möglich.
- Eine solarthermische Unterstützung der Wärmeerzeugung wirkt sich nicht auf die reduzierte Dimensionierung der weiteren Wärmeerzeuger aus, da der Ertrag unabhängig vom Verbrauch zu bilanzieren ist.

Zu 3.3 Grundlast BHKW mit Spitzenlast- Gaskesselanlage

Die Einbindung eines BHKW an die bestehende Anlage ist über einen großen Pufferspeicher möglich. Die Dimensionierung des Pufferspeichers erfolgt in Abhängigkeit des Lastprofils des Gebäudes und der thermischen Leistung des BHKW.
Nach eingehender Prüfung des Lastprofils ist ein BHKW mit einer thermischen Leistung von 35 kW und einer elektrischen Leistung von 16 kW in das System einzubinden. Der Pufferspeicher verfügt über ein Speichervolumen von ca. 15m³ und kann somit Spitzenlasten von ca. 400 kW kompensieren.
Da das Lastprofil durch die spezifische Nutzung jedoch nur einen Betrieb von 4000 Stunden pro Jahr ermöglicht, ist die Wirtschaftlichkeit nur eingeschränkt darstellbar.
Die Spitzenleistung wird über zwei separate Spitzenlastkessel mit einer Leistung von je 1.000 kW kompensiert.

Pos.			Einheit
1	Investitionskosten (überschlägig. Kostenschätzung) netto	225.000	€
2	Jährliche Energiekosten netto (ohne Stromeinspeisung)	168.500	€/a
3	Jährliche Energiekostenersparnis einschl. Berücksichtigung der Stromnutzung und Einspeisung netto	24.750	€/a
4	Amortisation (statisch)	9,1	a
5	Jährliche CO2- Ersparnis	85.800	kgCO2/a

Tab. 2 Zusammenfassung Variante 3.3

Zu 3.4 Wärmepumpenanlage als Teillastwärmeerzeuger

Eine Wärmepumpe entzieht einer Wärmequelle Energie auf einem niedrigen Temperaturniveau und gibt dieses auf einem hohen Temperaturniveau zu Heizzwecken in das Wärmeverteilungssystem. Als Wärmequelle dient dabei entweder Wasser/ Erdreich oder die Umgebungsluft. Die Effizienz einer Wärmepumpe variiert mit der Austrittstemperatur des Heizmediums. Mit steigender Heizwasservorlauftemperatur sinkt der Wirkungsgrad. Wie unter Punkt 3.2 bereits erläutert, sind für die Gebäudebeheizung hohe Vorlauftemperaturen (bedingt durch das Heizwärmeverteilungsnetz und die Verbraucher) erforderlich. Aus diesem Grund ist der Betrieb einer Wärmepumpe nicht für dieses Gebäude zu empfehlen.

Zu 3.5 Pellet- oder Holz- Grundlastkessel mit Spitzenlast- Gaskesselanlage

Die Dimensionierung einer Pellet- oder Holzhackschnitzel- Grundlastwärmeerzeuger erfolgt in Abhängigkeit des Lastprofils und über einen Pufferspeicher.
Im konkreten Anwendungsfall empfehlen wir einen Pelletkessel. Die Vorteile des gewählten Pelletkessel gegenüber des Holzhackschnitzelkessel lassen sich konkret für dieses Projekt wie folgt erläutern:

- Die Pelletlagerstätte könnte außerhalb der Zentrale als Silo aufgebaut werden
- Aufgrund der höheren Energiedichte ist eine kleinere Brennstofflagerstätte erforderlich
- Die Lagerung und Belieferung lässt sich bei Pellets leichter realisieren
- Man benötigt keine Trockenräume für die Brennstofflagerung.

Es sei hiermit darauf hingewiesen, dass Holzhackschnitzel als Brennstoff günstiger zu beziehen sind als Pellets. Meistens werden diese Feststofffeuerstätten für Hackschnitzel jedoch dann eingesetzt, wenn denn der benötigte Brennstoff in ausreichender Menge durch die Bewirtung von Freiflächen als „Sowieso- Produkt“ anfällt und zur Verfügung steht.
Als Konzept empfehlen wir folgende Komponenten:

1 Stück Pelletkessel mit einer Leistung von thermisch 750 kW
1 Stück Gaskessel mit einer Leistung von thermisch ca. 400 kW
1 Stück Gaskessel mit einer Leistung von thermisch ca. 1000 kW

Die Pelletkesselanlage wird von einem außenstehenden Silo über flexible Förderschnecken beschickt. Das Silo hat einen Durchmesser von ca. 2,60 m und eine Höhe von ca. 8-9m (Fassungsvermögen ca. 40m³). Aufgrund der großen Abnahmemenge von ca. 35m³ je Lieferung rentiert sich bereits ein ca. 4 wöchiger Lieferintervall. An dieser Stelle möchten wir darauf hinweisen, dass Pelletlagerstätten in 4- facher Größe (bei gleicher Anlagengröße/ Heizleistung) geplant werden um möglichst wenig Lieferungen einzuplanen bzw. die Lieferkosten zu senken. Aus unserer Erfahrung ist jedoch festzuhalten, dass die Lieferkapazität eines Fahrzeugs bei ca. 35m³-40m³ liegt und somit das Fahrzeug bei einer großen Bestellung ebenfalls ca. 4 mal fahren muss.
Es werden zwei unterschiedliche Gaskessel berücksichtigt. Grund hierfür ist die mangelnde Effizienz großer Pelletkessel bei kleinsten Wärmeleistungen (Flammenerhaltung). Sehr geringe Heizanforderungen werden nach dieser Konzeption durch den 400 kW Kessel bedient. Übersteigt die Wärmeanforderung einen definierten Wert, wird der Pelletkessel eingeschaltet, welcher über zwei 5.000 Liter Pufferspeicher das Heizsystem versorgt. Der Pelletkessel deckt mit 750 kW thermischer Leistung ca. 35-40% der Gesamtwärmeleistung. Dies entspricht jedoch einem Anteil am Gesamtwärmebedarf von ca. 70%- siehe folgendes Diagramm.

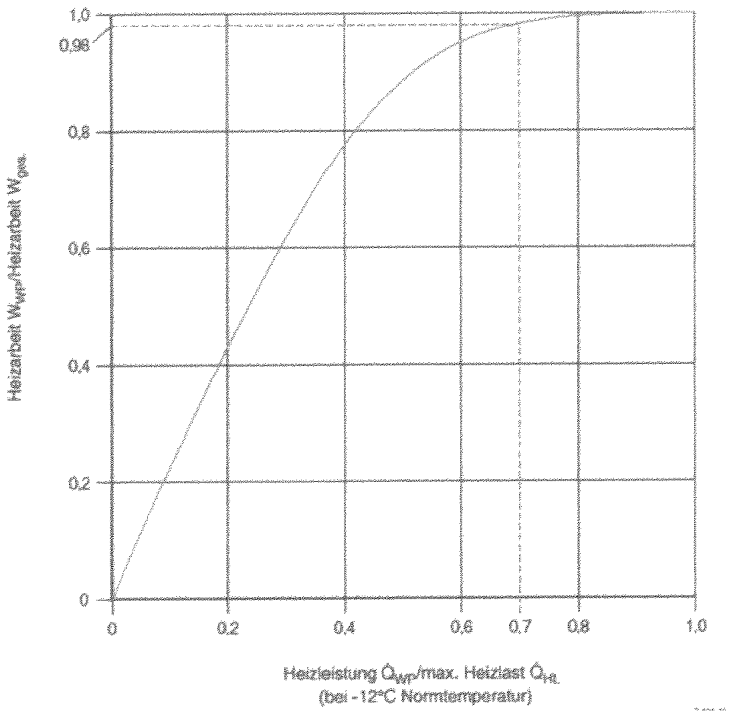


Diagramm Heizleistung zur Heizarbeit bei -12°C Außentemperatur

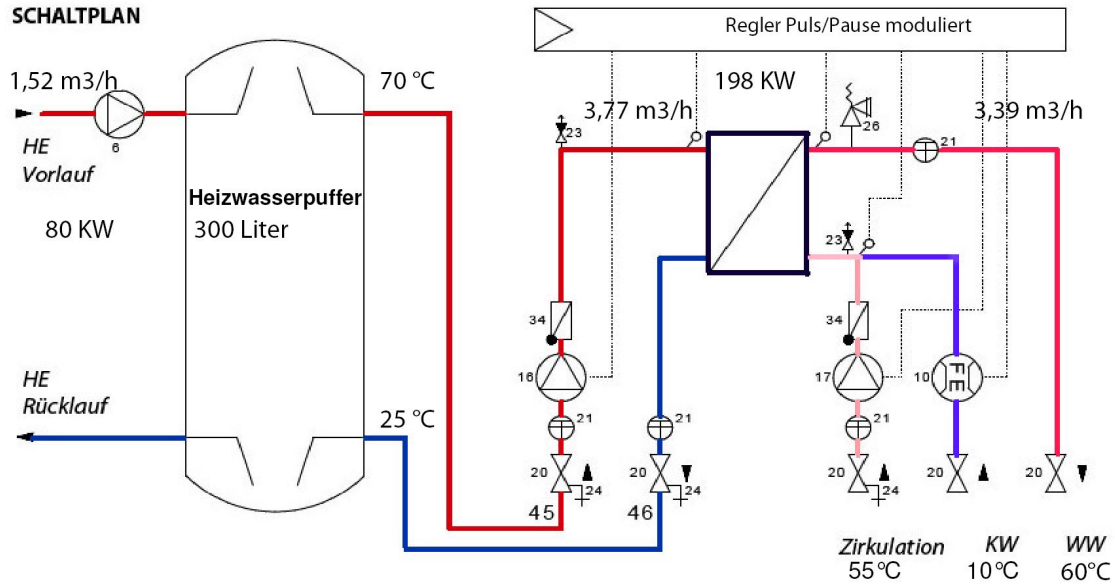
Um die Spitzenlasten zu kompensieren werden beide Gaskessel als Kaskade zugeschaltet. Die genannten Investitionskosten verstehen sich einschl. Fundamentarbeiten für das Silo.

Pos.			Einheit
1	Investitionskosten (überschlägig. Kostenschätzung) netto	309.000	€
2	Jährliche Energiekosten netto	116.000	€/a
3	Jährliche Energiekostenersparnis netto	36.750	€/a
4	Amortisation (statisch)	8,4	a
5	Jährliche CO2- Ersparnis	**281.200**	**kgCO2/a**

Tab. 2 Zusammenfassung Variante 3.3

4.Trinkwarmwasserbereitung Turnhalle

Die Trinkwasserinstallation und die Trinkwarmwasserbereitung entsprechen nicht mehr anerkannten Regeln der Technik und sind daher im Rahmen der Sanierung ebenfalls auszutauschen.
Aufgrund der hohen Heizleistungen der Wärmeerzeuger (unabhängig von der gewählten Variante) und der Aufstellung der Trinkwarmwasserbereitung in unmittelbarer Nähe der Wärmeerzeugung empfehlen wir Ihnen folgende Trinkwassererwärmungsanlage:



Darstellung Funktionsweise Durchflusstrinkwassererwärmung

Funktionsweise:
Die benötigte Wärmeenergie zur Erwärmung des Trinkwassers wird in einem auf das Gesamtsystem abgestimmten Heizwasserpufferspeicher (hier 300 Liter) gespeichert. Im Bedarfsfall wird das gespeicherte Heizungswasser über einen leistungsstarken, speziell auf den jeweiligen Anwendungsfall ausgelegten Plattenwärmetauscher geführt, wodurch das Trinkwasser im Durchfluss auf die gewünschte Temperatur (empfohlen 60°C) erwärmt wird. Je nach Bedarfsanforderung variiert der Heizwasservolumenstrom so, dass die am elektronischen Regler eingestellte Warmwassertemperatur (gemäß DVGW-Arbeitsblatt W551 - 60°C) am Wärmetauscherausgang konstant und ohne Temperaturschwankungen eingehalten werden kann.
Diese konstante Temperaturregelung erfolgt mittels einer in dem System integrierten bedarfsabhängigen Leistungsregelung der Heizungspumpe, die es weiterhin ermöglicht, heizungsseitige Temperaturschwankungen optimal ohne Auswirkung auf die Trinkwassertemperatur auszugleichen und Elektroenergie einzusparen. Gleichzeitig wird die Temperatur der zurückgeführten Zirkulationswassermenge entsprechend dem eingestellten Sollwert (Warmwassertemperatur–5K) ebenfalls über eine bedarfsabhängige Leistungsregelung der Zirkulationspumpe konstant und energieeffizient ausgeregelt.
Aus energetischer Sicht bietet dieses System den Vorteil, dass gerade bei dem komplizierten Lastverhältnissen einer Sportstätte nur dann warmes Wasser bereitet wird, wenn es gefordert wird. Die Betriebsstunden der Trinkwassererwärmung sind somit mit dem Bedarf gleichzusetzen.
Die Kosten für die zuvor aufgeführte Anlagekonzeption, Trinkwasser im Durchfluss zu erwärmen ist mit netto **ca.21.000 €** zu beziffern (einschl. Rohrleitungen anschließen und Optimierung der Rohrleitungen Kalt- u. Warmwasser).

5.Zusammenfassung

Die zuvor aufgeführte Untersuchung von fünf unterschiedlichen Varianten zur Sanierung der Wärmeerzeugung zeigt auf, dass zwei Technologien für das Gesamtkonzept ungeeignet sind und drei Varianten unterschiedliche Alternativen darstellen.

Variante	Beschreibung	Investistions-Kosten	Energiekosten-Ersparnis	Amortisation	CO2-Ersparnis/ a
		€	€/a	a	kgCO2/a
3.1	NT- Gaskessel, 2 Stück	172.500	17.250	10	59.500
3.2	NT- Gaskessel + Solarthermie	**ungeeignete Anlagenkonzeption für konkretes Objekt**			
3.3	BHKW mit Spitzenlastkessel	225.000	24.750	9,1	85.800
3.4	WP- Anlage mit Spitzenlastkessel	**ungeeignete Anlagenkonzeption für konkretes Objekt**			
3.5	Pellet- Kessel mit Spitzenlastkessel	309.000	36.750	8,4	281.200

Tabellarische Zusammenfassung der Unterschiedlichen Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten variieren zwischen netto 172.500 € und 309.000 €, ohne Berücksichtigung der Trinkwassererwärmung.
Unter ökonomischen Aspekten (bei statischer Betrachtung- ohne Berücksichtigung von Krediten) ist aus Sicht des Verfassers die Variante 3.5 zu empfehlen.
Die Amortisation der Investitionskosten ist hier mit 8,4 Jahren berechnet worden.
Ein weiterer Grund für die Wahl der Wärmerzeugung durch Pellets (ca. 70% der Gesamtwärmeerzeugung) ist die Aussage von unabhängigen Instituten, die den Preisanstieg für Pellets, infolge der zukünftig zu erwartenden Energiekostensteigerung (Brennstoff Variante 3.5) als „verhältnismäßig gering“ einstufen.
Unter ökologischen Aspekten ist ebenfalls Variante 3.5 zu favorisieren. Die Einsparungen der CO_2- Emissionen sind mehr als 300% Höher als die alternativen Varianten.

Ein durchschnittliches gasbeheiztes Einfamilienhaus emittiert im Jahr ca. 6.000 kg CO_2/a.
Eine Umsetzung der Variante 3.5 würde somit einer CO_2- Einsparung von ca. 46 Einfamilienhäusern entsprechen.