

Umweltpartnerschaft „1. FCK-MUF“ Holzbau und Holz-Sonne-Kopplung als Alternative im Trainingszentrum Fröhnerhof

Auftraggeber SGD Süd Forschungsanstalt für Waldökologie
 und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Abt. D
 Hauptstraße 16
 67705 Trippstadt

Auftragnehmer Innovations- und Transferinstitut Bingen GmbH
 Leiter: Prof. Dr. G. Schaumann
 Bearbeiter/in: Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz
 Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs

Projektnummer: 746

Datum: 18.12.2002

Inhalt

Inhalt.....	3
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	4
Einleitung.....	6
1 Entwurf.....	7
1.1 Aufbau der Bauteile des Entwurfs	7
1.2 Wärmebedarf des Entwurfs	8
2 Optimierung des Wärmedämmstandards.....	9
2.1 3-Liter-Haus-Standard	9
2.2 Maßnahmenkatalog.....	10
3 Wärmeversorgung	12
3.1 Dezentrale Wärmeversorgung.....	12
3.1.1 Wärmeversorgung des Gebäudes im Trainingszentrum	12
3.1.2 Wärmeversorgung der Rasenheizung im Trainingszentrum	15
3.1.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	18
3.2 Zentrale Wärmeversorgung.....	22
3.2.1 Wärmeversorgung durch Heizzentrale	22
3.2.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	23
3.3 Vergleich der Wärmeversorgungsvarianten	25
3.3.1 Vergleich CO ₂ -Emission	25
3.3.2 Vergleich Wirtschaftlichkeit.....	27
3.4 Solaranlage zur Brauchwarmwasserbereitung	28
3.4.1 Auslegung der Solaranlage	29
3.4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	32
4 Fotovoltaik.....	36
5 Wasserverbrauch.....	40
5.1 Wasserbedarf des Entwurfs	40
5.2 Wasserspararmaturen	40
5.3 Vakuumtechnik.....	41
5.4 Regenwassernutzung.....	42
5.5 Grauwassernutzung	43
5.6 Vergleich der Wassereinsparungen.....	44
6 Zusammenfassung	46

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Lageplan des Trainingszentrums Fröhnerhof	7
Abbildung 2-1 Maßnahmenkatalog für verschiedene Konstruktionsvarianten	10
Abbildung 3-1 Befüllstützen für Holzpelletlager (Quelle: ÖKO-FEN)	13
Abbildung 3-2 Biomassekessel mit Rührwerkaustragung aus Holzpelletlager (Quelle: ÖKO-Energie).....	14
Abbildung 3-3 Biomassekessel mit Schnekenaustragung aus Holzpelletlager (Quelle: ÖKO-Energie).....	14
Abbildung 3-4 Wärmepumpenanlage mit Saug- und Schluckbrunnen (Quelle: Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V.)	17
Abbildung 3-5 Wärmepumpenanlage mit Rohrschlangen (Quelle: Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V.)	17
Abbildung 3-6 CO ₂ -Emission der Wärmeversorgungsvarianten	26
Abbildung 3-7 Jahreskosten der Wärmeversorgungsvarianten	28
Abbildung 3-8 Prinzipdarstellung eines Flachkollektors (Quelle: Solarserver).....	29
Abbildung 3-9 Prinzipdarstellung eines Vakuumröhrenkollektors (Quelle: Solarserver).....	29
Abbildung 3-10 Anordnung der Flachkollektoren auf dem Flachdach.....	30
Abbildung 3-11 Anordnung der Vakuumröhrenkollektoren auf dem Flachdach.....	30
Abbildung 4-1 Schematischer Aufbau einer Solarzelle (Quelle: Fa. Elektroanlagenbau Vergin).....	36
Abbildung 4-2 Prinzipdarstellung einer Fotovoltaikanlage (Quelle: Solvis).....	37
Abbildung 4-3 Fotovoltaikmodule auf dem Dach eines Krankenhauses (Quelle: Solvis).....	38
Abbildung 4-4 Fotovoltaikanlage mit einer Modulhöhe von 1,19 m auf dem Gebäude des Trainingszentrums.....	39
Abbildung 4-5 Fotovoltaikanlage mit einer Modulhöhe von 0,53 m auf dem Gebäude des Trainingszentrums.....	39
Abbildung 5-1 Vakuumanlage mit zugehörigen Armaturen (Quelle: Roevac).....	41
Abbildung 5-2 Prinzipdarstellung einer Regenwassernutzungsanlage (Quelle: RWP)	42
Abbildung 5-3 Prinzipdarstellung einer in das Leitungssystem integrierten Grauwasseraufbereitungsanlage (Quelle: Flowatec)	43
Abbildung 5-4 Varianten zur Wassereinsparung mit Einsparpotential	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1 Bauteile des Entwurfs mit Kenndaten	7
Tabelle 1-2 Gebäudeheizenergiebedarf des Entwurfs	8
Tabelle 2-1 Übersicht der Varianten im 3-Liter-Haus-Standard	9
Tabelle 3-1 Investitionskosten flüssiggasbefeuerteter Brennwertkessel, Gebäude des Trainingszentrums	19
Tabelle 3-2 Investitionskosten Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets, Gebäude des Trainingszentrum	20
Tabelle 3-3 Investitionskosten für flüssiggasbefeuerten Niedertemperaturkessel, Rasenheizung des Trainingszentrums.....	20
Tabelle 3-4 Investitionskosten für Wärmepumpenanlage, Rasenheizung des Trainingszentrums	21
Tabelle 3-5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der dezentralen Wärmeversorgung	21
Tabelle 3-6 Bestimmung der Bedarfswerte der Nahwärmeversorgung	22
Tabelle 3-7 Investitionskosten Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und flüssiggasbefeuerteter Niedertemperaturkessel, Heizzentrale Trainingszentrum..	24
Tabelle 3-8 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der zentralen Wärmeversorgung	25
Tabelle 3-9 CO ₂ -Emissionsbilanz der verschiedenen Wärmeversorgungen.....	26
Tabelle 3-10 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Wärmeversorgung des gesamten Trainingszentrums	27
Tabelle 3-11 Investitionskosten Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und Flachkollektoranlage, Gebäude des Trainingszentrum.....	33
Tabelle 3-12 Investitionskosten Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und Vakuumröhrenkollektoranlage, Gebäude des Trainingszentrum	34
Tabelle 3-13 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Gebäudewärmeversorgung mit Biomassekessel und Solaranlage.....	35
Tabelle 4-1 Gesamtmodulflächen einer Fotovoltaikanlage auf dem Gebäude des Trainingszentrums	38
Tabelle 5-1 jährlicher Wasserbedarf des Gebäudes im Trainingszentrums.....	40

Einleitung

Die FIFA stellt an Austragungsorte der Weltmeisterschaft besondere Anforderungen hinsichtlich des Umweltschutzes. Im Rahmen der Umweltpartnerschaft zwischen dem rheinland-pfälzischen Ministerium für Umwelt und Forsten und dem Fußballverein „1. FC Kaiserslautern“ wurde der geplante Neubau des Trainingszentrums Fröhnerhof zur umweltgerechten Optimierung ausgewählt.

Dazu werden in dieser Studie ressourcenschonende Alternativen zur bisherigen Planung für das Trainingszentrum Fröhnerhof untersucht. Dies betrifft sowohl die eingesetzten Baustoffe und den sich daraus resultierenden Wärmedämmstandard des Gebäudes als auch die Wärmeversorgung des Trainingszentrums.

Zunächst wird der vom Ingenieurbüro Alfred Eberle in Bad Dürkheim berechnete Wärmebedarf des geplanten Entwurfs durch einen unterschiedlichen Aufbau der Bauteile und verschiedene Materialien in Hinblick auf eine Energie- und Ressourcenschonung optimiert. Zusätzlich wird der Wärmebedarf in Abhängigkeit einer kontrollierten Be- und Entlüftung ermittelt. Die Bewertung dieser Varianten erfolgt innerhalb einer wirtschaftlichen Betrachtung der Investitionskosten bezogen auf die zugehörige Energieeinsparung.

Nach der Ermittlung der Energie- und Stoffströme wird eine orientierende Bewertung der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung vorgenommen.

Zur Wärmeversorgung des Trainingszentrums Fröhnerhof wird zwischen einer dezentralen Wärmeversorgung des Gebäudes sowie des Sportplatzes und einer zentralen Versorgung unterschieden. Für das Gebäude ist eine Heizanlage mit Flüssiggasfeuerung und für die Rasenheizung des Sportplatzes ebenfalls ein flüssiggasbefeuertter Heizkessel geplant. Alternativ dazu wird ein Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets für das Gebäude betrachtet. Zur gemeinsamen Wärmeversorgung wird ebenfalls ein Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets mit Nahwärmeleitungen zu den Abnehmern untersucht. Als Zusatz betrachtet die Studie die Brauchwarmwassererwärmung mit Unterstützung durch eine Solaranlage. Mit den zu erwartenden Erträgen werden technisch mögliche Anlagenkonzepte entworfen.

Für die Nutzung von Solarenergie zur Stromerzeugung wird untersucht, welche technische Lösungen realisiert werden können in Abhängigkeit der zu erwartenden Erträge. Für die Fotovoltaikanlage werden Investitionskosten überschlägig und die Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ermittelt.

In dieser Studie wird anhand der Energiebilanz mit Werten zu den umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die dezentrale und zentrale Wärmeversorgung erstellt. Dazu werden die Jahreskosten und die Wärmepreise anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten ermittelt. Neben der wirtschaftlichen Betrachtung erfolgt eine ökologische Bewertung durch eine Emissionsbetrachtung der Wärmeversorgungsvarianten.

In einer abschließenden Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt, sodass diese als Entscheidungshilfe zur Anlagenauswahl beitragen können.

1 Entwurf

Der von der plan art GmbH aus Kaiserslautern geplante Entwurf des Trainingszentrums Fröhnerhof vom 16.08.2002 ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

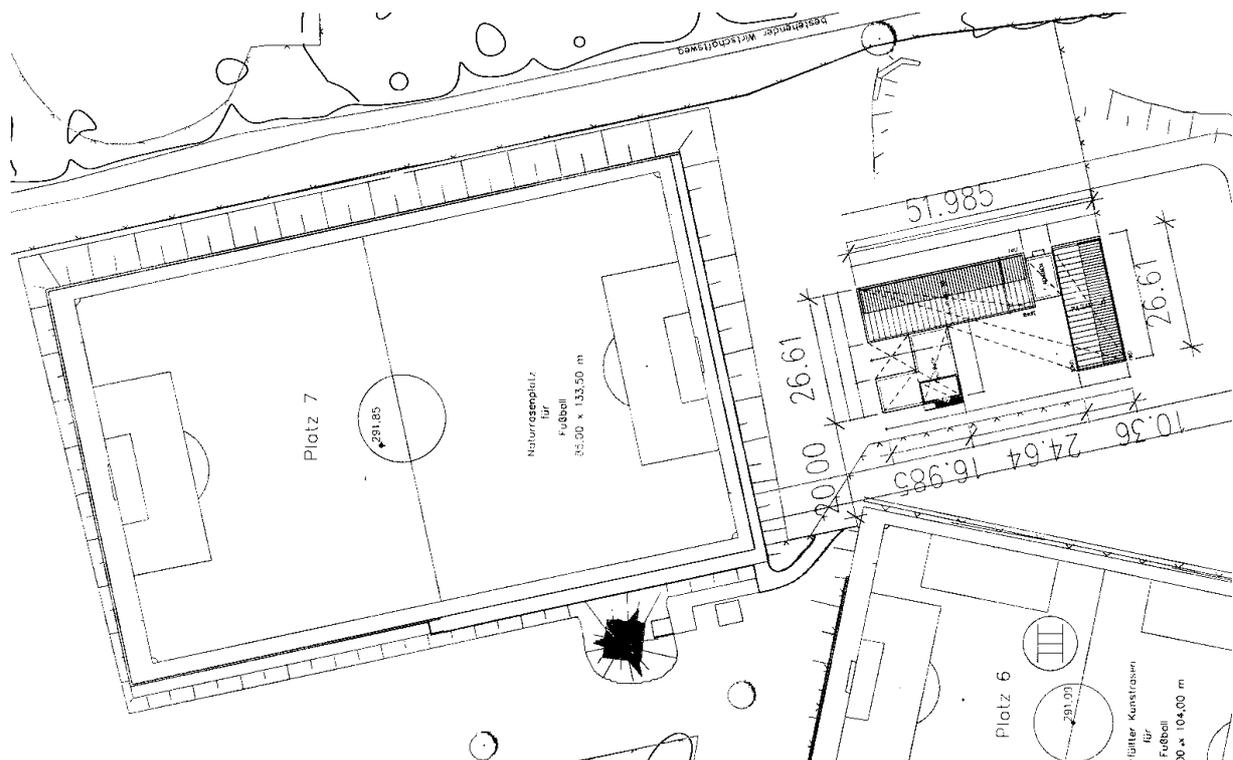


Abbildung 1-1 Lageplan des Trainingszentrums Fröhnerhof

1.1 Aufbau der Bauteile des Entwurfs

Die im Entwurf des Trainingszentrums vorgesehenen Bauteile sind in der folgenden Tabelle mit den zugehörigen Flächen und deren U-Werte aufgeführt.

Bauteil	Fläche m ²	U-Wert W/(m*K)
Außenwand EG	697,17	0,532
Außenwand Brüstung OG	82,96	0,581
Außenwand OG	369,85	0,313
Bodenplatte	964,80	0,489
Dach über EG	164,65	0,318
Flachdach	188,46	0,205
Dach OG	572,20	0,223
Fenster	198,28	1,5

Tabelle 1-1 Bauteile des Entwurfs mit Kenndaten

1.2 Wärmebedarf des Entwurfs

Im Fachgebiet Bauphysik / TGA der Universität Kaiserslautern wurde ein Heizwärmebedarf des Gebäudes anhand des Entwurfs unter Berücksichtigung einer mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung von 95.274 kWh_{th}/a ermittelt. Da dort für das gesamte Gebäude ein Luftwechsel für eine Wohnung angesetzt wurde, ohne einen höheren Luftwechsel für den Wellness-Bereich zu berücksichtigen, wurde dieser nachträglich ermittelt. Es ergab sich ein etwas höherer Heizwärmebedarf von etwa 112.000 kWh_{th}/a. Mit 1.500 Vollbenutzungsstunden beträgt die benötigte Heizwärmeleistung ca. 75 kW_{th}.

Der Jahresheizenergiebedarf setzt sich neben dem Heizwärmebedarf aus dem Heizenergiebedarf zur Brauchwarmwassererwärmung sowie dem Heizenergiebedarf für den Wellness-Bereich zusammen. Dieser Wellness-Bereich nimmt rund 172 m² der 1.292 m² großen Nutzfläche ein.

Unter der Annahme, dass 30 Personen des Lizenzspieler-Bereichs und 15 Personen des Amateur-Bereichs täglich die Duschen im Trainingszentrum nutzen, liegt etwa 45.800 kWh_{th}/a als Heizenergiebedarf zur Brauchwarmwassererwärmung vor. Ein rund 2.000 l großer Pufferspeicher kann den Warmwasserbedarf der Profisportler und ein ca. 1.000 l großer Pufferspeicher den Warmwasserbedarf der Amateure über externe Wärmetauscher im Durchlaufprinzip abdecken. Bei dieser Auslegung wurde eine Wärmeleistung von 183 kW_{th} ermittelt.

Im Wellness-Bereich befindet sich ein Entmüdungsbecken, das aufgrund Verdunstungsverluste und Frischwassererwärmung Wärme benötigt. Eine überschlägige Ermittlung berechnet eine Wärmeleistung von etwa 3 kW_{th}. Der zugehörige Jahresheizwärmebedarf beträgt rund 4.800 kWh_{th}/a. Dort ist außerdem ein höherer Luftwechsel erforderlich, sodass ein Lüftungswärmebedarf von ca. 17.600 kWh_{th}/a notwendig ist. Durch den Wellness-Bereich liegt ein zusätzlicher Wärmebedarf von 22.400 kWh_{th} vor, der einem jährlichen Brennstoffbedarf von 2.240 l/a Heizöläquivalent entspricht.

In der folgenden Tabelle sind der Heizenergiebedarf und die Wärmeleistung des Gebäudes aufgeführt.

	Heizenergiebedarf	Wärmeleistung
Heizwärmebedarf	112.000 kWh _{th} /a	75 kW _{th}
Brauchwarmwasser	45.800 kWh _{th} /a	183 kW _{th}
Wellness-Bereich	4.800 kWh _{th} /a	3 kW _{th}
Auslegung der Heizanlage	162.600 kWh _{th} /a	185 kW _{th}

Tabelle 1-2 Gebäudeheizenergiebedarf des Entwurfs

Der zum Trainingszentrum zugehörige Sportplatz wird auf einer Fläche von etwa 4.000 m², was der Hälfte entspricht, mit einer Rasenheizung beheizt. Dazu wird eine Wärmeleistung von 600 kW_{th} benötigt. Mit angenommenen Vollbenutzungsstunden von ca. 750 h/a liegt ein Heizenergiebedarf von rund 450.000 kWh_{th}/a vor.

2 Optimierung des Wärmedämmstandards

In Hinblick auf Energie- und Ressourcenschonung werden verschiedene Materialien als Alternativen zu den in der Planung vorgesehenen Baustoffen untersucht.

Ziel der Untersuchung ist, die notwendigen Maßnahmen zum Erreichen des 3-Liter-Haus-Standards zu ermitteln. Als 3-Liter-Haus werden die Gebäude bezeichnet, die unter der Annahme von Heizöl als Energieträger einen Heizwärmebedarf je Quadratmeter Nutzfläche und Jahr von 3 Liter Heizöl aufweisen.

Mithilfe der Ergebnisse aus den Wärmebedarfsberechnungen kann die Energieeinsparung gegenüber des geplanten Entwurfs berechnet werden. Die wirtschaftliche Bewertung erfolgt durch die Beziehung der Investitionskosten auf die jeweilige Einsparung. Anhand der Amortisationsdauer ergibt sich dann ein Maßnahmenkatalog, mit dem ein auf den 3-Liter-Haus-Standard optimierter Entwurf erstellt werden kann.

Es werden folgende Parameter der Außenwand, der Bodenplatte, der Dächer und Fenster variiert:

- Konstruktion der Bauteile
- Baustoffe
- Dämmstärke
- U-Wert der Fenster
- Berechnung der Wärmebrücken nach DIN 4108-6 und nach genauer Berechnung

2.1 3-Liter-Haus-Standard

	Jahreswärmebedarf kWh _{th} /a	Heizöläquivalent l/(m ² *a)	Energieeinsparung kWh _{th} /a
Ist	95.274	7,4	
Variante 7	47.933	3,7	47.287
Variante 7a	37.468	2,9	57.752
Variante 8	44.445	3,4	50.776
Variante 8a	33.980	2,6	61.241
Variante 11	48.838	3,8	46.383
Variante 11a	38.502	3,0	56.719
Variante 12	45.349	3,5	49.871
Variante 12a	34.884	2,7	60.336

Tabelle 2-1 Übersicht der Varianten im 3-Liter-Haus-Standard

In der Tabelle oben sind aus allen betrachteten Varianten die Kombinationen aufgeführt, die annähernd einen 3-Liter-Haus-Standard erreichen. Die Ergebnisse der zugehörigen Wärme-

bedarfsberechnung berücksichtigen eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und einer Luftwechselrate von 0,26 1/h. Der zugehörige Aufbau der Bauteile in den einzelnen Varianten kann aus dem Anhang entnommen werden.

Zusätzlich zum Jahresheizwärmebedarf ist die Menge Heizöl als Heizöläquivalent angegeben, die dem Heizwärmebedarf je Quadratmeter Nutzfläche und Jahr entspricht. Die Energieeinsparung der Varianten ist im Vergleich zum Jahreswärmebedarf des Entwurfs, hier als „Ist“ bezeichnet, in der Tabelle angegeben.

2.2 Maßnahmenkatalog

Um die möglichen Maßnahmen zur Reduzierung des Wärmebedarfs gegenüber des geplanten Entwurfs beurteilen zu können, werden die Mehrkosten der Investition auf die Energieeinsparung bezogen. Aus den ermittelten Daten wird ein Maßnahmenkatalog erstellt. Die Amortisationsdauer der jeweiligen Variante wird aus den Investitionskosten bezogen auf die eingesparten Brennstoffkosten nach dem geplanten Entwurf ermittelt.

Die spezifischen Mehrkosten berechnen sich aus den Mehrkosten, die sich auf die Energieeinsparung innerhalb der Nutzungsdauer der Bauteile beziehen. Hierzu sind für die Bauteile 30 Jahre als Nutzungsdauer nach der VDI-Richtlinie 2067 zu Grunde gelegt. Für die genaue Berechnung der Wärmebrücken wurden pauschal 2.500 € Mehrkosten angenommen.

Die statische Amortisationsdauer berechnet sich aus den Mehrkosten bezogen auf die jährlich eingesparten Brennstoffkosten, die aus dem besseren Wärmedämmstandard resultieren.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Betrachtung aufgeführt. Für alle vier Varianten sind jeweils zwei Werte angegeben, da die Einflüsse der Wärmebrücken nach pauschalen Angaben in DIN 4108-6 sowie der untere Grenzwert bei genauer Berechnung berücksichtigt wurden. Der tatsächliche Wert ist in einer genauen Berechnung zu ermitteln, dieser liegt zwischen den beiden berechneten Werten.

	Mehrkosten €	Energieeinsparung MWh _{th} /Nutzungsdauer	spez. Mehrkosten Ct/kWh _{th}	Amortisationsdauer a
Variante 7	152.478	1.419	10,7	6,8
Variante 7a	155.378	1.733	9,0	5,7
Variante 8	155.894	1.523	10,2	6,5
Variante 8a	158.794	1.837	8,6	5,5
Variante 11	161.803	1.391	11,6	7,4
Variante 11a	164.703	1.702	9,7	6,1
Variante 12	165.218	1.496	11,0	7,0
Variante 12a	168.118	1.810	9,3	5,9

Abbildung 2-1 Maßnahmenkatalog für verschiedene Konstruktionsvarianten

Die spezifischen Mehrkosten der Varianten liegen zwischen 8,6 und 11,6 Ct/kWh_{th}. Damit sind sie niedriger als der Wärmepreis von 13,7 Ct/kWh_{th} der dezentralen Wärmeversorgung des Gebäudes mit einem flüssiggasbefeuerten Brennwertkessel. Variante 8a stellt sich als die günstigste Variante dar. Die zugehörige Amortisationsdauer der Mehrkosten beträgt 5,5 Jahre. Der Vergleich der Varianten 7 und 8, deren Bauteile bis auf die Fenster identisch sind, zeigt, dass sich für das Gebäude des Trainingszentrums die Fenster mit einer besseren Wärmeschutzverglasung (Variante 8: U-Wert = 0,75 W/(m²*K)) durch die Energieeinsparung innerhalb einer kürzeren Dauer amortisieren als Fenster mit einem U-Wert von 1,1 W/(m²*K) (Variante 7).

3 Wärmeversorgung

Zur Wärmeversorgung des Trainingszentrums wird zunächst nach dem Entwurf die Einzelversorgung des Gebäudes und der Rasenheizung betrachtet. In einer weiteren Variante erfolgt die Untersuchung einer gemeinsamen Wärmeversorgung des Trainingszentrums Fröhnerhof. Zusätzlich wird eine solar-unterstützte Brauchwarmwasserbereitung mit Flach- und Vakuumröhrenkollektoren untersucht.

3.1 Dezentrale Wärmeversorgung

Für das Gebäude und die Rasenheizung des Trainingszentrums werden die verschiedenen dezentralen Wärmeversorgungsvarianten dargestellt. Die anschließende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ermöglicht den Vergleich der alternativen Varianten mit der im Entwurf vorgesehenen Wärmeversorgung.

3.1.1 Wärmeversorgung des Gebäudes im Trainingszentrum

Die Auslegung der Nennleistung des Heizkessels erfolgt nach dem Leistungsbedarf für die Brauchwarmwasserbereitung. Der Heizwärmebedarf des Gebäudes ist hier nicht ausschlaggebend, da die dazu notwendige Wärmeleistung geringer als zur Warmwasserbereitung ist.

Brennwertkessel mit Flüssiggasfeuerung

Zur Wärmeversorgung des Gebäudes im Trainingszentrum Fröhnerhof ist im Entwurf ein Niedertemperaturkessel mit Flüssiggasfeuerung vorgesehen.

In der Studie wird ein Brennwertkessel betrachtet, der durch die Ausnutzung von Kondensationswärme niedrige Abgastemperaturen erreicht. Hierfür ist eine Auslegung des Heizungssystems auf niedrige Rücklauftemperaturen (z. B. $<45^{\circ}\text{C}$) notwendig. Die Brennwerttechnik ermöglicht somit eine effektivere Brennstoffausnutzung. Es wird ein Heizkessel mit einer Nennleistung von etwa $185 \text{ kW}_{\text{th}}$ mit einem Jahresnutzungsgrad von 97 % betrachtet.

Energiebilanz

Jahreswärmebedarf	162.600 $\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$
Jahresnutzungsgrad	97 %
Jahresbrennstoffbedarf	167.900 $\text{kWh}_{\text{BShu}}/\text{a}$
	181.800 $\text{kWh}_{\text{BSho}}/\text{a}$
	24 m^3/a

CO₂-Emissionsbilanz

CO₂-Emission	38.600 kgCO_2/a
spez. CO ₂ -Emission	230 $\text{gCO}_2/\text{kWh}_{\text{Hu}}$

Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets

Als Alternative wird ein Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets mit einer Nennleistung von rund 185 kW_{th} untersucht. Dieser erreicht einen Jahresnutzungsgrad von 82 %. Um eine Notversorgung zu gewährleisten, kann zusätzlich ein aufschwenkbarer Flüssiggasbrenner, der durch einen kleinen Flüssiggastank versorgt wird, installiert werden.

Die Holzpellets werden vor allem aus industriell und gewerblich anfallenden Holzstäuben oder -spänen gefertigt. Sie besitzen einen Durchmesser von 5 bis 20 mm und eine Länge von etwa 10 bis 30 mm. Als Bindemittel wirkt das im Holz enthaltene Lignin. In der DIN 51731 sind die Qualitätskriterien der Holzpellets festgelegt, so muss Ihr Heizwert mindestens 4,9 kWh_{BS}/kg betragen. Außerdem muss das Schüttgewicht 650 kg/Sm³ aufweisen und die Holzfeuchte darf 10 % nicht überschreiten. Ein Schüttkubikmeter weist einen Energieinhalt von mindestens 3.185 kWh auf. Aufgrund ihres hohen Energieinhalts benötigen sie daher im Vergleich zu Holzhackschnitzel ein wesentlich geringeres Lagervolumen.

Die Holzpellets werden im Silowagen angeliefert und mit einem Schlauch ins Lager eingeblasen. Dazu ist ein Befüllstutzen und ein weiterer Stutzen in die Außenwand anzubringen, um während der Befüllung den Staub absaugen zu können. In der Regel sind es DN 100 Rohre mit einem A-Kupplungsanschluss. Die Befüllstutzen werden mit dem Mauerwerk (Erdung) verbunden.

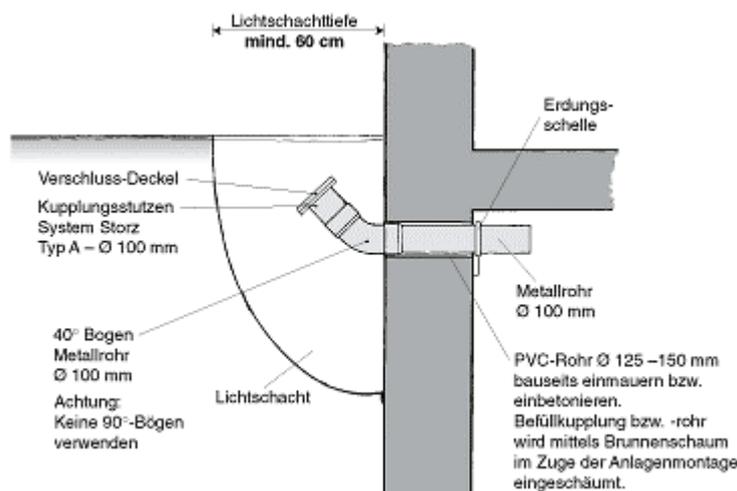


Abbildung 3-1 Befüllstutzen für Holzpelletlager (Quelle: ÖKO-FEN)

Die Heizraamtür sowie die Lagerraumtür sind als Feuerschutztür (F90 für Anlagen >70 kW_{th}) auszuführen. Sie müssen nach außen aufgehen und mit einer Dichtung versehen sein. Im Pelletlagerraum sorgt eine zusätzliche Prallschutzmatte gegenüber der Befüllstutzen dafür, dass die Pellets beim Einblasen durch den Aufprall nicht zerfallen. Außerdem dürfen sich im Lagerraum keine Steckdosen, Lichtschalter, Lichtlampen oder Verteilerdosen und dergleichen befinden. Sind Leitungen, Schalter usw. nicht zu vermeiden, so sind diese explosionsgeschützt auszuführen. Außerhalb des Heizraums ist ein Not-Aus-Schalter zu installieren.

Der Lagerraum sollte sich in der Nähe des Heizraumes befinden, damit die automatische Raumaustragung über gerade, geknickte oder schräge Schnecken über eine kurze Entfernung erfolgen kann. Zur Raumaustragung kann neben einem Federrührwerk eine Schneckenaustragung eingesetzt werden.

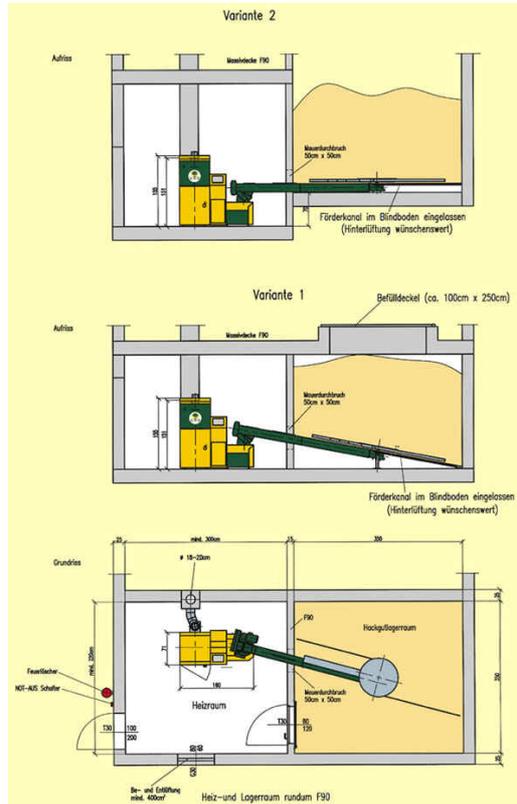


Abbildung 3-2 Biomassekessel mit Rührwerkaustragung aus Holzpelletlager (Quelle: ÖKO-Energie)

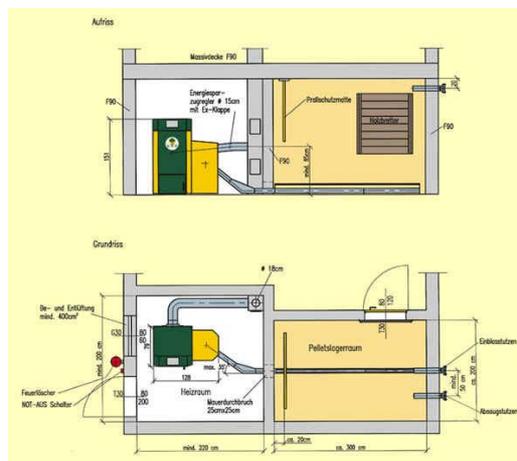


Abbildung 3-3 Biomassekessel mit Schneckenaustragung aus Holzpelletlager (Quelle: ÖKO-Energie)

Ein etwa 5 m³ großer Pufferspeicher dient der Abdeckung eines Teillastbedarfs unterhalb der minimalen Leistung des Biomassekessels. Aus diesem Pufferspeicher kann über einen exter-

nen Wärmetauscher das Warmwasser für den Lizenzspieler-Bereich im Durchlaufprinzip bereit werden. Aufgrund dessen wird der 2.000 l Pufferspeicher nicht benötigt.

Aus der Energie- und CO₂-Bilanz wurden folgende Werte ermittelt.

Energiebilanz

Jahreswärmebedarf 162.600 kWh_{th}/a

Jahresnutzungsgrad 82 %

Jahresbrennstoffbedarf 197.200 kWh_{BShu}/a

61 Sm³/a

CO₂-Emissionsbilanz

CO₂-Emission 13.400 kgCO₂/a

spez. CO₂-Emission 68 gCO₂/kWh_{Hu}

Lagerraum der Holzpellets:

Das Holzpelletlager sollte sich direkt neben der Heizzentrale befinden, um lange Transportwege zu vermeiden. Wie im Entwurf vorgesehen, bietet es sich an, den Heizraum und das Brennstofflager im Untergeschoss unter zu bringen. Über Befüllstutzen in der Außenwand wird das Holzpelletlager befüllt. Zur Abdeckung des Jahreswärmebedarfs wird ein jährlicher Brennstoffbedarf von 61 Sm³ benötigt. Die Lagergröße kann mit 50 m³ festgelegt werden, sodass eine komplette Lkw-Lademenge (ca. 40 m³) eingefüllt werden kann. Diese Brennstoffmenge steht für etwa 20 Tage Vollastbetrieb zur Verfügung. Dazu sind in einem Jahr ca. 1,5 Füllvorgänge notwendig.

3.1.2 Wärmeversorgung der Rasenheizung im Trainingszentrum

Zur Auslegung der Nennleistung der Heizanlage wird für die Rasenheizung eine Wärmeleistung pro Quadratmeter beheizte Fläche von 150 W_{th} benötigt. Mit einer Fläche von 4.000 m² ergibt sich eine Wärmeleistung von 600 kW_{th}.

Flüssiggaskessel

In der Planung ist für die Wärmeversorgung der Rasenheizung ein flüssiggasbefeuerter Niedertemperaturkessel vorgesehen. Die Nennleistung beträgt ca. 600 kW_{th} mit einem Jahresnutzungsgrad von 92 %. Es wird ein Jahresheizwärmebedarf 450.000 kWh_{th}/a angenommen.

Es ergeben sich folgende Werte aus der Energie- und CO₂-Bilanz.

Energiebilanz

Jahresheizwärmebedarf	450.000 kWh _{th} /a
Jahresnutzungsgrad	92 %
Jahresbrennstoffbedarf	488.200 kWh_{BShu}/a
	528.900 kWh_{BSho}/a
	70 m³/a

CO₂-Emissionsbilanz

CO₂-Emission	112.300 kgCO₂/a
spez. CO ₂ -Emission	230 gCO ₂ /kWh _{th}

Wärmepumpenanlage

Alternativ zum vorgesehenen flüssiggasbefeuerten Niedertemperaturkessel wird eine Wärmepumpenanlage zur Wärmeversorgung der Rasenheizung des Sportplatzes untersucht.

Eine Wärmepumpe kann mithilfe einer niedrigtemperierten Umgebungswärme Wärme auf ein höheres Temperaturniveau anheben und diese zu Heizzwecken nutzen. Dazu ist hochwertige Antriebsenergie notwendig. Die gewonnene Nutzwärme sollte dabei ein Mehrfaches der Antriebsenergie betragen, um eine vernünftige Betriebsweise zu erhalten. Dieses Verhältnis, auch als Leistungszahl bekannt, ist von der Temperaturdifferenz der Wärmequelle und der Vorlauftemperatur des Heizsystems abhängig. Aufgrund dessen sollte die Wärmequelle eine hohe Temperatur aufweisen und das Heizsystem eine möglichst niedrige Vorlauftemperatur besitzen. Großflächige Wärmeübertragungsfläche, wie z. B. Fußbodenheizungen oder hier die Rasenheizung, mit einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur bieten sich hierzu an.

Es wird eine monovalent betriebene Elektrowärmepumpe mit Saug- und Schluckbrunnen betrachtet. Als Wärmequelle dient Grundwasser, das über das ganze Jahr eine relativ konstante Temperatur zwischen 8 und 10°C besitzt. Über einen Förderbrunnen wird das Grundwasser entnommen und dem Verdampfer der Wärmepumpe zugeführt. Dort wird dem Grundwasser die Wärme entzogen. Das abgekühlte Wasser wird in einen Schluckbrunnen abgeführt. Innerhalb der Planung ist durch eine Probebohrung zu prüfen, ob das vorhandene Grundwasservorkommen in einer bestimmten Tiefe ausreicht. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Grundwasserqualität. Anhand der Ergebnisse einer Wasseranalyse lässt sich das Material für den Wärmepumpenverdampfer festlegen und die Zuverlässigkeit der Anlage abschätzen. Die Nutzung des Grundwassers zur Entnahme und Wiedereinleitung muss von der zuständigen Behörde, der Unteren Wasserbehörde, genehmigt werden.



Abbildung 3-4 Wärmepumpenanlage mit Saug- und Schluckbrunnen
(Quelle: Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V.)

Im Entwurf ist vorgesehen, nur eine Hälfte des Sportplatzes zu beheizen. Für eine Wärmepumpenanlage bietet es sich an, die unbeheizte Fläche des Sportplatzes als Wärmequelle für die Wärmepumpenanlage zu nutzen. Dazu würden dann dort Rohrschlangen in 1 bis 1,50 m Tiefe verlegt werden, sodass keine Brunnenbohrung notwendig ist.



Abbildung 3-5 Wärmepumpenanlage mit Rohrschlangen
(Quelle: Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V.)

Die Daten und Investitionskosten wurden aus einem vorliegenden Angebot für eine Wärmepumpenanlage mit Saug- und Schluckbrunnen für das Trainingszentrum entnommen. Allerdings lag für die Kostenschätzung keine Angaben über den Erdschichtenaufbau und der

Grundwassertiefe vor, sodass für eine weitere Projektierung die Bestimmungen der VDI-Richtlinie 4640 zu beachten sind.

Aus der Energie- und CO₂-Bilanz wurden folgende Werte ermittelt.

Energiebilanz

Jahresheizwärmebedarf	450.000 kWh _{th} /a
Jahresarbeitszahl	ca. 4,5
Jahresstrombedarf	100.000 kWh_{el}/a
Kraftwerkswirkungsgrad	39 %
Jahresbrennstoffbedarf	256.400 kWh_{BShu}/a

CO₂-Emissionsbilanz

CO₂-Emission	140.300 kgCO₂/a
spez. CO ₂ -Emission	600 gCO ₂ /kWh _{Hu}

3.1.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die zugehörige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Wärmeversorgung des Gebäudes und der Rasenheizung basiert auf den angegebenen Rahmenbedingungen in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067. Die Investitionskosten für die Wärmepumpenanlage mit Saug- und Schluckbrunnen wurden aus einem vorliegenden Angebot für das Trainingszentrum entnommen. Die Investitionskosten berücksichtigen nicht die Kosten für das Rohrleitungssystem, die Heizflächen und zugehörige Armaturen zur Wärmeverteilung im Gebäude und auf dem Sportplatz, da diese für alle Varianten dieselben sind, sondern nur die Kosten für die Heizanlage bis zum Verteiler inklusive Montage-, Planungskosten und sonstigen Kosten. Bei allen Investitionskosten handelt es sich um Bruttopreise.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten:

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	15 Jahre
Abschreibungsdauer Versorgungstechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	30 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten:

spezifischer Flüssiggaspreis	0,42 €/l
spezifischer Holzpelletpreis	128,4 €/t (inkl. 7 % MwSt.)
Allgemeiner Strompreis (brutto)	10 Ct/kWh _{el}

Bestimmung betriebsgebundene Kosten:

Wartung / Instandhaltung	2 % der Investition (Heisanlage)
Wartung / Instandhaltung	1.700 €/ (Wärmepumpe)

Investitionskosten flüssiggasbefuerter Brennwertkessel, Gebäude des Trainingszentrums

Gebäude: flüssiggasbefuerter Brennwertkessel	
Maschinentchnik: Brennwertkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	28.800 €
Bautechnik: Flüssiggas-Tanklager Heizraum im Keller	4.500 € 18.000 €
Versorgungstechnik technische Ausstattung des Heizraumes, Speicher	54.700 €
Planung, Unvorhergesehenes Planung, Unvorhergesehenes (10%)	10.900 €
Gesamtinvestition	116.900 €

Tabelle 3-1 Investitionskosten flüssiggasbefuerter Brennwertkessel,
Gebäude des Trainingszentrums

Investitionskosten Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets, Gebäude des Trainingszentrums

Gebäude: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets	
Maschinenteknik: Biomassekessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	45.400 €
Bautechnik: Holzpelletlager	8.400 €
Heizraum im Keller	18.000 €
Versorgungstechnik technische Ausstattung des Heizraumes, Speicher	51.400 €
Planung, Unvorhergesehenes Planung, Unvorhergesehenes (10%)	12.300 €
Gesamtinvestition	135.500 €

Tabelle 3-2 Investitionskosten Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets, Gebäude des Trainingszentrum

Investitionskosten flüssiggasbefuerter Niedertemperaturkessel, Rasenheizung des Trainingszentrums

Rasenheizung: flüssiggasbefuerter Niedertemperaturkessel	
Maschinenteknik: Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	35.300 €
Bautechnik: Flüssiggas-Tank	8.600 €
Heizraum Rasenheizung und Übergaberaum WC-Gebäude	18.100 €
Versorgungstechnik technische Ausstattung des Heizraums	44.900 €
Planung, Unvorhergesehenes Planung, Unvorhergesehenes (10%)	10.700 €
Gesamtinvestition	117.600 €

Tabelle 3-3 Investitionskosten für flüssiggasbefeuerten Niedertemperaturkessel, Rasenheizung des Trainingszentrums

Investitionskosten Wärmepumpenanlage, Rasenheizung des Trainingszentrums

Rasenheizung: Wärmepumpenanlage	
Maschinentechnik: Wärmepumpenanlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	139.700 €
Bautechnik: Heizraum Rasenheizung und Übergaberaum WC-Gebäude	18.100 €
Versorgungstechnik Saugbrunnen und Schluckbrunnen mit Ausbau und Klarspülung	85.000 €
technische Ausstattung des Heizraums	44.900 €
Planung, Unvorhergesehenes Planung, Unvorhergesehenes (10%)	28.800 €
Gesamtinvestition	316.500 €

Tabelle 3-4 Investitionskosten für Wärmepumpenanlage,
Rasenheizung des Trainingszentrums

Die folgende Tabelle stellt die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die unterschiedlichen dezentralen Wärmeversorgungsvarianten dar.

		Gebäude		Sportplatz (Rasenheizung)	
		BW-Kessel Flüssiggas	Biomasse- kessel Holzpellets	NT-Kessel Flüssiggas	Wärmepumpe Strom
Investition	€	116.900	135.500	117.600	316.500
<i>Förderung</i>	€		10.175		
Kapitalkosten	€/a	10.491	12.342	10.521	29.978
<i>mit Förderung</i>	€/a		11.294		
Verbrauchskosten	€/a	10.245	5.441	29.774	7.210
Betriebskosten	€/a	1.580	1.897	1.432	1.700
Jahreskosten	€/a	22.316	19.680	41.727	38.888
<i>mit Förderung</i>	€/a		18.632		
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	162.600	162.600	450.000	450.000
spez. Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	13,7	12,1	9,3	8,6
<i>mit Förderung</i>	Ct/kWh _{th}		11,5		

Tabelle 3-5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der dezentralen Wärmeversorgung

Die Jahreskosten für die Wärmeversorgung des Gebäudes liegen etwa zwischen 19.700 €/a (Biomassekessel) und 22.300 €/a (flüssiggasbefuerter Brennwertkessel). Für die Rasenheizung ergeben sich Jahreskosten von rund 48.900 €/a (Wärmepumpenanlage) bis 41.700 €/a (flüssiggasbefuerter Niedertemperaturkessel).

Ein Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets stellt sich für das Gebäude ohne Berücksichtigung von Fördermittel als günstige Wärmeversorgung dar. Eine kostengünstige Einzelversorgung der Rasenheizung wird mit einer Wärmepumpenanlage erzielt.

3.2 Zentrale Wärmeversorgung

Für das Trainingszentrum bietet sich neben der Einzelversorgung des Gebäudes und der Rasenheizung eine gemeinsame Wärmeversorgung an. Dazu wird eine Heizzentrale mit einem Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und ein flüssiggasbefeuerter Niedertemperaturkessel betrachtet. Von der Heizzentrale werden die Abnehmer über Nahwärmeleitungen versorgt. Die Auslegung erfolgt anhand der zusammengestellten Daten.

	Wärmeleistungsbedarf	Jahreswärmebedarf
Heizwärme Gebäude	75 kW _{th}	112.000 kWh _{th} /a
Brauchwarmwasser	183 kW _{th}	45.800 kWh _{th} /a
Wellness-Bereich	3 kW _{th}	4.800 kWh _{th} /a
Rasenheizung	600 kW _{th}	450.000 kWh _{th} /a
Summe	785 kW _{th}	612.600 kWh _{th} /a
Verluste Nahwärmeleitungen	9 kW _{th}	2.400 kWh _{th} /a
Summe	794 kW_{th}	615.000 kWh_{th}/a
Gleichzeitigkeitsfaktor	88 %	
Auslegungsgröße	700 kW_{th}	615.000 kWh_{th}/a

Tabelle 3-6 Bestimmung der Bedarfswerte der Nahwärmeversorgung

Es wird eine Heizzentrale mit einer installierten Kesselleistung von ca. 700 kW_{th} benötigt, um den Wärmebedarf sowie die Nahwärmeverluste abdecken zu können.

3.2.1 Wärmeversorgung durch Heizzentrale

Aufgrund der günstigen Wirtschaftlichkeit der holzpelletbefeueren Biomassekessel für die Einzelversorgung des Gebäudes wird die Heizzentrale ebenfalls mit einem Biomassekessel betrachtet, der bivalent betrieben wird. Die Grundlast des Wärmebedarfs deckt der Biomassekessel ab, während für den Spitzenlastbedarf der flüssiggasbefeuerter Niedertemperaturkessel eingesetzt wird, sodass die Biomasse etwa 75 % des Wärmebedarfs abdeckt.

Mit einer Nennleistung von 200 kW_{th} des Biomassekessels und 500 kW_{th} des flüssiggasbefeuerten Niedertemperaturkessels sowie einem Jahresnutzungsgrad von 82 % bzw. 92 % ergeben sich folgende Werte aus der Energie- und CO₂-Bilanz.

Energiebilanz

Jahreswärmebedarf	615.000 kWh _{th} /a
Jahresnutzungsgrad Biomassekessel	82 %
Jahresnutzungsgrad Heizkessel	92 %
Jahresbrennstoffbedarf Holzpellets	559.300 kWh_{BShu}/a
Jahresbrennstoffbedarf Flüssiggas	166.800 kWh_{BShu}/a

CO₂-Emissionsbilanz

CO₂-Emission	76.400 kgCO₂/a
spez. CO ₂ -Emission Holzpellets	68 gCO ₂ /kWh _{Hu}
spez. CO ₂ -Emission Flüssiggas	230 gCO ₂ /kWh _{Hu}

3.2.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Heizzentrale erfolgt unter den angegebenen Rahmenbedingungen in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067. Die Investitionskosten berücksichtigen nicht die Kosten für das Rohrleitungssystem, die Heizflächen und zugehörige Armaturen zur Wärmeverteilung im Gebäude und auf dem Sportplatz sondern nur die Kosten für die Heizzentrale mit den Nahwärmeleitungen bis zum Verteiler inklusive Montage-, Planungskosten und sonstigen Kosten. Diese Kosten blieben auch für die Einzelversorgung unberücksichtigt. Bei allen Investitionskosten handelt es sich um Bruttopreise.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten:

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	15 Jahre
Abschreibungsdauer Versorgungstechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	30 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten:

spezifischer Holzpelletpreis	128,4 €/t (inkl. 7 % MwSt.)
Allgemeiner Strompreis (brutto)	10 Ct/kWh _{el}

Bestimmung betriebsgebundene Kosten:

Wartung / Instandhaltung

2 % der Investition (Heizanlage)

Investitionskosten Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und flüssiggasbefuerter Niedertemperaturkessel, Heizzentrale des Trainingszentrums

Heizzentrale: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und flüssiggasbefuerter Niedertemperaturkessel	
Maschinentechnik:	
Biomassekessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	43.000 €
Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	40.100 €
Bautechnik:	
Heizraum im Keller und Übergaberäume Rasenheizung und WC-Gebäude	21.900 €
Holzpelletlager	22.900 €
Flüssiggas-Tanklager	8.600 €
Versorgungstechnik	
technische Ausstattung des Heizraumes	69.700 €
Speicher und Zubeör	5.800 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes (10%)	21.200 €
Gesamtinvestition	233.200 €

Tabelle 3-7 Investitionskosten Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und flüssiggasbefuerter Niedertemperaturkessel, Heizzentrale Trainingszentrum

Die folgende Tabelle stellt das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Variante der zentralen Wärmeversorgung dar.

		Heizzentrale
		Biomassekessel + Niedertemperaturkessel Holzpellets + Flüssiggas
Investition	€	233.200
<i>Förderung</i>	€	<i>11.000</i>
Kapitalkosten	€/a	21.074
<i>mit Förderung</i>	€/a	<i>19.941</i>
Verbrauchskosten	€/a	25.601
Betriebskosten	€/a	3.395
Jahreskosten	€/a	50.070
<i>mit Förderung</i>	<i>€/a</i>	<i>48.937</i>
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	612.600
spez. Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	8,2
<i>mit Förderung</i>	<i>Ct/kWh_{th}</i>	<i>8,0</i>

Tabelle 3-8 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der zentralen Wärmeversorgung

3.3 Vergleich der Wärmeversorgungsvarianten

Um die Ergebnisse der dezentralen und zentralen Wärmeversorgung miteinander vergleichen zu können, werden die Daten für die Einzelversorgung des Gebäudes und der Rasenheizung zusammengefasst und den Werten der Heizzentrale gegenübergestellt.

3.3.1 Vergleich CO₂-Emission

In der folgenden Tabelle sind die CO₂-Emissionen der kombinierten Einzelversorgungen und der Heizzentrale aufgeführt. Ein Diagramm ermöglicht den Vergleich der unterschiedlichen Wärmeversorgungen.

Wärmeversorgungsvariante	CO ₂ -Emission
Dezentrale Wärmeversorgung	
Gebäude: Brennwertkessel mit Flüssiggasfeuerung Rasenheizung: Niedertemperaturkessel mit Flüssiggasfeuerung	150.900 kg/a
Gebäude: Brennwertkessel mit Flüssiggasfeuerung Rasenheizung: Wärmepumpenanlage	192.400 kg/a
Gebäude: Biomassekessel mit Holzpelletfeuerung Rasenheizung: Niedertemperaturkessel mit Flüssiggasfeuerung	125.700 kg/a
Gebäude: Biomassekessel mit Holzpelletfeuerung Rasenheizung: Wärmepumpenanlage	167.200 kg/a
Zentrale Wärmeversorgung	
Heizzentrale: Biomassekessel mit Holzpelletfeuerung und Niedertemperaturkessel mit Flüssiggasfeuerung	76.400 kg/a

Tabelle 3-9 CO₂-Emissionsbilanz der verschiedenen Wärmeversorgungen

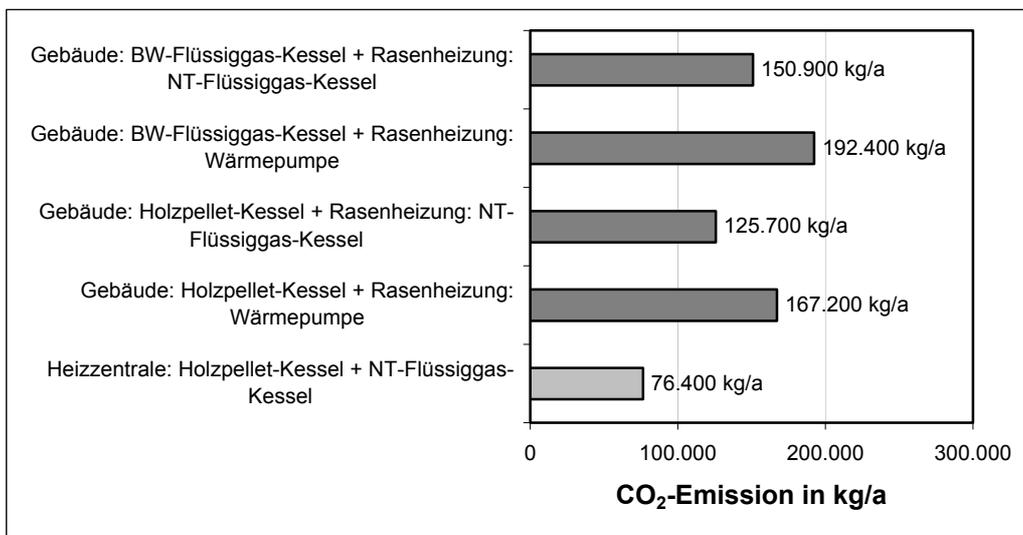


Abbildung 3-6 CO₂-Emission der Wärmeversorgungsvarianten

Die CO₂-Emissionen der kombinierten Einzelversorgungen, durch dunkelgraue Balken im Diagramm dargestellt, liegen zwischen Werten von 125.700 kg/a und 192.400 kg/a. Den geringsten CO₂-Ausstoss von 125.700 kg/a erzielt ein Biomassekessel im Gebäude und ein flüssiggasbefeuerter Niedertemperaturkessel für die Rasenheizung. Im Vergleich dazu betragen die CO₂-Emissionen für die Heizzentrale mit Biomassekessel und flüssiggasbefeuerter Niedertemperaturkessel 76.400 kg/a, die durch einen hellgrauen Balken dargestellt sind. Aufgrund dieser Bilanz stellen sich die Varianten mit einem Biomassekessel global betrachtet als ökologisch sinnvoll dar.

3.3.2 Vergleich Wirtschaftlichkeit

Die aus der dezentralen Wärmeversorgung zusammengefassten Ergebnisse werden der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Heizzentrale zum Vergleich gegenübergestellt, um eine günstige Wärmeversorgung des Trainingszentrum zu ermitteln.

		Kombinationen der dezentralen Wärmeversorgung				Heiz- zentrale
Gebäude		BW-Kessel	BW-Kessel	Biomasse- kessel	Biomasse- kessel	Biomasse- kessel + NT-Kessel
Rasenheizung		NT-Kessel	Wärme- pumpe	NT-Kessel	Wärme- pumpe	
		Flüssiggas	Flüssiggas + Strom	Holzpellets + Flüssiggas	Holzpellets + Strom	Holzpellets + Flüssiggas
Investition	€	234.500	433.400	253.100	452.000	233.200
<i>Förderung</i>	€			10.175	10.175	10.175
Kapitalkosten	€/a	21.011	40.469	22.863	42.320	21.074
<i>mit Förderung</i>	€/a			21.815	41.272	19.941
Verbrauchskosten	€/a	40.019	17.455	35.215	12.651	25.601
Betriebskosten	€/a	3.013	3.280	3.329	3.597	3.395
Jahreskosten	€/a	64.043	61.204	61.407	58.568	50.070
<i>mit Förderung</i>	€/a			60.359	57.520	48.937
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	612.600	612.600	612.600	612.600	612.600
spez. Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	10,5	10,0	10,0	9,6	8,2
<i>mit Förderung</i>	Ct/kWh _{th}			9,9	9,4	8,0

Tabelle 3-10 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Wärmeversorgung des gesamten Trainingszentrums

Die Jahreskosten aller Varianten liegen etwa zwischen 50.100 und 64.000 €/a. Daraus wurden die zugehörigen Wärmepreise von 8,2 bis 10,5 Ct/kWh_{th} ermittelt.

Die Jahreskosten ohne Berücksichtigung von Fördermitteln sind im folgenden Diagramm für alle Wärmeversorgungsvarianten des Trainingszentrums Fröhnerhof abgebildet. Die Kombinationen aus den dezentralen Wärmeversorgungsvarianten sind durch dunkelgraue Balken und die Heizzentrale durch einen hellgrauen Balken dargestellt.

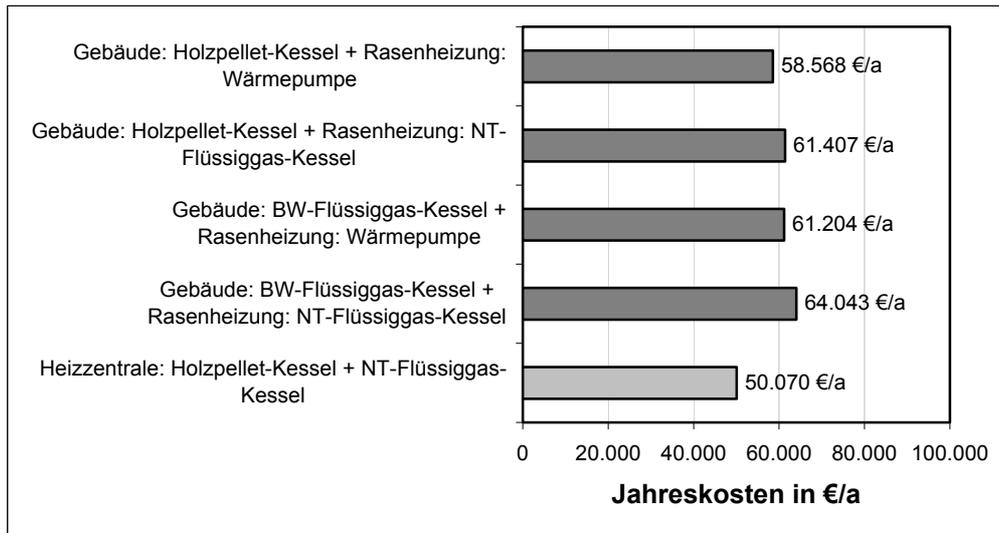


Abbildung 3-7 Jahreskosten der Wärmeversorgungsvarianten

Die Wärmeversorgung des Trainingszentrums mit einer Heizzentrale erzielt die günstigsten Jahreskosten der untersuchten Varianten von ca. 50.100 €/a. Damit ist die Nahwärmeversorgung ohne Einbeziehung von Fördermitteln deutlich günstiger als die kombinierten Einzelversorgungen.

3.4 Solaranlage zur Brauchwarmwasserbereitung

Im Trainingszentrum liegt ein hoher Brauchwarmwasserbedarf vor, der während des Jahres relativ konstant ist. Eine Solaranlage bietet sich als Unterstützung zur Warmwasserbereitung an. Dazu werden Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren betrachtet.

Durch die solare Einstrahlung auf den Solarkollektor nimmt das Wärmeträgermedium im Kollektorkreis die Wärme auf. Über Wärmetauscher wird die Wärme an einen Speicher abgegeben. Dazu sind verschiedene Speichersysteme wie z. B. Pufferspeicher, Schichtenspeicher oder Warmwasserspeicher möglich.

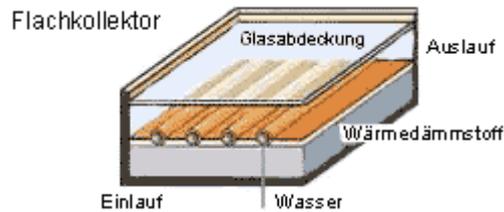


Abbildung 3-8 Prinzipdarstellung eines Flachkollektors (Quelle: Solarserver)

Der Unterschied zwischen Flachkollektor und Vakuumröhrenkollektor besteht darin, dass durch die evakuierte Glasröhre die Wärmeverluste durch Wärmeleitung deutlich reduziert sind.

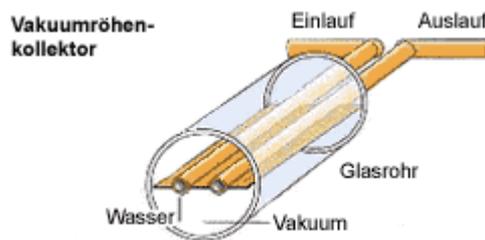


Abbildung 3-9 Prinzipdarstellung eines Vakuumröhrenkollektors (Quelle: Solarserver)

3.4.1 Auslegung der Solaranlage

Als Standort der Solaranlage kann das Flachdach über dem Wellness-Bereich gewählt werden. Im Untergeschoss dieses Gebäudeteils ist der Technikraum im Entwurf geplant, sodass eine kurze Leitungslänge des Solarkreises die Wärmeverluste gering hält. Da dort der Pufferspeicher für den Lizenzspieler-Bereich vorgesehen werden sollte, kann die Warmwasserbereitung für diesen Speicher mit solarer Unterstützung erfolgen.

Um eine möglichst hohe Ausbeute über das ganze Jahr gesehen zu erreichen, ist eine Aufständigung der Solarkollektoren mit einer Neigung von 45° in südlicher Ausrichtung notwendig.

Die Auslegung der solar unterstützten Warmwasserbereitung erfolgt für den Pufferspeicher im Lizenzspieler-Bereich, der über einen externen Wärmetauscher der Solaranlage und vom Heizkessel geladen werden kann. Dies gewährleistet, dass der Brauchwarmwasserbedarf auch bei geringer solarer Einstrahlung abgedeckt wird. Der durchschnittliche Warmwasserbedarf von 3.000 l/d im Lizenzspieler-Bereich beträgt täglich $122 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{d}$ für etwa 250 Tage im Jahr.

Zur überschlägigen Berechnung der Kollektorfläche eines Flachkollektors kann davon ausgegangen werden, dass ein Quadratmeter Kollektorfläche etwa 70 l Warmwasser bereitet. Ein etwa 40 m^2 großer Flachkollektor kann zur Warmwasserbereitung im Lizenzspieler-Bereich

beitragen. Die Flachkollektoren können auf dem Flachdach über dem Wellness-Bereich aufgeständert werden, wie es auf der Abbildung dargestellt ist.

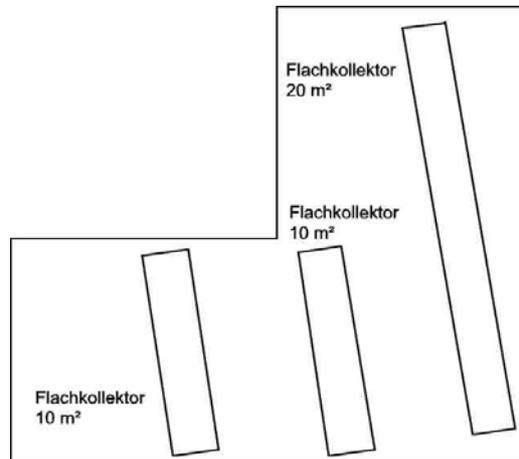


Abbildung 3-10 Anordnung der Flachkollektoren auf dem Flachdach

Da Vakuumröhrenkollektoren eine höhere Ausbeute erzielen, ist deren Fläche mit ca. 75 % der Flachkollektorfläche zu ermitteln. Für die Röhrenkollektoren ergibt sich somit eine Fläche von etwa 30 m². Auch die Vakuumröhrenkollektoren können, wie in der Abbildung dargestellt, auf dem Flachdach über dem Wellness-Bereich im 45°-Winkel installiert werden.

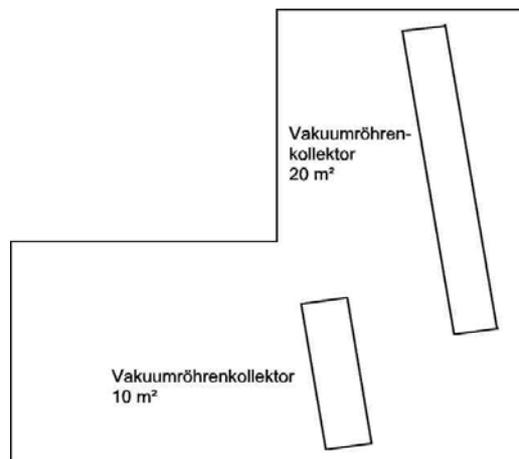


Abbildung 3-11 Anordnung der Vakuumröhrenkollektoren auf dem Flachdach

Als Speichergröße werden die 2.000 l aus der Warmwasserbedarfsberechnung beibehalten. Mithilfe des Rechnerprogramms „GetSolar“ wurde mit den Klimadaten von Neustadt/Weinstraße eine Simulation zur Ermittlung des solaren Energiebeitrags durchgeführt. Folgende Werte gehen als Eingangsgröße in die Simulation eines Flachkollektors ein.

Flachkollektor

Kennwerte	$\eta = 0,78$
	$k_1 = 2,641 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	$k_2 = 0,022 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^2)$
Ausrichtung	45° Neigung
	0° Südabweichung
Fläche	40 m ²

Es ergaben sich folgende Ergebnisse für die Kollektoranlage.

Flachkollektor

Solar-Ertrag	22.000 kWh _{th} /a
spez. Kollektor-Ertrag	561 kWh _{th} /(m ² ·a)
Deckungsrate	49,8 %

Eine Solaranlage mit Vakuumröhrenkollektoren wurden ebenfalls simuliert. Die zugehörigen Ausgangsdaten sind nachfolgend aufgeführt.

Vakuumröhrenkollektor

Kennwerte	$\eta = 0,610$
	$k_1 = 0,285 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	$k_2 = 0,011 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^2)$
Ausrichtung	45° Neigung
	0° Südabweichung
Fläche	30 m ²

Die Simulation gab folgende Ergebnisse aus.

Vakuumröhrenkollektor

Solar-Ertrag	19.000 kWh _{th} /a
spez. Kollektor-Ertrag	620 kWh _{th} /(m ² ·a)
Deckungsrate	41,3 %

Zur Energie- und CO₂-Bilanz wurde der Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets jeweils in Verbindung mit einem Flachkollektor sowie mit einem Vakuumröhrenkollektor betrachtet, da sich dieser als günstige dezentrale Wärmeversorgung des Gebäudes im Kapitel 3.1 herausstellte.

Energiebilanz Biomassekessel mit	Flachkollektor	Vakuurröhrenkollektor
Jahreswärmebedarf	162.600 kWh _{th} /a	162.600 kWh _{th} /a
Jahresnutzungsgrad Kessel	82 %	82 %
Wärmelieferung Solaranlage	22.000 kWh _{th} /a	19.000 kWh _{th} /a
Wärmelieferung Kessel	140.600 kWh _{th} /a	143.600 kWh _{th} /a
Jahresbrennstoffbedarf	169.500 kWh_{BShu}/a	174.300 kWh_{BShu}/a
CO₂-Emissionsbilanz		
CO₂-Emission	12.000 kgCO₂/a	12.200 kgCO₂/a
spez. CO ₂ -Emission	68 gCO ₂ /kWh _{Hu}	68 gCO ₂ /kWh _{Hu}

Durch den Einsatz einer Solaranlage mit Flach- oder Vakuurröhrenkollektoren verringert sich die CO₂-Emission für die Wärmeversorgung des Gebäudes um etwa 12 % im Vergleich zum Biomassekessel ohne solare Unterstützung.

3.4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Flach- und Vakuurröhrenkollektoren in Verbindung mit einem Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets untersucht, da sich diese Heizanlage für das Gebäude kostengünstig darstellt.

Dazu sind die an die VDI-Richtlinie 2067 angelehnten Rahmenbedingungen angegeben. Bei allen Investitionskosten handelt es sich um Bruttopreise.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten:

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	15 Jahre
Abschreibungsdauer Versorgungstechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Solaranlage	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	30 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten:

spezifischer Holzpelletpreis	128,4 €/t (inkl. 7 % MwSt.)
Allgemeiner Strompreis (brutto)	10 Ct/kWh _{el}

Bestimmung betriebsgebundene Kosten:

Wartung / Instandhaltung

2 % der Investition

Investitionskosten Biomassekessel und Flachkollektoranlage, Gebäude des Trainingszentrums

Gebäude: Biomassekessel mit Flachkollektoranlage	
Maschinentchnik: Biomassekessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	45.400 €
Bautechnik: Holzpelletlager	8.400 €
Heizraum im Keller	18.000 €
Versorgungstechnik technische Ausstattung des Heizraumes, Speicher	51.400 €
Solaranlage Flachkollektoranlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	22.800 €
Planung, Unvorhergesehenes Planung, Unvorhergesehenes (10%)	14.600 €
Gesamtinvestition	160.600 €

Tabelle 3-11 Investitionskosten Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und Flachkollektoranlage, Gebäude des Trainingszentrum

Investitionskosten Biomassekessel und Vakuumröhrenkollektoranlage, Gebäude des Trainingszentrums

Gebäude: Biomassekessel mit Flachkollektoranlage	
Maschinenteknik: Biomassekessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	45.400 €
Bautechnik: Holzpelletlager	8.400 €
Heizraum im Keller	18.000 €
Versorgungstechnik technische Ausstattung des Heizraumes, Speicher	51.400 €
Solaranlage Vakuumröhrenkollektoranlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	31.000 €
Planung, Unvorhergesehenes Planung, Unvorhergesehenes (10%)	15.400 €
Gesamtinvestition	169.600 €

Tabelle 3-12 Investitionskosten Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und Vakuumröhrenkollektoranlage, Gebäude des Trainingszentrum

Über das Bundesamt für Wirtschaft kann im Rahmen des Marktanzreizprogramms zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien eine Förderung in Höhe von 92 €/m² Kollektorfläche beantragt werden. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird aufgrund dessen mit und ohne Förderung für den Biomassekessel und die Solaranlage berechnet.

		Gebäude des Trainingszentrums		
		Biomassekessel Holzpellets	Biomassekessel Holzpellets	Biomassekessel Holzpellets
			Flachkollektor	Vakuumröhrenkollektor
Investition	€	135.500	160.600	169.600
<i>mit Förderung Biomasse</i>	€	10.175	10.175	10.175
<i>mit Förderung Solaranlage</i>			3.680	2.760
Kapitalkosten	€/a	12.342	14.563	15.358
<i>mit Förderung</i>	€/a	11.294	13.136	14.026
Verbrauchskosten	€/a	5.441	4.739	4.860
Betriebskosten	€/a	1.897	2.011	2.052
Jahreskosten	€/a	19.680	21.313	22.270
<i>mit Förderung</i>	€/a	18.632	19.886	20.938
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	162.600	162.600	162.600
spez. Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	12,1	13,1	13,7
<i>mit Förderung</i>	Ct/kWh _{th}	11,5	12,2	12,9

Tabelle 3-13 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Gebäudewärmeversorgung
mit Biomassekessel und Solaranlage

Aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergeben sich Jahreskosten für einen Biomassekessel in Verbindung mit einer Solaranlage zwischen 21.300 und 22.300 €/a. Die zugehörigen Wärmepreise betragen für die Kombination mit einem Flachkollektor 13,1 Ct/kWh_{th} und mit einem Vakuumröhrenkollektor 13,7 Ct/kWh_{th}. Im Vergleich dazu liegen die Jahreskosten mit Fördermitteln für den in Kapitel 3.1.3 betrachteten Biomassekessel bei etwa 19.700 €/a. Daraus wurde ein Wärmepreis von 12,1 Ct/kWh_{th} ermittelt. Alle drei genannten Varianten sind kostengünstiger bzw. genauso teuer wie ein flüssiggasbefuerter Brennwertkessel mit Jahreskosten von rund 22.300 €/a und einem Wärmepreis von 13,7 Ct/kWh_{th}.

4 Fotovoltaik

In der Fotovoltaik ermöglichen Solarzellen die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie. Die Solarzellen sind Halbleiter-Bauelemente, die die Solarstrahlung absorbieren. Sie bestehen überwiegend aus Silizium. Durch das Einbringen von Fremdatomen werden zwei Schichten mit unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften erzeugt. An der Grenzfläche entsteht ein elektrisches Feld, das von außen nicht feststellbar ist. Wenn Licht auf die Solarzelle trifft, erzeugt dies unter Abgabe von Energie freie Ladungsträger. Diese werden durch das innere elektrische Feld an der Grenzfläche getrennt. An den äußeren Kontakten entsteht eine elektrische Spannung, sodass bei Anschluss eines Verbrauchers Strom fließt.

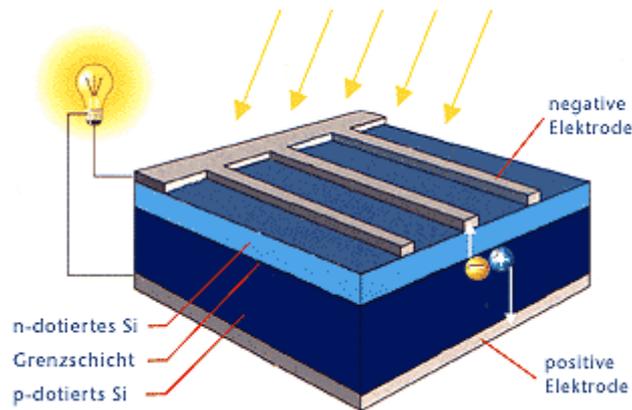


Abbildung 4-1 Schematischer Aufbau einer Solarzelle (Quelle: Fa. Elektroanlagenbau Vergin)

Solarzellen werden hauptsächlich aus Silizium hergestellt. Neben Solarzellen aus polykristallinen Silizium, deren Wirkungsgrad 15 % beträgt, erreichen Solarzellen aus amorphem Germanium-Silizium einen Wirkungsgrad von 12 %.

Um den erzeugten Strom technisch anwenden zu können, besteht ein Solarmodul aus mehreren Solarzellen. Für eine Fotovoltaikanlage können beliebig viele Solarmodule zusammengeschaltet werden. Ein vorgeschalteten Wechselrichter wandelt die Gleichspannung in Wechselspannung um.

Eine netzgekoppelte Anlage ermöglicht sowohl den Verbrauch des erzeugten Stroms als auch die Einspeisung ins öffentliche Stromnetz für vorhandene Überschussenergie. Bei ungünstiger Witterung erfolgt die Stromversorgung über das Netz des Stromversorgungsunternehmens.

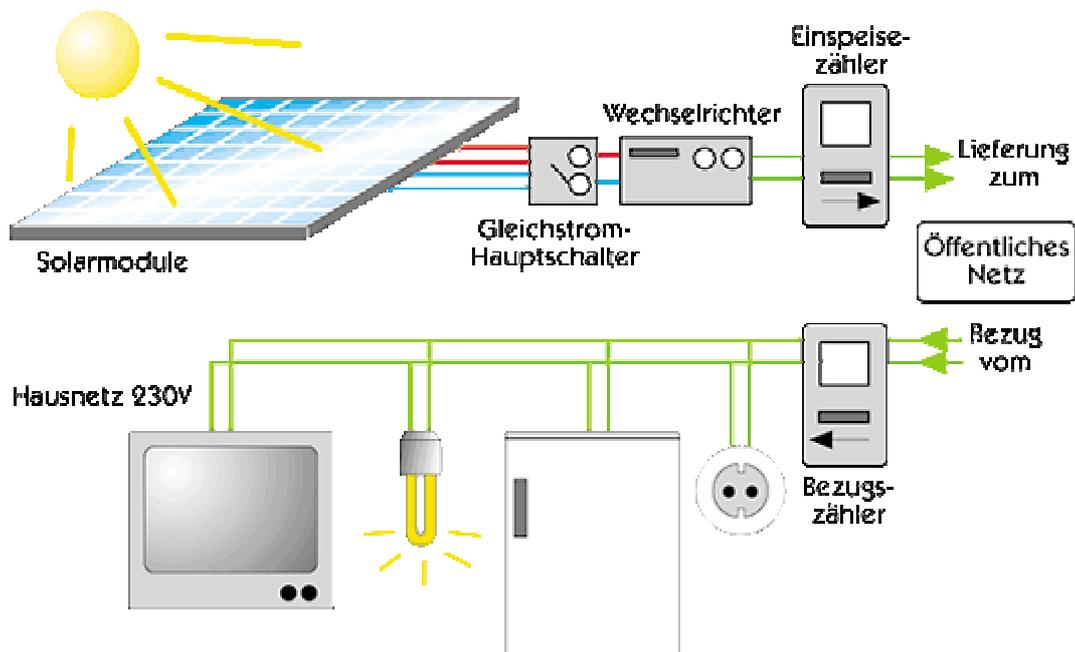


Abbildung 4-2 Prinzipdarstellung einer Fotovoltaikanlage (Quelle: Solvis)

Aufgrund einer gesetzlich festgelegten Mindestvergütung von Strom aus Solarenergie bietet es sich an, den durch die Fotovoltaik erzeugten Strom komplett ins Stromnetz einzuspeisen. Nach dem „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG)“ wird Strom aus solarer Strahlungsenergie mit mindestens 48,1 Ct/kWh_{el} für eine Dauer von 20 Jahren vergütet. Diese Vergütung wird durch den Stromnetzbetreiber gezahlt. Für Anlagen, die nach 2002 installiert werden, ist das Jahr der Inbetriebnahme für die Höhe der Vergütung entscheidend. Für jedes nach 2002 folgende Jahr sinkt die für 20 Jahre festgelegte Mindestvergütung um 5 %, sodass eine in 2003 in Betrieb genommene Fotovoltaikanlage für einen Zeitraum von 20 Jahren mit 45,7 Ct/kWh_{el} vergütet wird.

Um eine möglichst hohe Ausbeute zu erzielen, sollte die Fläche der Solarmodule um 30° geneigt und nach Süden ausgerichtet sein. Für das Gebäude des Trainingszentrums wurde die größtmögliche Modulfläche, die auf den beiden geneigten Dachflächen installiert werden kann, ermittelt. Dazu können die Solarmodule an der Stehfalzblechbedeckung der Aluminium-Sandwich-Dachhaut befestigt werden. Es liegt dann eine geringfügige Abweichung der Südausrichtung der Solarmodule vor, da das Gebäude nicht in Nord-Süd-Orientierung geplant ist. Für eine Modulgröße von etwa 1,19 m x 0,53 m, das einer rund 0,63 m² großen Fläche entspricht, wird die Gesamtfläche der Fotovoltaikanlage ermittelt. In der Berechnung wird zunächst eine Modulhöhe von 1,19 m und einer Breite von 0,53 m angenommen. Anschließend wird die Gesamtfläche für eine Modulhöhe von 0,53 m und einer Breite von 1,19 m berechnet. Zu berücksichtigen ist ein Mindestabstand der einzelnen Modulreihen zueinander, um eine gegenseitige Verschattung der Modulflächen zu vermeiden.

Dies ist anhand des Beispiels in der abgebildeten Darstellung von Fotovoltaikmodulen auf einem Flachdach zu erkennen.



Abbildung 4-3 Fotovoltaikmodule auf dem Dach eines Krankenhauses (Quelle: Solvis)

Aus der Berechnung ergaben sich folgende Werte.

Modulhöhe: 1,19 m Modulbreite: 0,53 m	Module / Reihe	Anzahl Reihen	Modulfläche
Dach Lizenzspieler	21	12	159 m ²
Dach Amateure	50	4	126 m ²
Gesamtgebäude	71	16	285 m²
Modulhöhe: 0,53 m Modulbreite: 1,19 m	Module / Reihe	Anzahl Reihen	Modulfläche
Dach Lizenzspieler	9	25	142 m ²
Dach Amateure	22	7	97 m ²
Gesamtgebäude	31	32	239 m²

Tabelle 4-1 Gesamtmodulflächen einer Fotovoltaikanlage auf dem Gebäude des Trainingszentrums

Mit einer Modulhöhe von 1,19 m ergibt sich eine Gesamtfläche von rund 285 m², während niedrigere Module mit einer Höhe von etwa 0,53 m, die sich weniger auffallend im Sichtbereich befinden, eine Gesamtfläche von ca. 239 m² abdecken.

Für 1 kW_p wird ein ca. 10 m² große Modulfläche benötigt. Die spezifischen Investitionskosten betragen etwa 6.000 bis 6.500€/kW_p.

Mit einem zu erwartenden Ertrag von etwa 85 kWh_{el}/(m²*a) wird eine jährliche Einspeisevergütung für eine Modulfläche in dieser Größenordnung von rund 9.000 €/a bis 11.000 €/a gezahlt.

Zur Veranschaulichung der beiden Installationsmöglichkeiten sind diese in der folgenden Abbildung dargestellt.

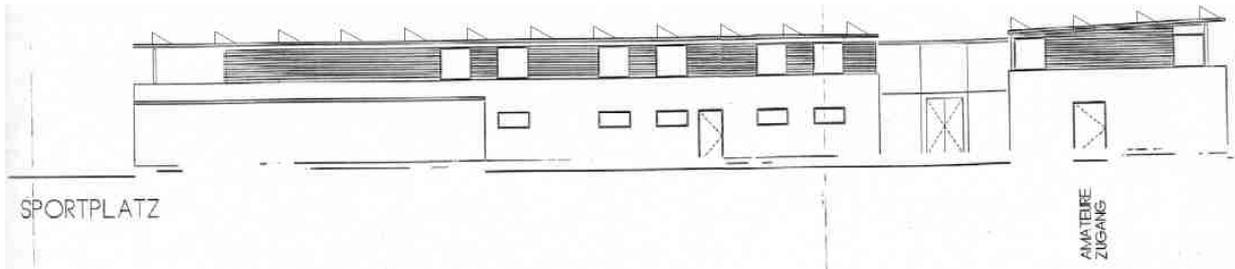


Abbildung 4-4 Fotovoltaikanlage mit einer Modulhöhe von 1,19 m auf dem Gebäude des Trainingszentrums

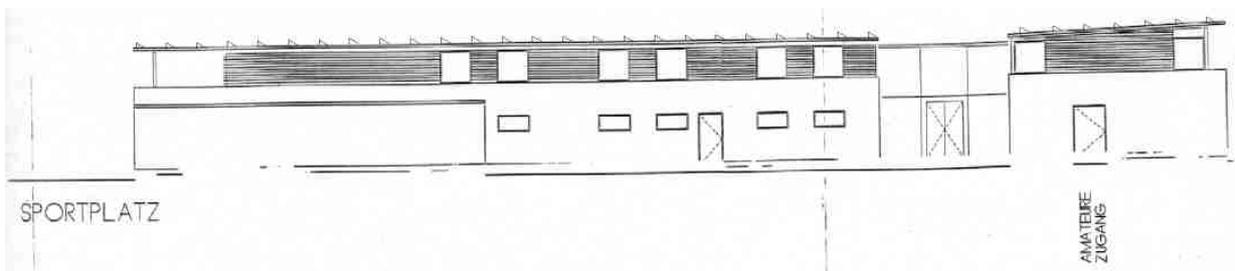


Abbildung 4-5 Fotovoltaikanlage mit einer Modulhöhe von 0,53 m auf dem Gebäude des Trainingszentrums

5 Wasserverbrauch

In Sportstätten liegt allgemein ein hoher Wasserverbrauch vor. Da das Trainingszentrum sowohl von Lizenzfußballspielern als auch von Amateuren über das ganze Jahr genutzt wird, kann ein relativ konstanter Wasserbedarf angenommen werden.

Um zu untersuchen, welches Einsparpotential für Wasser bzw. Abwasser vorliegt, wird zunächst überschlägig die Wassermenge im Entwurf ermittelt. Darauf basierend wird die Möglichkeit einer Regenwassernutzung sowie einer Grauwassernutzung und anderer wassersparender Techniken untersucht.

5.1 Wasserbedarf des Entwurfs

Für eine überschlägige Ermittlung des Wasserbedarfs sind alle sanitären Einrichtungen des Gebäudes mit ihrer angenommenen jährlichen Entnahmemenge in der Tabelle aufgelistet. Diese Wassermenge entspricht auch der Abwassermenge.

sanitäre Einrichtung	Anzahl	jährlicher Wasserbedarf
Dusche	24	1.165.000 l/a
WC	14	90.000 l/a
Urinal	6	98.000 l/a
Waschtisch / Spültisch	19	97.000 l/a
Summe		1.450.000 l/a

Tabelle 5-1 jährlicher Wasserbedarf des Gebäudes im Trainingszentrums

Die jährliche Trinkwasser- bzw. Abwassermenge beträgt etwa 1.450 m³/a.

Im Entwurf ist vorgesehen, das Abwasser über dem Gebäudeanschluss entlang der bestehenden Zufahrt bis zum vorhandenen Schacht am Einfahrtsbereich in die Kanalisation einzuleiten.

5.2 Wasserspararmaturen

Um die Trinkwasser- und Abwassermenge zu reduzieren, können Wasserspararmaturen eingesetzt werden. Sie verringern den Wasserverbrauch unter denselben Bedingungen, wie sie zur Ermittlung des Wasserbedarfs angenommen wurden, um etwa 31 m³/a, sodass die jährliche Wassermenge etwa 1.419 m³/a beträgt.

5.3 Vakuumtechnik

Bei der Vakuumtechnik wird die Unterdruckentwässerung von allen Abwassereinleitern realisiert. Durch diese Technik wird z. B. weniger Wasser für eine Toilettenspülung benötigt. Neben den Toiletten und Urinalen können auch andere sanitäre Einrichtungen an dieses Entwässerungssystem angeschlossen werden, sodass nur ein Rohrleitungssystem zu installieren ist, und somit keine Kosten für ein zweites Entwässerungssystem aufzuwenden sind.

Die Toiletten-Vakuumsysteme werden langjährig auf Schiffen und in Zügen eingesetzt, sodass die Technik weit entwickelt und praktikabel ist. Eine Vakuumanlage setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen, die zum Teil unten dargestellt sind: Vakuumentank, Vakuumpumpen, Abwasserpumpen, Steuereinheit, Vakuumtoilette, Absaugeinheit, Zwischensammelbehälter und Rohrleitungsnetz.

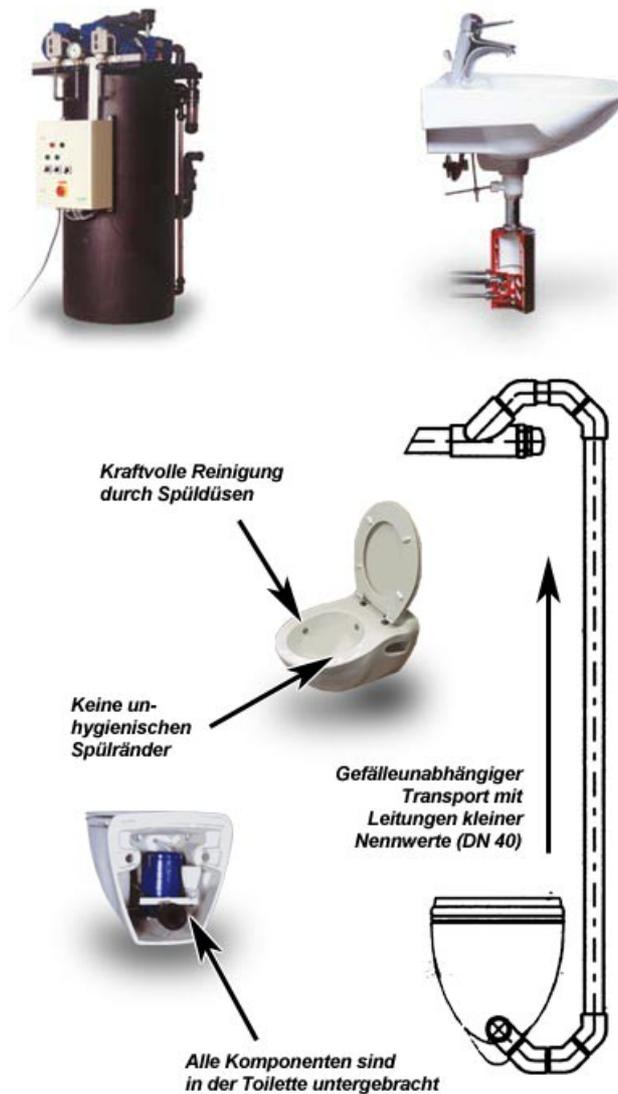


Abbildung 5-1 Vakuumanlage mit zugehörigen Armaturen (Quelle: Roovac)

Durch den Einsatz einer Vakuumanlage reduziert sich der Trinkwasserbedarf um $159 \text{ m}^3/\text{a}$, sodass die jährliche Wassermenge $1.291 \text{ m}^3/\text{a}$ beträgt.

5.4 Regenwassernutzung

Auf Sonderwunsch ist laut Entwurf eine Regenwassernutzung für die Toilettenanlagen und zur Außenbewässerung ausführbar. Dazu wird das Regenwasser von Dächern des Gebäudes durch einen Filter in einen meist unterirdisch angelegten Speicher geleitet. Von dort wird das Regenwasser über die Regenwasserzentrale ins Rohrleitungssystem zur Versorgung der Toilettenanlagen gepumpt. Die Zentrale kann bei Regenwassermangel Frischwasser nachspeisen, sodass immer genügend Wasser zur Verfügung steht. Eine solche Regenwassernutzungsanlage entspricht mit einem Speicher, der die verfahrensbedingten Anforderungen an die Wasserführung wie z. B. einen beruhigten Zulauf und eine Rückstausicherung berücksichtigt, und der zugehörigen Systemsteuerung in der Regenwasserzentrale einer Gebäudetechnik, die mit einer normalen vergleichbar ist.

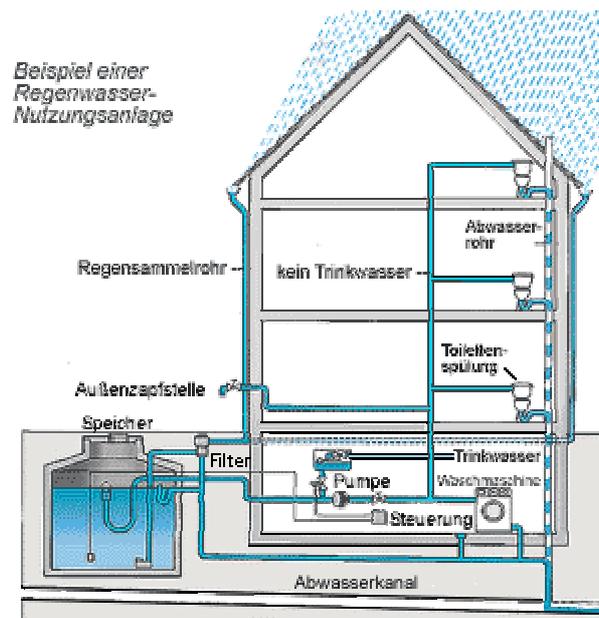


Abbildung 5-2 Prinzipdarstellung einer Regenwassernutzungsanlage (Quelle: RWP)

Um den Bedarf der Toilettenanlage abdecken zu können, wird eine nutzbare jährliche Regenwassermenge von ca. $188 \text{ m}^3/\text{a}$ benötigt. Es ist zu prüfen, welcher Bedarf zur Außenbewässerung abzudecken ist und wie groß die zu erwartende Regenmenge auf das Dach des Gebäudes ist. Die notwendige Trinkwassermenge beträgt jährlich etwa $1.231 \text{ m}^3/\text{a}$, sodass dort eine Reduzierung möglich ist, während sich die Abwassermenge nicht verringert.

Weitere Informationen zum Anwendungsbereich und zur Auslegung einer Regenwassernutzungsanlage können aus der DIN 1989 entnommen werden.

5.5 Grauwassernutzung

Abwasser wird in zwei Kategorien Grauwasser und Schwarzwasser eingeteilt. Das Toiletten- und Küchenabwasser, das durch Fäkalien und Speisereste etc. stark verschmutzt ist, wird als Schwarzwasser bezeichnet. Grauwasser setzt sich aus dem Abwasser von Waschtisch, Badewanne, Dusche und ggf. Waschmaschine zusammen. Es ist mit Schmutzstoffen wie z. B. Körperpflegemitteln, Waschmitteln und Körperschmutz angereichert, die als feinverteilte abbaubare Stoffe im benutzten Wasser enthalten sind.

Dieses Grauwasser kann nach einer Aufbereitung wieder als Betriebswasser für Toilettenspülungen, Urinalspülungen aber auch für Waschmaschinenbeschickung, unterschiedlichste Reinigungszwecke sowie zur Gartenbewässerung genutzt werden. Wichtig ist die Trennung der Rohrleitungen für Grauwasser, Betriebswasser und Trinkwasser. Zwei verschiedene Verfahren können das Grauwasser aufbereiten; neben der physikalischen kann auch eine biologische Reinigung angewendet werden.

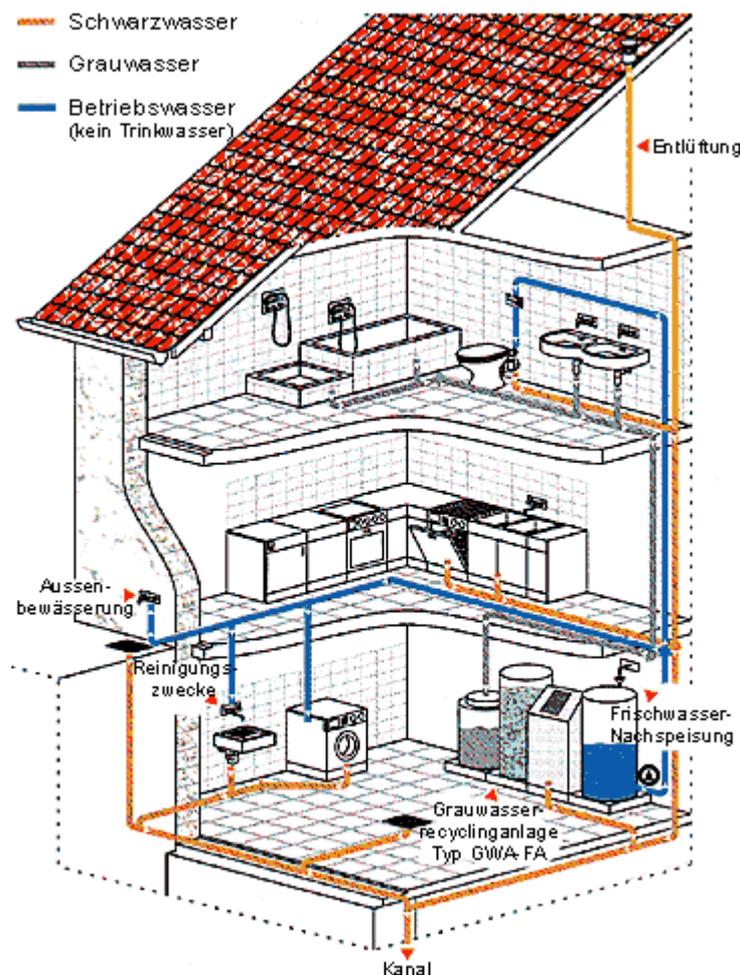


Abbildung 5-3 Prinzipdarstellung einer in das Leitungssystem integrierten Grauwasseraufbereitungsanlage (Quelle: Flowatec)

Die Grauwassernutzung ermöglicht eine jährliche Einsparung an Trinkwasser von etwa 188 m³/a, sodass eine Menge von rund 1.262 m³/a benötigt werden.

5.6 Vergleich der Wassereinsparungen

Zum Vergleich der unterschiedlichen Möglichkeiten zur Reduzierung der Trinkwasser- bzw. Abwassermenge werden sie in der folgenden Tabelle mit ihrer jährlichen Wassereinsparung gegenüber der konventionellen Technik, der im Entwurf vorgesehen ist, dargestellt. Hier wird nur das Gebäude mit dem überschlägig ermittelten Trinkwasserbedarf und der daraus resultierenden Abwassermenge betrachtet. Die Regenwassermenge, die von den zum Gebäude zugehörigen Flächen abzuführen und in die Kanalisation einzuleiten bzw. zu versickern ist, bleibt unberücksichtigt. Außerdem wird die zur Außenbewässerung notwendigen Wassermenge aufgrund fehlender Angaben in die Berechnung nicht mit einbezogen.

Varianten	Wasser m ³ /a	Abwasser m ³ /a	Wassereinsparung		Abwassereinsparung	
			m ³ /a	%	m ³ /a	%
Entwurf	1.450	1.450				
Wasserspararmaturen	1.419	1.419	31	2	31	2
Vakuumentchnik	1.291	1.291	159	11	159	11
Regenwassernutzung	1.262	1.450	188	13	0	0
Grauwassernutzung	1.262	1.450	188	13	0	0
Vakuumentchnik + Wasserspararmaturen	1.260	1.260	190	13	190	13
Regenwassernutzung + Wasserspararmaturen	1.231	1.419	219	15	31	2
Grauwassernutzung + Wasserspararmaturen	1.231	1.419	219	15	31	2
Regenwassernutzung + Vakuumentchnik + Wasserspararmaturen	1.231	1.260	219	15	190	13
Grauwassernutzung + Vakuumentchnik + Wasserspararmaturen	1.231	1.260	219	15	190	13

Abbildung 5-4 Varianten zur Wassereinsparung mit Einsparpotential

Die unterschiedlichen Techniken und deren Kombination untereinander erreichen eine Trinkwassereinsparung zwischen 2 und 15 %, während das Abwasser um 2 bis 13 % reduziert werden kann. Das größte Einsparpotential liegt für die Kombination der Regenwassernutzung bzw. der Grauwassernutzung mit der Vakuumentchnik und mit Wasserspararmaturen im Vergleich zur konventionellen Technik, die im Entwurf vorgesehen ist, vor. Durch diese Zusammenstellung wird eine Trinkwassereinsparung von etwa 15 % erreicht, während sich die Abwassermenge um rund 13 % reduziert.



Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung im



Diese Gegenüberstellung ermöglicht eine erste Bewertung der unterschiedlichen Techniken. Anhand einer genauen Ermittlung der Trinkwasser- und Abwassermengen sowie einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist zu prüfen, welche Technik zum Einsatz kommen kann.

6 Zusammenfassung

In dieser Studie wurde der geplante Neubau des Trainingszentrums Fröhnerhof in Hinblick auf eine umweltgerechte Optimierung untersucht. Dieses Trainingszentrum wurde im Rahmen der Umweltpartnerschaft zwischen dem rheinland-pfälzischen Ministerium für Umwelt und Forsten und dem Fußballverein „1. FC Kaiserslautern“ als Beispiel ausgewählt. Die Studie betrachtet ressourcenschonende Alternativen zur bisherigen Planung. Es wurden Schwerpunkte auf den Dämmstandard und die Wärmeversorgung des Gebäudes gelegt. Zusätzlich erfolgte eine Untersuchung zur Nutzung regenerativer Energien sowie eines effizienter Einsatzes von Stoffströmen am Beispiel Trinkwasser.

Für das Trainingszentrum ist ein Kabinengebäude sowie ein Sportplatz mit Naturrasen vorgesehen. Im Gebäude sind Umkleide- und Sanitärräume für Lizenzspieler und Amateure sowie ein Wellness-Bereich, Gästezimmer, Büro- und Besprechungsräume geplant. Der Naturrasenplatz soll zur einen Hälfte mit einer Rasenheizung frostfrei gehalten werden.

Für das Gebäude wurde anhand einer vorliegenden Wärmebedarfsberechnung und unter Berücksichtigung des Heizenergiebedarfs zur Brauchwarmwassererwärmung sowie eines zusätzlichen Heizenergiebedarfs im Wellness-Bereich ein Gesamtheizenergiebedarf von etwa 162.600 kWh_{th}/a ermittelt. Da im Trainingszentrum ein hoher Warmwasserbedarf vorliegen wird, ist die Nennleistung der Heizanlage nach dem Wärmeleistungsbedarfs zur Warmwasserbereitung auszulegen. Dazu wird eine Nennleistung von rund 185 kW_{th} benötigt. Für die Rasenheizung ist eine Nennleistung der Heizanlage von 600 kW_{th} notwendig. Da keine Angaben zum Wärmebedarf vorlagen, wurde ein Wärmebedarf von 450.000 kWh_{th}/a mit 750 h/a Vollbenutzungsstunden angenommen.

Auf den Bauteilen des Entwurfs basierend wurden Maßnahmen zur Wärmedämmung und alternative Konstruktionen der Bauteile untersucht, die dazu beitragen, einen Wärmebedarf eines 3-Liter-Hauses zu erreichen. Als 3-Liter-Haus werden die Gebäude bezeichnet, die unter der Annahme von Heizöl als Energieträger einen Heizwärmebedarf je Quadratmeter Nutzfläche und Jahr von 3 Liter Heizöl aufweisen. Der Jahresheizwärmebedarf des Entwurfs entspricht einem Heizöläquivalent von 7,4 l/(m²*a).

Für vier unterschiedliche Kombinationen wird ein 3-Liter-Haus-Standard erzielt. Spezifische Mehrkosten ermöglichen einen Vergleich und eine Bewertung der untersuchten Varianten. Diese spezifischen Mehrkosten beziehen die Mehrkosten, die aus den Differenzen zum Entwurf ermittelt wurden, auf die zugehörige Energieeinsparung innerhalb der Nutzungsdauer. Die spezifischen Mehrkosten der Varianten liegen zwischen 8,6 und 11,6 Ct/kWh_{th}. Damit sind sie niedriger als der Wärmepreis von 13,7 Ct/kWh_{th} der dezentralen Wärmeversorgung des Gebäudes mit einem flüssiggasbefeuerten Brennwertkessel. Variante 8a stellt sich als die günstigste Variante dar.

Der Vergleich der Varianten 7 und 8, deren Bauteile bis auf die Fenster identisch sind, zeigt, dass sich für das Gebäude des Trainingszentrums die Fenster mit einer besseren Wärmeschutzverglasung (Variante 8: U-Wert = $0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$) durch die Energieeinsparung innerhalb einer kürzeren Dauer amortisieren als Fenster mit einem U-Wert von $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ (Variante 7).

Zur Wärmeversorgung des Trainingszentrums wurde zunächst die dezentrale Wärmeversorgung des Gebäudes und der Rasenheizung für den Sportplatz betrachtet. Im Anschluss daran erfolgte eine Untersuchung zur zentralen Wärmeversorgung. Im Entwurf ist ein flüssiggasbefeuertem Niedertemperaturkessel für das Gebäude vorgesehen. In der Studie wurde ein Brennwertkessel betrachtet, da dieser den Brennstoff effizienter nutzt. Als Alternative erfolgte die Betrachtung eines Biomassekessels zur Verfeuerung von Holzpellets, der mit einem Pufferspeicher kombiniert wird, um Leistungen unterhalb des Teillastbetriebs des Kessels abdecken zu können und so die Schalthäufigkeit der Heizanlage zu reduzieren. Ein flüssiggasbefeuertem Niedertemperaturkessel ist in der Planung für die Rasenheizung vorgesehen. Zusätzlich wurde eine Wärmepumpenanlage zur Abdeckung des Wärmebedarfs betrachtet.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die zugehörigen Jahreskosten sowie der Wärmepreis, der sich aus den Jahreskosten bezogen auf den Jahreswärmebedarf berechnet, für alle Varianten ermittelt. Die Jahreskosten für die Wärmeversorgung des Gebäudes betragen für den flüssiggasbefeuerten Brennwertkessel etwa 22.300 €/a , während für den Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets ca. 19.700 €/a aufzuwenden sind. Für die Rasenheizung ergeben sich Jahreskosten von rund 41.700 €/a für den flüssiggasbefeuerten Niedertemperaturkessel und etwa 38.900 €/a für die Wärmepumpenanlage. Ein Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets stellt sich für das Gebäude ohne Berücksichtigung von Fördermitteln als günstige Wärmeversorgung dar. Eine kostengünstige dezentrale Wärmeversorgung der Rasenheizung wird mit einer Wärmepumpe erzielt. Zur zentralen Wärmeversorgung wurde ein Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets (Grundlast) mit einem flüssiggasbefeuerten Niedertemperaturkessel (Spitzenlast) betrachtet. Die zugehörigen Jahreskosten für die Heizzentrale betragen rund 50.100 €/a mit einem Wärmepreis von $8,2 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$.

Ein Vergleich anhand einer CO_2 -Emissionsbilanz und einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der kombinierten Einzelversorgungen sowie der Heizzentrale ermöglicht die Ermittlung einer ökonomisch wie ökologisch sinnvollen Wärmeversorgung des Trainingszentrums Fröhnerhof. Die geringsten CO_2 -Emissionen werden global gesehen von den Biomassekesseln, die sowohl zur Einzelversorgung als auch in der Heizzentrale eingesetzt werden können, ausgestoßen.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergab, dass eine Heizzentrale mit Biomassekessel und flüssiggasbefeuerten Niedertemperaturkessel sich als günstigste Wärmeversorgung des Trainingszentrums darstellt. Mit zugehörigen Jahreskosten von etwa 50.100 €/a und einem Wärmepreis von $8,2 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$ ist die zentrale Wärmeversorgung wirtschaftlicher als die günstigste Kombination der dezentralen Wärmeversorgung mit einem Biomassekessel im Gebäude

und einer Wärmepumpenanlage zur Rasenheizung. Die Jahreskosten hierfür betragen ca. 58.600 €/a, sodass sich ein Wärmepreis von 9,6 Ct/kWh_{th} ergibt.

Als Zusatz wurde aufgrund des hohen Warmwasserbedarfs des Trainingszentrums eine Brauchwarmwasserbereitung mit solarer Unterstützung betrachtet. Dazu wurde zwischen Flach- und Vakuumröhrenkollektoren unterschieden, die in Verbindung mit einem Biomassekessel im Gebäude des Trainingszentrums zur Warmwasserbereitung beitragen. Durch den Einsatz einer Solaranlage mit Flach- oder Vakuumröhrenkollektoren verringert sich der Brennstoffeinsatz sowie die CO₂-Emission für die Wärmeversorgung des Gebäudes um etwa 12 % im Vergleich zum Biomassekessel ohne solare Unterstützung. In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergaben sich Jahreskosten mit Förderung für einen Biomassekessel in Verbindung mit einer Solaranlage zwischen 21.300 und 22.300 €/a. Die zugehörigen Wärmepreise betragen für die Kombination mit einem Flachkollektor 13,1 Ct/kWh_{th} und mit einem Vakuumröhrenkollektor 13,7 Ct/kWh_{th}. Im Vergleich zur reinen Kesselanlage im Gebäude liegen die oben genannten Jahreskosten über denen des Biomassekessels und unterhalb bzw. gleich hoch mit den Jahreskosten eines Brennwertkessels.

Als eine weitere Möglichkeit zur Nutzung regenerativer Energien bietet sich eine Fotovoltaikanlage an, deren Solarzellen die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie ermöglichen. Als Standort für die Solarmodule wurde die leicht geneigte Dachfläche des Gebäudes betrachtet. Dort kann je nach Größe der Module eine etwa 240 bis 280 m² große Fläche mit einer Neigung von 30° aufgeständert werden. Nach dem „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG)“ wird Strom aus solarer Strahlungsenergie für eine Fotovoltaikanlage, die 2003 in Betrieb genommen wird, mit mindestens 45,7 Ct/kWh_{el} für eine Dauer von 20 Jahren vergütet. Mit einem zu erwartenden Ertrag von etwa 85 kWh_{el}/(m²*a) wird eine jährliche Einspeisevergütung für eine Modulfläche in der oben genannten Größenordnung von rund 9.000 €/a bis 11.000 €/a gezahlt.

Abschließend wurde das Einsparpotential an Trinkwasser bzw. Abwasser im Trainingszentrum untersucht. Dazu basiert die Wassermenge auf einem überschlägig ermittelten Wasserbedarf nach Kennwerten von etwa 1.450 m³/a. Durch unterschiedliche Techniken kann die Trinkwasser- und Abwassermenge verringert werden. Der Einsatz von Wasserspararmaturen ermöglicht eine Reduzierung von rund 30 m³/a Trink- und Abwasser. Durch die Vakuumtechnik wird aufgrund einer Unterdruckentwässerung eine Wassermenge von ca. 160 m³/a Trink- und Abwasser eingespart. Der Entwurf spricht als Möglichkeit eine Regenwassernutzung für die Toilettenanlagen und zur Außenbewässerung an. Um den Bedarf der Toilettenanlage abdecken zu können, wird eine nutzbare jährliche Regenwassermenge von ca. 188 m³/a benötigt. Es ist zu prüfen, welcher Bedarf zur Außenbewässerung abzudecken ist und wie groß die zu erwartende Regenmenge auf das Dach des Gebäudes ist. Die notwendige Trinkwassermenge beträgt jährlich etwa 1.231 m³/a, sodass dort eine Reduzierung möglich ist, während sich die Abwassermenge nicht verringert.

In der Grauwassertechnik wird das Abwasser aus Waschtisch, Badewanne, Dusche und ggf. Waschmaschine, das als Grauwasser bezeichnet wird, nach einer Aufbereitung als Betriebs-

wasser für Toilettenspülungen, Urinalspülungen aber auch für Waschmaschinenbeschickung, unterschiedlichste Reinigungszwecke sowie zur Gartenbewässerung eingesetzt. Die Grauwassernutzung ermöglicht eine jährliche Einsparung an Trinkwasser von etwa 188 m³/a, sodass eine Menge von rund 1.262 m³/a benötigt werden. Die unterschiedlichen Techniken und deren Kombination untereinander erreichen eine Trinkwassereinsparung zwischen 2 und 15 %, während das Abwasser um 2 bis 13 % reduziert werden kann. Da hier nur der Wasserbedarf im Gebäude ohne die Außenbewässerung berücksichtigt wurde, sind die Einsparpotentiale erste Orientierungswerte.

Fazit

Der Entwurf des Trainingszentrums Fröhnerhof bietet ein nutzbares Potential, um die Sportstätte hinsichtlich einer Energie- und Ressourcenschonung zu optimieren. Dies betrifft sowohl die Baukonstruktion und deren Baumaterialien sowie die Wärmeversorgung. Außerdem besteht die Möglichkeit, regenerative Energien einzusetzen und die Stoffströme wie Trink- und Abwasser effizienter zu nutzen.

Es empfiehlt sich, das Gebäude im 3-Liter-Haus-Standard auszuführen.

Zur Wärmeversorgung des Trainingszentrums bietet sich eine Heizzentrale mit einem Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und ein flüssiggasbefeuertem Niedertemperaturkessel aus ökonomischer und ökologischer Sicht an. Zusätzlich kann eine Solaranlage auf das Flachdach des Gebäudes zur Unterstützung der Warmwasserbereitung installiert werden.

Eine Fotovoltaikanlage kann zur Stromerzeugung auf das leicht geneigte Dach unter Berücksichtigung eines Neigungswinkels angebracht werden.

Zur Trinkwasser- und Abwassereinsparung liegt ein Einsparpotential vor. Mit den genauen Mengen kann für das Trainingszentrum aus technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Sicht die einzusetzende Technik ermittelt werden.