

# Abschlussbericht

zum Modellprojekt über einen  
vorbildhaften Neubau einer Sporthalle  
am Beispiel der

## Sporthalle Bornheim

Auftraggeber: Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd  
Forschungsanstalt für Waldökologie und  
Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz  
Hauptstr. 16  
67705 Trippstadt

Auftragnehmer: Universität Kaiserslautern  
Fachbereich ARUBI  
Fachgebiet Bauphysik / TGA  
Prof. Dr. Hermann Heinrich  
Erwin-Schrödinger-Straße  
67663 Kaiserslautern

# 1 Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Einsparung an Heizenergie durch Variation der bisherigen Planung</b>	<b>2</b>
3.1	Planungsvariante „Standard“	3
3.1.1	Verbrauchsprognose für Heizwärme für die Planungsvariante „Standard“ (Variante 0)	7
3.2	Varianten	8
3.2.1	Bauteile	8
3.2.2	Anlagentechnik	11
3.2.3	Verbrauchsprognose Heizwärme für die Varianten	12
<b>4</b>	<b>Vergleich von Heizungssystemen</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Thermische Solarenergienutzung</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Photovoltaik</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>Beleuchtung</b>	<b>22</b>
<b>8</b>	<b>Grauwassernutzung</b>	<b>23</b>

## 2 Einleitung

Der vorliegende Abschlussbericht fasst die Ergebnisse der Studie zusammen, die am Beispiel des Neubaus der Sporthalle Bornheim durchgeführt wurde. Untersucht wurden die Energie-Einsparungsmöglichkeiten für Heizwärme durch bauliche Maßnahmen und Anlagentechnik und die Nutzung von Solarthermie zur Trinkwarmwassererwärmung. Weiterhin werden auf Basis aktueller Energiekosten die Grundlagen für eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zweier unterschiedlicher Heizsysteme erörtert. Die Nutzung von Photovoltaik zur Stromerzeugung und die Möglichkeit der Grauwassernutzung und deren Einsparmöglichkeiten werden aufgezeigt. Auf Einsparungsmöglichkeiten im Bereich Beleuchtung wird ebenfalls hingewiesen.

## 3 Einsparung an Heizenergie durch Variation der bisherigen Planung

Der Heizwärmebedarf, der benötigt wird um die Gebäude auch in der kalten Jahreszeit auf angenehmer Temperatur zu halten, setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Heizwärmebedarf durch Wärmedurchgang (Transmission) durch die *Gebäudehülle* (Dach, Außenwände, Fenster, usw.)
- Heizwärmebedarf durch *Lüftung*.

Vom Heizwärmebedarf können interne und solare Wärmegewinne abgezogen werden, da diese nicht mehr durch die Heizungsanlage erzeugt werden müssen. Interne Gewinne entstehen durch die Abgabe von Wärme durch Personen oder Geräte, solare Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung.

Bei der hier durchgeführten Betrachtung wird untersucht, wie durch bauliche oder anlagentechnische Variationen des bisher vorliegenden Planungsstandards der Heizwärmebedarf reduziert werden kann.

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs erfolgte nach DIN V 4108-6. Dabei wird der zusätzliche Wärmestrom über *Wärmebrücken* vereinfacht durch einen Zuschlag auf die U-Werte berücksichtigt.

Der *Lüftungswärmebedarf* ist abhängig von der Dichtigkeit der Türen und Fenster und vor allem vom Nutzerverhalten. Eine genaue Größe kann deshalb meist nicht angegeben werden. Im Gegensatz zu dem in DIN V 4108-6 für normal genutzte Gebäude angenommenen Luftwechselzahl 0,5 1/h wird für die durchgeführten Berechnungen eine Luftwechselzahl von 0,35 1/h gewählt, die sich aufgrund einer nicht ganztägigen Nutzung ergibt.

Auch bei den gewählten Raumtemperaturen von 15°C in der Halle und deren Nebenräumen wurde ein Wert angesetzt, der als mittlerer Wert für den Winter in einer Sporthalle so realisiert werden kann, jedoch nicht den Standardrandbedingungen nach DIN V 4108-6 entspricht. Lediglich für die Umkleide- und Duschräume wurde von 20°C im Mittel ausgegangen.

Für solare Gewinne wurden die normierten Werte für die Klimaregion Mannheim angesetzt.

Die internen Wärmegewinne werden nach DIN V 4108-6 üblicherweise mit einem Wert von 5 W/m<sup>2</sup> angesetzt. Dieser Wert ist für eine Sporthalle als zu hoch einzustufen. Deshalb wurde in den Berechnungen ein Wert von lediglich 1,5 W/m<sup>2</sup> angesetzt.

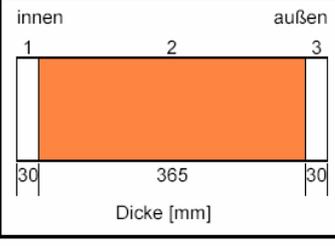
### 3.1 Planungsvariante „Standard“

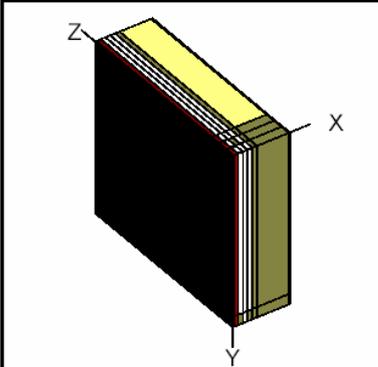
Bei dem untersuchten Gebäuden wird unterschieden in zwei Gebäudeteile bezüglich unterschiedlicher Bauteilaufbauten und unterschiedlichen Raumtemperaturen:

1. das Hallengebäude mit Nebenräumen (im Heizperioden-Mittel 15°C)
2. die Umkleide- und Duschräume (im Heizperioden-Mittel 20°C)

In der bisherigen Planung sind folgende Bauteilaufbauten angedacht (Planungsvariante „Standard“):

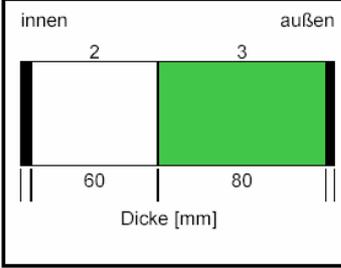
Bauteil	Flächen in m <sup>2</sup>	U in W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Wände Halle	774,27	0,43		
30 cm Porenbeton (0,14)				
	Nr	Schicht/Material (von innen nach außen)	Dicke [m]	$\lambda$ [W/(mK)]
	1	Porenbeton (Dichte: 600 kg/m <sup>3</sup> )	0,3	0,14

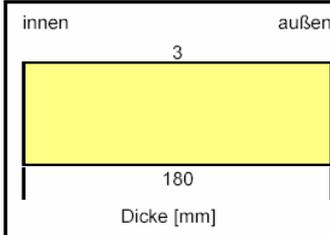
Bauteil	Flächen in m <sup>2</sup>	U in W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Wände sonst	264,25	0,39		
36,5 cm Poroton (0,16)				
	Nr	Schicht/Material (von innen nach außen)	Dicke [m]	$\lambda$ [W/(mK)]
	1	1.1.6 Gipsputz ohne Zuschlag	0,03	0,51
	2	Biso-Block 16; 2 -0,65- / LM 21	0,365	0,16
	3	1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	0,03	1

Bauteil	Flächen in m <sup>2</sup>	U in W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Boden Halle	1220,35	0,32		
Hallenboden				
	Nr	Farbe	Baustoff	$\lambda$ [W/(mK)]
	1	Black	Linoleum-Verbundbeläge (DIN 18 173)	0,12
	2	Red	Holzwerkstoffe Spanplatte 900	0,18
	3	White	Luftschicht 50mm (Wärmestrom abwärts)	0,238
	4	Olive	Holz	0,13
	5	Yellow	5.1 Mineralwolle NW 0,035 Kategorie I	0,035
	6	Black	Bitumenabdichtung nach DIN 18 195	0,17
	Unterteilung [m]			
	Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
	1	0,005	0,625	0,04
2	0,016	0,04	0,04	
3	0,018		0,04	
4	0,018		0,625	
5	0,018			
6	0,018			
7	0,12			
8	0,004			

Dicke der MiWo-Dämmung



Bauteil	Flächen in m <sup>2</sup>	U in W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Boden sonst	808,76	0,32		
Boden Nebenräume				
	Nr	Schicht/Material (von innen nach außen)	Dicke [m]	λ [W/(mK)]
	1	Linoleum-Verbundbeläge (DIN 18 173)	0,005	0,12
	2	1.4.1 Zement-Estrich	0,06	1,4
	3	5.3 Extrudierter Polystyrolschaum NW 0,035 Kategorie I	0,08	0,035
	4	Bitumenabdichtung nach DIN 18 195	0,004	0,17

Bauteil	Flächen in m <sup>2</sup>	U in W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Dach Halle	1021,52	0,19		
Dach sonst	799,07	0,19		
Trapezblechdach (18 cm WLG 035)				
	Nr	Schicht/Material (von innen nach außen)	Dicke [m]	λ [W/(mK)]
	1	Stahltrapezblech	0,0009	200
	2	Aluminium-Folien, d >= 0,05 mm	0,0002	204
	3	5.1 Mineralwolle NW 0,035 Kategorie I	0,18	0,035
	4	Stahltrapezblech	0,0005	200

Bauteil	Flächen in m <sup>2</sup>	U in W/(m <sup>2</sup> ·K)
Fenster + Türen Halle	408,91	1,40
Fenster + Türen sonst	102,34	1,40
Fenster + Türen Umkleide + Duschen	16,45	1,40

Diese Bauteilangaben wurden so vom Architekturbüro werk-plan als bisheriger Planungsstand angegeben.

### 3.1.1 Verbrauchsprognose für Heizwärme für die Planungsvariante „Standard“ (Variante 0)

Zur Bestimmung des Heizwärmebedarfs wird das PC-Programm EPASS-HELENA verwendet, welches auf Basis von DIN V 4108-6 rechnet. Es handelt sich um ein Verfahren mit dem der Jahres-Heizwärmebedarf aufbauend auf Monatsbilanzen ermittelt wird. Die Berechnung findet unter Berücksichtigung der zuvor festgelegten Gebäudedaten, dem festgelegten Innenraumklima und einem mittleren Außenklima der Region entsprechend statt (gewählt: Klima Mannheim).

Hierbei wurden für die Planungsvariante „Standard“ die Bauteile gemäß den im vorhergehenden Kapitel dargestellten Angaben angesetzt. Die Randbedingungen für Klima und Nutzung wurden abweichend von der Energieeinsparverordnung angesetzt, um Bedarfswerte zu erhalten, die möglichst nahe an einer Verbrauchsprognose liegen. Folgende Randbedingungen liegen der Berechnung zugrunde:

Temperaturen in Halle, Nebenräumen der Halle und Foyer	15 °C
Temperaturen in Umkleide- und Duschräumen	20 °C
Luftwechsel in allen Räumen	0,35 Luftwechsel pro h
Außenklima	Klima „Mannheim“
interne Wärmegewinne	1,5 W/m <sup>2</sup>

Es ergibt sich ein rechnerischer **Gesamtheizwärmebedarf** unter Berücksichtigung der nutzbaren solaren und internen Gewinne von

**114.155 kWh/a.**

### 3.2 Varianten

Als Maßnahmen zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs wurden die Bauteile in Absprache mit dem Architekturbüro werk-plan so variiert, dass ein geringerer Wärmestrom zu erzielen ist. Weiterhin wurde bezüglich der Lüftung Variationen der Anlagentechnik betrachtet.

Als Varianten wurden in die Untersuchung aufgenommen:

- Verbesserung des Wärmeschutzes der Außenwände, Bodenplatte und der Dachflächen der Nebenräume zur Halle und des Foyers sowie der Umkleide- und Duschräume
- Verbesserung des Wärmeschutzes von Hallenaußenwänden, -bodenplatte, und -dach
- Fenster mit Dreifachverglasung in den Umkleide- und Duschräumen
- Fenster mit Dreifachverglasung in der Halle, den Nebenräumen zur Halle und im Foyer
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und konstantem Luftwechsel
- Fensterlüftung mit bedarfsgerechtem Luftwechsel

#### 3.2.1 Bauteile

Gegenüber den in Kapitel 3.1 beschriebenen Bauteile wurden die Bauteilverbesserungen wie folgt in Ansatz gebracht:

Bauteil	Flächen in m <sup>2</sup>	U in W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Wände Halle	774,27	0,17		
30 cm Porenbeton (0,14) + 12 cm WDVS				
				
	Nr	Schicht/Material (von innen nach außen)	Dicke [m]	$\lambda$ [W/(mK)]
	1	Porenbeton (Dichte: 600 kg/m <sup>3</sup> )	0,3	0,14
	2	5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,035 Kategorie I	0,12	0,035
	3	1.1.8 Kunstharzputz	0,005	0,7

Bauteil	Flächen in m <sup>2</sup>	U in W/(m <sup>2</sup> ·K)
Wände sonst	264,25	0,17

36,5 cm Poroton (0,16) + 12 cm WDVS

Nr	Schicht/Material (von innen nach außen)	Dicke [m]	λ [W/(mK)]
1	1.1.6 Gipsputz ohne Zuschlag	0,03	0,51
2	Biso-Block 16; 2 -0,65- / LM 21	0,365	0,16
3	5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,035 Kategorie I	0,12	0,035
4	1.1.8 Kunstharzputz	0,005	0,7

Bauteil	Flächen in m <sup>2</sup>	U in W/(m <sup>2</sup> ·K)
Boden Halle	1220,35	0,21

Hallenboden verbessert

Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	Linoleum-Verbundbeläge (DIN 18 173)	0,12	
2	Holzwerkstoffe Spanplatte 900	0,18	
3	Luftschicht 50mm (Wärmestrom abwärts)	0,238	
4	Holz	0,13	
5	5.1 Mineralwolle NW 0,035 Kategorie I	0,035	
6	Bitumenabdichtung nach DIN 18 195	0,17	
7		0,20	
8		0,004	

Dicke der MiWo-Dämmung

Bauteil	Flächen in m <sup>2</sup>	U in W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Boden sonst	808,76	0,21		
Boden Nebenräume verbessert				
<p>innen                      außen</p> <p>2                      3</p> <p>60                      160</p> <p>Dicke [mm]</p>	Nr	Schicht/Material (von innen nach außen)	Dicke [m]	λ [W/(mK)]
	1	Linoleum-Verbundbeläge (DIN 18 173)	0,005	0,12
	2	1.4.1 Zement-Estrich	0,06	1,4
	3	5.3 Extrudierter Polystyrolschaum NW 0,035 Kategorie I	0,16	0,035
	4	Bitumenabdichtung nach DIN 18 195	0,004	0,17

Bauteil	Flächen in m <sup>2</sup>	U in W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Dach Halle	1021,52	0,15		
Dach sonst	799,07	0,15		
Trapezblechdach (30 cm WLG 035)				
<p>innen                      außen</p> <p>3</p> <p>300</p> <p>Dicke [mm]</p>	Nr	Schicht/Material (von innen nach außen)	Dicke [m]	λ [W/(mK)]
	1	Stahltrapezblech	0,0009	200
	2	Aluminium-Folien, d >= 0,05 mm	0,0002	204
	3	5.1 Mineralwolle NW 0,035 Kategorie I	0,30	0,035
	4	Stahltrapezblech	0,0005	200

Bauteil	Flächen in m <sup>2</sup>	U in W/(m <sup>2</sup> ·K)
Fenster + Türen Halle	408,91	0,80
Fenster + Türen sonst	102,34	0,80
Fenster + Türen Umkleide + Duschen	16,45	0,80

### 3.2.2 Anlagentechnik

Als verbesserte Anlagentechnik wurden zwei Varianten betrachtet:

- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und konstantem Luftwechsel
- Fensterlüftung mit bedarfsgerechtem Luftwechsel

Für den Einsatz einer Lüftungsanlage wurde weiterhin von einer konstanten Luftwechselrate von 0,35 Luftwechsel pro Stunde ausgegangen. Es wurde angenommen, dass die Zuluft über Wärmerückgewinnung mit einem Wärmetauscher mit 80 % Wirkungsgrad von der Abluft vorerwärmt wird. Ein solches System brächte einen hohen konstanten Luftwechsel und damit einen hohen elektrischen Energiebedarf für die Lüftungsanlage mit sich.

Als zweite Variante wurde von Fensterlüftung mit bedarfsgerechtem Luftwechsel ausgegangen. Realisiert werden könnte ein solcher bedarfsgerechter Luftwechsel durch CO<sub>2</sub>-gesteuerte elektrische Fensteröffnungen in der Halle und feuchtegesteuerte Entlüftung in den Umkleiden und Duschen.

Alternativ könnte bei Installation eines Lüftungssystems für die Halle auch ein System mit Luftheizung im Umluftbetrieb umgesetzt werden, bei dem über eine CO<sub>2</sub>-gesteuerte Regelung eine Frischluftzumischung vorgenommen wird.

Es wurde für die Berechnungen angenommen, dass die realisierte Luftwechselrate bei bedarfsgerechter Lüftung auf 0,2 Luftwechsel pro Stunde reduziert werden kann.

Bei allen Varianten ist darauf zu achten, dass eine hohe Luftdichtheit des gesamten Baukörpers realisiert wird, was bei Einsatz einer Lüftungsanlage auch durch eine Messung nachzuweisen wäre.

### 3.2.3 Verbrauchsprognose Heizwärme für die Varianten

Für die Verbrauchsprognose der einzelnen Varianten wurde ebenfalls das PC-Programm EPASS-HELENA verwendet. Es wurden die unterschiedlichen Verbesserungsmöglichkeiten einzeln oder als Kombination in der Berechnung angesetzt. Die Ergebnisse für den **Gesamtheizwärmebedarf** unter Berücksichtigung der nutzbaren solaren und internen Gewinne sind in der folgenden Matrix für die unterschiedlichen Kombinationen zusammengefasst.

	Verbesserung des Wärmeschutzes der Außenwände der Nebenräume zur Halle und des Foyers sowie der Umkleide und Duschräume	Verbesserung des Wärmeschutzes der Bodenplatte der Nebenräume zur Halle und des Foyers sowie der Umkleide und Duschräume	Verbesserung des Wärmeschutzes der Dachflächen der Nebenräume zur Halle und des Foyers sowie der Umkleide und Duschräume	Verbesserung des Wärmeschutzes der Hallenaußenwände	Verbesserung des Wärmeschutzes der Hallenbodenplatte	Verbesserung des Wärmeschutzes des Hallendachs	Fenster mit Dreifachverglasung in den Umkleide und Duschräumen	Fenster mit Dreifachverglasung in der Halle, den Nebenräume zur Halle und im Foyer	Luftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und konstantem Luftwechsel	Fensterlüftung mit bedarfsgerechtem Luftwechsel	Prognose des Heizwärmebedarfs mit angepasstem Klima und Nutzerverhalten  in kWh/a
Variante 0											114 155
Variante 1	x	x	x								103 035
Variante 2	x	x	x	x	x	x					78 982
Variante 3	x	x	x	x	x	x	x				78 889
Variante 4	x	x	x	x	x	x	x	x			70 744
Variante 5	x	x	x	x	x	x	x	x	x		41 982 <sup>*)</sup>
Variante 6	x	x	x	x	x	x	x	x		x	47 565
<b>Umsetzung</b>	x	x	x				x			x	79 068

\*) Hier müsste allerdings noch der erhöhte Bedarf an el. Strom hinzugerechnet werden

In dieser Tabelle ist auch die Variante eingetragen, für die sich die Verbandsgemeinde entschieden hat. (Variante „Umsetzung“). Durch den verbesserten Wärmeschutz, der nur in den Sanitärräumen umgesetzt wird, reduziert

sich der Jahresheizwärmebedarf auf ca. 102 000 kWh/a. Der Rest wird durch hauptsächlich durch die „bedarfsgerechte“ Lüftung erreicht.

Zu den einzelnen Varianten wurden vom Architekturbüro werk-plan Mehrkosten für die wärmetechnische Verbesserung der Baukonstruktionen abgeschätzt. Diese betragen:

	Mehrkosten gegenüber Variante 0 in €
Variante 1	48 000
Variante 2	138 000
Variante 3	145 000
Variante 4	170 000
Variante 5	nicht ermittelt → über Planer der techn. Anlagen
Variante 6	nicht ermittelt → über Planer der techn. Anlagen

Um die einzelnen Maßnahmen zu beurteilen, kann man die jährlichen Aufwendungen durch die Mehrkosten den eingesparten Kosten durch Energieeinsparungen entgegenstellen. Man erhält daraus „Kosten je eingesparter kWh Heizwärme“.

Es wurde hier als jährliche Aufwendungen ein Ansatz über Zins + Tilgung in unterschiedlichen Prozentsätzen durchgeführt. Es ergibt sich

	Zins + Tilgung in % der Investition				
	3%	4%	5%	6%	7%
	Kosten je eingesparter kWh Heizwärme in €/kWh				
Variante 1	0,13	0,17	0,22	0,26	0,30
Variante 2	0,12	0,16	0,20	0,24	0,27
Variante 3	0,12	0,16	0,21	0,25	0,29
Variante 4	0,12	0,16	0,20	0,23	0,27

Geringere Mehrkosten könnte bei den Wänden dadurch erreicht werden, dass ein anderes Wandsystem, beispielsweise Kalksandsteinwände mit WDVS, eingesetzt

würde. Hierdurch könnten die gesamten Mehrkosten schätzungsweise um 10 bis 15 % reduziert werden.

Die hier durchgeführten Berechnungen beruhen auf der Grundlage, dass auf ein schon geplantes baukonstruktives System der erhöhte Wärmeschutz quasi ergänzend angebracht wird. Für andere, vergleichbare Projekte sollte möglichst schon frühzeitig in der Planungsphase ein erhöhter Wärmeschutz berücksichtigt werden, was wahrscheinlich zu anderen Konstruktionen führen würde. Damit stellt sich dann ein Kostenvergleich von „normalem“ zu „erhöhtem“ Wärmeschutz anders dar. Unter solchen Voraussetzungen ergeben sich für einen erhöhten Wärmeschutz eventuell wirtschaftlichere Ergebnisse als im hier gezeigten Fall.

Ein weiterer Effekt eines verbesserten Wärmeschutzes, der finanziell nicht abschätzbar ist, ist die Behaglichkeit. Durch einen besseren Wärmeschutz erhöht sich die innere Oberflächentemperatur der Außenbauteile in der Heizperiode. Dies bewirkt vor allem in den Dusch- und Umkleieräume eine Erhöhung der Behaglichkeit selbst bei einer Reduzierung der Raumlufthtemperatur. So kann zusätzlich zur höheren Behaglichkeit auch eine weitere Verringerung der Wärmeverluste erreicht werden.

#### 4 Vergleich von Heizungssystemen

Zwei Heizungssysteme sollen hier bezüglich ihrer unterschiedlichen Wirtschaftlichkeit untersucht werden. Es handelt sich um das Heizungssystem, welches bisher in der Planung vorgesehen war, nämlich eine Beheizung über Gas-Brennwertkessel.

Als Variante wird eine Beheizung mit einem Biomasse-Kessel zur Verfeuerung von Holzpellets betrachtet.

Um eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchzuführen, müssen folgende Annahmen zu Grunde gelegt werden:

- Kosten der einzelnen Energieträger
- Investitionskosten der Anlage
- Jahresnutzungsgrad der Anlage

Die größte Unsicherheit liegt bei der Annahme der Energieträgerpreise. Diese können für die Vergangenheit und den aktuellen Stand einigermaßen genau angegeben werden. Doch selbst beim aktuellen Stand ist mit einer Schwankungsbreite je Anbieter zu rechnen. Für eine zukünftige Betrachtung sind die Energiepreise der einzelnen Energieträger jedoch rein spekulative Werte.

In der hier durchgeführten Betrachtung, wird von den etwaigen derzeitigen Marktpreisen ausgegangen:

Energieträgerkosten	
Erdgas	≈ 4,5 ct./kWh
Holzpellets	≈ 3,5 ct./kWh

Für die Investitionskosten werden als Mehrkosten einer Holzpellets-Heizungsanlage gegenüber einer Anlage mit Gas-Brennwertkessel von etwa 15.000,- € bis 25.000,- € angesetzt. Die tatsächliche Differenz kann erst nach genauer Projektierung der Heizungsanlage mit ihrer Größe und eventuell zusätzlichem Pelletslager genauer abgeschätzt werden.

Für den Jahresnutzungsgrad der Anlage wird hier angesetzt

Jahresnutzungsgrad der Anlage	
Erdgas	97 %
Holzpellets	82 %

**Für Variante 0 ergibt sich damit:**

	Erdgas-Brennwert	Holzpellets
Energiebedarf für Beheizung	114 155 kWh/a	114 155 kWh/a
Energieverbrauch	114 155/0,97 = 117 686 kWh/a	114 155/0,82 = 139 213 kWh/a
laufende Energiekosten	117 686 kWh/a · 4,5 ct./kWh = 5296 €/a	139 213 kWh/a · 3,5 ct./kWh = 4872 €/a
Differenz	423 €/a	
Alternativ:		
laufende Energiekosten	117 686 kWh/a · 5,0 ct./kWh = 5884 €/a	139 213 kWh/a · 3,5 ct./kWh = 4872 €/a
Differenz	1011 €/a	

Um einen Vergleich der jährlichen Energieverbrauchskosteneinsparung mit den Mehrkosten der Investition zu erhalten wurde wiederum die jährlichen Aufwendungen über Zins + Tilgung in unterschiedlichen Prozentsätzen durchgeführt.

Es ergibt sich:

	Zins + Tilgung in % der Investition				
	3%	4%	5%	6%	7%
	Finanzierung der Mehrkosten in €/kWh				
10.000 €	300	400	500	600	700
15.000 €	450	600	750	900	1050
20.000 €	600	800	1000	1200	1400
25.000 €	750	1000	1250	1500	1750

Bei der angenommenen Differenz der Energieträgerkosten von 1,0 ct./kWh stellen sich nur die rot dargestellten Werte als wirtschaftlich dar.

Unter Zugrundelegung einer Differenz der Energieträgerkosten von 1,5 ct./kWh erweitert sich das wirtschaftliche Spektrum um die grün dargestellten Werte.

Legt man der Betrachtung einen Kommunalkredit mit weniger als 3% Zins zugrunde, so ergibt sich bei einer Preisdifferenz zwischen Erdgas und Holzpellets von ca. 1,5 ct/kWh, dass auch noch Mehrkosten von 20.000-25.000 € als akzeptabel zu betrachten sind.

**Für Variante 4 ergibt sich damit:**

	Erdgas-Brennwert	Holzpellets
Energiebedarf für Beheizung	70 744 kWh/a	70 744 kWh/a
Energieverbrauch	$70\,744/0,97$ = 72 932 kWh/a	$70\,744/0,82$ = 86 273 kWh/a
laufende Energiekosten	$72\,932\text{ kWh/a} \cdot 4,5\text{ ct./kWh}$ = 3282 €/a	$86\,273\text{ kWh/a} \cdot 3,5\text{ ct./kWh}$ = 3020 €/a
Differenz	262 €/a	
Alternativ:		
laufende Energiekosten	$72\,932\text{ kWh/a} \cdot 5,0\text{ ct./kWh}$ = 3647 €/a	$86\,273\text{ kWh/a} \cdot 3,5\text{ ct./kWh}$ = 3020 €/a
Differenz	627 €/a	

Um einen Vergleich der jährlichen Energieverbrauchskosteneinsparung mit den Mehrkosten der Investition zu erhalten wurde wiederum die jährlichen Aufwendungen über Zins + Tilgung in unterschiedlichen Prozentsätzen durchgeführt.

Es ergibt sich:

	Zins + Tilgung in % der Investition				
	3%	4%	5%	6%	7%
	Finanzierung der Mehrkosten in €/kWh				
10.000 €	300	400	500	600	700
15.000 €	450	600	750	900	1050
20.000 €	600	800	1000	1200	1400
25.000 €	750	1000	1250	1500	1750

Bei der angenommenen Differenz der Energieträgerkosten von 1,0 ct./kWh stellt sich das System unter keiner der berechneten Finanzierungsvarianten als wirtschaftlich dar.

Unter Zugrundelegung einer Differenz der Energieträgerkosten von 1,5 ct./kWh stellen sich die grün dargestellten Werte als wirtschaftlich dar.

Je höher der bauliche Standard (und damit je geringer der Energieverbrauch) um so eher kommt die Variante mit Holzpellets in den unwirtschaftlichen Bereich. Dies ist dadurch bedingt, dass für eine solche Anlage die Investitionskosten höher sind, jedoch die Energiekosten geringer. Daraus folgt, dass eine solche Anlage vor allem dort wirtschaftliche Vorteile erzielt, wo viel Energie verbraucht wird.

## 5 Thermische Solarenergienutzung

Es soll hier untersucht werden, in welcher Größenordnung eine thermische Solarenergienutzung zur Bereitstellung des Warmwassers erfolgen kann. Eine Unsicherheit für die Berechnung stellt der für die Nutzung sich tatsächlich einstellende Warmwasserbedarf dar. Im Gegensatz zur Untersuchung bestehender Hallen, bei denen aufgrund gemessener Werte eine gute Abschätzung des Bedarfs vorgenommen werden kann, sind hier relativ unsichere Annahmen zu treffen.

Den durchgeführten Berechnungen wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- Einsatz von wassersparender Anlagentechnik  
--> je Duschvorgang ca. 20 Liter Warmwasserbedarf von 50 °C
- Variante 1: ca. 30 Duschvorgänge pro Tag --> 600 Liter WW pro Tag
- Variante 2: ca. 45 Duschvorgänge pro Tag --> 900 Liter WW pro Tag
- Halle im Sommer (Anfang August) 3 Wochen nicht genutzt
- Speicher mit 2000 Liter Inhalt  
--> Erwärmung des Trinkwarmwassers über Wärmetauscher  
--> Speicher wird als Pufferspeicher für das Heizungssystem genutzt

Mit diesen Grunddaten wurden Simulationen mit dem Programm Polysun 3.0 durchgeführt, wobei die Kollektorfläche zwischen 20 m<sup>2</sup> und 40 m<sup>2</sup> variiert wurde. Es ergeben sich für den gesamten Wärmebedarf für Trinkwarmwasser:

gesamter Wärmebedarf für Trinkwarmwasser	
Variante 1 (600 l/d)	10 170 kWh/a
Variante 2 (900 l/d)	15 257 kWh/a

Als Jahreserträge der Solaranlage erhält man:

Jahreserträge der Solaranlage				
Kollektorfläche in m <sup>2</sup>	Variante 1 (600 l/d)		Variante 2 (900 l/d)	
	in kWh/a	in % des Gesamtbedarfs	in kWh/a	in % des Gesamtbedarfs

---

10 m <sup>2</sup>	5175	51	---	---
15 m <sup>2</sup>	6691	66	7624	50
20 m <sup>2</sup>	7693	76	9054	59
25 m <sup>2</sup>	8351	82	10 052	66
30 m <sup>2</sup>	8823	87	10 766	71
35 m <sup>2</sup>	9153	90	11 326	74
40 m <sup>2</sup>	---	---	11 720	77

Als Grundlage für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird auch hier aufgrund abgeschätzter Investitionskosten und für die einzelnen Anlagengrößen ein Energiepreis aufgrund unterschiedlicher Finanzierungsvarianten ermittelt.

Es ergibt sich für Variante 1 (600 l/d):

Kollektorfläche in m <sup>2</sup>	geschätzte Anlagekosten	Zins + Tilgung in % der Investition				
		3%	4%	5%	6%	7%
		Energiekosten für solare Wärmeerzeugung in €/kWh				
10 m <sup>2</sup>	10.000 €	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
15 m <sup>2</sup>	13.000 €	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
20 m <sup>2</sup>	16.000 €	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15
25 m <sup>2</sup>	19.000 €	0,07	0,09	0,11	0,14	0,16
30 m <sup>2</sup>	21.000 €	0,07	0,10	0,12	0,14	0,17
35 m <sup>2</sup>	23.000 €	0,08	0,10	0,13	0,15	0,18
40 m <sup>2</sup>	25.000 €					

Es ergibt sich für Variante 2 (900 l/d):

Kollektorfläche in m <sup>2</sup>	geschätzte Anlagekosten	Zins + Tilgung in % der Investition				
		3%	4%	5%	6%	7%
		Energiekosten für solare Wärmeerzeugung in €/kWh				
15 m <sup>2</sup>	13.000 €	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12
20 m <sup>2</sup>	16.000 €	0,05	0,07	0,09	0,11	0,12
25 m <sup>2</sup>	19.000 €	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13
30 m <sup>2</sup>	21.000 €	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
35 m <sup>2</sup>	23.000 €	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
40 m <sup>2</sup>	25.000 €	0,06	0,09	0,11	0,13	0,15

## 6 Photovoltaik

Die Installation einer Photovoltaikanlage als aufgeständerte Anlage ist unter den derzeitigen Bedingungen des Energieeinspeisegesetzes in der Regel als wirtschaftliche Investition anzusehen.

Für die Photovoltaik werden derzeit mit am Markt üblichen Modulen folgende Daten angenommen:

- Modulleistung von ca. 100 bis 140 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup>  
--> mit einer Fläche von 10 m<sup>2</sup> eine Leistung von 1,0 bis 1,4 kW<sub>p</sub>
- Investitionskosten je kW<sub>p</sub> installierte Leistung ca. 4500,- €
- zu erwartender Ertrag ca. 900 kWh/kW<sub>p</sub>
- derzeitige Einspeisevergütung > 0,50 €/kWh

Es ergibt sich somit:

		Zins + Tilgung in % der Investition				
		3%	4%	5%	6%	7%
		jährliche Kosten je kW <sub>p</sub> in €/a				
Investition	4.500,- €	135	180	225	270	315
Betriebskosten	ca. 1,0 %	1,35	1,8	2,25	2,7	3,15
	Summe	136,35	181,8	227,25	272,7	318,15

Jährlicher Ertrag je kW<sub>p</sub>: 900 kWh/a · 0,50 €/kWh = 450 €/a

Die Installation einer Photovoltaikanlage ist somit wirtschaftlich.

Für die Errichtung einer Photovoltaikanlage können zinsgünstige KfW-Kredite in Anspruch genommen werden.

### Vergleich der vorliegenden Angebote für unterschiedliche Systeme

Über das Architekturbüro werk-plan wurden für zwei unterschiedliche Systeme Angebote eingeholt:

- auf das Dach aufmontierte Module
- auf die Dachbleche auflaminierte Module

Folgende Angaben wurden aus den Angeboten und den Daten der unterschiedlichen Module ermittelt:

Vergleich unterschiedlicher Module		
	aufmontierte Module	aufflaminierte Module
Kosten für installierte Leistung	4550 €/kW <sub>p</sub>	4640 €/kW <sub>p</sub>
Ertrag	900 kWh/kW <sub>p</sub>	730 kWh/kW <sub>p</sub>

Es zeigt sich somit, dass die Variante mit aufmontierten Modulen die wirtschaftlichere Lösung darstellt, da bei geringeren Kosten ein höherer Ertrag erzielt werden kann.

Außerdem ist der Wirkungsgrad der aufflaminierten Module geringer, also kann bei gleicher Fläche mit den aufmontierten Modulen ein höherer Jahresertrag erzielt werden.

## 7 Beleuchtung

In älteren Sporthallen macht der Anteil des elektrischen Stromverbrauchs für Beleuchtung oft mehr als die Hälfte des Gesamtstromverbrauchs aus. Es ist deshalb auch bei einer neuen Sporthalle zu empfehlen, bei der Installation der Beleuchtungsmittel auf effiziente Geräte zurückzugreifen.

Die Unterscheide der Lichtausbeute je W installierter Leistung für verschiedene Techniken zeigt die folgende Tabelle:

	Lichtausbeute (lm/W)
Glühlampen	6 - 16
Halogenglühlampen	10 - 21
Kompaktleuchtstofflampen	40 - 76
Leuchtstofflampen	75 - 104
Quecksilberdampflampen	27 - 55
Halogen-Metallampflampen	80 - 106
Natriumdampf-Hochdrucklampen	75 - 130
Natriumdampf-Niederdrucklampen	98 - 180

Außerdem ist zu empfehlen, dass die Beleuchtung der Sporthalle durch Lichtsensoren und Bewegungsmelder geregelt wird. Dadurch wird erzielt, dass zum einen ein hoher Anteil an Tageslichtnutzung gewährleistet wird, und die künstliche Beleuchtung auch nur bei Benutzung aktiviert ist. Auf eine Unterscheidung nach Trainings- und Spielbetrieb/Wettkämpfen ist ebenfalls zu achten. Hier können unterschiedliche Beleuchtungsstärken angesetzt werden.

## 8 Grauwassernutzung

Die Installation einer Grauwassernutzungsanlage zur Aufbereitung des Abwassers aus den Duschen und Nutzung zur Toilettenspülung wird hier im folgenden untersucht.

Als Grundlage für die Berechnung wurde angesetzt

- Größe der Anlage nach Toilettenspülung ausgerichtet
  - > es wurden zwei Varianten berechnet:
  - > Variante A: 0,5m<sup>3</sup>/d
  - > Variante B: 1,0m<sup>3</sup>/d

- Investitionskosten wurden über Herstellerangaben abgeschätzt (hierin enthalten ist die Anlage, Montage und zusätzliche Verrohrung)  
--> ca. 11.500 € (Es handelt sich um den kleinsten Anlagentyp, so dass hier keine Unterschiede zu verzeichnen sind.)
- derzeitige Kosten für Wasser + Abwasser in Bornheim: ca. 3,50 €/m<sup>3</sup>

Es ergibt sich somit:

		Zins + Tilgung in % der Investition				
		3%	4%	5%	6%	7%
		jährliche Kosten in €/a				
Investition	11.500,- €	345	460	575	690	805
Betriebskosten	ca. 1,0 %	3,45	4,6	5,75	6,9	8,05
	Summe	348,45	464,6	580,75	696,9	813,05

Der Bedarf an Duschwasser ist als höher anzusetzen als der Bedarf an Wasser für die Toilettenspülung. Damit kann von einer 100%-igen Deckung für die Toilettenspülung über Grauwassernutzung ausgegangen werden.

Es ergibt sich eine Einsparung von:

--> Variante A:  $0,5\text{m}^3/\text{d} \rightarrow 182,5\text{ m}^3/\text{a} \cdot 3,5\text{ €/m}^3 = 639\text{ €/a}$

--> Variante B:  $1,0\text{m}^3/\text{d} \rightarrow 365\text{ m}^3/\text{a} \cdot 3,5\text{ €/m}^3 = 1278\text{ €/a}$

Installation einer Grauwassernutzungsanlage wird sich ist somit bei der Annahme von mehr als 0,5 m<sup>3</sup>/d Toilettenspülwasser sicherlich als wirtschaftlich darstellen. Die Annahme von 0,5 m<sup>3</sup>/d beruht auf ca. 50-60 Toilettenspülgängen (ca. 9 l/Toilettenspülung).

Bei Einsatz von Spararmaturen kann dieser Verbrauch um etwa 50 % geringer angesetzt werden.

Es ergibt sich dann:

--> Variante A-a:  $0,25\text{m}^3/\text{d} \rightarrow 91,25\text{ m}^3/\text{a} \cdot 3,5\text{ €/m}^3 = 319\text{ €/a}$

Für diese Variante würde sich die Anlage nicht als wirtschaftlich darstellen.

Es ist hier noch anzumerken, dass die Berechnungen auf dem derzeitigen Wasser-/Abwasserpreis basieren.

## 9 Zusammenfassung

In der hier durchgeführten Studie wurde am Beispiel des Neubaus der Sporthalle Bornheim untersucht, wie durch verbesserte Bautechnik und Anlagentechnik eine Ressourcenschonung für Energie und Wasser umgesetzt werden kann. Anhand von Einheitspreisen, die teilweise den Gegebenheiten angepasst wurden, kann eine Einschätzung der Kosten erfolgen, was für die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Maßnahmen wichtig ist.

Zur Betrachtung der Wirtschaftlichkeit wurde anhand der eingesparten Energie ein Vergleich zu den Investitionskosten (auf Basis einer jährlichen Belastung durch Zins und Tilgung) durchgeführt. Anhand dieser jährlichen Investition kann ein „Energiepreis“ für die eingesparte Energie berechnet werden. Dies ist höher als der Energiepreis für die im Gebäude eingesetzte Energie, so muss die Maßnahme als unwirtschaftlich angesehen werden. Bei dieser Betrachtung muss beim Kostenansatz einer Turnhalle berücksichtigt werden, dass diese eventuell über Kommunalkredite finanziert wird, was dann zu einer wahrscheinlichen Belastung durch Zins und Tilgung von weniger als 5% führt.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Ergebnisse:

Durch bautechnische Verbesserungen kann der Heizenergiebedarf mit den dargestellten Maßnahmen um ca. 40% reduziert werden. Durch entsprechende anlagentechnische Verbesserung der Lüftung des Gebäudes mit entsprechender Wärmerückgewinnung und bedarfsgerechter Lüftung kann eine weitere Reduzierung um 20-25% erreicht werden.

Der Einsatz von Holzpellets statt Erdgas als Energieträger stellt sich vor allem dann als wirtschaftlicher dar, wenn der Energieverbrauch nicht durch verbesserte Bautechnik reduziert wurde. Bei einer Holzpelletsanlage stehen den höheren Investitionskosten für die Anlagentechnik die geringeren Energieträgerkosten entgegen. Dadurch ergibt sich, dass eine solche Anlage, sich vor allem bei hohem Verbrauch lohnt.

Der Einsatz von Solarenergie zur Trinkwarmwasser-Erwärmung (Solarthermie) als auch zur Stromerzeugung (Photovoltaik) wurde ebenfalls untersucht. Mit den zugrunde gelegten Annahmen für den Warmwasserverbrauch und der Investitionskosten kommt eine solche Anlage nicht in den wirtschaftlichen Bereich, kommt diesem jedoch sehr nahe. Die Erzeugung von Strom durch Photovoltaik

kann wegen der derzeitigen Einspeisevergütung als wirtschaftlich angesehen werden.

Auf Einsparungsmöglichkeiten im Bereich Beleuchtung wurde ebenfalls hingewiesen. Hier ist es vor allem die eingesetzte Technik an Leuchtmitteln aber auch die Regelung, die für einen geringen Energieverbrauch sorgen.

Zum Schluss wurde noch der Einsatz einer Grauwassernutzung und die damit verbundenen Trinkwasser-Einsparmöglichkeiten aufgezeigt. Hier hängt die Wirtschaftlichkeit sehr stark vom zu erwartenden Verbrauch ab. Auch hier gilt, ähnlich wie beim Vergleich Holzpellets zu Erdgas, dass die Investitionskosten der Anlage erst bei höherem Verbrauch durch die mögliche Einsparung rentabel werden. Bei Annahme eines Bedarfs von mehr als 0,5 m<sup>3</sup>/d für die Toilettenspülwasser stellt sich eine Grauwassernutzungsanlage als wirtschaftlich dar.