

LEHRSTUHL FÜR GEBÄUDETECHNIK



ENTWICKLUNG DER GEBÄUDETECHNISCHEN ANLAGEN FÜR EIN EINFAMILIENHAUS

von

Sascha Jecht im Master Architektur

3. Fachsemester, WS 14/15

an der

Bauhaus - Universität Weimar

Fakultät Architektur

1 INHALT**2** EINLEITUNG**3** LAGEPLAN**4** GRUNDSTÜCK**5** ENTWURF**7** KONSTRUKTION**17** VERGLEICH**23** SOLARE GEWINNE**27** WÄRMEERZEUGUNG**33** ENERGIEKONZEPT**35** RAUMNUMMERN**36** LÜFTUNG**42** HEIZUNG**45** SOLARTHERMIE**46** KÜHLANLAGE

$$Q_{KL} = Q_{KL,i} + Q_{KL,e}$$

47 REGENENTWÄSSERUNG

$$V_r = \frac{r_{5,5} \cdot A}{10000}$$

49 EISSPEICHER**51** TRINK & ABWASSER

$$Q_{WW} = K \cdot \sqrt{\sum DU}$$

52 ELEKTRO**53** PLÄNE

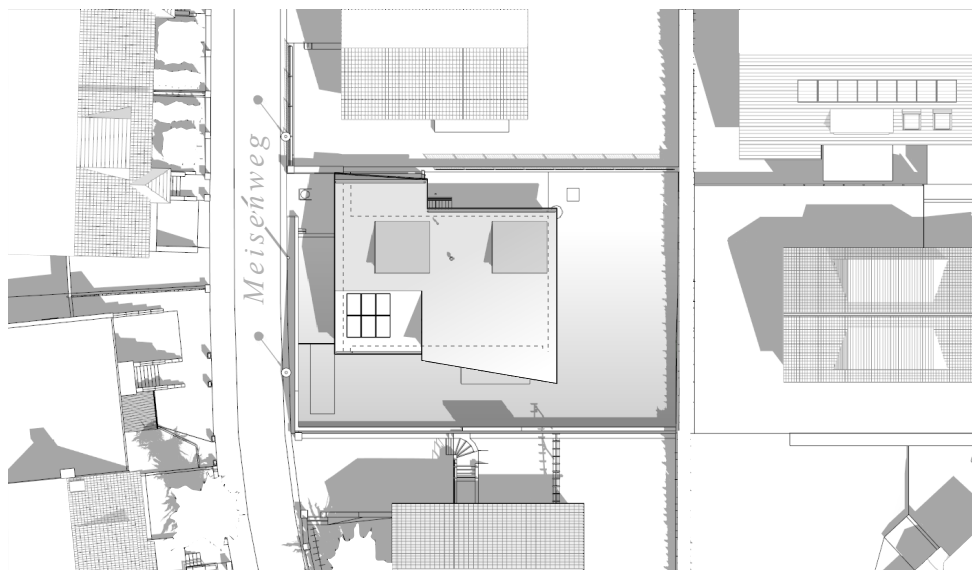
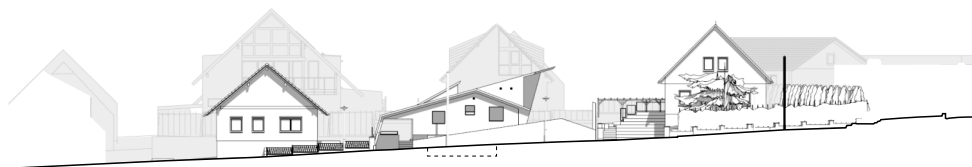
In der vorliegenden Arbeit soll für einen ausgewählten Entwurf die wesentlichen Bestandteile der gebäudetechnischen Anlagen entwickelt werden. Ausgangspunkt ist ein konzeptioneller Gebäudeentwurf von ca. 130qm NGF. Vor der Auswahl der Anlagentechnik muss somit noch eine geeignete Konstruktionsart gefunden werden. Die Wahl der Konstruktion fällt nach ihren Kennwerten wie Dämmleistung, Ökobilanz und Kosten aus. Anschließend folgen die Rahmenbedingungen von Gebäude und Grundstück zu möglichen Energiekonzeptvarianten, die in einer kurzen Zusammenfassung vorgestellt werden. Abschließend folgt das ausgewählte Energiekonzept und die hierauf gründende Planung der Anlagentechnik.

Bei der Bearbeitung der Aufgabe stellte sich heraus, dass aufgrund der begrenzten Zeit in einem Semester die Ausarbeitung aller einzelnen Punkte nur in begrenzter Detailtiefe erfolgen kann. Zur Bestimmung verschiedener Größen und Werte, etwa die Temperaturverläufe des Erdreiches, die Volumen- und Vereisungsanteile des Eis-Wasserspeichers oder die Leistungseffizienz der Abluftwärmepumpe gelangt man ohne die Anwendung von Simulationsprogrammen schnell an eine Grenze, wodurch einige Berechnungen in dieser Arbeit nur als Näherungswerte zu verstehen sind. In diesen Fällen, wo es keine DIN Berechnungsweisen gab oder sie zu komplex waren, wurde auf das Kurzverfahren oder auf ausländische Berechnungen zurückgegriffen. In einigen Fällen genügten auch selbst entwickelte und angewandte Methoden für überschlägige Berechnungen.

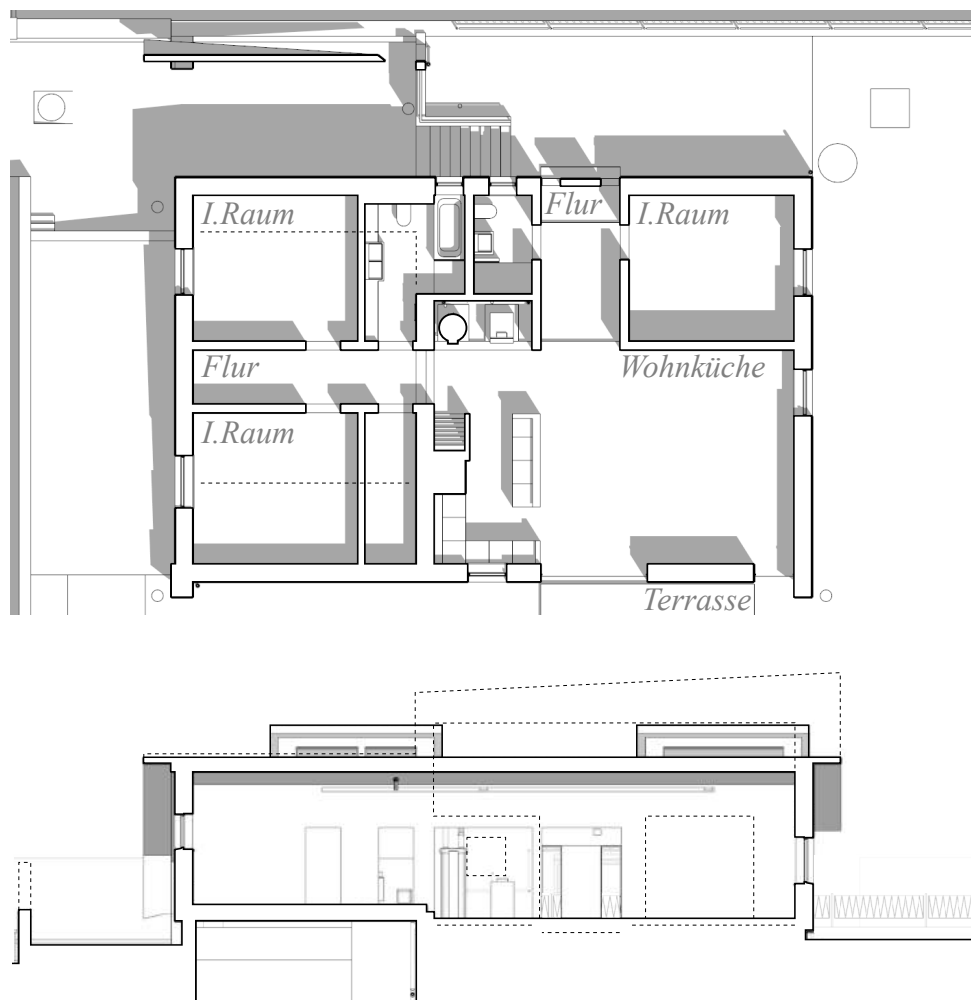
Das Grundstück befindet sich in Sangerhausen, Sachsen-Anhalt, in einer Siedlung der 80er Jahre, die hauptsächlich durch kleine (ab ca. 600qm) bis mittlere Grundstücke partielliert wurde. Die Straße, an der das Grundstück des Entwurfes anliegt, folgt dem Anstieg des Nordhanges, auf dem die Siedlung errichtet wurde. Eine Steigung von durchschnittlich 5% gelten für das Grundstück und dessen Straßenbereich. Die umgebenden Einfamilienhäuser entsprechen dem Bungalow Typenentwurf „Bitterfeld“ und sind unterkellerte Eingeschossler mit Flachdach für eine vierköpfige Familie. Seit 1990 wurden allerdings fast alle Gebäude durch Aufstockung erweitert, einige wenige auch in der Grundfläche vergrößert, wodurch die schwierige Lichtsituation des Nordhanges noch verstärkt wurde. An allen Rändern des Entwurfsgrundstückes sind die Grundstücke bebaut. Bis auf das westlich gelegene Nachbargebäude wurden alle mit einem Dach aufgestockt. Nach Westen vom Grundstück aus liegt auch die Straße mit einem gegenüberliegenden Fußweg. Auf der Höhe des Entwurfsgrundstückes reihen sich als Ausnahme der Siedlungsbebauung Doppelhäuser auf, die den Straßenraum stark schließen, hierdurch wird die Lichtsituation weiter verschlechtert, insbesondere bei tiefem Sonnenstand.



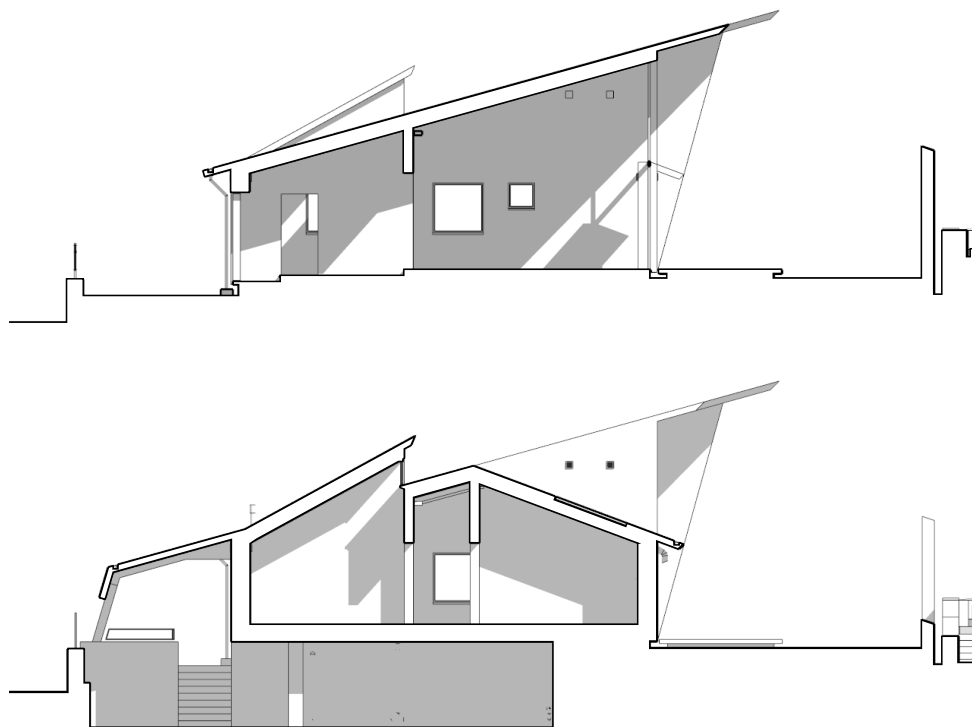
Die Positionierung des Gebäudes auf dem Grundstück ist bestrebt die schwierige Lichtsituation zu kompensieren, so rückt das Gebäude an die nordwestliche Grundstücksecke heran. Zugleich stellen Dachneigung und Gebäudehöhe sicher, dass am nördlich gelegenen Nachbargebäude trotz der Nähe keinerlei Belichtungseinbußen auftreten. Am nordwestlichsten Punkt bildet sich die Einfahrt und der Zugang zum Gebäude aus, das übrige Grundstücksniveau beginnt ca. 1,1m höher und steigt ab da bis zur südlichen Gebäudekante um 0,85m an, läuft bis zu den Grundstücksgrenzen waagrecht aus und schließt mit einer Böschungsmauer. Den 176qm BGF des Gebäudes stehen 453qm übrige Grundstücksfläche entgegen, wovon 360qm als unversiegelte Freifläche beplant sind.



Im Entwurf handelt es sich um ein Einfamilienhaus für drei bis vier Personen. Der Großteil der südlichen Fassade des Gebäudes öffnet sich, sodass selbst beim tiefsten Sonnenstand noch ein Teil der Innenraumoberfläche der Wohnküche beschienen wird. Zugleich sind die Hülle und Außenanlagen bestrebt ein Mindestmaß an Privatheit zu garantieren. Der weite Dachüberstand nach Süden gewährleistet eine fast vollständige Abschattung zur Mittagszeit im Sommer. Die zwei großen Gauben erlauben eine ansprechende Lichtsituation und reduzieren die Fensterflächen nach allen übrigen Himmelsrichtungen. Somit reagiert das Gebäude weiter auf den Wunsch nach Privatheit, indem sich damit einsehbare Fenster reduzieren



lassen. Zugleich wird der Beleuchtungsbedarf mit ihrer Hilfe gesenkt. Zentral gelegen sind Technikraum, Küche, Bad und Gäste-WC. Die Zonen des Gebäudes lassen sich in zwei Bereiche unterscheiden: Einem westlich gelegenen, intimeren Bereich und einem Öffentlichen in der Osthälfte. Im Windfang finden sich die Zugänge zum Gäste-WC und einem Individualraum, der im besonderen Maße als Arbeitsraum, Büro oder Gästeraum nutzbar ist, das Gäste-WC verfügt über eine Dusche. An den Windfang fügt sich die geräumige Wohnküche an, in der es einen hohen Wohnbereich gibt und einen klar eingegrenzten Küchenbereich, über dem sich ein weiterer kleiner Sitzbereich befindet. Über zwei massive Schiebetüren ist der Haustechnikraum zugänglich. Hier befindet sich auch der Zugang zu einem Flur, womit der private Bereich beginnt, der über zwei Individualräume und ein Bad verfügt. Einer der Individualräume kann verkleinert werden, wodurch ein Lager entsteht, das für weitere Geräte wie Trockner usw. nutzbar gemacht werden kann. Das Gebäude ist teilunterkellert. Dieser Bereich ist nicht über eine innengelegene Treppe erschließbar, da er nur als Lager oder Garage dient.



Zur Planung eines Energiekonzeptes und der hierauf aufbauenden gebäudetechnischen Anlagen muss die exakte Konstruktion bekannt sein. Der Entwurf war lediglich als Holzkonstruktion erdacht. Für die genauere Ausarbeitung bot sich daher an, die Wirkungen unterschiedlicher Konstruktionen und unterschiedlicher Anlagesysteme der Heizung gegenüberzu stellen.

Die zwei grundlegenden Konstruktionstypen sind Massivbau und Leichtbau. Massiv verfügt über eine hohe Baumasse durch mineralische Baustoffe. Der Leichtbaues als Holzkonstruktion, besitzt nur über eine geringe Baumasse. Beide Konstruktionstypen sollen in jeweils zwei verschiedenen Varianten mit gleichwertiger Dämmfähigkeit unterschieden werden, Minimum und Medium.¹ Diese beiden Varianten unterscheiden sich für beide Konstruktionstypen nicht in unterschiedlichen Schichtdicken, sondern auch in der wesentlichen Bauart. Die Minimum-Variante orientiert sich an den Mindestanforderungen, die durch die ENEC für jedes Bauteil bestimmt sind. Damit liegt die Dämmfähigkeit bei der Variante Minimum bei ca. $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, die von Medium dagegen bei ca. $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Beide Varianten können gegebenenfalls durch die Modifizierung der Schichtdicken genauer abgestimmt werden. Für die Konstruktionstypen und ihren zwei Varianten wird eine Kosten- und Ökoberechnung durchgeführt, und die Ergebnisse gegenübergestellt. Für diesen Kosten- und Ökovergleich werden nur die Bauteile berücksichtigt, die sich aufgrund der Konstruktionstypen wesentlich ändern. Das heißt, dass im Folgenden die Bestandteile für den Sonnenschutz oder der Stellplatzüberdachung aus der Bilanz und dem Kostenvergleich ausgeklammert werden.

Die vier Konstruktionstypen mit den Kurzbezeichnungen

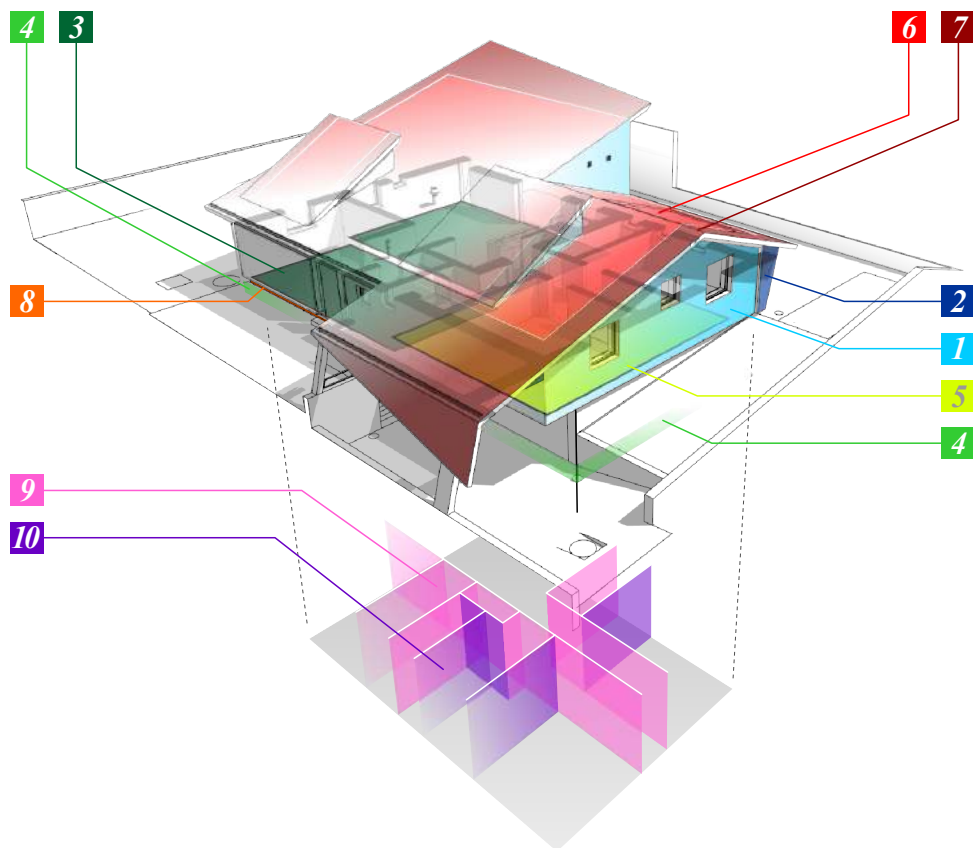
0,24 W/m ² K		0,18 W/m ² K	
Leicht	Massiv	Leicht	Massiv
L_{MIN}	M_{MIN}	L_{MED}	M_{MED}
1	2	3	4

¹: Ursprünglich war eine weitere Maximum Variante vorgesehen, aber auf Grundlage der BKI Baukostenberechnung ergaben sich sehr hohe Kosten, sodass diese entfiel.

Gebäudebauteilnummer, Name und Farbe. Innenwandschema

1	Hülle - Außenwände	■
2	Konstruktive Elemente	■
3	Hülle - Bodenplatten	■
4	Fundamente	■
5	Kellerdecke	■

6	Hülle - Dachflächen	■
7	Überdachungen	■
8	Hülle - Sockelbereich	■
9	Innenwände tragend	■
10	Innenwände n. tragend	■



Konstruktionsvariante Leichtbau_{MIN}

1	Schicht	MATERIAL	ID ²	Preis ³	Kenndaten Summe	
	Gipskarton	12,5 mm	21	25,97 €/m ²	Fläche	134,56 qm
	OSB	15 mm	47	19,73 €/m ²	Gewicht	61 kg/m ²
	Pfosten	140 mm	43	16,62 €/m ²	Kosten	26.457 €
	+ Climacell	- mm	70	10,47 €/m ²		
	Bit. Weichfaserplatte	40 mm	43	13,50 €/m ²	UBP	50161 Pnt.
	Lattung & K.Lattung	160 mm	43	7,27 €/m ²	PEI en	1181 MJ
	Schalung	25 mm	44	71,66 €/m ²	PEI ne	317 MJ
	Stahlblech, blank		30		GWP	16,23 kg
	Bitumenemulsion 1 Anstr.		75			
		392,5 mm		165,22 €/m ²		
		0,24 W/m ² K		196,61 €/m ²	inkl.Mwst	
3	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Fliese	10 mm	84	50,38 €/m ²	Fläche	32,42 qm
	Anhydritestrich	55 mm	10	21,59 €/m ²	Gewicht	532,40 kg/m ²
	Trennlage	- mm	60	2,40 €/m ²	Kosten	4.783 €
	Trittschall - Mineralwolle	40 mm	69	5,19 €/m ²		
	EPS	100 mm	65	9,35 €/m ²	UBP	172182 Pnt.
	Beton C25/30	160 mm	7	22,60 €/m ²	PEI en	2273 MJ
	Dichtbahn bituminös		56	12,46 €/m ²	PEI ne	2206 MJ
		365,0 mm		123,98 €/m ²	GWP	157,24 kg
		0,24 W/m ² K		147,53 €/m ²	inkl.Mwst	
5	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Parkett	10 mm	92	25,97 €/m ²	Fläche	63,18 qm
	Anhydritestrich	55 mm	10	19,73 €/m ²	Gewicht	184,01 kg/m ²
	Trennlage	- mm	60	16,62 €/m ²	Kosten	17.771 €
	Trittschall - Mineralwolle	40 mm	69	10,47 €/m ²		
	Lignaturdeckenelement	240 mm	43	13,50 €/m ²	UBP	93769 Pnt.
	+ Climacell	- mm	70	7,27 €/m ²	PEI en	2096 MJ
	Lattung & K.Lattung	40 mm	43	71,66 €/m ²	PEI ne	626 MJ
	Schalung	14 mm	44		GWP	31,10 kg
	Stahlblech, verzinkt		31			
		399,0 mm		236,38 €/m ²		
		0,18 W/m ² K		281,29 €/m ²	inkl.Mwst	

²: Die Ökokennwerte der Materialien finden sich in der Openoffice Datei unter Ökobaudat.

³: Die Baupreise entstammen den BKI Baupreislisten und wurden den Indexdifferenzen angepasst, genaue Quellen aller Konstruktionsdetails und Preise sind in der Openoffice Datei vollständig aufgelistet. Zusätzliche Baustoffe (Profile, Befestigungen) sind in den Baupreisen enthalten, die zusätzlich aufgeführten Materialien dienen der Ökobilanzierung.

6	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten	Summe
	Gipskarton	12,5 mm	21	25,97 €/m ²	Fläche	175,89 qm
	Lattung	35 mm	43	7,27 €/m ²	Gewicht	63,8 kg/m ²
	PE Folie	- mm	59	5,19 €/m ²	Kosten	21.904 €
	Sparren	180 mm	43	21,60 €/m ²		
	+ Climacell	- mm	70	13,46 €/m ²	UBP	47757 Pnt.
	Unterdeckbahn	- mm	55	5,19 €/m ²	PEI en	1082 MJ
	Lattung	70 mm	43	9,35 €/m ²	PEI ne	426 MJ
	Schalung Rauspund	24 mm	43	16,62 €/m ²	GWP	24,86 kg
	Stahlblech, verzinkt		30			
		321,5 mm		104,65 €/m ²		
		0,24 W/m ² K		124,53 €/m ²		inkl.Mwst

Zusammenfassung

Kostenschätzung und Ökobilanz⁴

Kosten	70.915,46 €
UBP	317193 Pnt.
PEI en	5977 MJ
PEI ne	3174 MJ
GWP	204,58 kg
Demontage	0,0371 elm/fabr

Archiwizard Simulationsergebnis

Wärmebedarf	12580,00 kWh
Wärmebedarf sp.	93,08 kWh/m ²
Kühlbedarf	2400,00 kWh
Kühlbedarf sp.	17,76 kWh/m ²

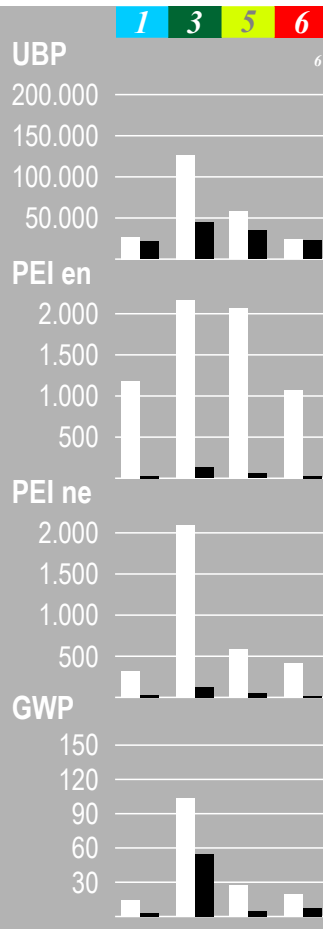
Zub Helena Ergebnis⁵

Wärmebedarf	12048,00 kWh
Wärmebedarf sp.	89,14 kWh/m ²
Primärenergiebed.	17473,00 kWh
Primärenergiebed. sp.	129,28 kWh/m ²

⁴:Die Kostenschätzung und Ökobilanz bezieht sich nur auf die bilanzierten Bauteile (Nr.: 1, 3, 5 und 6).

⁵:Die Berechnungsgrundlage wurde in Zub Helena der Standardkonfiguration von Archiwizard angepasst. Es handelt sich um einen Standard-Niedertemperaturkessel.

⁶:Die Fabrication(fabr.) und Elimination(elm.) sind rechtsstehend durch Weiß und Schwarz dargestellt.



Konstruktionsvariante Massivbau_{MIN}

1	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Innenputz	15 mm	2	17,66 €/m ²	Fläche	134,18 qm
	Kalksandstein (1,6)	175 mm	14	51,93 €/m ²	Gewicht	378,4 kg/m ²
	Holzfaser WDVS	120 mm	71	54,01 €/m ²	Kosten	29.744 €
	Holzfaser Putzträgerplatte	40 mm	39	13,50 €/m ²		
	Armierung	6 mm	3	21,59 €/m ²	UBP	99316 Pnt.
	Außenputz	20 mm	1	27,59 €/m ²	PEI en	1526 MJ
	Aluminiumprofil, blank		29		PEI ne	1157 MJ
	Bitumenemulsion 1 Anstr.		75		GWP	84,11 kg
		376 mm		186,28 €/m ²		
		0,24 W/m ² K		221,67 €/m ²	inkl.Mwst	
3	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Fliese	10 mm	84	50,38 €/m ²	Fläche	32,42 qm
	Anhydritestrich	55 mm	10	21,59 €/m ²	Gewicht	532,40 kg/m ²
	Trennlage	- mm	60	2,40 €/m ²	Kosten	4.783 €
	Trittschall - Mineralwolle	40 mm	69	5,19 €/m ²		
	EPS	100 mm	65	9,35 €/m ²	UBP	172182 Pnt.
	Beton C25/30	160 mm	7	22,60 €/m ²	PEI en	2273 MJ
	Dichtbahn bituminös		56	12,46 €/m ²	PEI ne	2206 MJ
		365,0 mm		123,98 €/m ²	GWP	157,24 kg
		0,24 W/m ² K		147,53 €/m ²	inkl.Mwst	
5	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Parkett	10 mm	92	62,32 €/m ²	Fläche	62,80 qm
	Anhydritestrich	55 mm	10	21,59 €/m ²	Gewicht	650,47 kg/m ²
	Trennlage	- mm	60	2,40 €/m ²	Kosten	15.521 €
	Trittschall - Mineralwolle	40 mm	69	5,19 €/m ²		
	Betondecke	180 mm	8	33,65 €/m ²	UBP	156697 Pnt.
	+ Pavatherm	110 mm	71	54,01 €/m ²	PEI en	1654 MJ
	Außenputz	20 mm	1	28,51 €/m ²	PEI ne	1158 MJ
	Stahlblech, verzinkt		31		GWP	99,26 kg
		415 mm		207,67 €/m ²		
		0,23 W/m ² K		247,13 €/m ²	inkl.Mwst	

6	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Gipskarton	12,5 mm	21	25,97 €/m ²	Fläche	174,97 qm
	Lattung	35 mm	43	7,27 €/m ²	Gewicht	121,8 kg/m ²
	PE Folie	- mm	59	5,19 €/m ²	Kosten	23.520 €
	Sparren	180 mm	43	21,60 €/m ²		
	+ Climacell	- mm	70	13,46 €/m ²	UBP	57864 Pnt.
	Unterdeckbahn	- mm	55	5,19 €/m ²	PEI en	1148 MJ
	Lattung	70 mm	43	9,35 €/m ²	PEI ne	674 MJ
	Ziegel	50 mm	27	24,93 €/m ²	GWP	48,68 kg
		347,5 mm		112,96 €/m ²		
		0,24 W/m ² K		134,42 €/m ²		inkl.Mwst

Zusammenfassung

Kostenschätzung und Ökobilanz

Kosten	73.568,36 €
UBP	429343 Pnt.
PEI en	6128 MJ
PEI ne	4570 MJ
GWP	349,61 kg
Demontage	0,0596 elm/fabr

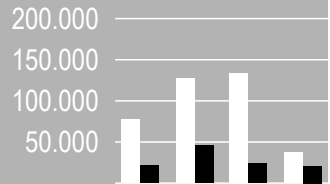
Archiwizard Simulationsergebnis

Wärmebedarf	12701 kWh
Wärmebedarf sp.	93,87 kWh/m ²
Kühlbedarf	800 kWh
Kühlbedarf sp.	5,91 kWh/m ²

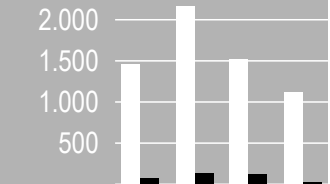
Zub Helena Ergebnis

Wärmebedarf	11801 kWh
Wärmebedarf sp.	87,22 kWh/m ²
Primärenergiebed.	17168 kWh
Primärenergiebed. sp.	126,89 kWh/m ²

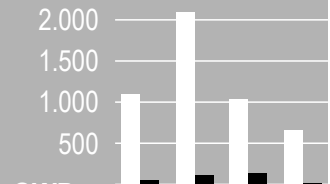
UBP



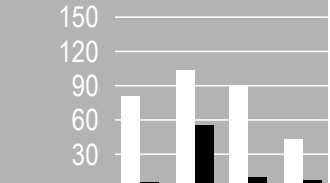
PEI en



PEI ne



GWP



Konstruktionsvariante Leichtbau_{MED}

1	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Gipskarton	25 mm	21	25,97 €/m ²	Fläche	136,24 qm
	OSB	15 mm	47	19,73 €/m ²	Gewicht	73 kg/m ²
	Lattung	60 mm	43	6,39 €/m ²	Kosten	29.270 €
	+ Pavaflex	- mm	71	- €/m ²		
	Doppelstegträger	140 mm	43	25,55 €/m ²	UBP	56909 Pnt.
	+ ClimacellBit.	- mm	70	10,47 €/m ²	PEI en	1311 MJ
	Weichfaserplatte	40 mm	43	13,50 €/m ²	PEI ne	406 MJ
	Lattung & K.Lattung	160 mm	43	7,27 €/m ²	GWP	20,91 kg
	Schalung	25 mm	44	71,66 €/m ²		
	Stahlblech, blank		30			
	Bitumenemulsion 1 Anstr.		75			
		465 mm		180,54 €/m ²		
		0,18 W/m ² K		214,84 €/m ²	inkl.Mwst	
3	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Fliese	10 mm	84	50,38 €/m ²	Fläche	43,08 qm
	Trockenestrich	25 mm	11	73,17 €/m ²	Gewicht	517,75 kg/m ²
	Trennlage	- mm	29	- €/m ²	Kosten	10.360 €
	Fußbodenheizung Element	30 mm	20	- €/m ²		
	OSB	20 mm	47	19,73 €/m ²	UBP	148319 Pnt.
	Balkenlage 2X 6/8 (65cm)	240 mm	43	18,25 €/m ²	PEI en	1659 MJ
	+ Climacell	- mm	70	17,95 €/m ²	PEI ne	1151 MJ
	Trennlage	- mm	56	- €/m ²	GWP	86,76 kg
	Beton C25/30	160 mm	7	22,60 €/m ²		
		485 mm		202,08 €/m ²		
		0,18 W/m ² K		240,48 €/m ²	inkl.Mwst	
5	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Parkett	10 mm	92	62,32 €/m ²	Fläche	64,82 qm
	Trockenestrich	25 mm	11	73,17 €/m ²	Gewicht	158,7 kg/m ²
	Trennlage	- mm	29	- €/m ²	Kosten	22.349 €
	Fußbodenheizung Element	30 mm	20	- €/m ²		
	Pavatherm	60 mm	71	9,35 €/m ²	UBP	107758 Pnt.
	Lignatur	240 mm	43	48,00 €/m ²	PEI en	2321 MJ
	+ Climacell	- mm	70	17,95 €/m ²	PEI ne	763 MJ
	Lattung	40 mm	43	7,27 €/m ²	GWP	47,82 kg
	Schalung	14 mm	44	71,66 €/m ²		
	Stahlblech, verzinkt		31			
		419 mm		289,72 €/m ²		
		0,17 W/m ² K		344,76 €/m ²	inkl.Mwst	

6	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Gipskarton	12,5 mm	21	25,97 €/m ²	Fläche	179,93 qm
	Lattung	60 mm	43	7,27 €/m ²	Gewicht	147,2 kg/m ²
	+ Pavaflex	- mm	71	14,54 €/m ²	Kosten	24.186 €
	OSB	12 mm	47	19,73 €/m ²		
	PE Folie	- mm	59	5,19 €/m ²	UBP	93819 Pnt.
	Sparren	180 mm	43	21,60 €/m ²	PEI en	2000 MJ
	+ Climacell	- mm	70	13,46 €/m ²	PEI ne	1017 MJ
	Unterdeckbahn	- mm	55	5,19 €/m ²	GWP	57,47 kg
	Lattung	70 mm	43	- €/m ²		
	Schalung, Rauspund	24 mm	43	- €/m ²		
		358,5 mm		112,96 €/m ²		
		0,18 W/m ² K		134,42 €/m ²		inkl.Mwst

Zusammenfassung

Kostenschätzung und Ökobilanz

Kosten	86.164,69 €
UBP	314986 Pnt.
PEI en	6309 MJ
PEI ne	2377 MJ
GWP	155,49 kg
Demontage	0,0353 elm/fabr

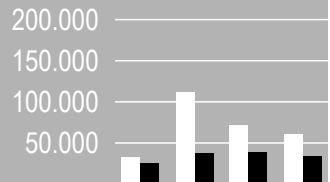
Archiwizard Simulationsergebnis

Wärmebedarf	11012 kWh
Wärmebedarf sp.	81,88 kWh/m ²
Kühlbedarf	2590 kWh
Kühlbedarf sp.	19,26 kWh/m ²

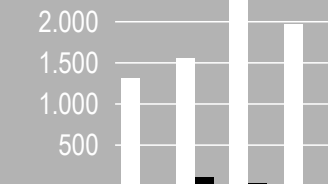
Zub Helena Ergebnis

Wärmebedarf	10773 kWh
Wärmebedarf sp.	80,10 kWh/m ²
Primärenergiebed.	15899 kWh
Primärenergiebed. sp.	118,22 kWh/m ²

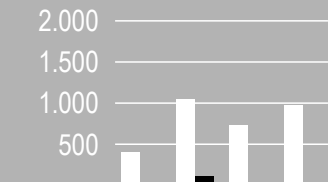
UBP



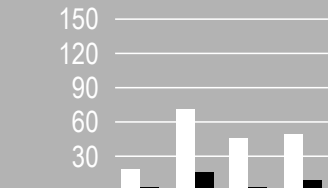
PEI en



PEI ne



GWP



Konstruktionsvariante Massivbau_{MED}

1	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Innenputz	15 mm	2	17,66 €/m ²	Fläche	135,11 qm
	Kalksandstein (1,6)	175 mm	14	51,93 €/m ²	Gewicht	384,4 kg/m ²
	Holzfaser WDVS	160 mm	71	70,00 €/m ²	Kosten	32.521 €
	Holzfaser Putzträgerplatte	40 mm	39	13,50 €/m ²		
	Armierung	6 mm	3	21,59 €/m ²	UBP	106620 Pnt.
	Außenputz	20 mm	1	27,59 €/m ²	PEI en	1698 MJ
	Aluminiumprofil, blank		29		PEI ne	1250 MJ
	Bitumenemulsion 1 Anstr.		75		GWP	88,64 kg
		416 mm		202,27 €/m ²		
		0,18 W/m ² K		240,70 €/m ²	inkl.Mwst	
3	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Fliese	10 mm	84	50,38 €/m ²	Fläche	41,30 qm
	Anhydritestrich	55 mm	10	21,59 €/m ²	Gewicht	547,70 kg/m ²
	Trennlage	- mm	60	2,40 €/m ²	Kosten	8.163 €
	Trittschall - Mineralwolle	40 mm	69	5,19 €/m ²		
	OSB	20 mm	47	19,73 €/m ²	UBP	143148 Pnt.
	Balkenlage 2X 6/8 (65cm)	180 mm	43	18,25 €/m ²	PEI en	1653 MJ
	+ Climacell	- mm	70	13,46 €/m ²	PEI ne	1180 MJ
	Trennlage	- mm	56	12,46 €/m ²	GWP	79,94 kg
	Beton C25/30	160 mm	7	22,60 €/m ²		
		465 mm		166,07 €/m ²		
		0,18 W/m ² K		197,62 €/m ²	inkl.Mwst	
5	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten Summe	
	Parkett	10 mm	92	62,32 €/m ²	Fläche	63,71 qm
	Anhydritestrich	55 mm	10	21,59 €/m ²	Gewicht	669,33 kg/m ²
	Trennlage	- mm	60	2,40 €/m ²	Kosten	20.891 €
	Trittschall - Mineralwolle	40 mm	69	5,19 €/m ²		
	OSB	20 mm	47	19,73 €/m ²	UBP	183260 Pnt.
	Balkenlage 2X 6/8 (65cm)	160 mm	43	18,25 €/m ²	PEI en	2135 MJ
	+ Climacell	- mm	70	29,91 €/m ²	PEI ne	1319 MJ
	Betondecke	180 mm	8	33,65 €/m ²	GWP	107,66 kg
	+ Pavatherm	22 mm	71	54,01 €/m ²		
	Außenputz	20 mm	1	28,51 €/m ²		
	Stahlblech, verzinkt		31			
		507 mm		275,56 €/m ²		
		0,18 W/m ² K		327,92 €/m ²	inkl.Mwst	

6	Schicht	MATERIAL	ID	Preis	Kenndaten	Summe
	Gipskarton	12,5 mm	21	25,97 €/m ²	Fläche	177,19 qm
	Lattung	60 mm	43	7,27 €/m ²	Gewicht	205,2 kg/m ²
	+ Pavaflex	- mm	71	14,54 €/m ²	Kosten	31.046 €
	OSB	12 mm	47	19,73 €/m ²		
	PE Folie	- mm	59	5,19 €/m ²	UBP	103926 Pnt.
	Sparren	180 mm	43	21,60 €/m ²	PEI en	2066 MJ
	+ Climacell	- mm	70	13,46 €/m ²	PEI ne	1266 MJ
	Unterdeckbahn	- mm	55	5,19 €/m ²	GWP	81,29 kg
	Lattung	70 mm	43	9,35 €/m ²		
	Ziegel	50 mm	27	24,93 €/m ²		
		384,5 mm		147,23 €/m ²		
		0,18 W/m ² K		175,21 €/m ²		inkl.Mwst

Zusammenfassung

Kostenschätzung und Ökobilanz

Kosten	92.620,00 €
UBP	435095 Pnt.
PEI en	6751 MJ
PEI ne	3830 MJ
GWP	276,23 kg
Demontage	0,0608 elm/fabr

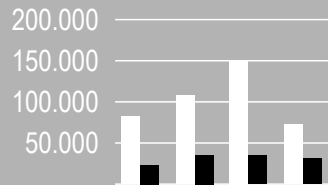
Archiwizard Simulationsergebnis

Wärmebedarf	9805 kWh
Wärmebedarf sp.	72,66 kWh/m ²
Kühlbedarf	1158 kWh
Kühlbedarf sp.	8,58 kWh/m ²

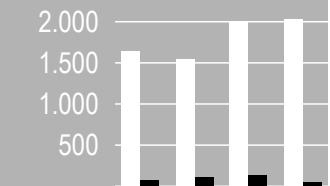
Zub Helena Ergebnis

Wärmebedarf	10372 kWh
Wärmebedarf sp.	76,87 kWh/m ²
Primärenergiebed.	15404 kWh
Primärenergiebed. sp.	114,16 kWh/m ²

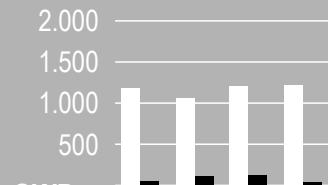
UBP



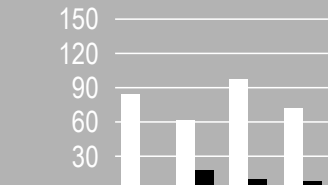
PEI en



PEI ne



GWP



Kenndaten aller Varianten

1	Leichtbau_{MIN}			
	Gesamtgewicht	227,17 t	BGF	167,49 m ²
	Gebäudegewicht ⁷	62,31 t	VF	22,30 m ²
	Gesamtvolumen ⁸	755,06 m ³	NGF	135,15 m ²
	BRI	667,14 m ³	KGF	32,34 m ²
	KRI	192,49 m ³	Fund.umfang	40,90 m
	Hüllfläche	546,78 m ²	Kostenschätzung BRI ⁹	238.167 €
	A/V	0,82	Kostenschätzung BGF	231.640 €
	Fensterfläche	50,87 m ²	Kostenschätzung NF	192.375 €
2	Massivbau_{MIN}			
	Gesamtgewicht	303,76 t	BGF	166,62 m ²
	Gebäudegewicht	138,90 t	VF	22,30 m ²
	Gesamtvolumen	758,52 m ³	NGF	135,30 m ²
	BRI	670,81 m ³	KGF	31,31 m ²
	KRI	195,63 m ³	Fund.umfang	40,90 m
	Hüllfläche	545,11 m ²	Kostenschätzung BRI	239.480 €
	A/V	0,81	Kostenschätzung BGF	230.429 €
	Fensterfläche	50,87 m ²	Kostenschätzung NF	194.171 €
3	Leichtbau_{MED}			
	Gesamtgewicht	246,88 t	BGF	171,36 m ²
	Gebäudegewicht	77,83 t	VF	22,30 m ²
	Gesamtvolumen	784,96 m ³	NGF	134,49 m ²
	BRI	693,97 m ³	KGF	36,87 m ²
	KRI	221,77 m ³	Fund.umfang	40,90 m
	Hüllfläche	559,05 m ²	Kostenschätzung BRI	247.746 €
	A/V	0,81	Kostenschätzung BGF	236.997 €
	Fensterfläche	50,87 m ²	Kostenschätzung NF	179.031 €
4	Massivbau_{MED}			
	Gesamtgewicht	326,50 t	BGF	168,74 m ²
	Gebäudegewicht	156,63 t	VF	22,30 m ²
	Gesamtvolumen	786,42 m ³	NGF	134,94 m ²
	BRI	696,75 m ³	KGF	33,80 m ²
	KRI	222,87 m ³	Fund.umfang	40,90 m
	Hüllfläche	553,25 m ²	Kostenschätzung BRI	248.738 €
	A/V	0,79	Kostenschätzung BGF	233.370 €
	Fensterfläche	50,87 m ²	Kostenschätzung NF	187.385 €

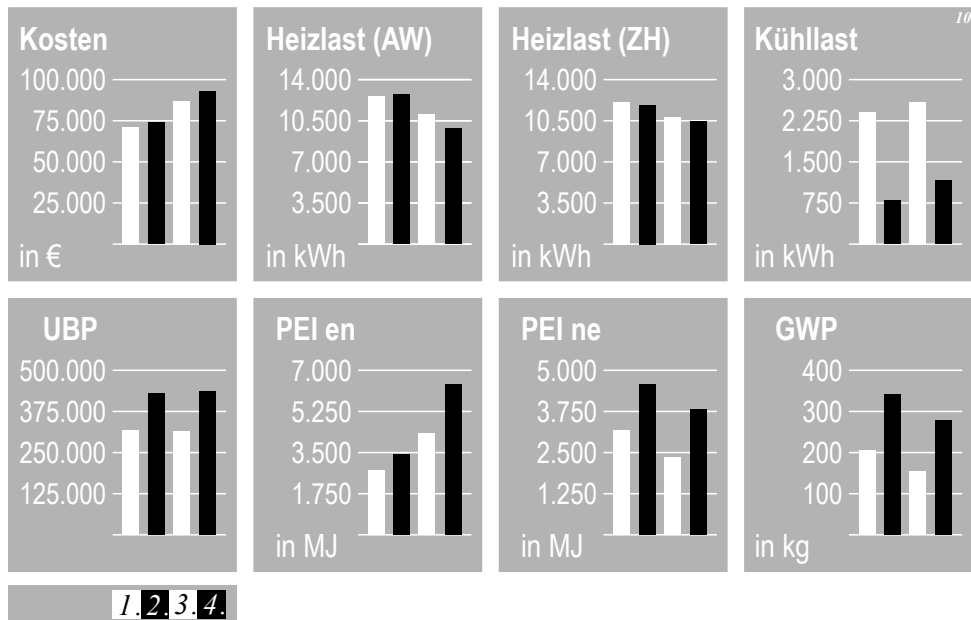
⁷: Diese Angabe beschreibt das Gewicht aller Bauteile, die auf den Fundamenten ruhen.

⁸: Diese Angabe beschreibt das Volumen aller Bauteile des Gebäudes.

⁹: Die Gesamtkostenschätzung nach Kenngrößen. Die Berechnung basiert in allen Fällen auf einfachen Holz- und Massivbaustandard, aus diesem Grund die geringe Differenz.

Gegenüberstellung der Kenndaten aller vier Varianten, Zuordnung:

1. Leichtbau_{MIN}, **2.** Massivbau_{MIN}, **3.** Leichtbau_{MED}, **4.** Massivbau_{MED}



Wie zu erwarten war, weist die Holzkonstruktion bis zu 40% bessere Werte auf. Durch die Speicherefähigkeit besitzt die Holzkonstruktion jedoch eine sehr viel schwächere Kühlleistung, wobei in dieser Berechnung noch der Sonnenschutz unbeachtet blieb. Neben dem Vergleich von Leichtbau zu Massivbau sollen auch die Auswirkungen der Dämmfähigkeiten beider Konstruktionstypen untereinander für Kosten und Leistungsfähigkeit untersucht werden. Hierbei kann das Einsparpotential durch die höhere Dämmleistung festgestellt und der energetische sowie finanzielle Mehraufwand verglichen werden. Dieser Vergleich soll durch mögliche Standardvarianten der Wärmeerzeugung am Gebäude ergänzt werden. Hierbei handelt es sich um eine Variante mit Gasbrennwertkessel, Erdwärmepumpe und Pelletofen, alle drei mit 8qm Solarthermie¹¹. Alle Kennweltergebnisse wurden in Zub Helena und Archiwizard berechnet.

¹⁰:Die Kühllasten sind in diesem Falle ohne zusätzlichen Sonnenschutz berechnet, um Massivbau und Leichtbau bezüglich ihrer reinen Leistungsfähigkeit darzustellen.

¹¹:Zur Bestimmung der Kosten- und CO₂ Äquivalenteinsparung wurde für jede Kilowattstunde bei Gas 0,273kg und 0,0652€, bei Pellets 0,041kg und 0,0503€ bei Strommix 0,633kg und 0,276€ angenommen.

Gegenüberstellung von *Leichtbau_{MIN}* zu *Leichtbau_{MED}**Anlagenergebnisse der Basisvarianten für Leichtbau_{MIN}***Gas Brennwert + 8qm Solar**

Heizwärmebedarf	12047 kWh	Primärenergiebedarf	13790 kWh
Endenergiebedarf	11280 kWh	CO ² Ausstoß	3164 kg
hiervon Hilfsenergie	1063 kWh	Energiekosten	939,30 €

Erdwärmepumpe + 8qm Solar

Heizwärmebedarf	12047 kWh	Primärenergiebedarf	8021 kWh
Endenergiebedarf	3342 kWh	CO ² Ausstoß	2786 kg
hiervon Hilfsenergie	1310 kWh	Energiekosten	768,70 €

Pelletofen + 8qm Solar

Heizwärmebedarf	12047 kWh	Primärenergiebedarf	5800 kWh
Endenergiebedarf	17531 kWh	CO ² Ausstoß	238 kg
hiervon Hilfsenergie	1043 kWh	Energiekosten	1069,20 €

*Anlagenergebnisse der Basisvarianten für Leichtbau_{MED}***Gas Brennwert + 8qm Solar**

Heizwärmebedarf	10773 kWh	Primärenergiebedarf	12405 kWh
Endenergiebedarf	10040 kWh	CO ² Ausstoß	2878 kg
hiervon Hilfsenergie	1047 kWh	Energiekosten	852,30 €

Erdwärmepumpe + 8qm Solar

Heizwärmebedarf	10773 kWh	Primärenergiebedarf	7437 kWh
Endenergiebedarf	3098 kWh	CO ² Ausstoß	2583 kg
hiervon Hilfsenergie	1310 kWh	Energiekosten	712,20 €

Pelletofen + 8qm Solar

Heizwärmebedarf	10773 kWh	Primärenergiebedarf	5443 kWh
Endenergiebedarf	15743 kWh	CO ² Ausstoß	223 kg
hiervon Hilfsenergie	1043 kWh	Energiekosten	979,30 €

Jährlich eingesparte Energie und eingesparter CO² Ausstoß

Heizwärmebedarf	1274 kWh	Mehrkostenaufwand	15.249,23 €
Ø Kosteneinsparung ¹²	77,63 €	Amortisationszeit	196,43 Jahre
UBP	2206,7		
PEI en	-332,11 MJ	Co ² Gas	286 kg
PEI ne	797,8 MJ	Co ² Erdwärmep.	203 kg
GWP	49,09 kg	Co ² Pellet	15 kg

¹²: Der Mittelwert des Einsparpotentials aus allen drei Anlagevarianten.

Gegenüberstellung von Massivbau_{MIN} zu Massivbau_{MED}Anlagenergebnisse der Basisvarianten für Massivbau_{MIN}**Gas Brennwert + 8qm Solar**

Heizwärmebedarf	11800 kWh	Primärenergiebedarf	14041 kWh
Endenergiebedarf	11512 kWh	CO ² Ausstoß	3214 kg
hiervon Hilfsenergie	1060 kWh	Energiekosten	954,50 €

Erdwärmepumpe + 8qm Solar

Heizwärmebedarf	11800 kWh	Primärenergiebedarf	7908 kWh
Endenergiebedarf	3295 kWh	CO ² Ausstoß	2746 kg
hiervon Hilfsenergie	1060 kWh	Energiekosten	757,50 €

Pelletofen + 8qm Solar

Heizwärmebedarf	11800 kWh	Primärenergiebedarf	5731 kWh
Endenergiebedarf	17186 kWh	CO ² Ausstoß	235 kg
hiervon Hilfsenergie	1043 kWh	Energiekosten	1051,90 €

Anlagenergebnisse der Basisvarianten für Massivbau_{MED}**Gas Brennwert + 8qm Solar**

Heizwärmebedarf	10372 kWh	Primärenergiebedarf	12411 kWh
Endenergiebedarf	10052 kWh	CO ² Ausstoß	2877 kg
hiervon Hilfsenergie	1042 kWh	Energiekosten	852,30 €

Erdwärmepumpe + 8qm Solar

Heizwärmebedarf	10372 kWh	Primärenergiebedarf	7253 kWh
Endenergiebedarf	3022 kWh	CO ² Ausstoß	2519 kg
hiervon Hilfsenergie	1310 kWh	Energiekosten	695,10 €

Pelletofen + 8qm Solar

Heizwärmebedarf	10372 kWh	Primärenergiebedarf	5329 kWh
Endenergiebedarf	15176 kWh	CO ² Ausstoß	218 kg
hiervon Hilfsenergie	1043 kWh	Energiekosten	950,80 €

Jährlich eingesparte Energie und eingesparter CO² Ausstoß

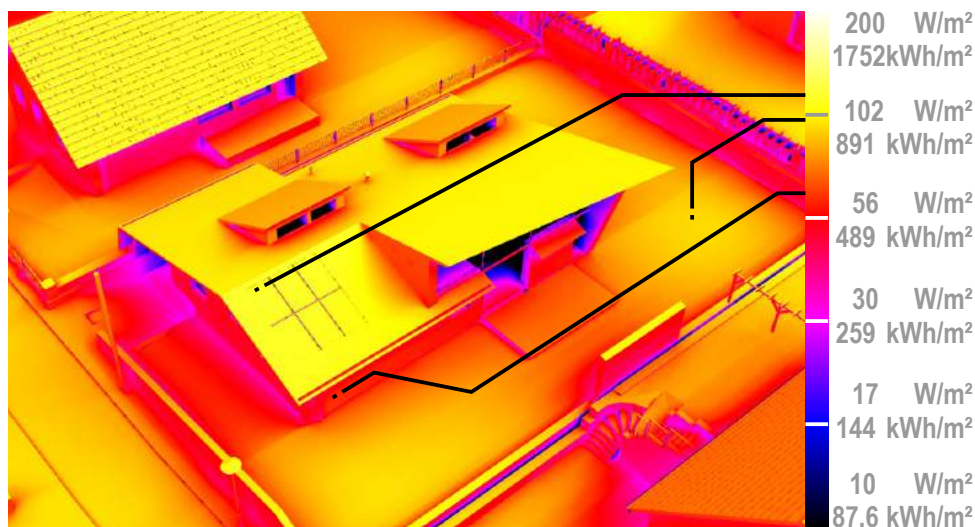
Heizwärmebedarf	1428 kWh	Mehrkostenaufwand	19.051,64 €
Ø Kosteneinsparung	88,70 €	Amortisationszeit	214,79 Jahre
UBP	-5751,7		
PEI en	-623,1 MJ	Co ² Gas	337 kg
PEI ne	739,86 MJ	Co ² Erdwärmep.	227 kg
GWP	64,37 kg	Co ² Pellet	17 kg

Angesichts der Kenndaten beider Konstruktionstypen zeigt sich, dass in der Betrachtung des Herstellungsprozesses der Leichtbau dem Massivbau vorzuziehen ist. Insbesondere erzeugt die Massivbauweise im Bereich des Global-warming-potential (GWP) durchschnittlich 73% mehr CO₂ Äquivalent, aber auch in den anderen Bereichen des Energieeinsatzes Erneuerbarer Ressourcen (PEI en) und nicht Erneuerbarer Ressourcen (PEI ne), wie auch im Bereich der Umweltbelastungspunkte (UBP) schneidet der Massivbau erwartungsgemäß schlechter ab. Wenn auch nicht in der gleichen Größenordnung, wie bei den Ökokennwerten, so ist der Leichtbau aber auch im Bereich der Kosten dem Massivbau überlegen. Vorteile bietet der Massivbau nur beim Heizwärmebedarf und bei der Kühllast. Beim Heizwärmebedarf beschränkt sich dieser Vorteil jedoch nur auf die Medium-Variante und hier auch nur auf 10% (Archiwizard), bei der Minimum-Variante gibt es keinen Unterschied. Den tatsächlich größten Vorteil bietet der Massivbau nur bei der Kühllast, bei dem ca. 60% der notwendigen Energie zur Kühlung eingespart werden können. Allerdings schließt diese Berechnung ergänzende Sonnenschutzmaßnahmen und eine Erhöhung der Speicherkapazität durch Einbauten in den Leichtbau noch aus, somit kann sich diese Differenz durch die genannten Modifikationen an der Leichtbaukonstruktion verringern. Unter Betrachtung aller Teilbereiche bietet sich in diesem Entwurf also der Leichtbau aus Holz an, der auch während des Bauprozesses und in Hinsicht möglicher Rezyklierungsmaßnahmen weitere Vorteile bietet.

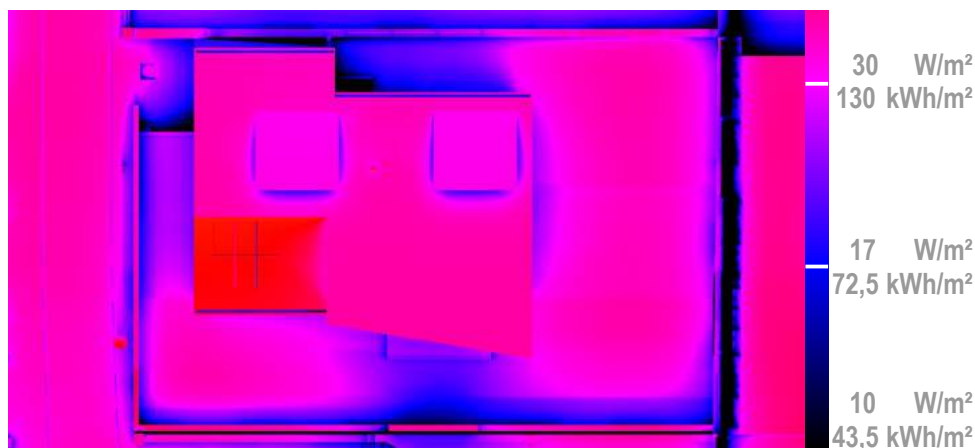
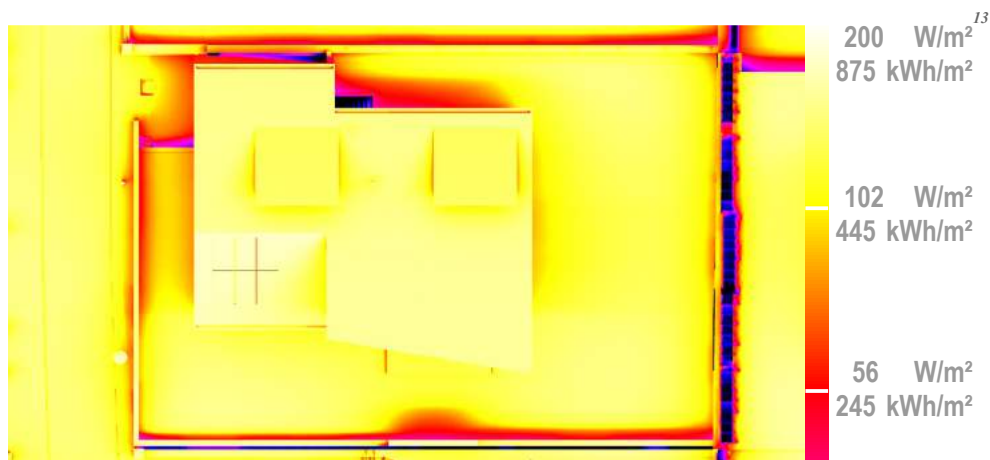
In der Betrachtung der Minimum- und Medium-Variante beider Konstruktionstypen, weist die Kostenberechnung immer auf ein Gebäude hin, dass nur den Minimalanforderungen der ENEC entsprechen sollte. Lediglich geringfügige Verbesserungen der Dämmfähigkeit scheinen rentabel. Bereits bei wenigen tausend Euro Investitionskosten in die Dämmung stellt sich die Frage nach der Wirtschaftlichkeit. Insbesondere wenn diese nicht mehr gegeben ist, müssen aufwändigere Konstruktionen mit größerer Schichtenzahl und damit verbundener höherer Arbeitszeit realisiert werden. Daher bietet sich eher der Verbau stärkerer Schichten bei einfacher Konstruktion an. Dieser ökonomischen Seite des Bauens steht aber die ökologische entgegen, denn betrachtet man über den Herstellungsprozess hinaus die Ökobilanz des Gebäudes in seiner gesamten anzunehmenden Existenz, also die Lebenszyklusbilanz, so werden diese Kennwerte nur marginal von der erforderlichen Herstellungsenergie bestimmt, sondern durch dessen Energieverbrauch im Betrieb. Die Wahl der Leichtbauweise spart im Herstellungsprozess ca. 125kg CO₂ Äquivalent ein. Sehr viel wichtiger ist jedoch die Dämmleistung, so spart die Wahl der Medium-

Variante allein schon innerhalb eines Jahres bei einem Gasbrennwertkessel mindestens 286 kg CO₂ Äquivalent, bei einer Erdwärmepumpe 203kg und selbst bei einem Pelletofen noch 15 kg. Hierdurch wird klar, dass die Auswahl einer angemessenen Dämmleistung und den hierauf abgestimmten technischen Gebäudeanlagen relevanter als die Konstruktion des Gebäudes ist. Dennoch, aus rein ökonomischen Gesichtspunkten empfiehlt sich trotz steigender Energiekosten wohl eher die Orientierung an den Minimalanforderungen, die durch den hohen Energiestandard bereits ohnehin recht hoch sind, aus ökologischen Gründen dagegen empfiehlt sich die Wahl einer möglichst hohen Dämmleistung. Die Wahl in diesem Entwurf fällt damit auf die günstigere Konstruktion der Variante Medium, somit LeichtbauMED. Der Holzbau bietet die Möglichkeiten der Vorfertigung und die Entwicklung modularer Bauteile, die die Herstellungskosten senken können. Der zusätzliche Einbau von Bauteilen aus Beton, Lehm oder Steinzeug ermöglicht eine wesentliche Verbesserung der Speichereigenschaften und kann Nachteile gegenüber dem Massivbau ausgleichen. Auch die Verlegung der Medien gestaltet sich durch den Leichtbau zum Teil als einfacher. Nachdem nun die grundlegende Bestimmung der Konstruktion abgeschlossen ist und auch bereits schon erste Standardvarianten der Anlagentechnik überschlägige Ergebnisse erzielen, soll nun das Energiekonzept des Gebäudes beschrieben werden.

Ø Ertrag Globalstrahlung; $W/m^2 h$ (Stunde) & kumuliert in $kWh/m^2 y$ (Jahr)



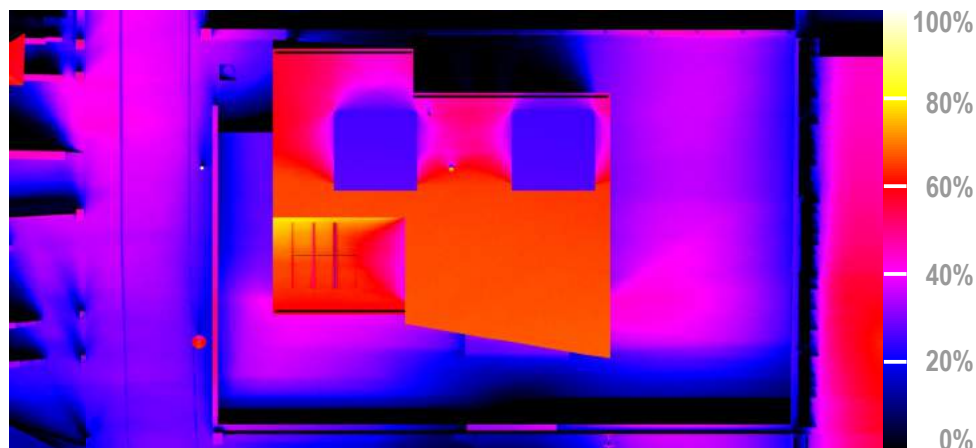
Globalstrahlung 21. März bis 21. September & 21. September bis 21. März



Die Gegenüberstellung der Globaleinstrahlung für die Zeiträume mit tiefen und mit hohen Sonnenstand verdeutlicht nicht nur, dass in den Wintermonaten weit weniger Energie zur Verfügung steht, sondern auch, dass die restlichen Freiflächen eine etwa gleichwertige Qualität vorweisen können. Die Zeit mit direkter Bestrahlung, insbesondere für die Wintermonate, weist dagegen auf eine höhere Aufenthaltsqualität hin, die von der Einstrahlungsmenge unabhängig ist. So wird ersichtlich, dass der südlich gelegene Freibereich besser als Aufenthaltsort genutzt werden sollte.

¹³: Dadurch, dass es sich nicht mehr um 365, sondern um 181 Tage handelt, ist der kumulierte Maximalertrag begrenzt und unterschreitet den Jahresertrag (vorhergehendes Diagramm), der stündliche Maximalertrag der Jahresbetrachtung bleibt hierbei bestehen.

Zeit mit direkter Bestrahlung 21. September bis 21. März



Ressourceneinsatz am Gebäude

Die Idealvorstellung des Ressourceneinsatzes im Feld Architektur besteht vermutlich darin, dass weder Herstellung noch Betrieb oder Entsorgung Energie verbraucht. Da sich Gebäude aber nicht ohne Energieeinsatz herstellen lassen ist man bestrebt, dass am Ende des Lebenszykluses eines Gebäudes eine positive Bilanz steht oder diese gleich Null ist. Nicht nur theoretisch, sondern auch schon praktisch gibt es Gebäude mit sehr niedrigem Energieverbrauch und auch Beispiele für Gebäude, die mehr Energie erzeugen, als benötigen (im Betrieb und im Übrigen mit dem Maß von Kilowattstunden). Allerdings sind heute Nullenergie- noch Plusenergiehäuser kein Standard. Die gegenwärtigen Grenzen werden durch die Wirtschaftlichkeit gesetzt. Rentabilität der Hülle und die Differenz von Energieangebot und Energieverbrauch am und im Gebäude sind Ursachen dieser Schwierigkeiten. Eine, oder vielleicht die zentrale Aufgabe der Energiekonzepte der Zukunft wird somit darin bestehen, Energie zu speichern. Auch in dieser Arbeit soll dies Thema sein.

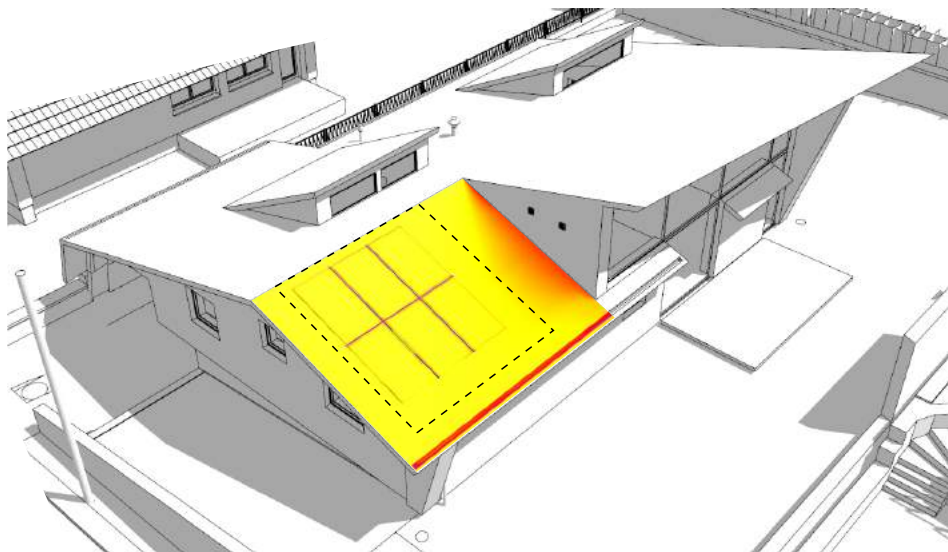
Das Energiekonzept

Ziel der gegenwärtigen Energiepolitik ist weniger die Senkung des Energieverbrauches insgesamt, als die Einsparung fossiler Brennstoffe, da diese maßgeblich zur Klimaerwärmung beitragen. Der Einsatz regenerativer Energien, die direkt am Gebäude erzeugt werden sind damit ein begünstigtes und angestrebtes Ziel der Energieeinsparverordnung. Ersatzweise besteht

die Möglichkeit, dass statt der Erzeugung regenerativer Energie am Gebäude ein Ausbau der Dämmleistung der Hülle realisiert werden kann.

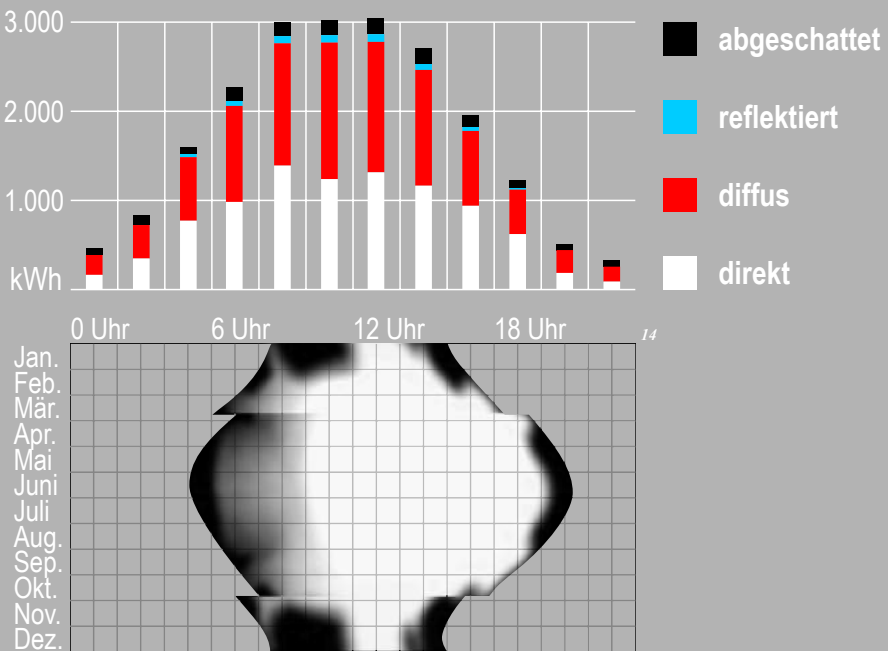
Nach Auswahl und Konfiguration der Konstruktion umfasst das Gebäude ohne Unterkellerung 135,46 qm NGF, das Untergeschoss umfasst eine 36 qm große unbeheizte Garage. Aufgrund des überdachten Stellplatzes könnte die Garage auch als Lager zu nutzen sein. Das Gebäude soll für vier Personen, zwei Erwachsene und zwei Kinder ausgelegt werden. Damit entsprechen die Dimension des Gebäudes eines typischen Einfamilienhauses, wodurch auch ein dem entsprechendes Nutzungsprofil zu erwarten ist. Die Orientierung für die Auslegung der technischen Anlagen ist damit definiert.

Fast schon obligatorische Anlagentechniken sind Solarthermie und Photovoltaik. Zu einem relativ geringen Anschaffungspreis, insbesondere bei Flachkollektoren, kann in Deutschland die Warmwasserversorgung und ein Teil der Heizleistung direkt am Gebäude erzeugt werden. Aufgrund der geringen Fläche, die am Gebäude zur Verfügung steht, soll die Priorität auf der Solarthermie liegen, da hier mit 70 bis 80 % sehr viel höhere Wirkungsgrade erreicht werden als bei der Photovoltaik mit ca. 12 bis 18%. Das östlich gelegene Bauteil verschattet die in Frage kommende Kollektorfläche, damit ist die gesamtverfügbare Dachfläche reduziert, ein Bereich von 4x4m, also 16qm ergibt sich. Der Solareintrag in diesem Bereich bewegt sich zwischen 1050kWh/m² und 799kWh/m². Leider schattet gerade in den Wintermonaten das südlich gelegene Nachbarhaus durch sein hohes Dach ca. 15% der Globalstrahlung ab. Von den 21175kWh gelangen somit



19687kWh auf die Kollektorfläche, hiervon 9305kWh direkt 9823kWh diffus und 560kWh durch Reflexion. Bei einem überschlagenen Wirkungsgrad von 60% und einer vollen Ausnutzung der Fläche könnten ca. 11800kWh Wärmeenergie nutzbar gemacht werden. Diese Menge könnte problemlos den Warmwasserbedarf und einen Großteil der Heizwärme decken. Allerdings fällt die Wärmemenge im Sommer an, sodass diese über mehrere Monate gespeichert werden müsste. Je nach Speicherart hätte dies mittlere bis große Verluste zu bedeuten, ebenso würden sich einige weitere Verluste durch die Ein- und Auslagerung im Verteiler ergeben. Dem Gebäude sind damit die groben Schranken gesetzt. Eine Versorgung mit Wärmeenergie allein über die Solarthermie ist nicht möglich, nur ein Verzicht von Freifläche könnte die erntbare Wärmemenge vergrößern. Dies ist aber aufgrund des kleinen Grundstücks nicht sinnvoll.

Jährliche Einstrahlung auf die 16m² Dachfläche



¹⁴: Dargestellt ist der Verlauf des Sonnenaufgangs und die Einstrahlungsstärke entsprechend Monat und Uhrzeit. Die Sommerzeit ist berücksichtigt.

Mögliche Wärmeerzeuger und Energieträger

Es folgen verschiedene Bewertungen möglicher Wärmeerzeuger für den Entwurf, die Bewertungen und Entscheidungen dieser Arbeit nachzeichnen. Die Fernwärme entfällt von vornherein, da die Siedlung nicht durch das Fernwärmenetz Sangerhausens erschlossen ist. Die Beheizung mit Erdgas ist problemlos möglich, wodurch sämtliche gasbetriebenen Wärmeerzeuger in Frage kommen. Die Standardvariante wäre ein Gasbrennwertgerät, das durch den Brennstoff Gas und dessen hoher Effizienz auch einen relativ geringen CO₂-Ausstoß verursacht. Ein Betrieb mit Kraft-Wärme-Kopplung in Form eines kleinen Blockheizkraftwerkes wäre auch vorstellbar, allerdings teurer und bei einem Einfamilienhaus modernen Standards, mit relativ geringen Verbrauch fraglich, da für einen effektiven Betrieb, ob wärmegeführt oder stromgeführt, eine gewisse Grundlast notwendig wird. So weisen die meisten Hersteller auf einen Mindestverbrauch von ca. 18.000 bis 20.000 kWh Gas und 2.500 bis 3.000 kWh Strom. Für die Monate ohne Heizbedarf wird der Warmwasserbedarf maßgebend, dieser bewegt sich aber nur im Bereich von ca. 20% des Heizbedarfes, wodurch die Anlage in den Sommermonaten ineffizient arbeiten würde. Eine Absenkung des Heizwärmebedarfes durch die Verbesserung der Dämmleistung des Gebäudes oder eine Kreuzstromwärmerückgewinnung wäre kostenintensiv und nicht sinnvoll, da man in diesem Falle eine bereits kostenintensive Wärmeerzeugung durch weitere Investitionskosten scheinbar „wirtschaftlicher“ macht. Der Versuch, die Warmwassererzeugung vom primären Wärmeerzeuger abzukoppeln und etwa der Solarthermie zu übertragen erscheint in diesem Fall ebenso wenig sinnvoll, da damit auch der Wärmebedarf insgesamt geschmälert würde und sich die Jahresbetriebsstunden reduziert werden, was die Effizienz der Anlage ebenso in Frage stellt, da damit die Mindestgrenzwerte weiter unterschritten werden würden. Daher wäre ein kostengünstigerer Standardgasbrennwertkessel mit solarer Unterstützung die sinnvollere Wahl. In diesem Fall würde die Solaranlage mit ca. 8qm dem täglichen Warmwasserbedarf und einer Jahresdeckung von ca. 60% angepasst werden und den Gasbrennwertkessel unterstützen.

Eine ökologisch attraktivere Variante scheint der Holzpelletkessel zu sein, da der CO₂ Ausstoß hierbei drastisch sinkt. Allerdings sollte man diese Werte mit einer gewissen Vorsicht behandeln. Eine Beispielrechnung gibt Aufschluss: Für LeichtbaumED werden im Falle des Holzpelletofens 15743kWh Endenergiebedarf erwartet. Man sieht, dass aufgrund des Energieträgers der Bedarf an Endenergie steigt. Nimmt man an, dass ca. 0,2kg Holzpellets 1kWh

Energie freigibt, werden 3148,6 kg Pellets benötigt. Bei der Verbrennung von 1kg Holz wird ca. 1,44 kg CO₂ freigesetzt, somit verteilen sich pro Jahr etwa 4534kg CO₂ in der Atmosphäre. Hinzu kommen weitere 223kg für die Aufarbeitung und den Transport der Pellets. Damit übersteigt man sogar den Gasbrennwertkessel mit seinen 2878kg bei weitem. Dass die Verbrennung von Holzpellets als CO₂- bzw. „klimaneutral“ gelten, geht davon aus, dass dieses freigesetzte CO₂ zuvor gebunden war, somit über eine Art Berechtigung verfügt und keinen zusätzlichen Eintrag darstellt, wie dies etwa bei Gas, Öl oder Kohle der Fall ist. Weit wichtiger als diese bloße „Berechtigung“ ist statt dessen die Frage danach, ob die entsprechende Menge Holz überhaupt wieder neu gepflanzt wird, nachdem sie abgeholzt wurde. Deutschland importiert mehr Holz als es exportiert, dies umfasst jährlich ca. 3 Millionen m³ Rohholz, vor allem aus Osteuropa. Insgesamt wachsen die Wälder Europas mit Ausnahme Russlands zwar leicht, aber bei einem zunehmenden Holzverbrauch als Baustoff und Brennstoff, durch die Auswirkungen des Klimawandels und dem weiteren Fortschreiten der Waldkrankheiten kann sich die bisher positive Tendenz schnell umkehren. Es besteht also die Möglichkeit, dass auch mit dem Holzpelletkessel bei fehlender Aufforstung eine Verschlechterung seiner Bilanz eintritt. Zwar ist die Lebenserwartung einer Heizanlage auf ein bis zwei Jahrzehnte beschränkt, jedoch wären die übrigen Anlagenbestandteile und die Bausubstanz auf diese Technik ausgelegt. Hier zeigt sich auch eine weitere Problematik. Der im Entwurfschmal bemessene Technikraum ist auch für eine 7 bis 11 kW Anlage zu klein, die Aufstellung wäre damit nur in dem unbeheizten Untergeschoss möglich. Bei der Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle muss aber ein zusätzlicher Energiebedarf von 10 bis 15% kalkuliert werden. Die ursprünglich benötigten 15743kWh würden somit auf 18104kWh anwachsen. Dies führt zu einem weiteren Problem, der Lagerung. Zur Bemessung des Pelletlagers gibt es verschiedene Varianten. Allgemein gilt, dass das Lager 1,3 bis 1,5 größer dimensioniert werden soll als die notwendige Menge, da Maulwurf wie auch Schnecke zur Förderung Leerraum benötigen. 1m³ Lagerflächen fassen ca. 650kg Pellets, in einem kg Pellets lagern 5kWh. Die notwendige Menge bemisst sich am Jahresbedarf, denn der Einkauf von Holzpellets während der Heizmonate ist wesentlich teurer und birgt darüber hinaus die Gefahr, dass es Lieferengpässe gibt. Die verschiedenen Varianten der Berechnung des Lagers führen zu einer Größe zwischen 7 bis 16,2m³ Lagerraum. Der Mittelwert ergibt ca. 10,5m³. Verschiedene Füllgrade und mögliche Raumgeometrien erklären diese relativ hohe Differenz. Die Modifikation des Untergeschosses für Lager und Aufstellung des Kessels würde weitestgehend den gesamten Raum einnehmen, wodurch es sinnvoller

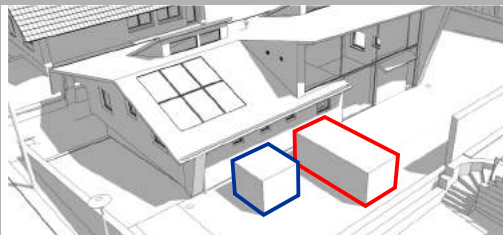
erscheint, dass man das Lager außerhalb des Gebäudes platziert. Hierfür wären aber wiederum größere Investitionskosten notwendig, die bei einer Anlage wie des Pelletkessels, welches im Kostenvergleich eines der mit Abstand teuersten Systeme ist, fragwürdig erscheint.

Pelletlagerfläche Kurzdarstellung der Rechnung und Größendarstellung

18104kWh - 3,620t - 5,4 - 8,1m³

■ 18104kWh - 18kW Heizlast - 16,2m³

■ 18104kWh - 3,620t - 5,57 - 7m³

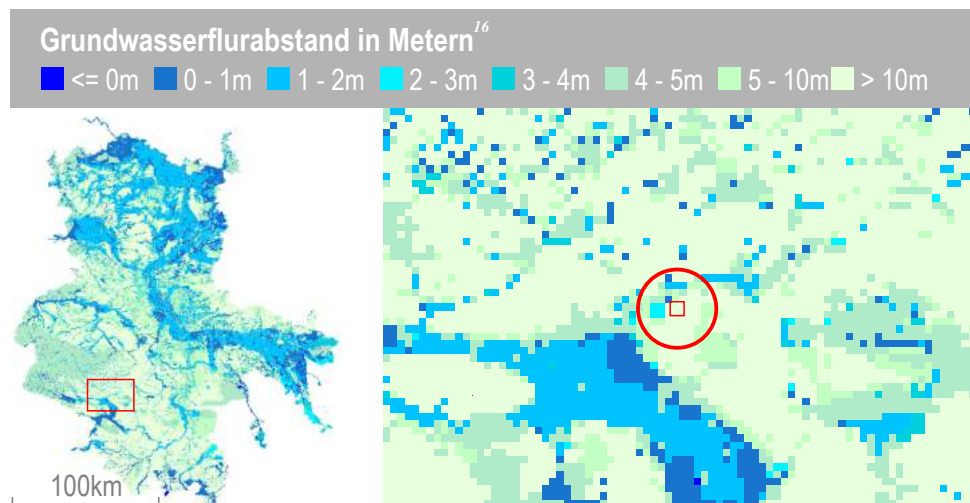


Das letzte in Frage kommende System ist der Einsatz einer Wärmepumpe. Die möglichen Wärmequellen unterscheiden sich stark und müssen einzeln behandelt werden. Optimal ist die Suche nach Wärmequellen mit möglichst hohem Energieniveau, sodass der Temperaturhub durch die Wärmepumpe gering ausfallen kann. Das vielversprechendste System ist die Erdwärmesonde, ab einer Tiefe von ca. 10 Metern kann am Standort mit einer Temperatur von 11°C gerechnet werden. Leider befindet sich das Grundstück und die Siedlung in einem Wasserschutzgebiet der Zone III.¹⁵ Bohrungen für Sonden sind genehmigungspflichtig und dürfen im Falle dieser Genehmigung auch nur mit Auflagen errichtet werden, beispielsweise ein Verzicht auf Sole. Im Siedlungsgebiet sind keine Sonden bekannt. Durch die lange Tradition des Kupferschiefer-Bergbaus ist die Bodensituation teilweise zudem schwer einschätzbar; daher wäre auch die maximale Tiefe vermutlich begrenzt, zumal unter den obersten Schichten der Siedlung ab einer



¹⁵ Im Sachsen-Anhalt Viewer sind diese Informationen online verfügbar: Gebietsname: Sangerhausen/Wallhausen, Gebietsnummer: STWSG0150, Rechtsgrundlage: Beschluss-Nr. 63-20/82 18.11.1982, Amtsblatt: Bl. Nr 2 11/82.

bestimmten Tiefe mit Felsboden zu rechnen ist, was die Bohrungen erschweren könnte. Neben der Sondenbohrung bietet sich die Nutzung des Grundwassers an, welche allerdings auch unter die Einschränkungen der Wasserschutzzone III fallen würde und es damit einer Genehmigung bedarf. Die Nutzung des Grundwassers als Wärmequelle erfolgt durch den Bau zweier Brunnen. Entscheidend für die Nutzung ist die Wasserqualität und der Grundwasserflurabstand. Dieser Grundwasserflurabstand ist größer als 10m, aufgrund der Hanglage und des Abflusses ist damit zu rechnen, dass die



notwendige Tiefe den wirtschaftlichen Rahmen von ca. 20m überschreiten wird. Zwar kann nur ein Bodengutachten Sicherheit bringen, aber aufgrund der vorhandenen Daten ist abzuschätzen, dass die Nutzung des Grundwassers schwierig werden dürfte.

Weitere Möglichkeiten bieten sich mit dem Erdreich direkt auf dem Grundstück an. Häufig werden Grabenkollektoren entlang der Grundstücksgrenzen verbaut. Der mögliche nutzbare Bereich der Grundstücksgrenzen beträgt ca. 86m. Allerdings müssten die 15m straßenseitig mit einer zusätzlichen Tiefe ausgehoben werden, dagegen verlaufen 51m südlich und östlich entlang bestehender Stützmauern, wodurch eine Verlegung erschwert wird. Soll der Graben nicht tiefer als die üblichen 0,8 bis 1,8m verlegt werden, so schrumpft die nutzbare Fläche. In der Literatur und beim Gesetzgeber finden sich empfohlene Mindestabstände von 1m bis 1,5m zu Fundamenten und Bauteilen, damit reduziert sich die

¹⁶: Die Daten entstammen der VBK50 für Sachsen-Anhalt, abrufbar auch im Dokument „Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen für das Land Sachsen-Anhalt auf der Basis des Wasserhaushaltsmodells ArcEGMO“ (Nr1/2015).

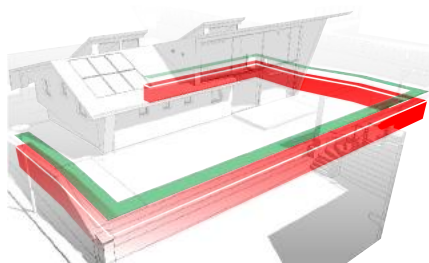
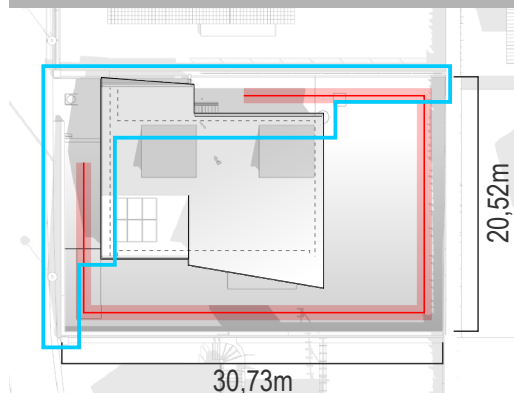
Fläche des Grabekollektors weiter. Auch der Mindestabstand zur Grundstücksgrenze von mindestens 1m bedeutet eine Verringerung. Es verbleiben 71,93m, womit das für den Kollektor umfassende Erdreich 108m³ umfasst, da aber der Graben mit mindestens 1,6m Breite angelegt werden muss, wäre es erforderlich 173m³ Erde zu bewegen. Der Großteil des Grabenkollektors und des Aushubs würden sich in einem Bereich befinden, der durch den Entwurf nicht umgestaltet wird, was ein Nachteil darstellt, da

Verlegung des Grabenkollektors

■ Bereich der Umgestaltung

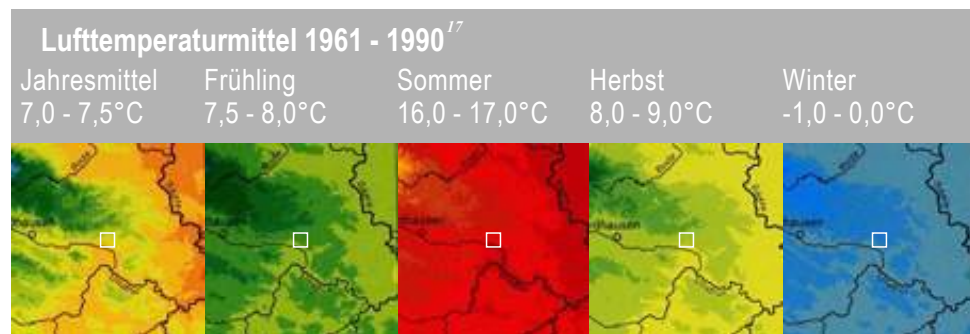
■ Grabenkollektor

■ Fläche über Graben



hierdurch ein Mehraufwand entstehen würde. Alternativ gibt es Erdkollektoren. Die Verlegung eines solchen Erdkollektors im südlichen und östlichen Bereich der Freiflächen wären ähnlich des Grabenkollektors genauso denkbar. Mit der geringeren Verlegetiefe und deren Mindestabständen bewegt sich der Kollektorbereich aber gänzlich aus jener Zone, an der im Entwurf Erdarbeiten nötig sind. Eine andere Variante zur Nutzung der im Erdreich verfügbaren Wärme ist der Eisspeicher, bzw. der Eisswasserspeicher. Das Prinzip ist dem der Erdkollektoren identisch, nur in räumlich komprimierter Fassung. Eine Wärmepumpe entzieht einem Wasservolumen die Wärmeenergie um das Gebäude zu beheizen. Regeneriert wird der Wasserspeicher durch den Umwelteintrag von Sonne und Wasser. Der Speicher könnte an der nordöstlichen Grundstücksgrenze platziert werden, woraus in diesem Fall ein Vorteil entsteht, da nach dem Entwurf an dieser Stelle Erdarbeiten geplant sind. Statt eines Mehraufwands ist ein Vorteil gegeben, zugleich bleiben die restlichen Freiflächen wie im Entwurf vorgesehen unberührt. Dadurch, dass der Eisspeicher an einer Stelle konzentriert ist, bietet sich an, auch das Regenwasser, was sich auf der Nordseite des Gebäudes sammelt, zielgerichtet dem Speicher zuzuführen.

Dies würde dessen Regeneration begünstigen, eine Kombination von Eisspeicher und Zisterne wären an dieser Stelle vorstellbar. Einer der größten Faktoren für die Nutzung der Energie im Erdreich ist die Bodenqualität. In der Siedlung ist der schwer zu bearbeitende Mergelschiefer vorherrschend, auch bekannt als Lettenboden. Durch den höheren Tongehalt kann der Boden relativ viel Wasser halten und die Versickerung wird gehemmt. Dieser höhere Wassergehalt ist aber für die Energiegewinnung vorteilhaft, die Entzugsleistung dieses Bodens umfasst für einen Erdkollektor ca. 25 bis 30 W/m^2 und schneidet damit nah des Grundwasser geführten Bodens ab (30 bis 35 W/m^2). Als letzte mögliche Variante des Einsatzes einer Wärmepumpe kommt die Luft-Wasser- Wärmepumpe in Frage, die nicht dem Erdreich die Energie entzieht, sondern der Umgebungsluft. Entscheidender Faktor ist die Lufttemperatur. Sangerhausen ist im Einzugsbereich des Harzes, damit ist die Temperatur kontinuierlich etwas im unteren deutschen Schnitt. Diese Differenz stellt aber nicht die Nutzbarkeit einer Luft-Wasser- Wärmepumpe generell in Frage. Des Weiteren wird in den kommenden Jahrzehnten die mittlere Lufttemperatur durch den Klimawandel weiter ansteigen, wodurch sich die Leistung verbessern würde. Gegen die Aufstellung einer Luft-Wasserwärmepumpe spricht die eher ruhige Umgebung der Siedlung und die Speicherkapazität des vorhandenen Bodens, den man anstelle der Luft effizienter nutzen könnte. Allgemeiner Nachteil aller Wärmepumpen ist der benötigte Strom, der im Entwurf nur geringfügig erzeugt werden könnte, da der Vorzug aufgrund der begrenzten Dachfläche auf der Solarthermie liegt. Sinnvoll wäre an dieser Stelle wieder eine Reduktion des gesamten Energiebedarfes, um hierüber auch den Strombedarf einzuschränken.



¹⁷: Da die Klimaerwärmung für Deutschland eine allgemeine Erwärmung ist, so behalten die Daten von 1961-1990 des DWD für einen Vergleich auch heute noch ihre Berechtigung, diese Unterschiede bleiben trotz der Erwärmung absehbar erhalten. Der Ausschnitt zeigt einen Bereich von ca. 65 km um Sangerhausen herum und die Durchschnittstemperatur der Stadt.

Für das Energiekonzept habe ich mich für die Wärmepumpe in der Variante mit dem Eis-Wasserspeicher entschieden. In der engeren Auswahl stand daneben auch die Gasbrennwerttherme, allerdings bietet der Eisspeicher bei einem etwa gleichen CO₂-Ausstoß im Sommer Möglichkeiten der Kühlung. Die Entscheidung gegen den Pelletkessel liegt weniger in dessen hohen Kosten, als am Lager begründet, das Investitionskosten verursacht. Im Falle des Eisspeichers wird zwar auch ein angemessener Platz notwendig sein, jedoch dient dieser Eisspeicher nicht nur als Lager, sondern auch als Energiequelle, was einen entscheidenden Vorteil bedeutet. Mit entscheidend waren aber auch die lokalen Bedingungen in Sachsen-Anhalt und Thüringen (Sangerhausen liegt direkt an der Grenze), da in diesen Bundesländern die erneuerbaren Energien zu 37% und zu 45% den Strombedarf decken. In Sachsen-Anhalt hält die Windenergie den größten Anteil, während die solare Stromgewinnung gering vertreten ist. Anders als Photovoltaik liefern Windkraftanlagen gerade im Winter einen höheren Ertrag, sodass angesichts der Umstände die Entscheidung für eine Wärmepumpe vertretbar ist.¹⁸

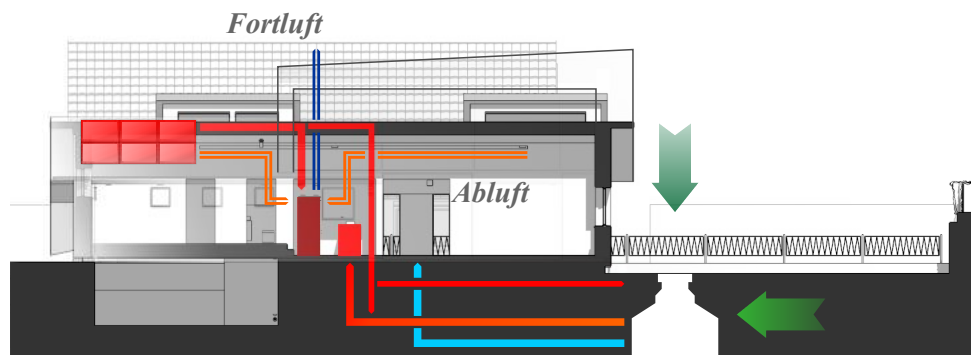
Der Eisspeicher wird am nordöstlichen Grundstücksbereich installiert. Dieser Bereich soll nach dem Entwurf bereits den Aushub der Baugrube auffangen und ein höheres Geländeniveau ausbilden. Aus diesem Grund entfällt ein Teil der notwendigen Erdarbeiten für den Eisspeicher. Die ausgewählte Freifläche ist entgegen der südlichen kein Ort mit besonderer Aufenthaltsqualität, insofern stellt die Wahl keinen Komfortverlust dar. Dem ca. 15m³ umfassenden Eisspeicher sind 6 x 2qm Flachkollektorfläche angebunden. Die Flachkollektoren reagieren im Betrieb in einer Vorrangschaltung, primär wird ein 300l Warmwasserspeicher auf hohem Temperaturniveau mit bis zu 65°C ab 12 Uhr aufgeheizt. Dem Warmwasserspeicher ist eine Abluftwärmepumpe beigelegt, die den primären Bedarf an Warmwasser stellt. Die Erhitzung auf ca. 60°C wird zur thermischen Desinfektion nötig. Da aber die Abluftwärmepumpe diese Temperatur nur durch den relativ ineffizienten Einsatz ihres elektrischen Heizstabes erreichen kann, nimmt die Solarthermie diese Hauptlast ab. Ist der Warmwasserspeicher geladen schaltet die Solarthermieanlage in ihren sekundären Arbeitsmodus. Die Arbeitstemperatur reduziert sich auf ca. 30°C. Die Absenkung der Arbeitstemperatur steigert den Wirkungsgrad der Flachkollektoren, da die Wärmeverluste am Kollektor stark reduziert werden. Das auf 30°C erhitze Medium dient jetzt als Heizungsunterstützung,

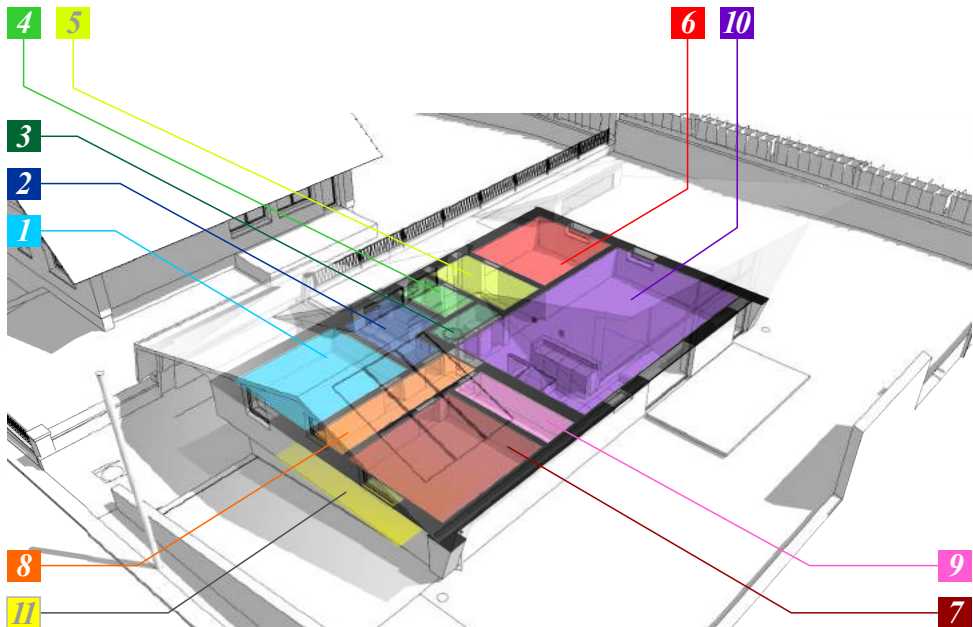
¹⁸: Siehe hierzu die „Agentur für erneuerbare Energien“ (<http://www.foederal-erneuerbar.de>) und „Wind Energy Use in Germany“ Status 31.12.2012 C. Ender; DEWI GmbH, Wilhelmshaven.

in dem sie das Trägermedium aus dem Eisspeicher vorwärmt. Damit sinkt der notwendige Temperaturhub der Wärmepumpe. Besteht dagegen auch kein Bedarf an Vorwärmung, schaltet die Anlage in ihren letzten Arbeitsmodus, der Speicherbeladung. Die Wärmeenergie vom Dach wird direkt in den Eisspeicher geleitet. Während dieses Prozesses kann unter Umständen eine weitere Absenkung der Arbeitstemperatur stattfinden. Während des Sommers kann das Wasser der Heizkreise per Bypass die Wärmepumpe umgehen und im Eisspeicher umgewälzt werden und auf diese Weise den Wohnraum kühlen (Wärmetauscher siehe Hydraulikschema). Hierbei wird die Wärme des Gebäudes in den Speicher übertragen und die Ladung weiter erhöht. Damit ist es durch den Eisspeicher möglich, nicht nur das Gebäude zu kühlen, sondern diese Kühllast auch nutzbar zu machen. Das Regenwasser des Norddaches wird zu 68% in Richtung Eisspeicher entwässert, hierfür ist eine Rigolenversickerung von ca. 35m³ Ausdehnung geplant, die aus Modulen besteht. Das aufgefangene Wasser sickert schließlich durch eine Drainage entlang des Eisspeichers in den Untergrund.

Aus der Abluft wird der Großteil dessen Wärmeenergie zur Warmwasserbereitung eingesetzt. Die Abluftwärmepumpe ist so ausgelegt, dass sie gegebenenfalls auch den kompletten Bedarf inklusive thermischer Desinfektion gewährleisten könnte. Die Analyse des genauen Zapf- und Lüftungsprofils wird erforderlich sein, um alle Anlagenelemente aufeinander abzustimmen. Die ab nun folgend verwendeten Daten zum Gebäude sind die Kenndaten der endgültigen Fassung und entsprechen dem hier vorgestellten Energiekonzept. Sie sind identisch mit den beigelegten Datenblättern aus Zub Helena.

Prinzipschema der Energieströme



*Raumnummern und Grobmaße¹⁹***1 Individualraum I**16,02m² 43,50m³**2 Bad**8,32m² 23,02m³**3 Technikraum**2,66m² 9,06m³**4 Gäste Bad und WC**3,82m² 10,96m³**5 Windfang**7,73m² 23,73m³**Gesamt 1 bis 10**135,46m² 466,95m³**6 Individualraum II**16,06m² 54,69m³**7 Individualraum III**16,53m² 45,09m³**8 Flur**7,99m² 26,38m³**9 Abstellbereich**5,17m² 14,11m³**10 Wohnküche**51,14m² 216,45m³**11 Untergeschoss Lager**34,74m² 73,02m³

¹⁹: Die Raumnummern entsprechen in der Openoffice Datei aufgrund des konstruktiven Berechnungsmodells für das Gebäude nicht den hier verwendeten Nummern. R.Nr = OpenO. 1=1, 2=2+6, 3=7+9, 4=8, 5=10, 6=11, 7=3, 8=5, 9=4, 10=12, Raum 11 ist in dem Modell nicht beinhaltet.

Entscheidungsgrundlagen der Raumluftanlagen²⁰

Kennwerte und Ergebnisse der Lüftungsberechnungen

A_{NE}	135,46 m ²	V_{NL}	157,43 m ³ /h
V_{NE}	466,95 m ³	V_{FL}	47,23 m ³ /h
n_{50}	0,55	V_{IL}	204,66 m ³ /h
f_{WS}	0,30	V_{RL}	110,20 m ³ /h
Δp	8,00 Pa	30m ³ pro Person	120,00 m ³ /h
$q_{V,inf,wirk}$	21,92 m ³ /h	Hygiene _{opti}	0,6/1h 280,17 m ³ /h
$n V_{NL}$	0,34 1/h	Feuchteschutz _{min}	0,22 1/h 102,73 m ³ /h

Auf der Basis des Volumens der Räume (V_{NE}) wird mit der hieraus resultierenden Nennlüftung (V_{NL}) der Luftwechsel für den Feuchteschutz (V_{FL}), der reduzierten Lüftung (V_{RL}) und der Intensivlüftung (V_{IL}) bestimmt. Daneben gibt es aber noch weitere Orientierungswerte des Luftwechsels, etwa die Personenzahl oder die Lufthygiene, die für jeden Raum die Minimallüftung festlegt. Die Lüftungsanlage soll in drei verschiedenen Modi arbeiten: Standardlüftung, Reduzierte Lüftung und die Intensivlüftung. Ihre Luftvolumen orientieren sich auch an den zu erwartenden CO₂- und Feuchtegehalt der Luft und

Lüftungsvolumen nach Modus für jeden Raum

Raum	Standard	n/h	Reduziert	n/h	Intensiv	n/h
1	35,00 m ³ /h	0,80	30,00 m ³ /h	0,69	30,45 m ³ /h	0,70
2	13,81 m ³ /h	0,60	6,91 m ³ /h	0,30	45,00 m ³ /h	1,95
3	5,44 m ³ /h	0,60	2,72 m ³ /h	0,30	6,34 m ³ /h	0,70
4	6,58 m ³ /h	0,60	3,29 m ³ /h	0,30	45,00 m ³ /h	4,11
5	14,24 m ³ /h	0,60	7,12 m ³ /h	0,30	16,61 m ³ /h	0,70
6	35,00 m ³ /h	0,64	30,00 m ³ /h	0,55	38,28 m ³ /h	0,70
7	35,00 m ³ /h	0,78	30,00 m ³ /h	0,67	31,54 m ³ /h	0,70
8	15,85 m ³ /h	0,60	7,91 m ³ /h	0,30	18,47 m ³ /h	0,70
9	8,47 m ³ /h	0,60	4,23 m ³ /h	0,30	9,88 m ³ /h	0,70
10	129,87 m ³ /h	0,60	64,94 m ³ /h	0,30	151,52 m ³ /h	0,70
	299,23 m ³ /h	0,64	187,11 m ³ /h	0,40	393,08 m ³ /h	0,84
Tageswechsel n/d		15,38		9,62		20,20

²⁰: Aus Platzgründen sind für alle kommenden Berechnungen nur die Kennwerte und Ergebnisse dargelegt, damit die Verfahrensweise in einem schnellen Blick erfasst werden kann, alle Rechnungen können in der Openoffice Datei genau nachvollzogen werden.

unterscheiden sich damit mitunter von den errechneten Standardwerten als Abwandlung der Nennlüftung nach der DIN. Wichtig ist hierbei, dass die Luftzufuhr der Individualräume nicht $30,00\text{m}^3/\text{h}$ unterschreitet, da sich sonst der Kohlendioxid Gehalt negativ auf die Personen auswirken könnte. Einen effizienten Betrieb bietet eine Raumlufthanlage nur, wenn sie auf die veränderlichen Zustände im Haus reagiert. Zwar zeigt letztlich erst der tatsächliche Betrieb der Bewohner auf, wie die Konfiguration vorgenommen werden muss, aber auch schon in der Planungsphase können wenigstens grobe Arbeitszustände im Wochenverlauf angenommen werden. Dadurch, dass die Wärmerückgewinnung mit Hilfe einer Luft-Wasser-Wärmepumpe realisiert wird, ist es umso wichtiger, den Lüftungsbetrieb zu optimieren, um Energie zu sparen. Die Nutzungszeiten der Bäder, Individualräume und Kollektivflächen wurden typischen Profilen anderer Einfamilienhäuser entlehnt und der Unterschied von Werktags und Wochenende mit berücksichtigt.

Stündlicher Lüftungsbetrieb Werktags und am Wochenende

Werktags

Wochenende

Raum	Std	Red	Int	Std	Red	Int
1	5	19	0 h/d	16	8	0 h/d
2	2	19	3 h/d	2	18	4 h/d
3	0	24	0 h/d	0	24	0 h/d
4	1	22	1 h/d	1	21	2 h/d
5	4	20	0 h/d	4	20	0 h/d
6	7	17	0 h/d	16	8	0 h/d
7	5	19	0 h/d	16	8	0 h/d
8	0	24	0 h/d	0	24	0 h/d
9	0	24	0 h/d	0	24	0 h/d
10	5	19	0 h/d	18	6	0 h/d

Vol.: 1335,50 3586,46 180,00 m^3/d 4108,81 1802,11 270,00 m^3/d

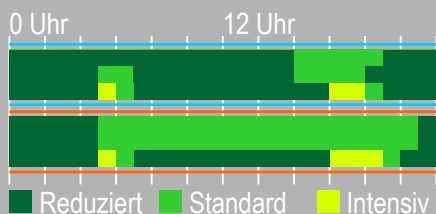
Wochenschnitt 5 + 2 Tage

5101,96 m^3/d 10,93 n/d

6180,92 m^3/d 13,24 n/d

Ø 5410,23 m^3/d 11,59 n/d

Betrieb 24 Stunden (vereinfacht)



Bei der energetischen Optimierung der Anlage darf in keinem Fall der kontinuierliche Feuchteeintrag im Inneren des Gebäudes unberücksichtigt bleiben, da in jüngster Vergangenheit die Verbesserung der Gebäudedichtheit und die Verstärkung des Wandaufbaues den Feuchteabtransport so sehr reduziert haben, dass es zu Schimmelbildung kommen kann. Da in dieser Planung eine Gebäudedichtheit von $n_{50} = 0,55$ angestrebt wird, bedarf es in jedem Fall angemessenen Berechnungen zum Feuchteeintrag und des Abtransports mit Hilfe der Gebäudelüftung. Bei der Abluft-Wasserpumpe handelt es sich um ein Warmwasserkombigerät, der Vitocal 161 - A für ein maximales Abluftvolumen von 300m^3 . Die Abluftwärmepumpe kann bei einem Kanalnetz von bis zu 20m eigenständig arbeiten und das Volumen stufenweise über die eigene Ansaugvorrichtung und ergänzend durch Steuerklappen im Kanalnetz variabel in die

Feuchteaufkommen und Abtransport²¹

Feuchteabtransport Bäder

Feuchteaufkommen Bäder

V Intensivlüftung	45,00 m ³ /h	Badezimmer (1h)	
Außentemperatur	-10 °C	Mensch	200 g/h
Relativluftfeucht	80 %	Wanne	700 g/h
Zuluft Wassergehalt	1,8 g/m ³		900 g/h
Ablufttemperatur	24 °C	Gästebad (15min)	
max Feuchte Abtransport	20 g/m ³	Mensch	200 g/h
Feuchte Abtransport	900 g/h	Dusche	2600 g/h
			700 g/h

restlicher Feuchteabtransport

restliches Feuchteaufkommen

V Minimallüftung	5012 m ³ /d	4 Personen	280 g/h
Außentemperatur	-10 °C	10 Pflanzen	100 g/h
Relativluftfeucht	80 %	2 Bäumchen	40 g/h
Zuluft Wassergehalt	1,8 g/m ³	4 Topfpflanzen	60 g/h
Ablufttemperatur	24 °C	Küche	100 g/h
max Feuchte Abtransport	20 g/m ³	Wäsche	400 g/h
Feuchte Abtransport	100240 g/d		980 g/h
			23520 g/d

²¹: Entscheidend ist nicht das Volumen der Räume, sondern die abtransportierte Luft. Das Badezimmer wird eine Stunde genutzt, der Duschvorgang im Gäste Bad nur 15min. Da jeder Raum über eigene Zuluftöffnungen verfügt, können die Bäder für die übrige Feuchteberechnung vernachlässigt werden.

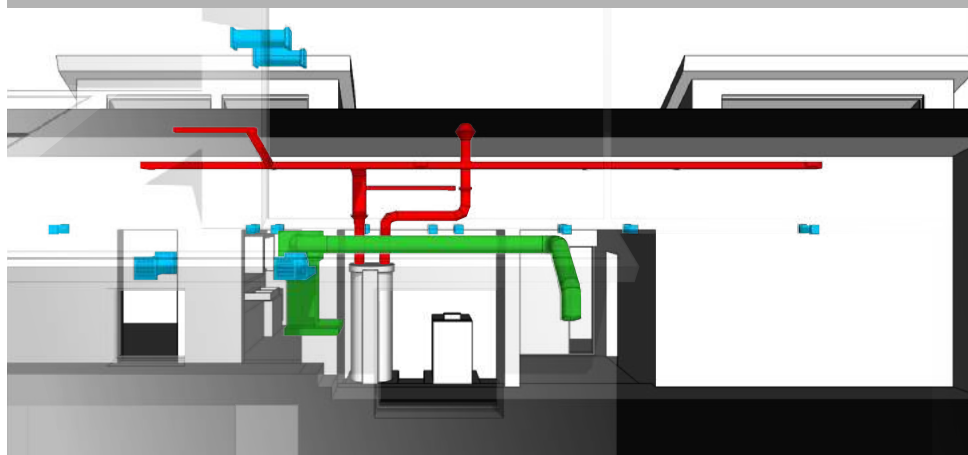
Wärmepumpe einleiten. Aufgrund des zentralen Standortes der Abluftwärmepumpe und des Warmwasserspeichers im Gebäude konnte das Kanalnetz auf ca. 19m beschränkt werden. Über die Druckdifferenz von maximal 8 Pa im Gebäude wird der Zustrom kontrolliert. Frischluft strömt über eine Zahl von Außenluftdurchlässen (ALD 160 VA) in das Innere des Gebäudes, jeder hat mit der Schall- und Filterkonfiguration, sowie aufgrund der Druckdifferenz einen Maximalvolumenstrom von ca. 24m³/h. Für die

Ausschnitt der Zu- & Abluft Elemente sowie des Dunstabzuges

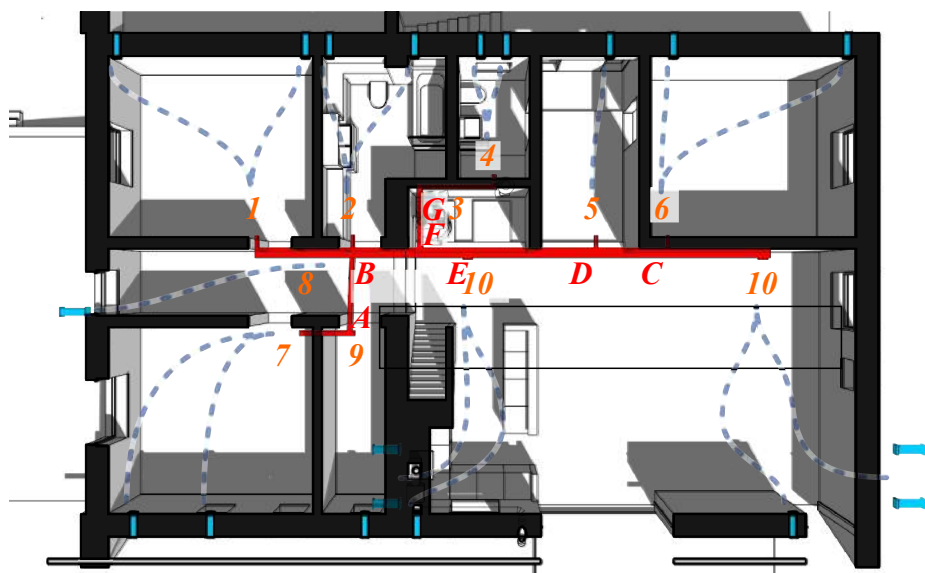
■ Außenluftdurchlässe

■ Abluft und Fortluft Kanäle

■ Dunstabzug



Küche ist ein Dunstabzug vorgesehen, insbesondere ist dies bei einer offenen Wohnküche nötig. Da sich über den Küchenbereich eine kleine Sitzmöglichkeit befindet, ist die räumliche Höhe des Bereiches um den Herd begrenzt, was der Kontrolle des Luftabzuges entgegenkommt. Ein Dunstabzug (ZKM 800) mit maximal 800cm³/h leitet die Luft ins Freie. Ein Außenluftdurchlass liegt nah angeordnet, mit zusätzlicher Installation wäre auch eine Wärmerückgewinnung realisierbar. Jedoch dient dieser Durchlass vorrangig dazu, sehr schnell einen Teil der benötigten Frischluft an den Kochbereich heranzuführen, die Wärmerückgewinnung hätte keinen großen Nutzen. Im Betrieb ohne Dunstabzug funktioniert dieser Durchlass wie ein Standard ALD. Die Abkoppelung des Dunstabzuges vom restlichen Lüftungsnetz ist dadurch notwendig, da die Einbindung von Luft mit hohem Schmutz und Geruchsanteil nur mit zusätzlichen Filter- und Ansauganlagen hätte realisiert werden können. Da die Dunstabzugshaube nur begrenzt genutzt werden wird, erschien die Investition als unangemessen. Bei der Auslegung der Luftkanalgrößen wurde darauf geachtet, möglichst niedrige Geschwindigkeiten auch im Intensivbetrieb zu gewährleisten, da das



Maximale Geschwindigkeiten im Lüftungsnetz

Raum	$V \text{ max/h}$	$V \text{ max/s}$	Öffnung	Geschwindigkeit
1	35,00 m ³ /h	0,0097 m ³ /s	50,30 cm ²	1,93 m/s
2	45,00 m ³ /h	0,0125 m ³ /s	50,30 cm ²	2,49 m/s
3	2,72 m ³ /h	0,0008 m ³ /s	50,30 cm ²	0,15 m/s
4	45,00 m ³ /h	0,0125 m ³ /s	50,30 cm ²	2,49 m/s
5	14,24 m ³ /h	0,0040 m ³ /s	50,30 cm ²	0,79 m/s
6	35,00 m ³ /h	0,0097 m ³ /s	50,30 cm ²	1,93 m/s
7	35,00 m ³ /h	0,0097 m ³ /s	50,30 cm ²	1,93 m/s
8	7,91 m ³ /h	0,0022 m ³ /s	50,30 cm ²	0,44 m/s
9	4,23 m ³ /h	0,0012 m ³ /s	50,30 cm ²	0,23 m/s
10	129,78 m ³ /h	0,0361 m ³ /s	50,30 cm ²	1,59 m/s

Knoten	$V \text{ max/h}$	$V \text{ max/s}$	Kanal	Geschwindigkeit
A	39,23 m ³ /h	0,0109 m ³ /s	50,30 cm ²	2,17 m/s
B	127,14 m ³ /h	0,0353 m ³ /s	201,1 cm ²	1,76 m/s
C	99,89 m ³ /h	0,0277 m ³ /s	201,1 cm ²	1,38 m/s
D	114,13 m ³ /h	0,0317 m ³ /s	201,1 cm ²	1,58 m/s
E	179,02 m ³ /h	0,0497 m ³ /s	201,1 cm ²	2,47 m/s
F	306,16 m ³ /h	0,0850 m ³ /s	201,1 cm ²	4,23 m/s
G	353,88 m ³ /h	0,0983 m ³ /s	201,1 cm ²	4,89 m/s

Kanalnetz freihängend ist. Die in der Tabelle angegebenen Werte sind die Maximalgeschwindigkeiten. Aber bereits im Intensivbetrieb werden 3m/s bzw. für Sammelleitungen 5m/s im Raum 3 nicht überschritten. Zwar hat die Wahl eines dezentralen Zuluftsystemes den Wärmebedarf für die Heizung erhöht (ca. 1200 kWh Primärenergiebedarf), aber der Standort des Gebäudes gibt keinen Zwang zum Verbau einer zentralen Abluft-Zuluftanlage. Die Schall und Luftbelastung ist vor Ort sehr gering, eher der Verbau von weiteren Kanalleitungen könnte eine Lärmbelastung erzeugen. Eine zentrale Zuluftanlage benötigt in diesem Entwurf ein ausgedehntes Kanalnetz von ca. 50m. Hierdurch würden weitere Anlagen Ventilationsanlagen notwendig. Bei einer KreuzstromWRG würde die Wärmepumpe zur Bereitstellung von Warmwasser entfallen, was dazu führt, dass man entweder eine weitere Wärmepumpe verbaut, die Warmwasser aus dem Eisspeicher bereitstellt, allerdings mit entsprechenden Temperaturhub. Ein eigener fossiler oder elektrischer Warmwassererzeuger wäre sinnvoller; Zentral oder mehrere Dezentrale. Alle Varianten zuzüglich der Lüftungstechnik und des größeren Kanalsnetzes wären mit höheren Investitionskosten verbunden. Die Wahl der dezentralen Zuluft erscheint somit für das Gebäude angemessen. Würden sich dagegen Heizlast für Warmwasser und Heizung wesentlich stärker durch eine zentrale Anlagentechnik angleichen, so würden sich andere Schwerpunkte ergeben, die sicherlich auch ein anderes Lüftungskonzept nach sich zögen.

Weiter für das Lüftungskonzept von Relevanz, wäre eine zusätzliche Kühlung im Sommer. Es wäre möglich im Flur (Raum 8) zusätzliche Zustromöffnungen im Boden anzuordnen, nach und nach würde kühle Luft in das Gebäude nach oben aus dem Untergeschoss angesaugt werden, während die warme Luft aus der Wohnküche nach oben hin entweicht. Da aber genaue Berechnungsmethoden gefehlt haben, soll diese Möglichkeit hier nur als Empfehlung genannt werden.

Der Eisspeicher als Energiespeicher und Energiequelle der Heizung verlangt eine Wärmepumpe als zentralen Wärmeerzeuger. Aufgrund des guten Dämmstandards ist es sinnvoll die Wärmepumpe monovalent zu betreiben, um weitere Investitionskosten für andere Wärmeerzeuger einzusparen, insbesondere beim Neubau. Da das Warmwasser komplett durch die Solarthermie und durch die Abluft-Wärmepumpen bereitgestellt wird, erübrigt sich eine Auslegung der Wärmepumpe zur Bereitstellung höherer Temperaturen. Aus diesem Grund kann die Wärmepumpe in ihrem Betrieb insgesamt effizienter arbeiten, da ein höherer Temperaturhub vermieden wird. Mit der Verwendung einer Wärmepumpe als primären Wärmeerzeuger wird es nötig, die maximale Vorlauftemperatur der Heizung zu bestimmen und ein Niedertemperatursystem zu wählen. Für einen optimalen Betrieb ist eine Vorlauftemperatur von 35°C ideal, da hierbei der Temperaturhub gering ist. Mit 35°C Vorlauftemperatur wird auch die Entscheidung für eine Trennung von Warmwasserbereitung und primären Wärmeerzeuger noch begründeter. Die Bereitstellung von Warmwasser im zwanzigsten Jahrhundert wurde durch die primäre Heizanlage abgedeckt, da die Vorlauftemperatur von Heizung und Warmwasser ähnlich hoch waren. Mit einem Niedertemperatursystem fallen dagegen die Ansprüche an den Wärmeerzeuger von Warmwasser und Heizung auseinander. Ein effizienter Betrieb ist durch eine Trennung einfacher sicher zu stellen. Für die Bestimmung der Wärmepumpe muss die Normheizlast des Gebäudes und die jedes Raumes bestimmt werden. Die Normaußentemperatur für die Stadt Sangerhausen beträgt -14°C. Bei Gebäuden mit hohem Dämmstandard

Kenndaten für die Normheizlastberechnung

Bauteil	Nr	U-Wert	ΔU_{WB}^{22}
Außenwand	1	0,176 W/m ² K	0,05 W/m ² K
Fundament	3	0,170 W/m ² K ²³	0,05 W/m ² K
Unterbau	5	0,169 W/m ² K	0,05 W/m ² K
Dach	6	0,175 W/m ² K	0,05 W/m ² K
Innenwand tragend	9	0,370 W/m ² K	0,05 W/m ² K
Innenwand n. tragend	10	0,520 W/m ² K	0,05 W/m ² K
Fenster	12	0,900 W/m ² K	0,05 W/m ² K
Pfosten-Riegel	13	0,900 W/m ² K	0,05 W/m ² K
Türen	14	2,000 W/m ² K	0,05 W/m ² K

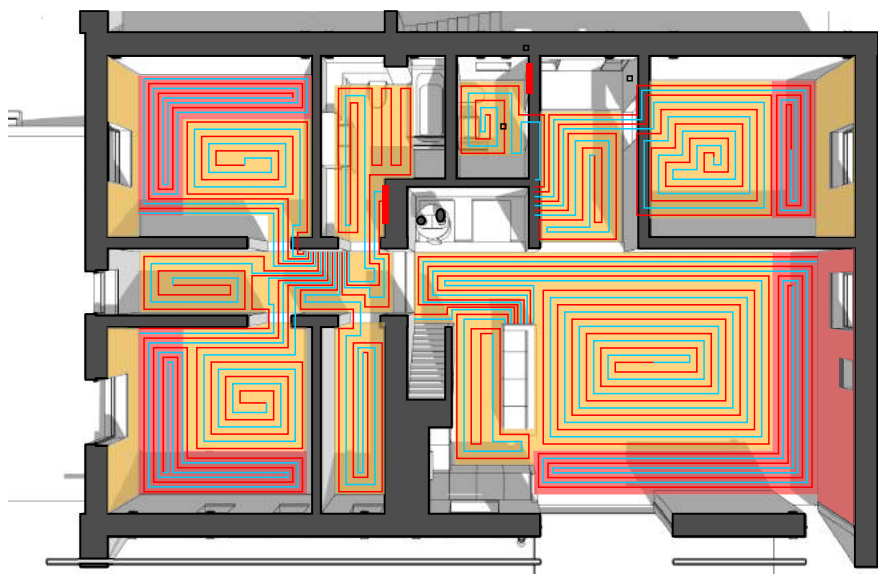
²²: Da es sich um Konstruktionen aus der BKI Datenbank handelt, können die Details als wärmebrückenarm gelten, daher gilt der Wärmebrückenzuschlag von 0,05 W/m²K.

²³: Bei der Berechnung des U-Wertes des Fundaments gilt die Bestimmung nach dem B-Wert, abhängig von Fläche, Umfang und Tiefe.

Aufteilung der Heizoberflächen und Heizkreise²⁴

■ Standardheizzone RA11

■ Zusatzheizzone RA 5,5



Kenndaten der Räume²⁵

Raum	ϑ_i	V_R	Q_T	Q_V	Q_{HL} ²⁶	A_{NRA11} ²⁷	$A_{NRA5,5}$
1	20 °C	35,004 m³/h	610 W	404 W	1015 W	15,81 m²	6,42 m²
2	24 °C	5,00 m³/h	421 W	571 W	1002 W	6,09 m²	0 m²
3	15 °C	2,72 m³/h	-82 W	26 W	-55 W	- m²	- m²
4	20 °C ²⁸	45,00 m³/h	182 W	520 W	703 W	2,62 m²	0 m²
5	15 °C	14,24 m³/h	207 W	140 W	347 W	6,26 m²	0 m²
6	20 °C	35,00 m³/h	738 W	404 W	1143 W	20,21 m²	3,17 m²
7	20 °C	35,00 m³/h	683 W	404 W	1088 W	16,74 m²	6,69 m²
8	15 °C	7,91 m³/h	-21 W	78 W	56 W	7,99 m²	0 m²
9	15 °C	4,23 m³/h	63 W	41 W	105 W	5,17 m²	0 m²
10	20 °C	129,87 m³/h	2847 W	1501 W	4348 W	33,72 m²	40,55 m²

²⁴: Die Darstellung der Heizkreise ist teilweise schematisch, Heizkreiszahl nach Berechnung.

²⁵: Die Kenndaten sind ϑ_i : Norm-Innentemperatur, V_R : maximales Volumen der Abluft, Q_T : Heizlast der Transmission, Q_V : Heizlast der Lüftung, Q_{HL} : Komplette Heizlast, A_N : Die geplante Heizoberfläche, V_{FM} : Die mittlere Oberflächentemperatur der Heizflächen.

²⁶: Es handelt sich um die unbereinigte Heizlast.

²⁷: In den Aufenthaltszonen ist ein Rohrabstand (RA) von 11cm und Oberflächentemperaturen von ca. 25°C bei einem Vorlauf von 35°C, in den Randzonen ist der RA 5,5cm bei einer Oberflächentemperatur von ca. 30°C und einem Vorlauf von 35°C. Wandheizflächen RA11.

²⁸: Da es sich nur um ein Gäste Bad handelt, wird die Standardtemperatur bei 20°C geregelt.

gleicht sich zwischen den Räumen die Temperatur relativ rasch an. Um die niedrige Vorlauftemperatur von 35°C zu halten wurde bis in den Bädern auf Flächenheizungen zurückgegriffen. Um dennoch relativ schnelle Reaktionszeiten zu erzielen wurde eine geringe Estrichüberdeckung von 45mm gewählt, in den Individualräumen könnte man auch auf Trockenestrich zurückgreifen, jedoch wird die relativ große Fläche von Boden und Wandheizung bereits für eine gewisse Schnelligkeit sorgen.

Aufgrund der drei verschiedenen Niveaus des Bodens mussten auch drei Verteiler angeordnet werden. Die Verlegung soll in Schneckenform verlaufen, da hier eine gleichmäßigere Wärmeverteilung zu erwarten ist. Einige Bereiche in den Individualräumen und in der Küche sind ausgespart, da hier der Bereich für Schränke und Geräte bereitgehalten wird. Durch die ausgedehnten Heizflächen und die Speicherefähigkeit des Bodens kann auf einen Heizungspufferspeicher verzichtet werden. Anders als bei der Abluftwärmepumpe wird bei der Auslegung der Sole/Wasserwärmepumpe für die Heizung eine wesentlich höhere Leistungsfähigkeit notwendig. Ausgewählt wurde die Vitocal 300-G mit zweistufiger Arbeitsweise, sehr leisem Betrieb und jeweils zwei eingebauten Umwälzpumpen für den Heizkreis und den Sole/Wasserkreis. Die Warmwasserwärmepumpe des 300l Speichers hat dagegen eine Nennleistung von maximal 1,63kW und einem maximalen Abluftvolumenstrom von 300m³/h. Zwar gilt bei der Nutzung einer Solarthermieanlage die Warmwasserspeichermenge zu erhöhen, aber hier wird die Energie zur Nutzung für den Eisspeicher verwendet, somit entfällt eine Vergrößerung des Speichers. Eine Überdimensionierung wäre nachteilig, angestrebt ist möglichst ein kontinuierlicher Verbrauch, sodass täglich der Speicher großteilig entleert wird.

Kennwerte der Heizung und des Warmwasserspeichers²⁹

Heizung

ϵ_{MAX}	7,64 / 10,36 kW
$Q_{\text{T Gebäude}}$	5,651 kW
$Q_{\text{V Gebäude}}$	2,051 kW
$Q_{\text{HL Gebäude}}$	7,703 kW

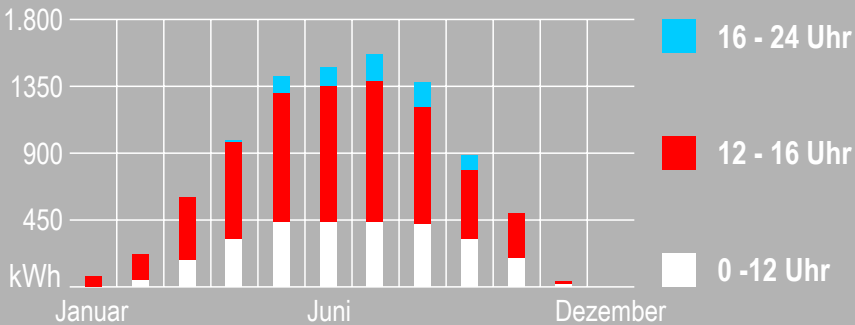
Warmwasserspeicher

ϵ_{MAX}	1,67 kW
COP	3,70
Speicher Größe	300 l
Werktags	1,18 kW
Ladedauer	11,23 h
Wochenende	1,43 kW
Ladedauer	9,13 h

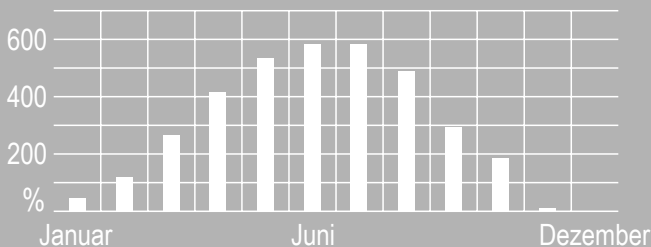
²⁹: Die Daten enthalten keine Solarthermiejährträge.

Im Abgleich von Energieangebot, Energiebedarf und Energieverlusten ergaben sich effektive 12qm Kollektorfläche. Ausgewählt wurde der Flachkollektor Synergie der Firma edg, insgesamt sollen 6 Stück auf dem Dachverbaut werden. Zur Bestimmung der solaren Gewinne auf dem Dach wurde mit Rücksicht auf sämtliche Verlustarten (mit Außentemperatur und Uhrzeit) überschlägig der Energieeintrag bestimmt. Es werden ca. 764,5 kWh/m² im Jahr geerntet, dies sind bei 12qm Kollektorfläche 9174,28kWh. Die Ladung des Solarspeichers erfolgt zeitlich abgestimmt mit dem Nutzungsprofil, dessen Spitzenlasten in der Früh und am Abend festgesetzt sind. Jeweils 3 der indach Solarpanele sind parallel geschaltet, wodurch der Druckverlust begrenzt wird. Die Zuleitungen der Panele entlaufen nah dem Lüftungskanal durch den Flur bis in den Technikraum, auch hier befindet sich die Schaltung zum Eisspeicher, dessen Leitungen unterhalb des Gebäudes geführt sind. Die Kühllast wurde für jeden Raum bestimmt. Die große Wohnküche verfügt über eine mechanische Markise, ansonsten gelten

Ø im Monat Einstrahlung auf 12m² Dachfläche³⁰



Ladefähigkeit der 300l 12-16 Uhr 45°C auf 65°C



³⁰: Die Daten der Gesamteinstrahlung und der Uhrzeiten entstammen Archiwizard, die Bestimmung der Verluste wurde überschlagen, das Berechnungsmodell ist in der Openoffice Datei nachzuvollziehen.

lediglich helle Vorhänge als Sonnenschutz der Räume. Die Kühlung soll komplett über das natural cooling Verfahren realisiert werden, hierfür bedarf es relativ großer Kühlflächen. Zur Kühlung soll die Flächenheizung eingesetzt werden. Die Wärmepumpe wird während des Kühlprozess nicht aktiv arbeiten, statt der aktiven Kühlung wird der Wärmeerzeuger durch einen Bypass umgangen. Der Wärmeträger durchfließt den Eisspeicher, kühlt sich ab und nimmt in den Wohnräumen die Wärme auf. Zur Kühlung wird eine Spitzenkühllast von 8,84kW erwartet, diese bewegt sich in der Nähe der Spitzenheizlast mit 7,7kW, für die erforderliche Leistungssteigerung ist eine höhere Temperaturdifferenz vorzusehen, dies sollte problemlos möglich sein, wenn der Eisspeicher ausreichend dimensioniert ist und das Wasser gegen Ende des Sommers noch unter 18°C verbleibt. Angestrebte Innentemperatur sind 26°C.

Verlegungsdichten des Flächenwärmeüberträgers

■ Rohrabstand 11

■ Rohrabstand 5,5



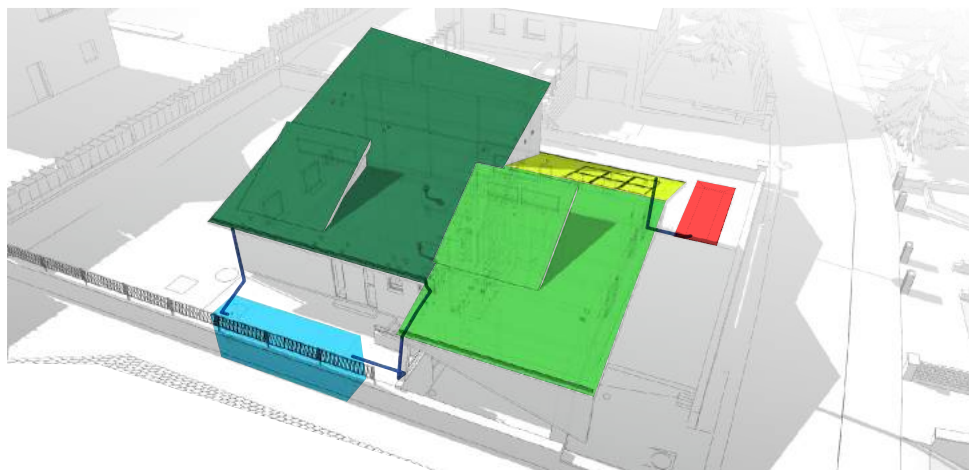
Kenndaten der Räume

Raum	Q_M	Q_B	Q_N	Q_R	Q_W	Q_F	Q_S	Q_{KL}
1	460,0	0,0	450,0	-1,33	129,00	9,69	112,00	1159,00 W
2	230,0	0,0	0,0	7,69	35,22	5,32	30,19	308,42 W
3	0,0	0,0	150,0	-3,51	6,15	0,00	0,00	152,64 W
4	115,0	24,0	0,0	18,51	16,07	2,01	0,00	175,59 W
5	0,0	0,0	0,0	-10,20	25,16	8,36	0,00	23,31 W
6	115,0	24,0	450,0	-5,00	103,00	13,60	478,00	1178,90 W
7	460,0	16,0	450,0	7,65	156,00	10,26	168,00	1267,55 W
8	115,0	56,0	0,0	-10,50	45,37	3,27	30,19	239,33 W
9	115,0	32,0	622,5	-0,43	28,57	1,52	14,04	813,20 W
10	460,0	96,0	1695,0	-12,50	334,00	133,00	819,00	3524,31 W

Die Region um Sangerhausen ist mit 400 bis maximal 500mm Niederschlag im Jahr eine der regenärmsten Regionen Deutschlands. Von daher wird der Regen insgesamt also bescheiden ausfallen, für die Auslegung gilt aber das größte 5 minütige Regenereignis aller 5 Jahre. Die nächstegelegene Stadt ist Halle/Saale mit einen Kennwert von 313l/(s ha). Die Bestimmung der Dachflächen erfolgt nach dessen Grundrissmaß. Ausgewählt sind halbrunde Rinnen mit Laubfangkorb im Fallrohr. Die Entwässerung auf dem Grundstück ist aufgrund des feuchten und lehmigen Bodens schwierig. Aus diesem Grund ist es auch zulässig, das Regenwasser in das öffentliche Kanalnetz einzuleiten, es handelt sich daher um ein Mischwassersystem. Dennoch sollte versucht werden, einen Großteil des anfallenden Regenwassers auf dem Grundstück versickern zu lassen. Eine Versickerung nah des Eisspeichers wird die Regeneration des Temperaturniveaus begünstigen. Die Rigole besteht aus Kunststoffmodulen mit einem maximalen

Aufteilung der Dachflächen

■ Fläche 1 ■ Fläche 2 ■ Fläche 3 ■ Fallrohre ■ Rigole ■ Mulde

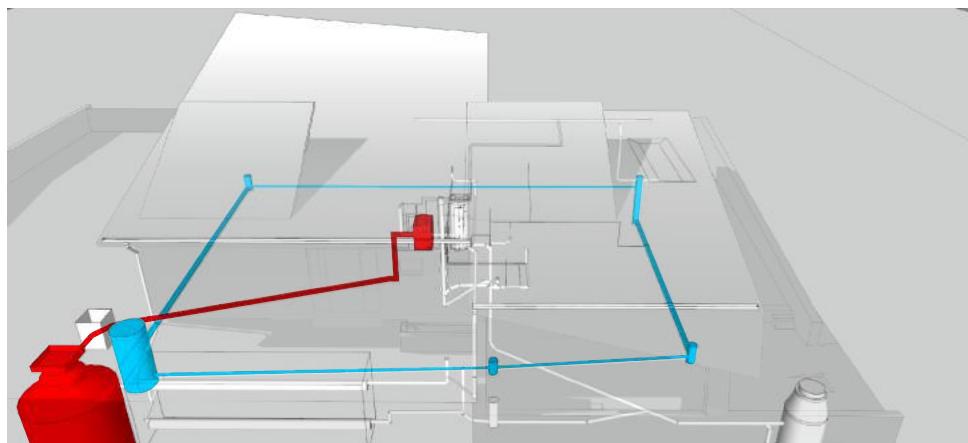


Kenndaten der Dachflächen

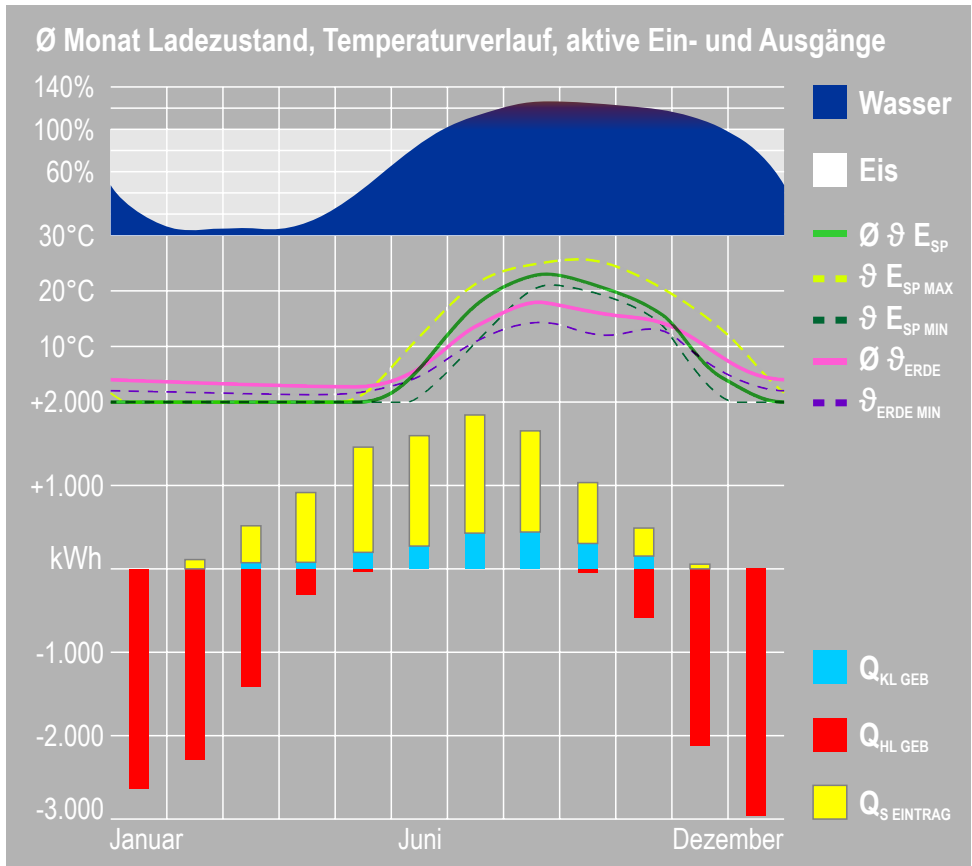
Fläche	A	V_R	L Rinne	Nennmaß	Fallrohre (d)
1	67,0 m ²	2,1 l/s	7,0 m	333 mm	1x 80 mm
2	38,0 m ²	1,19 l/s	10,0 m	280 mm	1x 80 mm
3	141,0 m ²	4,41 l/s	10,0 m	333 mm	2x 80 mm 1x 80 mm ³¹

³¹: Die Hälfte der Fläche 3 wird dem Abfluss der Fläche 1 zugeleitet, beide Abwässer sind bereits durch den Laubfangkorb gefiltert, daher keine Halbierung des Volumenstromes.

Stauvolumen von $12,35\text{m}^3$. Dies ist die Hälfte der maximal zu erwartende Wassermenge des 5 minütigen Ereignisses, das überschüssige Wasser wird mit Hilfe eines Überlaufes in das Kanalnetz abgeleitet. Ein Fassungsvermögen von 100% wäre ein baulicher Mehraufwand, der zudem nur aller 5 Jahre ausgenutzt werden würde. Die Rigole fügt sich nach dem im Entwurf bestimmten Erdumwurf. Ein leichtes Gefälle in Richtung Eisspeicher leitet das Wasser in dessen umgebendes Erdreich. Auf dem südgeneigten Dach ist der Wasserumfang begrenzt, eine Mulde ermöglicht das langsame Absickern in den Boden. Aufgrund der Hanglage mit 1,95m Höhendifferenz ist mit einer zusätzlichen Wasserbelastung auf der Südseite des Gebäudes zu rechnen. Um einen ausreichenden Abtransport des Wassers zu gewährleisten sind die Drainagen, die parallel zum Hang verlaufen doppelt ausgeführt, sodass ein zusätzliches Wasservolumen abtransportiert werden kann. Die genaue Bedrohung durch das Wasser kann nur ein Bodengutachten liefern, sollte die zusätzliche Drainage nicht genügen, so können unterhalb des Fundamentes weitere Maßnahmen ergriffen werden. Bei einer Gebäudegröße von unter 170qm wäre eine Kiesfilterschicht unter der Bodeplatte ausreichend, anstelle dieser Schicht oder zusätzlich können Drainleitungen zB. aus Formsteinen vorgesehen werden. Bei solch schlechter Bodenqualität wird meistens ein Sickerschacht vorgesehen, auch in diesem Falle wäre es eine weitere Option der Entwässerung. Ein Sickerschacht in Form einer Zisterne könnte zugleich als Eisspeicher verwendet werden, allerdings stellt diese Variante des Eisswasserspeichers hohe Anforderungen an die Dimensionierung und die Sicherstellung der Wasserqualität, Schwierigkeiten können durch die Wasserschutzzone entstehen.



Der Eisspeicher hat ein Wasservolumen von ca. 12m^3 und fasst damit 12.000 Liter. Seine Verlegetiefe ist von etwa 1,5 bis 4,5m unter der OK Gelände.³² Er liegt an der nordöstlichen Grundstücksgrenze und verfügt über einen Notüberlauf. Neben den aktiven Eingängen der Solarthermie und der Kühllasten, sowie den Ausgängen der Heizleistung erhält der Eisspeicher durch die Umweltwärme entsprechend seiner Temperatur weitere Gewinne oder Verluste. Wie im Diagramm zu erkennen, ist ab Juli der Phasenübergang komplett abgeschlossen. Ab diesem Moment beginnt sich das Wasser aufzuheizen. Natürlich stellt der Ladezustand nur einen theoretischen Zustand dar; in der Realität werden sich am äußeren Rand durchgängig flüssige Bereiche im Eisspeicher halten. Für eine flexiblere Entladung und



³²: Eine exakte Bestimmung bedarf einer Simulation, die Berechnung berücksichtigte die Eingänge aus der Solarthermie, die Eingänge aus der Kühlung des Gebäudes und den Verlust oder Gewinn an das Erdreich entsprechend der Erdspeichertemperatur zu umgebender Erdtemperatur an zwei Punkten in Tagesschritten, dennoch sind es Grobwerte. Für die Bestimmung der Größe wurden vergleichbare Beispiele bemüht.

Kühlung des Gebäudes könnte der Wärmetauscher des Eisspeichers in zwei Bereiche getrennt werden. Im Überschlag des Eisspeichers wurde diesem Umstand Rechnung getragen. So wird der obere Teil und der untere Teil des Eisspeichers differenziert. Im August erreicht der untere Teil des Eisspeichers seinen Temperaturzenit um 21°C . Zu diesem Zeitpunkt erreicht das Wärmeträgermedium eine Temperaturdifferenz von ca. 5°K , hiermit sollte noch eine Kühlung des Gebäudes durch die großzügigen Wandflächensysteme weiterhin möglich sein. Zum problemlosen Betrieb der Heizanlage müssen alle Komponenten aufeinander abgestimmt sein und auch aufeinander reagieren. Die Verknüpfung und Steuerung der Anlage erfolgt über ein Heizzentrum, in Form eines Computers, der über Temperatursensoren an allen entscheidenden Punkten Zugriff hat: Außentemperatur, Vorlauf, Rücklauf für Solarthermie, Warmwasserspeicher und Eisspeicherwärmepumpe, zudem auch an der Abuftwärmepumpe, im Eisspeicher und in den einzelnen Räumen. Aktuelle Systeme verfügen über Apps für Smartphones, die zur Steuerung aller Systemkomponenten bequem genutzt werden können.

Mit der Nutzung der Wärmepumpe, die mit Strom betrieben wird, bietet sich an, die übrige Dachfläche von ca. 4qm für Photovoltaik nutzbar zu machen, jedoch handelt es sich nur um eine begrenzte Dachfläche. An dieser Stelle müsste abgewogen werden, ob die Ausstattung der Elektrotechnik, womöglich auch eine Anschaffung entsprechender Batterien, bei einer so geringen Fläche sinnvoll ist, vor allem da nur ein winziger Bruchteil der notwendigen Strommenge bereitgestellt werden würde. Deshalb wurde für diesen Entwurf auf Photovoltaik verzichtet.

Die Zuführung des Trinkwassers erfolgt unmittelbar von Seiten des Straßenbereiches, die Einführung erfolgt gemeinsam mit dem Fernmeldeanschluss und den Starkstromanschluss im Untergeschoss. Es finden sich in diesem Raum Wasserzähler, Filter und ein Waschbecken mit Kaltwasser; zudem wird von hier aus eine Leitung nach außen geführt, die an der südlichen Fassade mit einem außenliegenden Wasserhahn endet. In einem kleinen Schacht erfolgt zusammen mit einem Abwasserrohr die Zuleitung des Trinkwassers in den höhergelegenen Gebäudebereich nah des Technikraumes. Wie im Hydraulikschema dargestellt erfolgen nun Teilungen der Leitung. Während ein Abzweig in den Warmwasserspeicher führt, erfolgt die Zuleitung zu Küche, Bad und Gäste WC. Schließlich folgt die automatische Wassernachspeisung als letzter Punkt des Kalttrinkwassers. Die Positionierung zielt darauf Standwasser zu vermeiden. Entsprechend der aktuellen Regelungen handelt sich somit nicht um eine reversible Verbindung. Die Zuleitung zu den Warmwasserzapfstellen erfolgt unmittelbar mit den Kalttrinkwasserleitungen. Aufgrund der fehlenden Unterkellerung unterhalb der Wohnküche wurde auf eine Wasserzuleitung zur Kücheninsel verzichtet (Abwasser). Für die Küche wurde aufgrund der räumlichen Situation eine Verlegung beider Leitungen unterhalb des Estrichs notwendig. Diese Art der Verlegung erfolgt in Kompaktdämmhülsen. Die Verlegung der Zuleitungen der Bäder erfolgt mit einer Ausnahme in den jeweiligen Vorwänden beider Räume, hierdurch ist ein schneller Zugriff ermöglicht, zudem ergibt sich hieraus ein sehr kurzer Leitungsweg von 3m, wodurch auf eine Zirkulationsleitung verzichtet werden konnte. Beide Zuleitungen in die Bäder wurden getrennt, um eine sperate Absperrung durchführen zu können. Die Verwendung der Kompaktdämmhülsen sind in dem Falle des Entwurfes eine Ausnahmelösung, jedoch werden sie in der Praxis immer häufiger verlegt, allerdings erscheint es riskant, entsprechende Leitungen unter dem Estrich irreversibel zu verlegen. Im Falle von Schäden bleibt nur die Öffnung des Bodens.

Die Abwasserleitungen des Gebäudes sammeln sich im Untergeschoss bevor sie in die Kanalisation abgeleitet werden. Aufgrund des Blindbodens unter einem Teil des Bades, der aus den Niveauversprung resultiert, gestaltete sich die Verlegung der Abwasserrohre so, dass trotz der Teilunterkellerung keine Abwasserleitungen unterhalb des Fundamentes verlaufen müssen. In der Steigleitung des Bades befindet sich ein Be und Entlüfter; der über das Dach nach Außengeführt wird. Die Küche verfügt über einen Entlüfter innerhalb des Wohnraumes, um den Abtransport des Schmutzwassers sicher zu stellen. Nur für das Untergeschoss ist auf das Rückstauniveau zu reagieren.

Die Stromzuführung und die Fernmeldezuleitung wird im Untergeschoss eingeführt, dort befindet sich auch die Potentialausgleichsschiene. Auf den Elektrohausanschluss folgt der Elektrozählerschrank, von hieraus geht eine Leitung für die Kellerbeleuchtung ab, eine weitere führt zum Unterverteilerkasten im Windfang, der sämtliche Stromkreise des Gebäudes regelt. An die Fernmeldezuleitung folgt der APL hieran eine oder mehrere TAE Boxen und der Router sowie das Patchpanel, in dem alle Räume durch RJ-45 Anschlüsse in entsprechenden LAN Network Wall Boxes integriert sind, Telefone und Computer, gegebenenfalls auch WLAN werden im entsprechenden Raum aufgestellt, aber im Untergeschoss gebündelt, wodurch sich das Aufkommen an Netzwerkinstallation im Wohnraum selbst reduziert. Die Anordnung der Lampen und entsprechend der Schalter reagiert auf die Lichtsituation am Tag, um die Zuschaltung des Lichts nur auf notwendige Teilbereiche zu reduzieren (bei Daylightfactor <2%). In der räumlichen Darstellung sind Elektroinstallation, Blitzschutz und Fundamenterder zu sehen.

