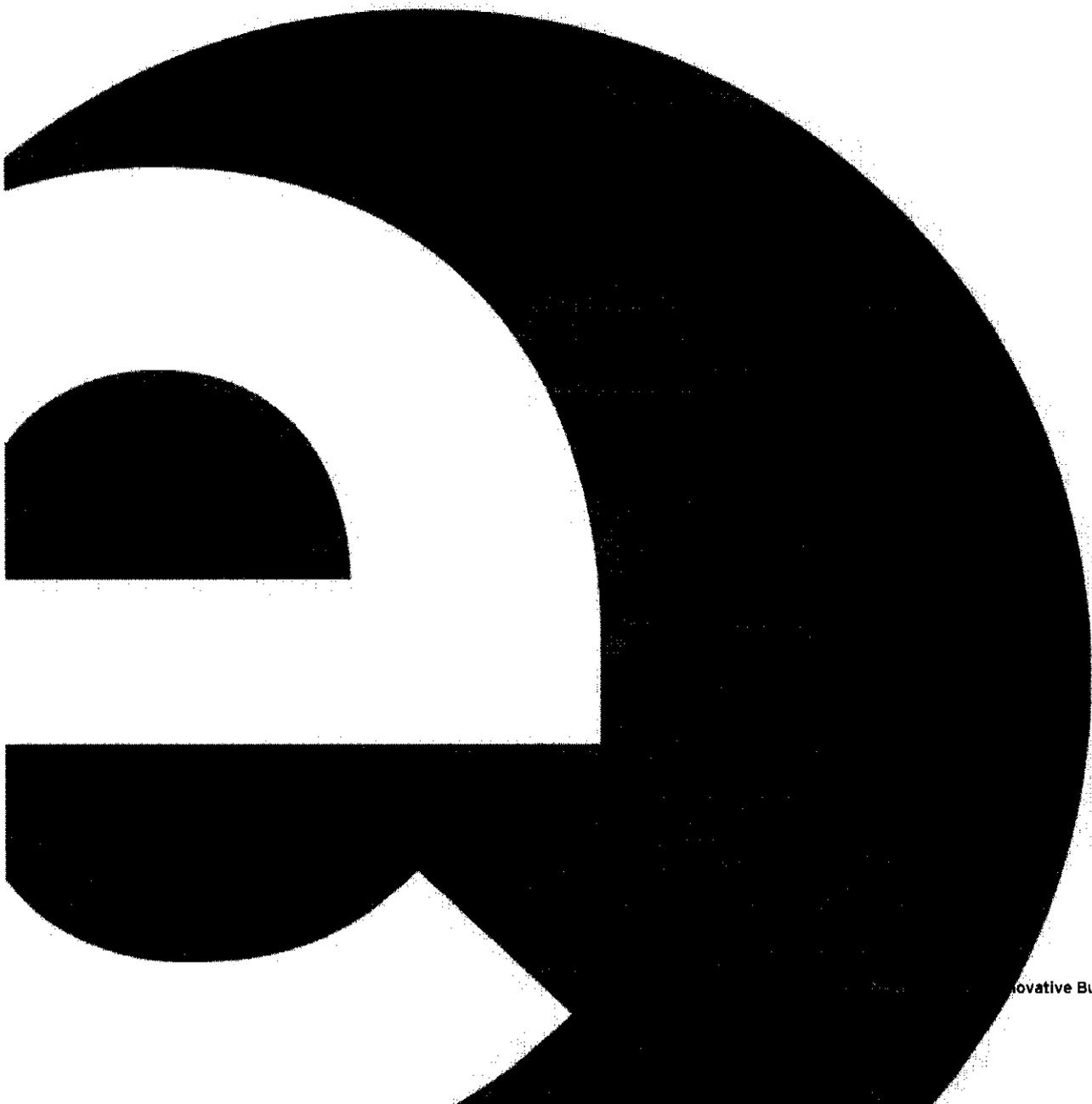


Neubau/Zubau „Integrierte Leitstelle ILS“, Erding (D)

Variantenanalyse – Bauphysik/Energieversorgung (Heizung/Kühlung)

Dornbirn, 10.Juni 2007, Ing. Martin Gludovatz



Inhalt	Seite
1. Allgemein	3
2. Ziele der Variantenanalyse	4
3. Gebäudehülle - Bauphysik	5
3.1 Variantenprüfung der Gebäudehüllenqualität	5
3.2 Ergebnisse	5
4. Variantenprüfung - Energieerzeugungsanlagen	7
4.1 Variante 1	7
4.2 Variante 2	8
4.3 Variante 3	9
5. Raumseitige Anlagentechnik	10
5.1 Lüftungsanlage	10
5.2 Wasserführende Raumsysteme	10
6. Wirtschaftlichkeitsprüfung – Varianten der Energieversorgung	12
6.1 Herstellkostenrechnung	12
6.2 Betriebskostenvergleich	13
6.3 Wirtschaftlichkeitsvergleich	14
7. Empfehlung	15

1. Allgemein

Der Auftraggeber plant den Neubau einer „integrierten Leitstelle“ an das bestehende Gebäude. Durch die notwendigen Leitstellentechnik ergeben sich reine Geräteabwärmeleistungen von ca. 14-15kW, welche ganzjährig anfällt.

Für den Neubau soll die Behaglichkeitsnorm hinsichtlich den Raumtemperaturen der Nutzräume und gleichzeitig die maximalen Raumtemperaturen in den Leitstellen-Technikräumen eingehalten werden.

Für die jeweiligen Räume sind nachstehende Raumtemperaturen als Basis fixiert:

Heizperiode

- Duschen/Umkleiden +24 °C
- Gänge/Treppenhäuser +15-18 °C
- Leitstelle +20 °C
- Büros +20 °C
- Leitstellentechnikraum +26 °C
- sonstige Technikräume +18-20 °C

Kühlperioden (bei Außentemperaturen von +32 °C)

- Duschen/Umkleiden +26 °C
- Gänge/Treppenhäuser +26 °C
- Leitstelle +26 °C
- Büros +26 °C
- Leitstellentechnikraum +26 °C
- sonstige Technikräume +25 °C

2. Ziele der Variantenanalyse

Ziel der Variantenanalysen ist es, ein Energieversorgungskonzept der Zukunft in Kombination mit bauphysikalischen Möglichkeiten hinsichtlich der Gebäudehülle zu finden, welches nachstehende Primärfaktoren in sich vereint:

- ökologischer Einsatz von Brennstoffen durch geeignete bauphysikalische Maßnahmen bei der Gebäudehülle
- Nutzung alternativer Primärenergieträger
- geringe Investitionskosten
- geringe Wartungs- und Instandhaltungskosten
- sicherer, störungsfreier Betrieb
- einfache Bedienung
- geringe, dauerhafte Betriebskosten
- geringe bauliche Umbaumaßnahmen
- rasche Realisierbarkeit

3. Gebäudehülle - Bauphysik

Aufgrund der hohen geräteseitigen Abwärmelast ist der Überprüfung der Gebäudehüllenqualität größtes Augenmerk zu schenken, da bei geringem Heizwärmebedarf die anfallende Abwärme durch geeignete technische Maßnahmen optimal genutzt werden kann.

3.1 Variantenprüfung der Gebäudehüllenqualität

Zur Darstellung der Möglichkeiten hinsichtlich einer optimalen Gebäudehülle, wurden 3 Qualitätsstufen mittels der Heizwärmebedarfsberechnung analysiert.

Varlante 1 – „Standard“

Dabei wurden die U-Werte der Bautechnikverordnung und der architektonische Entwurf zugrunde gelegt.

Varlante 2 – „Niedrigenergiehausstandard“

Dabei wurden die U-Werte der Bautechnikverordnung halbiert und der architektonische Entwurf zugrunde gelegt.

Varlante 3 – „Passivhausstandard“

Dabei wurden die U-Werte unter Berücksichtigung des architektonischen Entwurfs durch mehrere Berechnungsstufen soweit optimiert um einen Heizwärmebedarf $<15\text{kWh/m}^2\text{a}$ (BGF) zu erhalten.

3.2 Ergebnisse

Aus dem nachstehenden Beiblatt 3.2a ist ersichtlich, dass sich bei Niedrigenergiehausstandard der Heizwärmebedarf um ca. 22% und bei Passivhausstandard um über 54% rein durch bauliche Maßnahmen reduzieren lässt.

Zu Erreichung der Passivhausstandards sind jedoch zwingend nachstehende Punkte gemäß Beiblatt 3.2b zu erfüllen:

- Luftdichte Gebäudehülle, geprüft mittels „Blower-Door-Test“ auf $nL < 0,80$
- Thermische Trennung des Treppenhauses ins UG und somit Trennung der beheizten und unbeheizten Räume
- 3-Scheiben-Verglasungen bei sämtlichen Fenstern (Passivhausfenster)
- U-Werte der massiven Bauteile zwischen $0,10\text{-}0,15\text{ W/m}^2\text{K}$

Durch die bereits beim architektonischen Entwurf berücksichtigten geringen Verglasungsanteile ergeben sich zwar relativ geringe solare Gewinne, jedoch ist aufgrund der hohen internen Abwärmelasten, dies ein optimaler Kompromiss zu Reduktion der Kühllasten. Gleichzeitig ergeben sich durch die hoch gedämmte Gebäudehülle und geringen Verglasungsanteile große Vorteile hinsichtlich der Kühllastspitzen.

Zur nochmaligen Glättung der Lastspitzenkurven im Heiz- und Kühlvoll sollten die Wandkonstruktionen in Massivbauweise (Stahlbeton) hergestellt werden und innen wenn möglich nicht mittels Verbauten (Trockenbau, Vorsatzschalen) in Ihrer Funktion als passiver Energiespeicher (Speichermasse) behindert werden.

Ebenfalls aus dem Beiblatt 3.2a ist ersichtlich, dass bei Passivhausausführung sich nicht nur der Heizwärmebedarf reduziert, sondern auch eine extreme Reduktion der Restwärmebedarfsdeckung durch ein Heizsystem um über 85% reduziert. Hauptgrund dafür sind die bei der Berechnung eingeflossenen Abwärmegewinne der Innenräume, welche sich bei Passivhausstandard massiv auswirken.

Aus dem Beiblatt 3.2c sind die statischen Heiz- und Kühllasten auf Basis einer Passivhausausführung dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der Abwärme-OUTPUT des Neubaus wesentlich größer als der benötigte Heizlast-INPUT ist. Somit ist in weiterer Folge der technischen Anlagenprojektierung größtes Augenmerk zu schenken um die vorhandenen Energieströme optimal zu nutzen.

4. Variantenprüfung - Energieerzeugungsanlagen

4.1 Variante 1

Grundwassernutzung für Heizen/Kühlen

Kurzbeschreibung

Zur Bereitstellung der erforderlichen Kühlenergie dient ein neu errichteter Grundwasserbrunnen. Dabei wird im ganzjährigen reinen Umwälzbetrieb die erforderliche Kühlwassermenge mit einer maximalen Temperaturspreizung von 5K zu Verfügung gestellt. Im Heizbetrieb wird eine Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage zugeschaltet, welche den Rücklauf der Kühlkreislaufes als Primärenergieträger nutzt. Mittels einer Boiler-Vorrangschaltung und einem kombinierten Heizungs- und BWW-Pufferspeichers ist die Warmwasserbereitung für den Neubau ebenfalls durch die Wärmepumpenanlage sichergestellt.

Vorteile

- passives Kühlen ohne Aggregate nur mittels Umwälzpumpen ganzjährig möglich
- Nutzung eines alternativen Energieträgers
- hohe Leistungszahl (Wirkungsgrad) der Wärmepumpe durch Grundwassernutzung
- relativ einfache Anlagentechnik (bereits jahrelang erprobt)

Nachteile

- hohe Investitionskosten durch Brunnenbohrung
- Stromkosten der Bohrlochpumpe bei eventuell tiefen Brunnenanlagen
- erforderliches, wasserrechtliches Bewilligungsverfahren

Hinweise

Im Zuge dieser Vorprüfung wurden Information hinsichtlich der Grundwassernutzung in dem geplanten Baugebiet eingeholt. Dabei wurde mehrfach festgestellt, das das benachbarte Klinikum ebenfalls eine Geothermieanlage besitzt, welche auf Grundwasser basiert. Im Betrieb dieser Anlage sind Schwierigkeiten mit dem notwendigen Wasserdurchfluss entstanden, welche eine Nachrüstung von technischen Ersatzanlagen notwendig gemacht hat.

Eine eindeutige Entscheidung für die langjährige Nutzbarkeit einer solchen Anlage, kann nur nach durchgeführtem Pumpversuch und einer Wasseranalyse getroffen werden. Dabei ist vorab ein Prüfkapital seitens des Bauherrn in die Hand zu nehmen, welches jedoch als Risikokapital zu titulieren ist (bei negativem Pumpversuchsergebnis, ist diese Investition nicht mehr rückführbar)

Anlagenschema siehe Beiblatt 4.1a !

4.2 Variante 2 Erdwärme/Erdkühlenutzung mittels Wärmepumpenanlage

Kurzbeschreibung

Erdwärme bzw. Erdkühle wird mittels Erdsonden als Kühl- und Heizenergieträger in Kombination mit einer Wärmepumpenanlage genutzt. Dabei ergibt sich je nach Jahreszeit und anstehender Kühlleistung die Möglichkeit einer aktiven Kühlung über die Wärmepumpe bzw. der passiven Kühlung über reine Abfuhr der anfallenden Abwärme an das Erdreich ohne Wärmepumpe.

Im Heizfall wird über die Erdsonden dem Erdreich Wärmeenergie mit einer Temperaturspreizung von 3-5K entzogen und mittels der Wärmepumpe (Stromanteil) auf ein nutzbares Temperaturniveau (30-40°C) gebracht. Ebenfalls über diese Systemschaltung wird über einen Kombispeicher (Warmwasser+Pufferspeicher) die Warmwasserbereitung sichergestellt.

Vorteile

- passives und aktives Kühlen möglich
- Nutzung eines alternativen Energieträgers
- relativ einfache Anlagentechnik (Erdsonden bereits jahrelang erprobt)

Nachteile

- hohe Investitionskosten durch Erdsondenbohrungen
- Stromkosten der Umwälzpumpe im Sondenkreislauf durch den Höhenunterschied
- erforderliches Bewilligungsverfahren
- komplexere Regelungstechnik für Umschaltmodi nötig

Anlagenschema siehe Beiblatt 4.2a -4.2c !

4.3 Variante 3 Wärmerückgewinnungs-Wärmepumpe mit Lufttauscher

Kurzbeschreibung

Die hauptsächlich aus dem Leitstellen-Technikraum anfallende Abwärmeenergie wird mittels einer wassergeführten Wärmetauschers in einem Umluftkühlgerät (im Leitstellentechnikraum) für die Beheizung der Nutzräume genutzt. Dabei wird der Vorlauf mit einer Vorlauftemperatur von ca. +30 °C direkt in einen Pufferspeicher geführt, von wo aus die jeweiligen Regelgruppen die notwendige Wärmeenergie holen.

Durch diesen Wärmeaustausch wird automatisch die Rücklauftemperatur der WRG-Einheit reduziert und kühlt somit den Leitstellen-Technikraum im Umluftbetrieb. Sollte die Rücklauftemperatur für eine Kühlung nicht ausreichend sein, schaltet sich die Sole-Wasser-Wärmepumpe dazu und kühlt den Vorlauf auf max. +18 °C herunter – somit ist jederzeit der Kühlbetrieb sichergestellt.

Die anfallende Wärmeenergie im aktiven Kühlbetrieb der Wärmepumpe wird mittels eines Sole-Rückkühlers an die Außenluft abgeführt. Wird Wärmeenergie eines höheren Temperaturniveaus benötigt wird über eine Umschaltung eine Vorrangschaltung angesteuert, welche den erhitzten Wärmestrom des Solekreislaufes mit einer Vorlauftemperatur von ca. 48 °C umleitet. Dieser Wärmestrom eignet sich bei aktivem Kühlbetrieb hervorragend für die Warmwasserbereitung des Neubaus und des Bestandes. Zusätzlich zum aktiven Kühlbetrieb mittels Wärmepumpe ist zur Reduktion des Stromverbrauches einer passive Nachtauskühlung bzw. eine feie Kühloption durch Umschaltung möglich. Diese wird vorrangig bei geeigneten Außentemperaturen in der Nacht bzw. über Tag (ca. 18-20 °C) genutzt.

Vorteile

- aktive Nutzung der anfallenden Abwärme
- kein Bewilligungsverfahren
- aktives und passives Kühlen möglich
- geringe Investitionskosten
- ganzjährige Warmwasserbereitung mittels Abwärmenutzung für Bestand und Neubau möglich

Nachteile

- komplexe Anlagenhydraulik
- Rückkühleraufstellung
- nur Raumsysteme mit geringen Temperaturspreizungen einsetzbar
- komplexere Regelungstechnik für Umschaltmodi nötig

Anlagenschema siehe Beiblatt 4.3a I

5. Raumseltige Anlagentechnik

Nachstehendes Anlagenkonzept hinsichtlich der Raumsysteme für Heizen und Kühlen beziehen sich auf die erforderlichen Heiz- und Kühlleistungen des geplanten Neubaus in Passivhausbauweise.

Die Auswirkungen dieser Gebäudehüllenqualität zeigen sich hier am deutlichsten, da für die geringe Restwärmebedarfsdeckung und durch die Charakteristik des „Passivhaus“ von hohen Oberflächentemperaturen, Systeme mit geringen Vorlauftemperaturen und Temperaturspreizungen eingesetzt werden können. In Kombination mit den drei Varianten der Energieversorgungsanlagen ergibt sich somit ein hocheffizientes Gesamtkonzept mit höchster Wirtschaftlichkeit bei gleichzeitig höchster Behaglichkeit.

5.1 Lüftungsanlage

Luft als Energieträger ist im Vergleich zu flüssigen Trägermedien mit einem schlechten Energiebereitstellungsgrad behaftet. Aus diesem Grund gilt es die erforderlichen Frischluftvolumenströme so gering als möglich zu halten.

Zur Deckung des hygienischen Bedarfs sind die erforderlichen Zu- und Abluftvolumenströme auf die in den jeweiligen Räumen anwesenden Personen projiziert. Durch die Passivhausbauweise, ist jedoch in Räumen mit geringen Leistungsanforderungen eine gleichzeitige Deckung des Heiz- oder Kühlbedarfs möglich.

In Räumen mit höheren Kühl- bzw. Heizleistungen werden zusätzlich, wasserführenden Systeme zur Leistungsabdeckung vorgesehen.

Zur Reduktion des Nachheizbedarfs der Frischluft in den Heizperioden wird einerseits ein Soleerdregister im reinen Umwälzbetrieb vorgesehen, welche die Frischluft um ca. 5K vorwärmt. Gleichzeitig ist die Absaugung der erwärmten Luft in den Technikräumen (nur Hygieneluftwechsel) und damit der ungleichen Volumstrombilanz zwischen Zu- und Abluft ein Teil der optimierten Wärmerückgewinnung. Zusätzlich wird ein Rotationstauscher mit einem Wirkungsgrad von 75-80% vorgesehen um den Restwärmebedarf so gering wie möglich zu halten.

Im Sommerbetrieb wird die Anlage mittels Abluftbypass betrieben. Gleichzeitig übernimmt das Soleerdregister einer Vorkühlung der warmen Außenluft und senkt dadurch den Nachkühlbedarf.

5.2 Wasserführende Raumsysteme

Aus Behaglichkeitsgründen wird in den Sozialräumen (Duschen, Umkleiden) zusätzlich zur Lüftung eine Fußbodenheizung vorgesehen, welche die Raumtemperaturen von +24°C sicherstellt. Aufgrund des sehr geringen Leistungsbedarfs sind hier maximale Vorlauftemperaturen von <30°C nötig, welche direkt über die Abwärme des Leitstellen-Technikraumes bezogen werden kann.

Im Bereich der eigentlichen Leitstelle im OG, ist eine Kühldecke mittels gelochter Gipskartondeckenkonstruktion vorgesehen. In Kombination mit den Massivwänden ergibt sich hier ein Optimum an Behaglichkeit durch Strahlungswärme bzw. Strahlungskälte ohne große Luftbewegungen.

Beide Systeme - Fußbodenheizung und Kühldecke - benötigen geringe Temperaturen bzw. Temperaturspreizungen und eignen sich aus diesem Grund hervorragend in Kombination mit der Energieversorgungsstrategie.

Schematische Darstellungen siehe Beiblatt 5.1a-5.1d !

6. Wirtschaftlichkeitsprüfung – Varianten der Energieversorgung

6.1 Herstellkostenrechnung

Nachstehende Vergleichsrechnung dient als Grobabschätzung der zu berücksichtigenden Herstellkosten der unterschiedlichen Anlagensysteme und ist bei weiterführender Projektierung auf alle Fälle zu detaillieren bzw. zu überarbeiten:

Pos.	Beschreibung	Variante 1	Variante 2	Variante 3
		Grundwasser	Erdsonden	Solewärmepumpe
1	Grundwasserbrunnen komplett (inkl. Pumpe)	12.600,00	0,00	0,00
2	Erdsondenanlage komplett	0,00	15.200,00	0,00
3	Rückkühleranlage komplett	0,00	0,00	2.700,00
4	Wärmepumpenanlage 8kW komplett	6.400,00	0,00	0,00
5	Wärmepumpenanlage 20kW komplett	0,00	8.600,00	8.600,00
6	Anlagenhydraulik komplett (Verrohrung, Tauscher,...)	30.000,00	34.000,00	39.000,00
7	Regelungstechnik komplett	25.000,00	30.000,00	34.000,00
8	Lüftungsanlagen - EG/OG	16.600,00	16.600,00	16.600,00
9	Lüftungsanlage - Leitstellentechnikraum UG	1.600,00	1.600,00	12.600,00
10	Kühldecke komplett (OG)	15.200,00	15.200,00	15.200,00
11	Fussbodenheizung (EG) komplett	2.091,00	2.091,00	2.091,00
12	Gebälsekonvektoren UG komplett	7.600,00	7.600,00	0,00
13	Soleerregister ca. 290m ² komplett	4.200,00	4.200,00	4.200,00
Gesamtsummen netto €			135.091,00	134.991,00

Es ist ersichtlich, dass trotz der relativ teuren Brunnenherstellung die Variante 1 mit einer Grundwassernutzungsanlage, diese mit den geringsten Investitionskosten beaufschlagt werden kann.

6.2 Betriebskostenvergleich

Nachstehende Betriebskostenvorschau bezieht sich auf folgende Grundlagen und ist bei weiterer Projektierung mit den anlagenspezifischen Kenngrößen nochmals zu überarbeiten:

- ganzjährige Kühlung des Leitstellentechnikraumes (8.760 h/a)
- freie Kühlung bei ca. 4.360 h/a (Nachstunden, Wettersunden, etc.)
- täglicher Warmwasserbedarf von ca. 300 Litern mit 45 °C
- Leistungszahlen der unterschiedlichen Wärmepumpenarten als Mittelwert
- Annahmen der Umwälzpumpenleistungen

Pos.	Beschreibung	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Heizung / Brauchwarmwasser					
1	Heizenergiebedarf - Raumheizung/Lüftung	kWh/a	13.000,00	13.000,00	13.000,00
2	Heizenergiebedarf - Warmwasserbereitung	kWh/a	4.471,00	4.471,00	4.471,00
3	abzgl. direkte Abwärmenutzung	kWh/a	0,00	0,00	13.000,00
4	Zwischensumme Heizwärmebedarf	kWh/a	17.471,00	17.471,00	4.471,00
5	Wirkungsgrad / Leistungszahl (Durchschnitt)	Wert	5,00	3,80	3,80
	Summe Strombedarf für Heizung / Jahr	kWh/a	3.494,20	4.597,63	1.176,58
Kühlung					
6	Kühlbedarf ganzjährig (interne Abwärme)	kWh/a	131.400,00	131.400,00	131.400,00
7	Kühlbedarf - Sommerbetrieb (externe Lasten)	kWh/a	5.625,00	5.625,00	5.625,00
8	Zwischensumme	kWh/a	137.025,00	137.025,00	137.025,00
9	benötigte Stromleistung durch Umwälzungspumpen	kWh/a	21.900,00	26.280,00	17.520,00
10	benötigte Stromleistung durch Rückkühler	kWh/a	0,00	0,00	10.512,00
11	benötigte Stromleistung durch Wärmepumpe-aktiv	kWh/a	0,00	18.050,00	12.020,00
	Summe Strombedarf für Kühlung	kWh/a	21.900,00	44.330,00	40.052,00
12	abzgl. rückgewonnene Wärmeenergie durch Kühlung	kWh/a	0,00	7.060,00	12.020,00
13	Gesamtsumme Stromverbrauch	kWh	25.394,20	41.867,63	29.208,58

Jährliche Betriebskosten (netto) bei Strompreis 0,14 €/kWh			5.861,47	4.089,20
---	--	--	-----------------	-----------------

Es ist ersichtlich, dass die Grundwassernutzung durch den Entfall eines Maschineneinsatzes bei der Kühlung (Wärmepumpe) die niedrigsten Betriebskosten pro Jahr verursacht. Die Variante 3, hat durch die anlagenspezifische Abwärmenutzung im aktiven Kühlbetrieb zur Warmwasserbereitung nur unwesentlich höhere Betriebskosten aufzuweisen.

6.3 Wirtschaftlichkeitsvergleich

Nachstehende Wirtschaftlichkeitsrechnung basiert auf dem Vergleich mit einer Standardanlagentechnik für Heizen und Kühlen mit folgender Anlagentechnik:

- Gasthermenanlage inkl. Kamin und Regelung für ca. 10kW
- Luftgekühlte Kältemaschine mit ca. 20kW
- Warmwasserbereitung mittels Gasthermenanlage oder E-Patrone

Bei der Kostenschätzung der Standardanlage wurden raumseitig dieselben Qualitäten berücksichtigt um eine Vergleichbarkeit zu erhalten !

Pos.	Beschreibung	Einh.	Standard	Variante 1	Variante 2	Variante 4
1	Herstellkosten netto	€	105.500,00	121.291,00	135.091,00	134.991,00
2	Effektive Herstellkosten netto	€	105.500,00	121.291,00	135.091,00	134.991,00
3	jährliche Betriebskosten	€/a	8.585,00	3.555,00	5.861,00	4.089,00
4	Mehrinvestition zur Vergleichsanlage	€	Vergleichsanl.	15.791,00	29.591,00	29.491,00
5	jährliche Betriebskosteneinsparung	€/a	Vergleichsanl.	5.030,00	2.724,00	4.496,00
statische Amortisation in Jahren			Vergleichsanl.		10,86	6,56

Es ist ersichtlich, dass auch hier die Variante der „Grundwassernutzung“ mit einer raschen Amortisation aufweisen kann. Variante 3 weist zwar eine deutlich Erhöhung der statischen Amortisation auf, jedoch immer noch in einem wirtschaftlichen Bereich im Vergleich zu einer Standardanlage.

7. Empfehlung

Aus den vorangegangenen Analysen sind die enormen Vorteile der Ausführung eines Gebäudes mit „passiver“ Gebäudehüllenqualität ersichtlich. Zusätzlich ermöglicht dieser Standard den Einsatz von Niedrigsttemperatursystemen und Abwärmenutzungsanlagen aufgrund des sehr geringen Restheizwärmebedarfs.

Unabhängig von der Entscheidung der Anlagentechnik des Bauherrn, sollte auf jeden Fall der Passivhausstandard realisiert werden – auch unter Berücksichtigung der hohen internen Abwärmelasten und der idealen Rückführbarkeit dieser Energieströme.

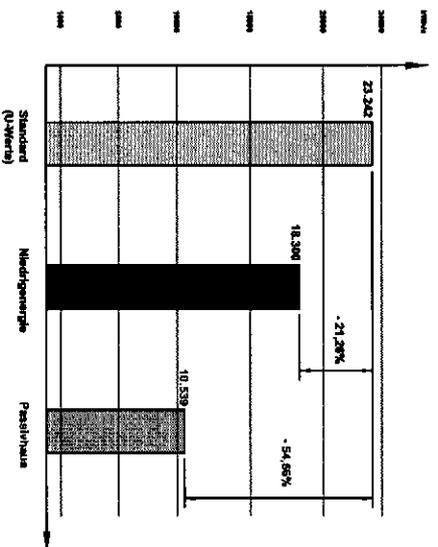
Hinsichtlich der Energieversorgungsanlage, ist der Variante „Grundwassernutzung“ der Vorzug zu geben. Diese bietet eine sichere, einfache Art der Heiz- und Kühlenergiebereitstellung.

Aufgrund der bereits erwähnten Problematik, ist jedoch vorab ein Pumpversuch und eine Wasseranalyse durchzuführen, um definitiv eine Entscheidung über die Machbarkeit treffen zu können.

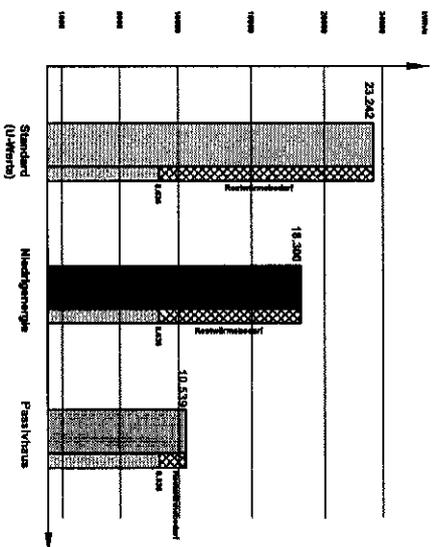
Sollte die Grundwassernutzungsanlage aus geologischen bzw. hydrologischen Gründen nicht möglich sein, so empfehlen wir die Ausführung der Variante 3, welche ebenfalls eine hervorragende Energiebilanz aufweist und zudem aufwendige Bewilligungsverfahren unnötig macht.

gez. Ing. Martin Gludovatz

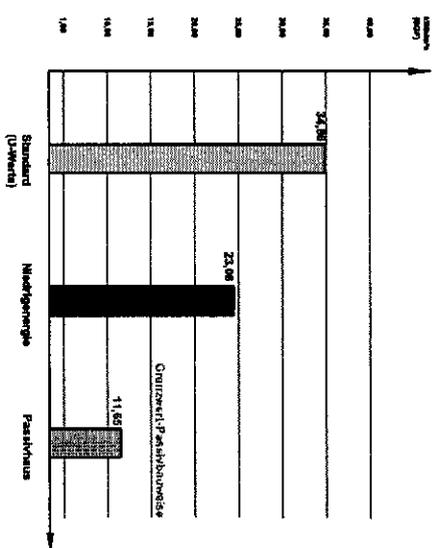
Wärmeverluste der Gebäudehülle
(Transmission, Lüftung, etc.)



Wärmeverluste - Wärmegewinne
(Vergleich der vollständigen Restwärmedeckung)



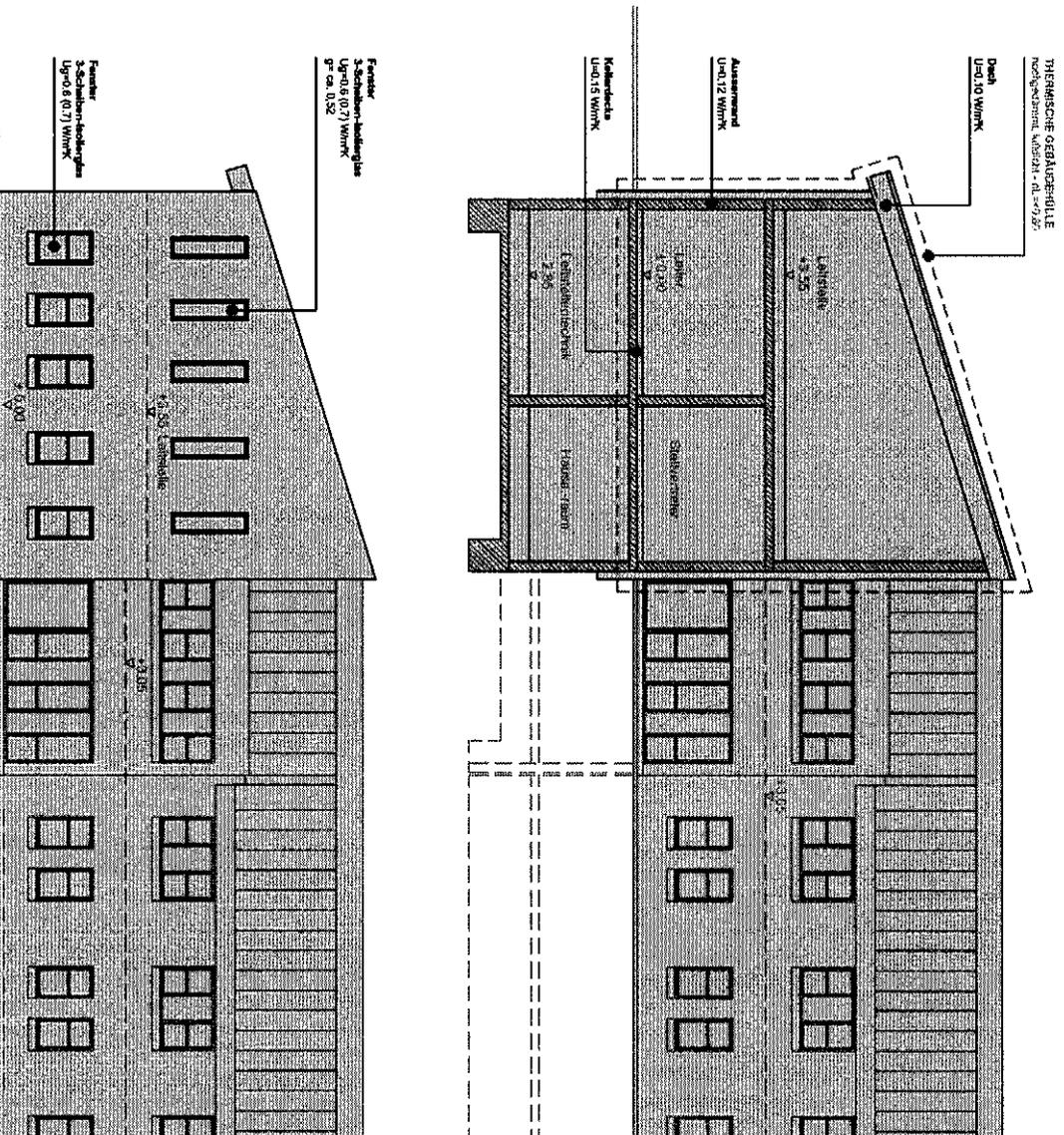
Heizwärmebedarfskennzahl
(inkl. interner und externer Gewinne)



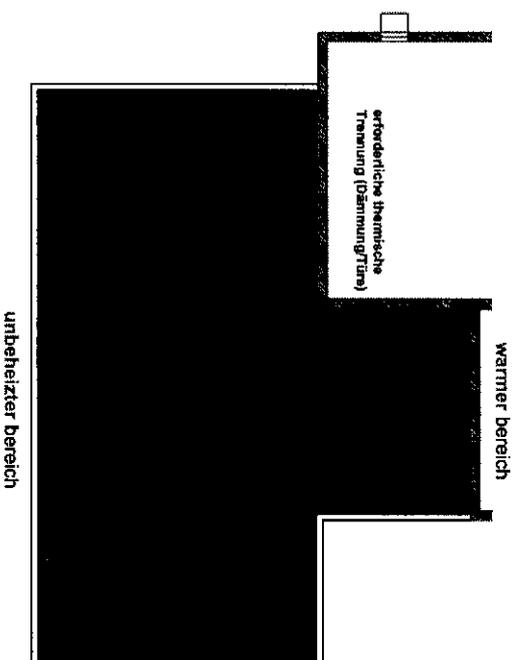
resultate der passivbauweise

- **reduktion** der transmissionsverluste um **>50%**
- **reduktion** des **restwärmedeckungsanteil** durch heizungssystem um **>85%**
- niedrigste temperaturabfälle der der inneren oberfläche der gebäudehülle
- möglicher Einsatz von Restwärmesystemen mit **Vorlauftemperaturen <30 °C**
- geringe Lüftungsverluste durch hohe **Gebäudehüllendichtheit nL<0,80**
- **höchste Behaglichkeit** bei gleichzeitig geringsten Betriebskosten

erforderliche **u-werte** der gebäudehülle



erforderliche **bauliche maßnahmen**



- trennung der "heizzone"
- luftdichte gebäudehülle ($nL < 0,80$)
- hochgedämmte bauteile der gebäudehülle