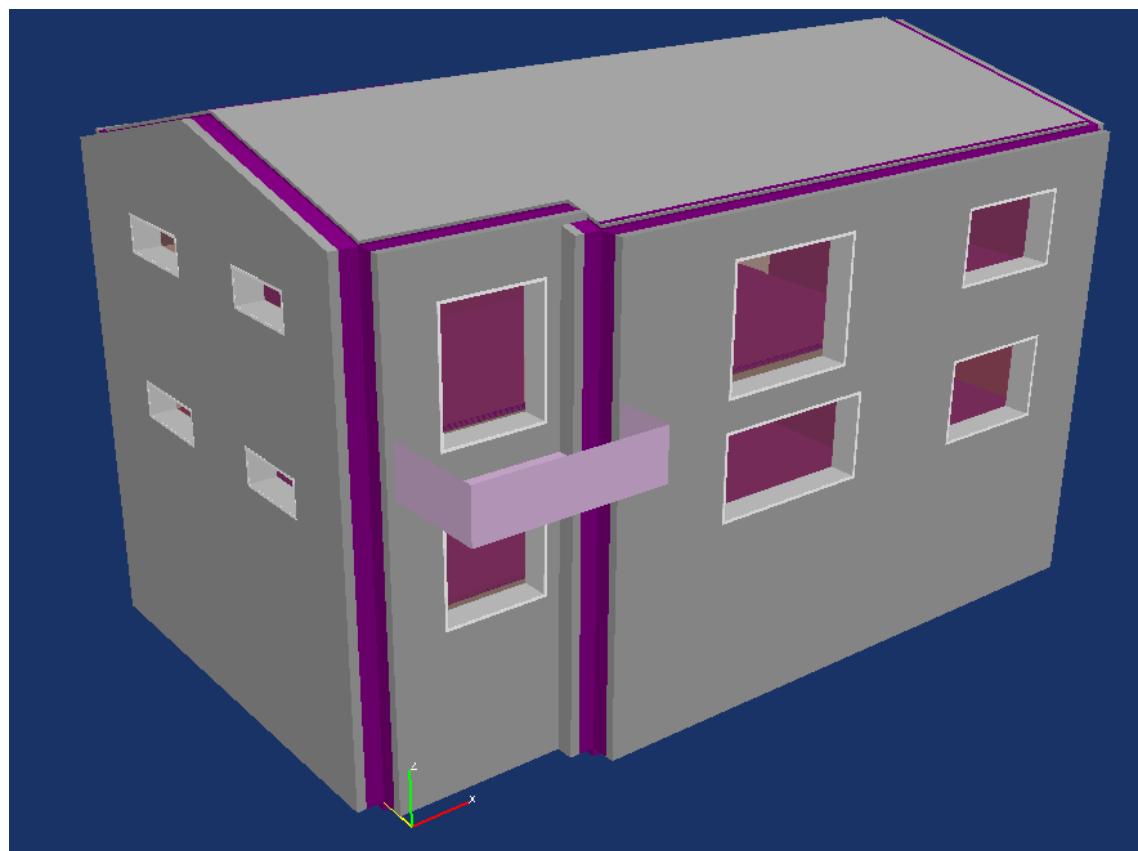


Bericht

Horw, 13. Dezember 2010
Seite 1/55

Vergleich Energieeffizienz: Infrarot-Heizung vs. Wärmepumpen-Heizung



Impressum

Auftraggeber

Energiefachstellenkonferenz Ostschweiz
c/o Departement für Inneres und
Volkswirtschaft – Energie
Verwaltungsgebäude
Promenadenstrasse 8
8510 Frauenfeld

Auftragnehmer

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG
Technikumstrasse 21
6048 Horw

Verfasser

Sebastian Klauz Hochschule Luzern – T&A
Iwan Plüss Hochschule Luzern – T&A
Urs-Peter Menti Hochschule Luzern – T&A

Version/Datum

Version 1, Datum 07.06.2010

SAP-Nr.

1100717

Dateiname

d_20101213_Schlussbericht

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wird die Energieeffizienz von IR-Strahlungsheizungen im Vergleich zu einer Wärmepumpe mit einem konventionellen Wärmeabgabesystem (Heizkörper respektive Bodenheizung) untersucht. Dieser Untersuchung wurde ein real existierendes Gebäude in Kreuzlingen TG zu Grunde gelegt. Dieses befindet sich momentan in einem energetisch schlechten Zustand und wird demnächst nach dem aktuellen Stand der Technik saniert. Von diesem Gebäude ist der bisherige Energieverbrauch bekannt.

Für die Studie ausgewertet werden die Raumlufttemperaturen, die Komfortwerte (PPD, PMV) sowie der jährliche Energiebedarf für die Raumwärme. Der Energiebedarf beider Varianten wird auf Stufe Nutz-, End- und Primärenergie durchgeführt.

Die Untersuchung zeigt folgende Ergebnisse:

- Auf Stufe End- und Primärenergie weisen die IR-Strahlungsheizungen einen um ca. 2/3 höheren Energiebedarf auf als konventionelle Systeme mit Wärmepumpe und Wasserheizkörper.
- Wird die Wärmepumpe mit einer Fussbodenheizung kombiniert, so ist der End- und Primärenergieverbrauch halb so gross wie bei IR-Strahlungsheizungen.
- Auf Stufe Nutzenergie sind IR-Strahlungsheizungen unwesentlich effizienter (ca. 5 %) als konventionelle Systeme.
- Die minimalen Komfortbedingungen werden mit allen Wärmeabgabesystemen im unsanierten sowie auch im sanierten Gebäude erreicht.

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage und Fragestellung	6
2. Simulationsgrundlagen	7
2.1. Simulationsprogramm	7
2.2. Simulationsperiode / Klima	8
2.3. Gebäude und Umgebung	9
2.4. Vergleich Stand Gebäudehülle 1960 / 2010	9
2.5. Gebäude und Zonen	10
2.6. Gebäudehülle	12
2.7. Simulationsvarianten	13
3. Resultate	15
3.1. Regelstrategie	16
3.2. Wärmeabgabesystem	21
3.3. Raumtemperaturabsenkung	24
3.4. Speicherfähigkeit	27
4. Schlussfolgerung / Fazit	30
5. Anhang	31
5.1. Sensitivitätsanalyse	31
5.2. Strahlungsaustausch	34
5.3. Energien	35
5.4. Exergie / Anergie	37
5.5. Temperaturen	38
5.6. Regelung PMV / PPD	39
6. Grundlagen	40
6.1. Definition Infrarotheizung	40
6.2. Gebäude und Zonen	40
6.3. Wärmeerzeugung	40
6.4. Aussenwand Untergeschoss	40
6.5. Aussenwand	40
6.6. Decke gegen Estrich	41
6.7. Innenwand gegen unbeheizt	41
6.8. Boden EG	42
6.9. Fenster	42
6.10. Sonnenschutz	43
6.11. Wärmebrücken	43
6.12. Systeme	44
6.13. Energien	44
6.14. Nutzungen	46
6.15. Lüftungsanlage	47
6.16. Fahrplan	48
6.17. Fahrplan bei Variante Absenkung Personenabwesenheit	50
6.18. Fahrplan Nutzung Wohnen / Schlafen bei Variante Nachtabsenkung	51
6.19. Rohdaten Simulation	52
6.20. Berechnung W-Pesti	53
7. Indexverzeichnis	54
7.1. Tabellenverzeichnis	54
7.2. Abbildungsverzeichnis	54

1. Ausgangslage und Fragestellung

Elektrisch betriebene Infrarotheizungen weisen diverse Vorteile auf: Sie sind einfach installierbar, haben einen geringen Platzbedarf, brauchen wenig Wartung und Unterhalt, können bedarfsgerecht ausgerichtet werden, weisen ein flinkes Betriebsverhalten auf und geben eine von vielen Leuten als angenehm empfundene Strahlungswärme ab. Häufig wird für solche Heizungen auch argumentiert, dass sie äusserst energieeffizient sind. Der letzte Punkt hängt aber wesentlich damit zusammen, ob diese Betrachtung auf Stufe Nutz-, End- oder Primärenergie geführt wird bzw. wie die Wertigkeit der Energie (Exergieanteil; Strom ist 100% Exergie) berücksichtigt wird. Mit Hilfe dieser Studie sollen zwei Systeme diesbezüglich umfassend verglichen werden.

Mit Hilfe von thermischen Simulationen wird der Energiebedarf eines bestehenden Objektes mit zwei unterschiedlichen Heizsystemen simuliert. Es wird eine elektrisch betriebene Infrarot-Strahlungsheizung mit einer Wärmepumpenheizung mit Heizkörpern verglichen.

Als Basis für die Untersuchung dient ein Zweifamilienhaus aus dem Jahre 1960 in Kreuzlingen. Es weist eine Energiebezugsfläche von ca. 270 m² auf. Die Bauteile besitzen in der Basisvariante einen relativ hohen U-Wert und eine massive Baukonstruktion. Untersucht wird der Energieverbrauch/bedarf auf Stufe Nutzenergie und Primärenergie für jeweils gleich bleibende Raumlufttemperaturen. Weitere untersucht wird der Einfluss eines unterschiedlichen Dämmstandards der Gebäudehülle, der Einfluss der Speichermasse sowie des Wärmeabgabesystems, wie auch unterschiedliche Regelstrategien.

Fragestellung

- ist eine IR-Strahlungsheizung effizienter, d.h. weist sie einen tieferen Energieverbrauch auf als ein konventionelles Heizungssystem mit einer Wärmepumpe?
- wie verändert sich der Energiebedarf bei anderen Regelgrössen?
- wie sieht der Energiebedarf bei einem nach Minergie sanierten EFH aus?
- welchen Einfluss hat die Gebäudemasse auf den Energiebedarf?
- was ist der Einfluss unterschiedlicher Wärmeabgabesysteme?

2. Simulationsgrundlagen

Auf den folgenden Seiten sind die wichtigsten Grundlagen (v.a. Simulationsmodell) für die Studie beschrieben. Weitere detaillierte Grundlagen sind im Anhang zu entnehmen.

2.1. Simulationsprogramm

Für die dynamischen Simulationen wurde das Programm IDA-ICE 4.0 von der Firma EQUA verwendet. IDA Klima und Energie ist ein Programm zur detaillierten dynamischen Simulation von Gebäuden. Es berechnet den zeitlichen Verlauf der Komfortvariablen (Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftfeuchte, CO₂-Konzentration) in den vom Anwender definierten Zonen sowie den Ressourcen-Bedarf (Nutzenergie, Primärenergie, CO₂-Ausstoss, usw.) eines Gebäudes und dessen Anlagentechnik. Dabei stehen die Zonen im thermischen Kontakt zueinander, sowie in Verbindung zu ihrer Umgebung, zu den an sie angrenzenden Bauteilen und den in ihnen sich befindenden Personen, Geräten und Gegenständen. Somit berechnet IDA Klima und Energie die dynamische Wechselwirkung zwischen Gebäude, Klima, Haustechnik und Benutzer.

Die Auswertungen von Temperatur, Energie sowie den Behaglichkeitswerten erfolgt in Stundenschritten (Mittelwert der Rechenergebnisse über die jeweilige Stunde). Eine Auswertung im Sekundenbereich kann erstellt werden und dies wurde für die Thematik Reaktionszeit und Einschalthäufigkeit so berücksichtigt (siehe Anhang). Eine Simulation in Zeiteinheiten von weniger als einer Stunde über das ganze Jahr würde jedoch zu viele Datenpunkte generieren und so die Visualisierung z.B. in einem Programm wie Excel verunmöglichen.

2.2. Simulationsperiode / Klima

Land:	Schweiz
Stadt:	Kreuzlingen
Breitengrad:	47°65'
Längengrad:	9°18'
Höhe über Meer:	432 m
Zeitzone:	-1h
Klimaregion:	3
Lage:	städtische Überbauung/Agglomeration
Simulationsperiode:	01.01 bis 31.12 - 8760 Stunden

Für die Simulationen wurden mit Hilfe des Programms Meteonorm (Version 6.0 / 2007) die Wetterdaten der Klimastation Kreuzlingen generiert. Für die Lufttemperaturen wurden dafür die Messdaten 1996 - 2005 und für die Strahlungswerte die Messdaten 1981 - 2000 berücksichtigt. Es wurden die Standardmodelle ohne Extremwerte verwendet.



Abbildung 1 Strahlungsverlauf

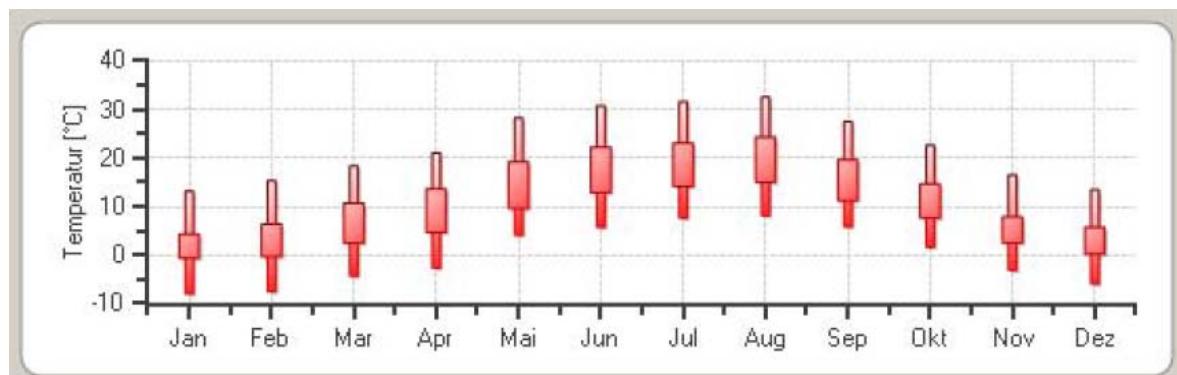


Abbildung 2 Temperaturverlauf

2.3. Gebäude und Umgebung

Das zu simulierende Gebäude (Zweifamilienhaus, massive Bauweise) befindet sich in einer städtisch überbauten Siedlung. Es wurde ca. 1960 erstellt und soll nun komplett saniert werden. Eine massive Verbesserung der U-Werte ist geplant. Der Aufbau gliedert sich wie folgt: Im Untergeschoss befinden sich Garagen, Keller und der Heizungsraum. Im Erdgeschoss befindet sich das Wohnzimmer, Küche, separates WC sowie Zimmer. Das Obergeschoss weist weitgehend den gleichen Grundriss wie das Erdgeschoss auf. Zuoberst befindet sich das unbeheizte Dachgeschoss. Das Gebäude verfügt im Obergeschoss über einen Balkon welcher einen Beitrag zur Verschattung leistet. Verschattungsfaktoren durch andere Gebäude sind keine vorhanden und in diesem Vergleich von keiner Relevanz (weitere Angaben zum Gebäude im Anhang Kapitel 6)

2.4. Vergleich Stand Gebäudehülle 1960 / 2010

Tabelle 1 Vergleich U-Werte Stand 1960 / 2010

U-Wert	Modell 1960	Modell 2010
Aussenwand (W/m ² K)	1.04	0.18
Boden EG zu Keller (W/m ² K)	2.01	0.54
Decke OG zu Dachgeschoss (W/m ² K)	0.80	0.18
Fenster	2.50	1.20

Tabelle 2 Vergleich Heizwärmebedarf 1960 / 2010

SIA 380/1:2007	Modell 1960	Modell 2010
Heizwärmebedarf Qh [MJ/m ²]	819	232

Tabelle 3 Jährlicher Heizölverbrauch unsaniert Zustand

Jährlicher Heizölverbrauch	Liter	kWh
Ø Periode 2004 - 2008	4500	45500

2.5. Gebäude und Zonen

Für die Gebäudesimulation sind verschiedene Zonen vorgesehen. Die Nutzungsdaten für die Zonen wurden der SIA 2024 entnommen. Die verwendeten Nutzungen sind Schlafzimmer, Küche sowie Bad/WC und Nebenräume. Für die Simulation wurde die Nutzung Küche auch im Obergeschoss angewendet, gemäss Planung ist ein Bad vorgesehen.

Grundriss Erdgeschoss

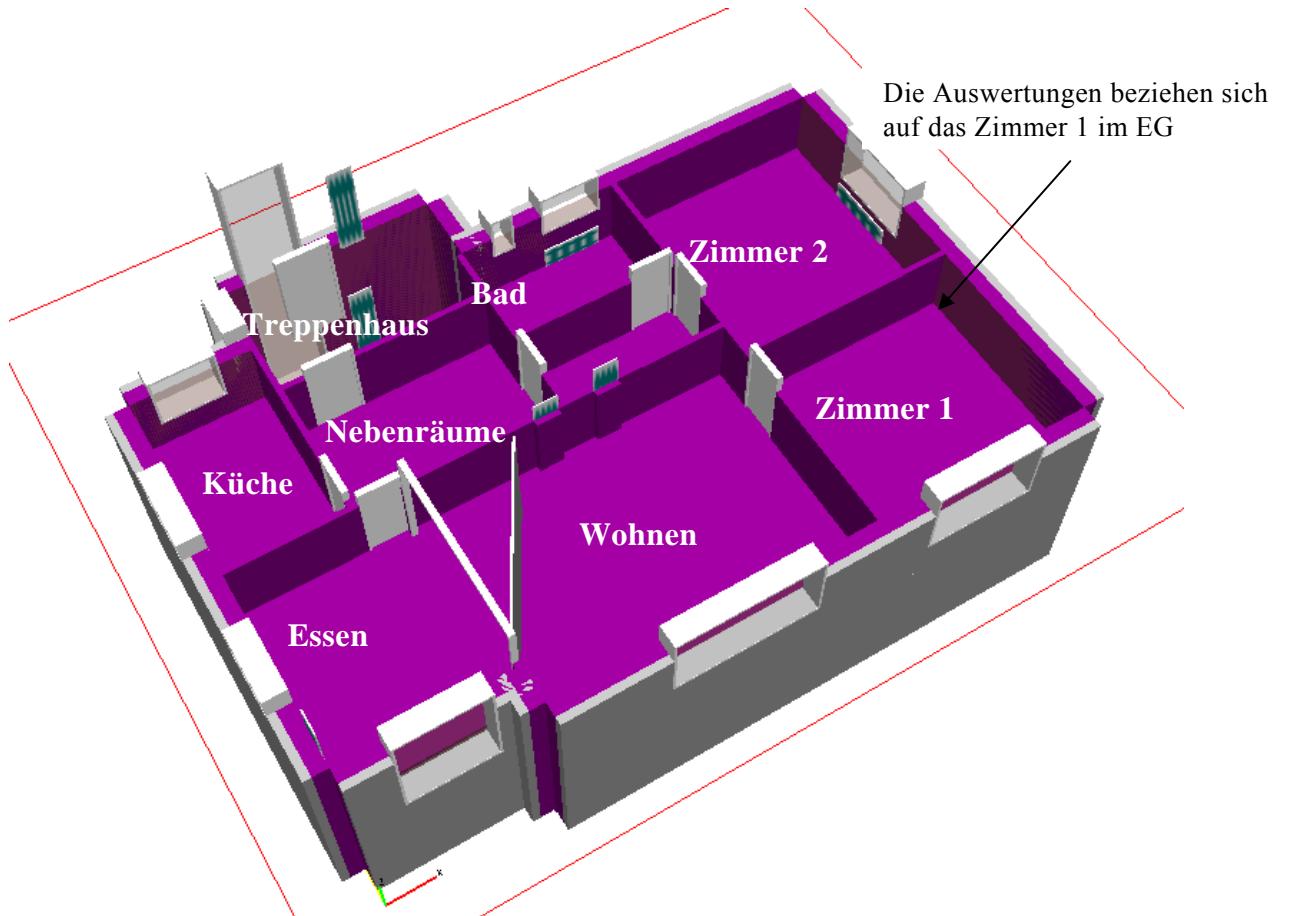


Abbildung 3 Visualisierung Erdgeschoss mittels IDA-ICE 4.0

Grundriss Obergeschoss



Abbildung 4 Visualisierung Obergeschoss mittels IDA-ICE 4.0

2.6. Gebäudehülle

Die Gebäudehülle wurde gemäss den Plänen und Berechnungen des Architekten modelliert. Die detaillierten Bauteilkonstruktionen finden sich im Anhang.

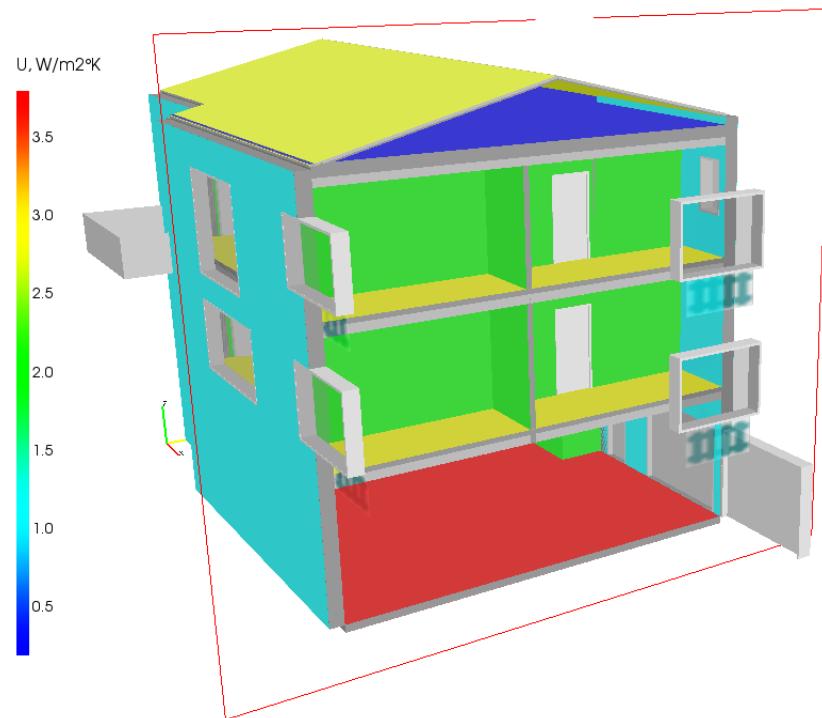


Abbildung 5 Gebäudehülle nicht saniert (Modell 1960)

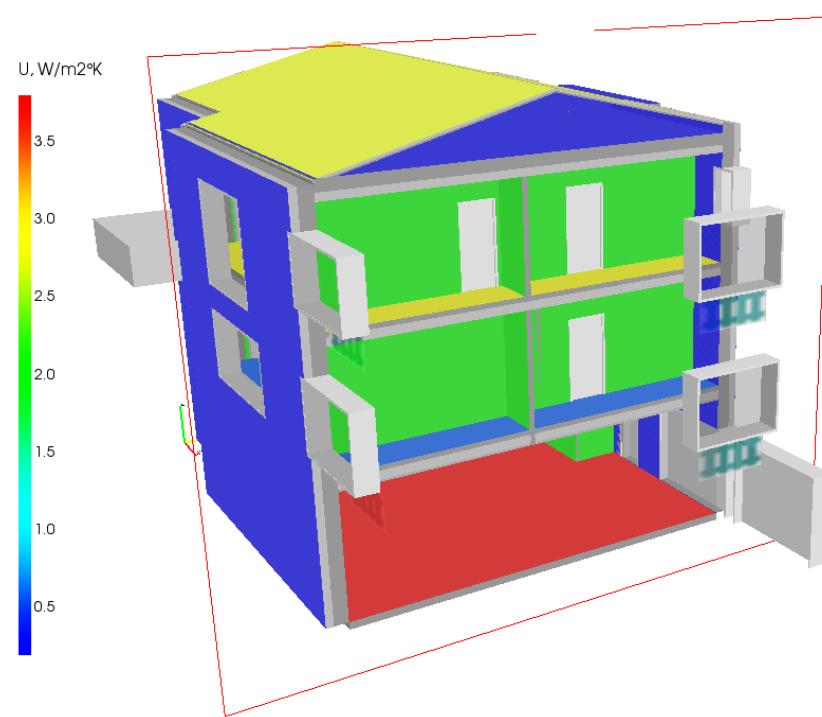


Abbildung 6 Gebäudehülle saniert (Modell 2010)

2.7. Simulationsvarianten

Das Modell Wasserheizkörper 1960 sowie das Modell Wasserheizkörper 2010 sind die Grund- resp. Basisvarianten. Mit jeweils der gleichen Gebäudegeometrie sowie gleichen internen Lasten wurden die Modelle IR-Strahlungsheizung 1960 sowie IR-Strahlungsheizung 2010 erstellt. Aufbauend auf diesen Modellen wurden die verschiedenen Reglerkonzepte (Lufttemperatur¹, operative Temperatur¹ sowie Regelung nach PMV / PPD²) erstellt. Die Basismodelle 2010 wurden verwendet für die Untersuchung betreffend Absenkungen der Raumlufttemperatur während der Nacht oder während der Personenabwesenheit.

In der Variante Fussbodenheizung wurden im Basismodell 2010 die Heizkörper durch eine Bodenheizung ersetzt.

In den Varianten „Speicherfähigkeit“ wurden die Basismodelle 2010 mit verschiedenen Baukonstruktionen versehen, um den Einfluss der Speicherfähigkeit zu untersuchen.

Insgesamt wurden 21 verschiedene Varianten berechnet, um den Einfluss von IR-Strahlungsheizungen auf den Energiebedarf zu untersuchen. Alle Modelle haben die gleichen internen Lasten³, Fahrpläne⁴ und Sollwerte für Raumlufttemperaturen / Komfortbedingungen.

Die konventionellen PWW (Pumpenwarmwasser) Systeme werden nachfolgend vereinfacht als Wasserheizkörper oder Fussbodenheizung bezeichnet. Als konventionelles System gilt in diesem Bericht die Wärmepumpe. Die benötigten Simulationsgrundlagen, wie z.B. Fahrpläne, interne Lasten, Bauteilaufbauten usw. sind im Anhang (Kap. 6) aufgeführt. Begriffserklärungen wie PPD/PMV oder die verschiedenen Temperaturen sind ebenfalls im Anhang 5 ausführlich erläutert.

¹ Temperatur Kapitel 5.5

² PPD/PMV Kapitel 5.6

³ Unter Internen Lasten versteht man die Abwärme von Licht, Personen und Geräte, vgl. Grundlagendokument

⁴ Fahrpläne definieren die Gleichzeitigkeit von Internen Lasten

Tabelle 4 Übersicht Simulationsvarianten

Simulationsvariante	Basis	Wärmeabgabesystem	Regelungssollwert
Regelstrategie	Modell 1960	Wasserheizkörper	Lufttemperatur
			Operative Temperatur
			PMV
		IR-Strahlungsheizung	Lufttemperatur
			Operative Temperatur
			PMV
	Modell 2010	Wasserheizkörper	Lufttemperatur
			Operative Temperatur
			PMV
		IR-Strahlungsheizung	Lufttemperatur
			Operative Temperatur
			PMV
Wärmeabgabesystem	Modell 2010	Wasserheizkörper	Lufttemperatur
		IR-Strahlungsheizung	Lufttemperatur
		Bodenheizung	Lufttemperatur
Raumtemperaturabsenkung	Modell 2010	Wasserheizkörper	Lufttemperatur
			Lufttemperatur Absenkung Nacht
			Lufttemp. Absenkung Abwesenheit
		IR-Strahlungsheizung	Lufttemperatur
			Lufttemperatur Absenkung Nacht
			Lufttemp. Absenkung Abwesenheit
	Modell 2010	Wasserheizkörper	Lufttemperatur
			Lufttemperatur, Massivbauweise
			Lufttemperatur, Leichtbauweise
		IR-Strahlungsheizung	Lufttemperatur
			Lufttemperatur, Massivbauweise
			Lufttemperatur, Leichtbauweise

3. Resultate

Alle Auswertungen beziehen sich auf das Zimmer 1 im Erdgeschoss. Für alle weiteren Räume werden die Daten ebenfalls gerechnet und ausgewertet, im Bericht aber der Übersichtlichkeit wegen nicht aufgeführt. Die Schwankungen der Temperatur bei der IR-Strahlungsheizung kommen aus dem gewählten Totband⁵ (Regler) von 3 Kelvin. Nachfolgend ist der Verlauf der Aussentemperatur und der Solarstrahlung in einer Januarwoche dargestellt.

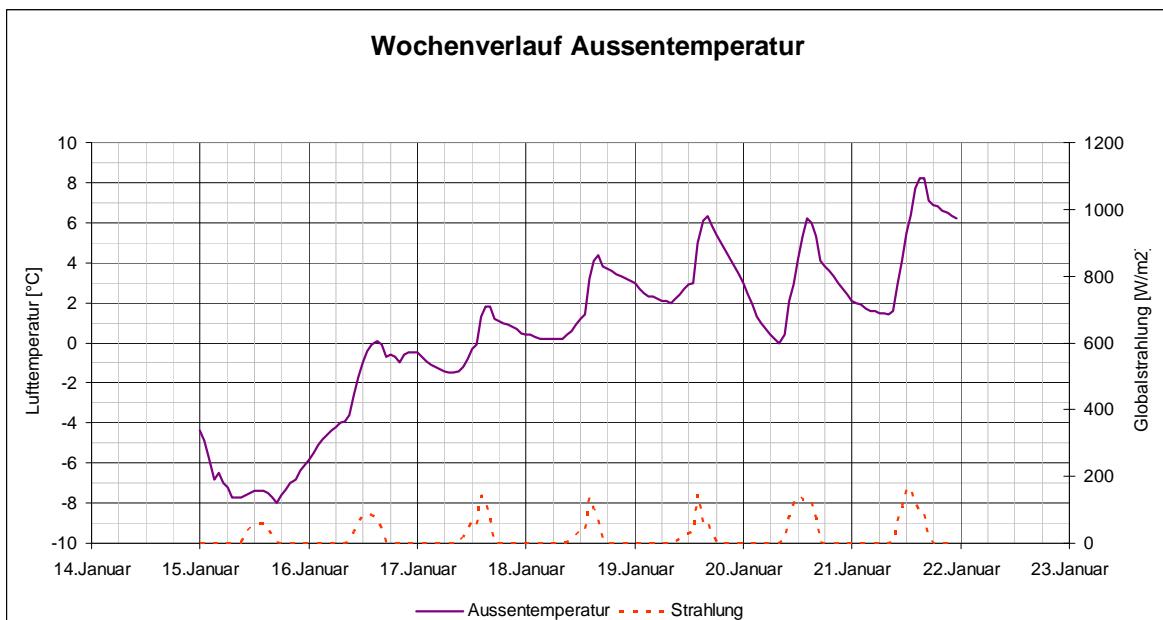


Abbildung 7 Aussentemperatur- und Solarstrahlungsverlauf Winterwoche

Für die nachfolgenden Auswertungen (Wochenverlauf) wird immer die oben dargestellte Woche vom 15. bis am 22. Januar verwendet.

⁵ Das Totband definiert die Temperaturdifferenz zwischen dem Ein- und Ausschalten

3.1. Regelstrategie

Im Modul Regelstrategie wurde der Einfluss der verschiedenen Regelsysteme untersucht. Die Regelgrößen sind die Lufttemperatur, die operative (empfundene) Temperatur und der PMV-Wert.

3.1.1. Raumtemperaturen

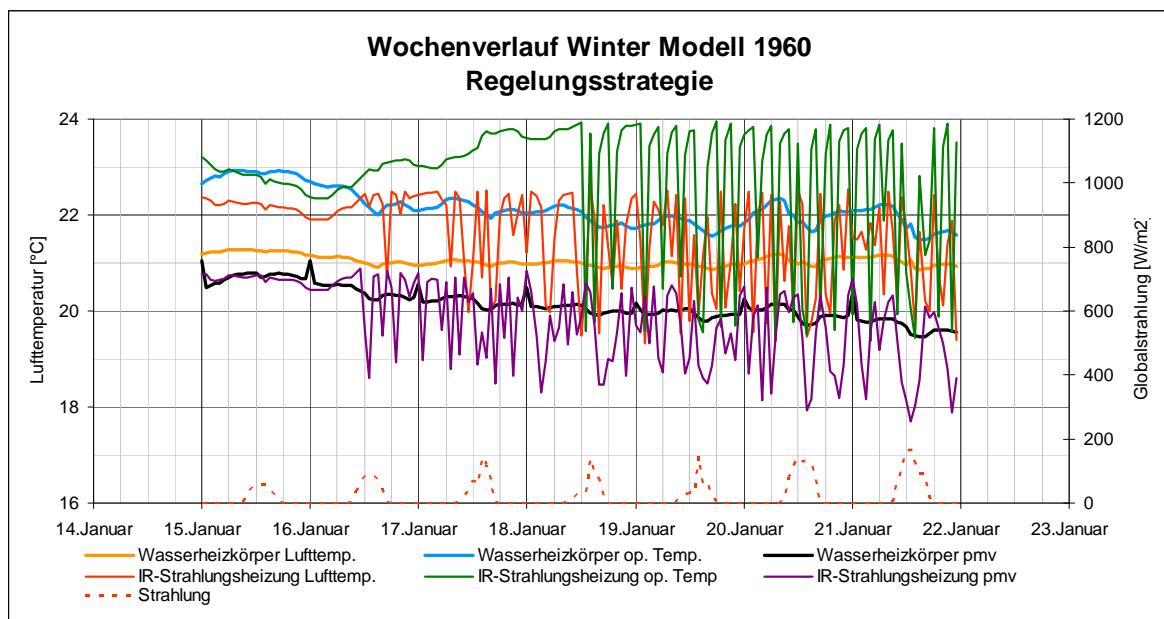


Abbildung 8 Temperaturverlauf Winterwoche, Modul Regelungsstrategie, Modell 1960

Auf dem Diagramm (Abbildung 8) ist die Innentemperatur eines Zimmers (Zimmer 1) im unsanier-ten Zustand ersichtlich. Auf der linken vertikalen Achse ist die Lufttemperatur in °C und auf der rechten vertikalen Achse die Globalstrahlung⁶ in W/m² ersichtlich.

Die konventionellen Systeme (Wasserheizkörper) haben einen eher konstanten Verlauf entlang der Soll-Lufttemperatur. Die Solltemperatur (21°C) ist bei allen Systemen, je nach Nutzung, die gleiche. Die Temperaturdifferenz zwischen IR-Strahlungsheizung und Wasserheizkörper kommt von der Anordnung der Regler. Genauere Informationen zu dieser Thematik sind im Kapitel 5.1.4. be-schrieben.

Die Lufttemperaturen bei den IR-Strahlungsheizungen (Elektroheizkörper) schwanken um den Sollwert mit +/- 3 Kelvin. Die Lufttemperatur der Wasserheizkörper ist jedoch relativ konstant mit nur kleinen Abweichungen zum Sollwert. Der Grund liegt bei den verschiedenen Regulierungssys-temen. Ein Wasserheizkörper kann mit Hilfe eines Proportionalreglers die Temperatur konstant und nahe beim Sollwert halten. Eine IR-Strahlungsheizung verfügt nur über die Möglichkeit zur Ein- oder Ausschaltung (2-Punktregler). Die Differenz zwischen oberer und unterer Grenze der Tem-pe-ratur der IR-Strahlungsheizung ist das Totband oder Hysterese (3 K).

⁶ unter Globalstrahlung versteht man die horizontale auftreffende Solarstrahlung

Der 15. Januar ist der kälteste Tag des ganzen Jahres. Die IR-Strahlungsheizung ist dauernd im Betrieb, daher entsteht kein Takten und die Temperatur bleibt konstant. Die Anzahl der Amplituden kann nicht als Mass für die Einschalthäufigkeit gewertet werden. Weitere Informationen zu dieser Thematik sind im Kap. 5.1.2 beschrieben. Die Varianten PMV (Predicted Mean Vote, zu Deutsch Vorausgesagter Anteil an Unzufriedenen) regulieren nicht nach einer Temperatur sondern nach dem Behaglichkeitswert PMV von -0.5. Dies bedeutet, dass maximal 10%⁷ der Personen unzufrieden mit der Raumtemperatur sind. Da der Behaglichkeitswert von der gewichteten Oberflächentemperaturen und der Lufttemperatur abhängt, kann man nicht eindeutig auf eine Lufttemperatur (wie im Diagramm dargestellt) geschlossen werden.

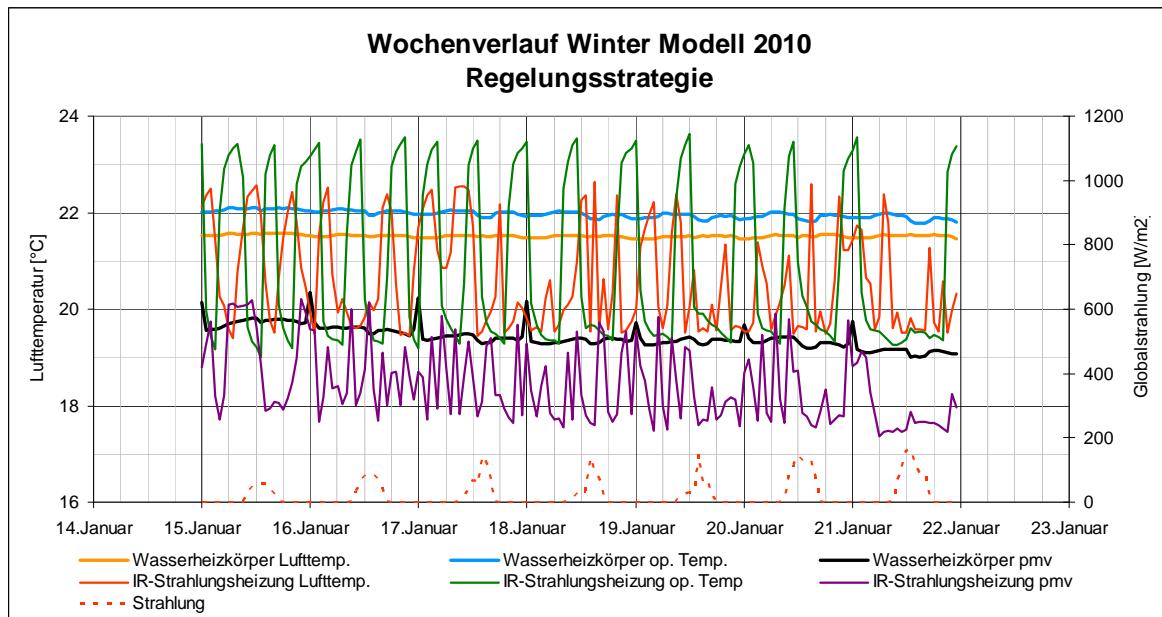


Abbildung 9 Temperaturverlauf Winterwoche, Modul Regelungsstrategie, Modell 2010

Im Diagramm (Abbildung 9) ist die Innentemperatur eines Zimmers (Zimmer 1) im sanierten Zustand ersichtlich. Bedingt durch die Sanierung des Gebäudes (Reduktion Heizwärmebedarf) und der gleichen Leistung der IR-Strahlungsheizung tritt die Temperaturschwankung (Ein- und Ausschalten der IR-Strahlungsheizung) auch am kältesten Tag auf.

Betrachtet man die beiden Temperaturverläufe mit der Regulierung nach PMV (Komfort) ist zu erkennen, dass die Raumlufttemperatur mit dem IR-Strahlungsheizkörper im Durchschnitt 1 Kelvin tiefer ist als beim konventionellen System mit Wasserheizkörper. Der Grund dafür liegt in der höheren Oberflächentemperatur der IR-Strahlungsplatte, welche zum Erreichen des thermischen Raumkomforts eine tiefere Raumlufttemperatur zulässt. Dank der so etwas tieferen Raumlufttemperatur ist der Energiebedarf auf Stufe Nutzenergie für die IR-Strahlungsheizung tiefer als für das konventionelle System.

⁷ 10% Unzufriedene ist der best mögliche zu erreichende Raumkomfort. Statistisch gesehen sind immer mindestens 10% der Anwesenden unzufrieden.

3.1.2. PMV Werte

Auf dem Diagramm (Abbildung 10) sind die PMV-Werte dargestellt. Liegen die Werte im Bereich von -1 bis +1, kann man von einer optimalen thermischen Behaglichkeit sprechen. In der Simulationsvariante Regelung nach PMV wird auf einen Wert von -0.5 (leicht kühl) mit 10% unzufriedenen Personen geregelt.

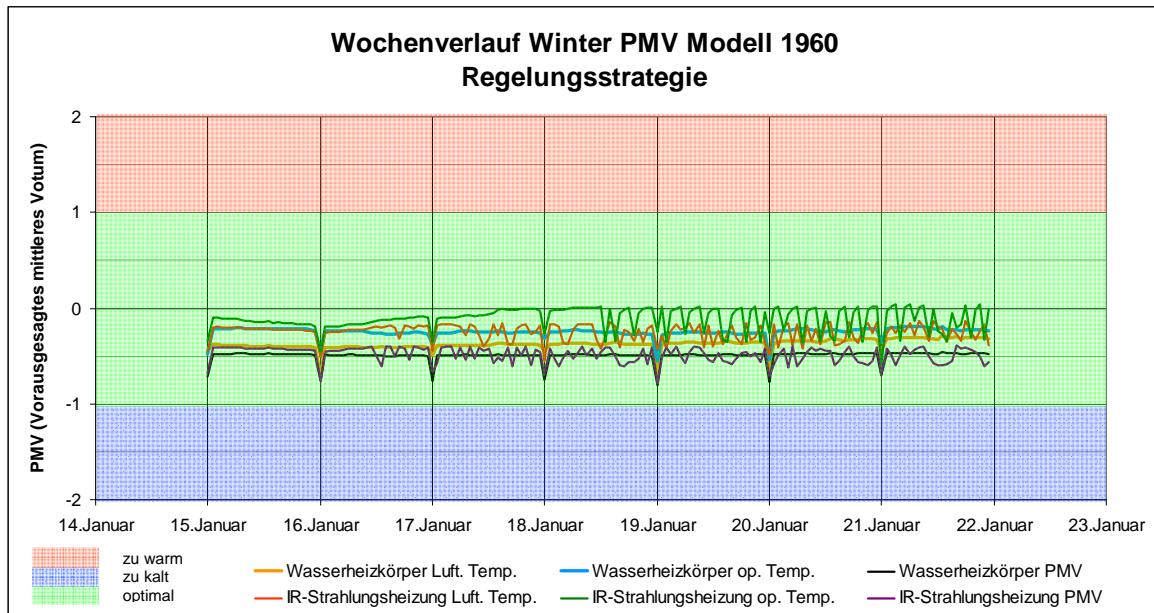


Abbildung 10 Wochenverlauf Winter, PMV-Werte, Modul Regelungsstrategie, Modell 1960

Wie bereits bei der Auswertung der Raumlufttemperaturen für den unsanierten Fall (1960) zu sehen war, schwankt bei dieser Auswertung der thermische Komfort bei der IR-Strahlungsheizung. Dies kommt daher, dass die Raumlufttemperatur bei der IR-Strahlungsheizung schwankt. Beim konventionellen Wassersystem gibt es nur wenige Schwankungen bei den PMV-Werten. Sowohl der Wasserheizkörper als auch die IR-Strahlungsheizung kann die Werte von +1.0 bis – 1.0 PMV einhalten.

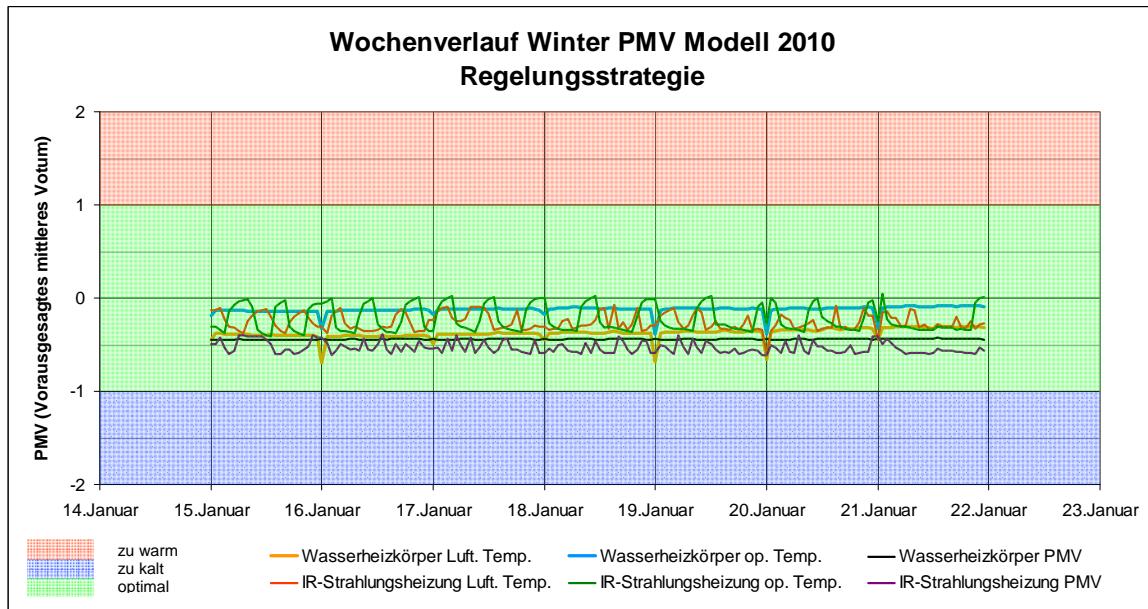


Abbildung 11 Wochenverlauf Winter, PMV-Werte, Modul Regelungsstrategie, Modell 2010

3.1.3. Energien

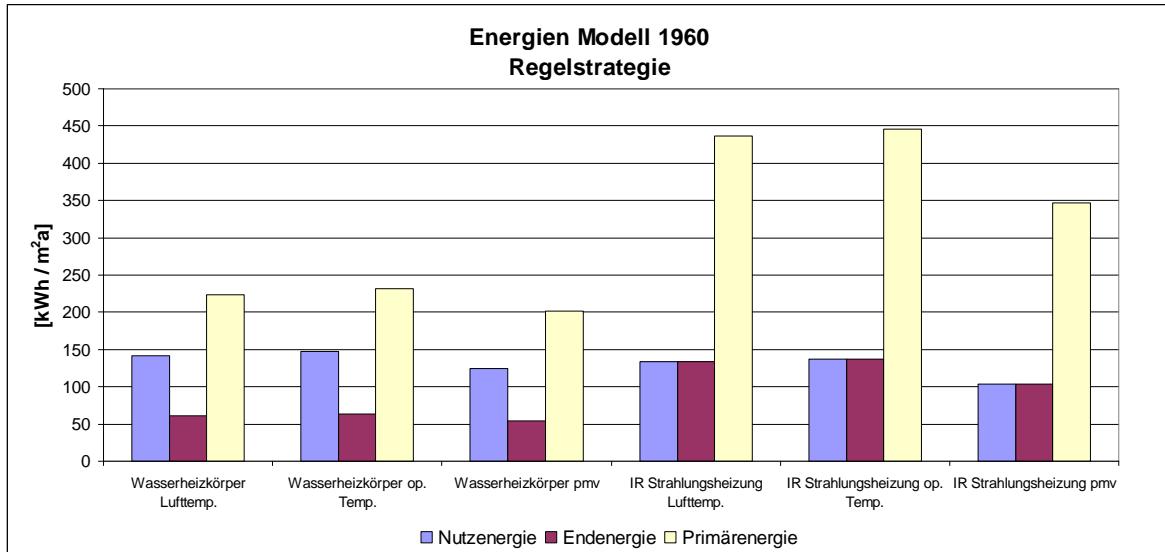


Abbildung 12 spezifische Energiebedarf pro Jahr, Modul Regelungsstrategie, Modell 1960

Auf dem Diagramm (Abbildung 12) ist der Energiebedarf der einzelnen Systeme im unsanierten Gebäude ersichtlich. Die Nutzenergie ist die Energie welche unmittelbar im Raum für die Beheizung anfällt. Die Endenergie ist die Energie, welche zum Gebäude (inkl. Wirkungsgrade von Wärmeerzeugern usw.) zugeführt werden muss. Die Primärenergie ist die Energie welche benötigt wird um die Endenergie bereitzustellen (Wirkungsgrade von Kraftwerken und Transportverluste werden z.B. berücksichtigt). Der Unterschied bei konventionellen Systemen zwischen Nutz- und Endenergie kommt von der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe. Die Auswertung der Energie ist für das ganze Gebäude innerhalb eines Jahres bezogen auf einen Quadratmeter Energiebezugsfläche. Auf Stufe der Nutzenergie im Raum schneidet die IR-Strahlungsheizung unwe sentlich besser als die konventionellen Systeme ab.

Eine theoretische Regulierung der Wärmeabgabesysteme nach dem PMV-Wert liefert aus energetischer Sicht die besten Ergebnisse. Dies trifft auf Stufe Nutzenergie auf beide Systeme zu.

Betrachtet man den Heizenergiebedarf auf Stufe Nutzenergie, ist bei allen untersuchten Regulierungen zu sehen, dass die IR-Strahlungsplatte weniger Nutzenergie braucht als ein konventionelles System mit Wasserheizkörper. Der Grund liegt in der geringeren Trägheit und dementsprechend in der Reaktionsgeschwindigkeit, dem nicht vorhandenen Rohrleitungsverlust sowie in der Positionierung des Fühlers.

Wird jedoch die Betrachtung auf Stufe Endenergie / Primärenergie durchgeführt, ist klar zu erkennen, dass die IR-Strahlungsplatte bei allen Varianten deutlich mehr Energie braucht als ein konventionelles System mit Wasserheizkörper und Wärmepumpe.

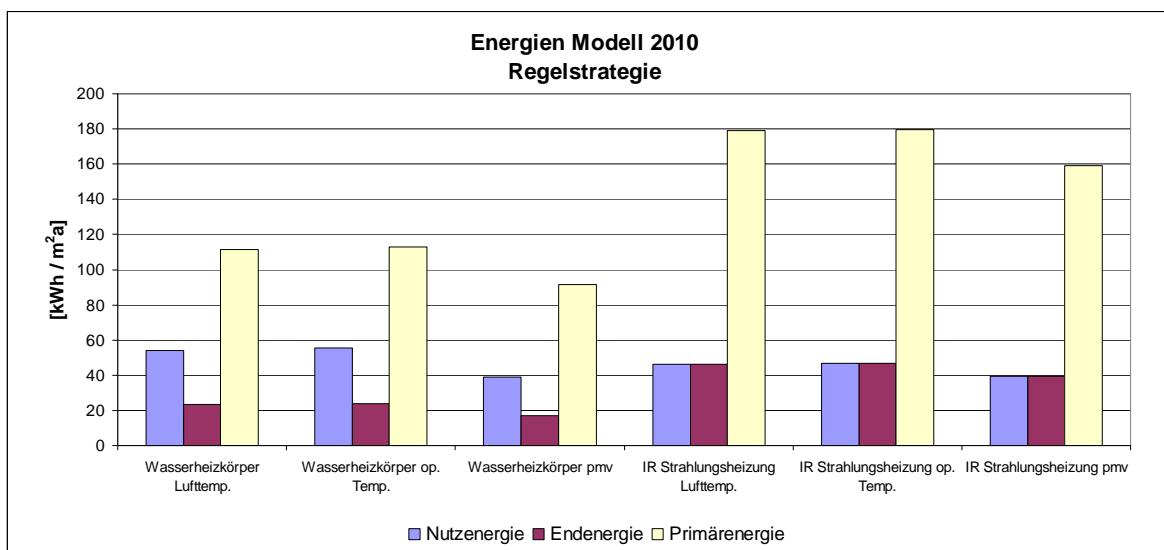


Abbildung 13 spezifischer Energiebedarf pro Jahr, Modul Regelungsstrategie, Modell 2010

Auf dem Diagramm (Abbildung 13) ist der Energiebedarf der einzelnen Systeme im sanierten Gebäude ersichtlich. Bezuglich des Energiebedarfs entsteht qualitativ ein ähnliches Bild wie bei der Variante 1960, auch wenn sich die absoluten Werte um Faktoren voneinander unterscheiden.

3.1.4. Fazit

Die Untersuchung zeigt, dass der Einfluss der Regulierung des Wärmeabgabesystems klein ist. Mit der nur theoretisch realisierbaren Regulierung nach dem PMV-Wert werden die besten Resultate betreffend Nutz-, End- und Primärenergie erreicht. Betrachtet man die End- und Primärenergie ist zu sehen, dass eine optimal nach dem thermischen Komfort im Raum geregelte IR-Strahlungsheizung (PMV) nicht besser ist als ein konventionelles System mit einem normal regulierten Wasserheizkörper mit einer Wärmepumpe.

Grundsätzlich zeigt die Untersuchung, dass IR-Strahlungsheizungen (IR-Strahlungsheizung) einen minimal tieferen Nutzenergiebedarf als konventionelle Systeme mit Wasserheizkörper aufweisen. Der grösste Anteil an Mehrbedarf der konventionellen Systeme ist der Rohrleitungsverlust. Ohne diese Verluste würde die Differenz im Modell 1960 nur ca. 1 % betragen. Im Modell 2010 ist der Nutzenergiebedarf der IR-Strahlungsheizung ca. 5% tiefer (exkl. Rohrleitungsverluste). Auf der Stufe Endenergie schneiden konventionelle Systeme wesentlich besser ab. Sie haben einen um mindestens 60% tieferen Endenergiebedarf als die IR-Strahlungsheizungen.

3.2. Wärmeabgabesystem

Im Modul Wärmeabgabesystem wird der Einfluss einer Bodenheizung mit geringeren Systemtemperaturen als das System Wasserheizkörper untersucht. Die wesentliche Änderung liegt damit in der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe. Als Vergleich dienen die Basisvarianten Wasserheizkörper sowie der IR-Strahlungsheizung geregelt nach Raumlufttemperatur.

3.2.1. Raumtemperaturen

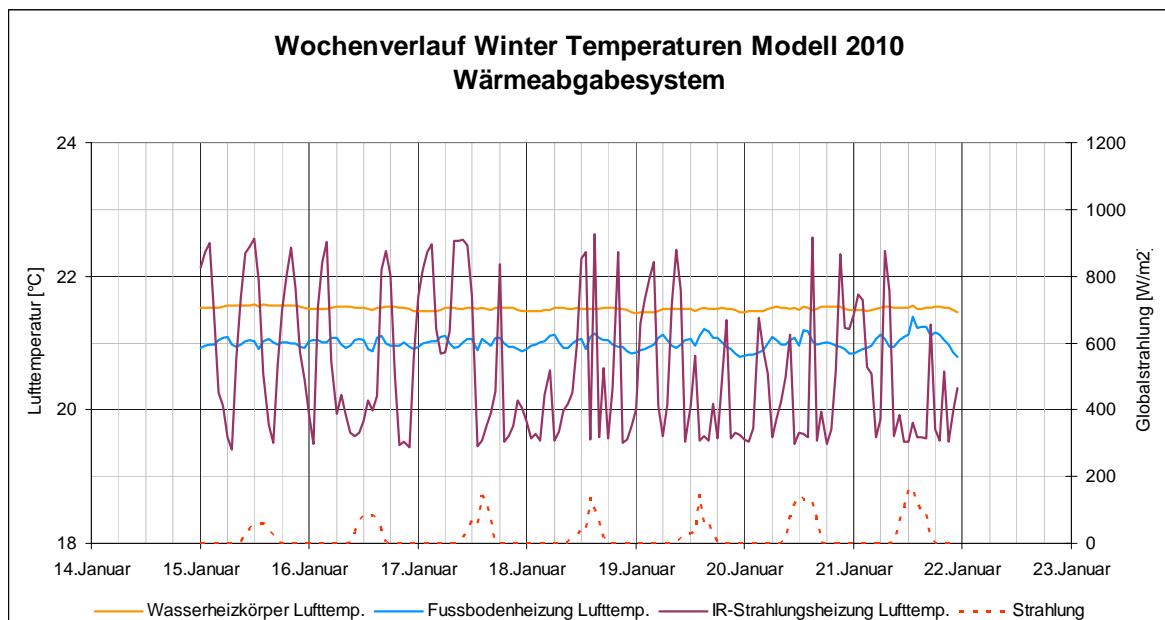


Abbildung 14 Temperaturverlauf Winterwoche, Modul Wärmeabgabesystem, Modell 2010

Im Diagramm (Abbildung 14) ist die Trägheit einer Fußbodenheizung ersichtlich. Nach einem Strahlungseinfall steigt die Temperatur bei der Fußbodenheizung kurz an, bevor das Heizsystem reagiert (die Regelung der Soll-Temperatur bei der Fußbodenheizung erfolgt über einen Raumfühler, welcher 1.5 Meter über dem Boden positioniert ist). Der Raumtemperaturfühler der IR-Strahlungsheizung ist ebenfalls 1.5 Meter über dem Boden positioniert. Da das System mit einem 2-Punkt Thermostat geregelt wird, gibt es die im Diagramm ersichtlichen Temperaturschwankungen. Die im Raum resultierende Raumlufttemperatur beim konventionellen Wasserheizkörper ist um 0.5 Kelvin höher, da der Wasserheizkörper mit dem Heizkörperventil die Temperatur 0.5 Meter über Boden reguliert und nicht wie die anderen Systeme 1.5 Meter über Boden. Die Raummitteltemperatur bei der Fußbodenheizung und der IR-Strahlungsplatte sind beide 21.0°C. Wäre das Heizkörperventil des Wasserheizkörpers ebenfalls auf 1.5 Meter über Boden positioniert würde sich der Energieverbrauch beim konventionellen System verkleinern. Die Raummitteltemperatur beim Wasserheizkörper liegt bei 21.5 °C.

3.2.2. PMV - Werte

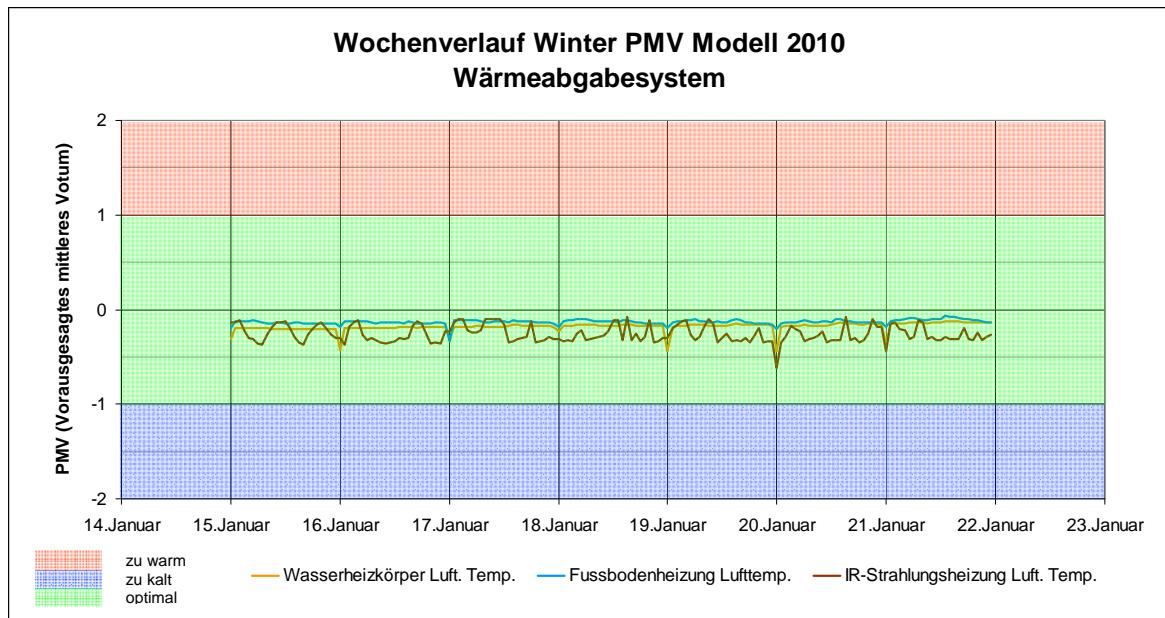


Abbildung 15 Wochenverlauf Winter, PMV-Werte, Modul Wärmeabgabesystem, Modell 2010

Die verschiedenen Heizsysteme können die gleichen Komfortbedingungen einhalten.

3.2.3. Energien

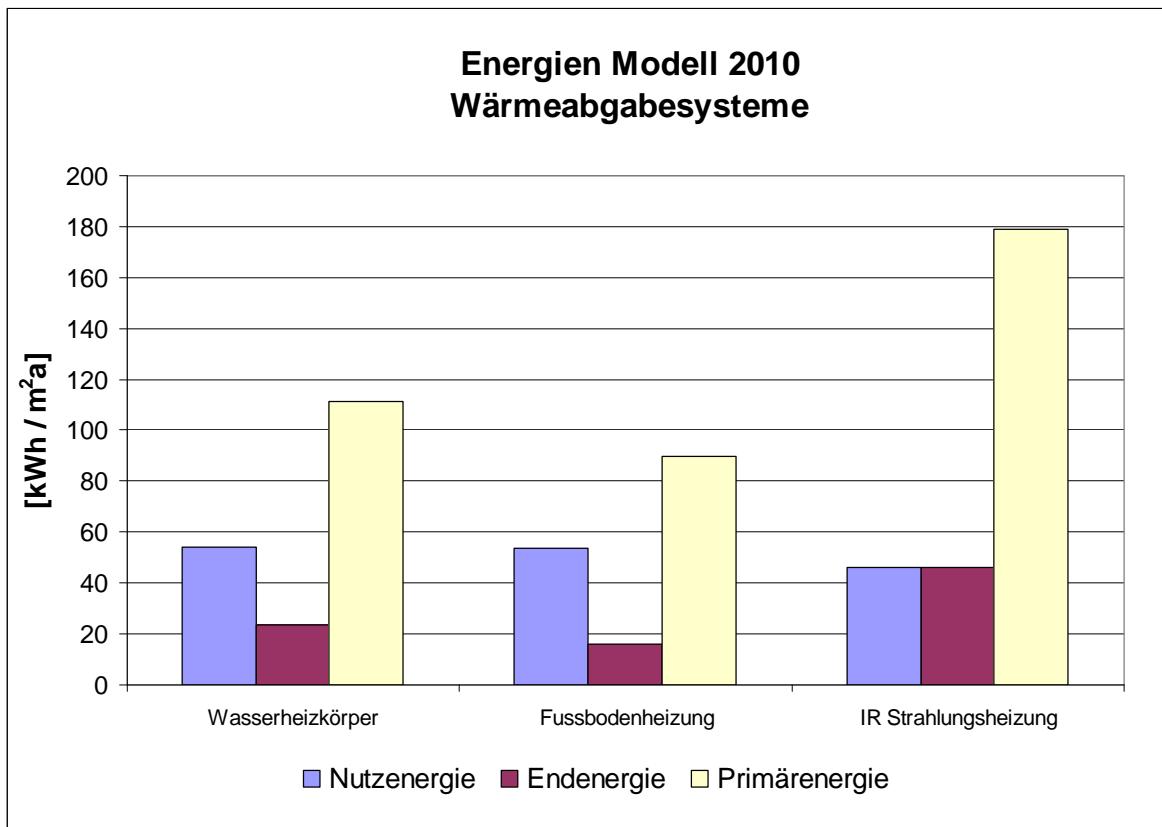


Abbildung 16 spezifische Energiebedarf pro Jahr, Modul Wärmeabgabesystem

Die Auswertung zeigt, dass die IR-Strahlungsheizung auf Stufe Nutzenergie leicht besser abschneidet als die beiden Wassersysteme (Heizkörper / Fußbodenheizung). Betrachtet man die Systeme jedoch auf Stufe End- bzw. Primärenergie ist der Energiebedarf der Wassersysteme deutlich tiefer als mit dem IR-Strahlungsheizungssystem.

3.2.4. Fazit

Eine Bodenheizung hat im Vergleich zum Wasserheizkörper geringere Systemtemperaturen und damit eine wesentlich bessere Jahresarbeitszahl bei der Wärmepumpe. Dies widerspiegelt sich im spezifischen jährlichen Endenergiebedarf. Die Raumtemperaturen sowie die PMV-Werte entsprechen dem konventionellen Heizkörpersystem. Eine Bodenheizung ist trüger als die beiden anderen Systeme, darum ist ein Anstieg der Raumtemperatur bei Strahlungseinfall ersichtlich. Der Wasserheizkörper sowie die Bodenheizung weisen einen praktisch identischen Nutzenergiebedarf auf.

3.3. Raumtemperaturabsenkung

Im Modul Absenkung wurde der Einfluss einer NachtabSENKUNG und Temperaturabsenkung (wenn keine Personen anwesend sind) untersucht. Die genauen Absenkzeiten respektive Fahrpläne sind im Anhang (Kapitel 6) ersichtlich. Alle Systeme werden nach der Lufttemperatur geregelt. Als Vergleich dienen die Basisvarianten Wasserheizkörper sowie der IR-Strahlungsheizung geregelt nach Lufttemperatur.

3.3.1. Temperaturen

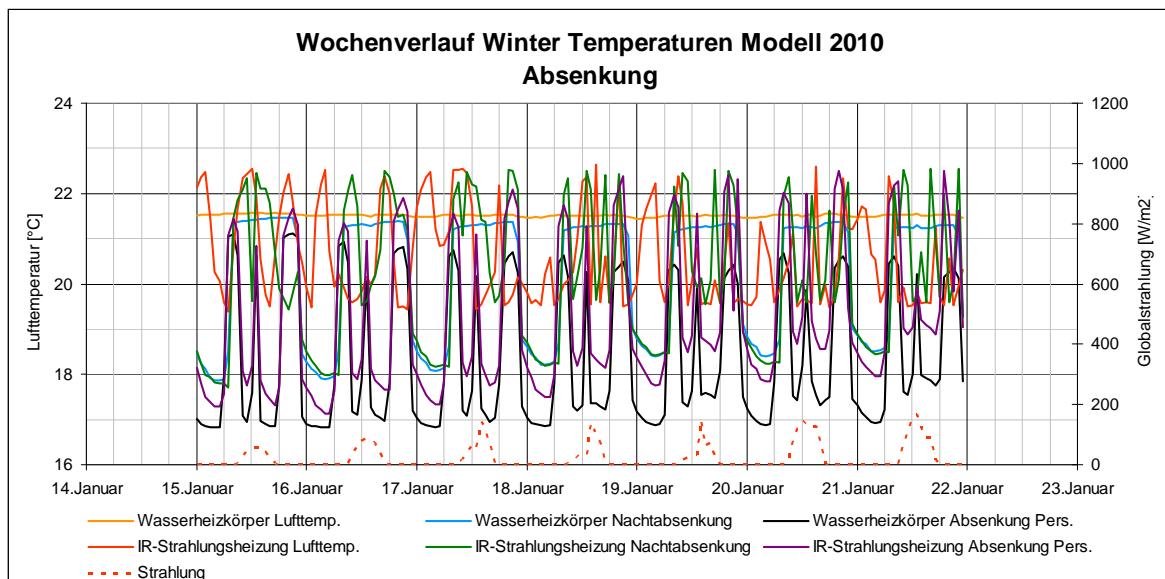


Abbildung 17 Temperaturverlauf Winterwoche, Modul Absenkung, Modell 2010

Die gewählte Absenktemperatur von 16°C kann nie erreicht werden. Der Grund liegt in der guten Gebäudehülle des Gebäudes. Das geforderte Temperaturniveau bei Anwesenheit von Personen wird von beiden Systemen aus dem Absenkbetrieb heraus relativ schnell erreicht. Die IR-Strahlungsheizung reagiert schneller, da es sich um ein flinkes System handelt.

3.3.2. PMV-Werte

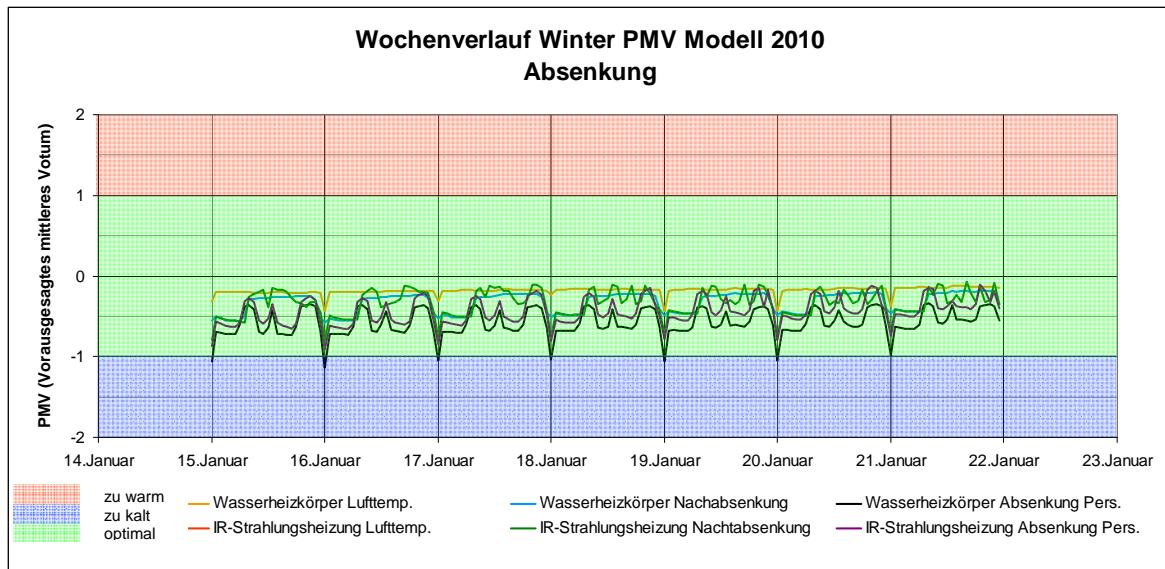


Abbildung 18 Wochenverlauf Winter, PMV-Werte, Modul Absenkung, Modell 2010

Die Komfortwerte variieren aufgrund der tieferen Raumtemperatur bei Personenabwesenheit stark. Da keine Personen anwesend sind, können diese negativen Auswirkungen vernachlässigt werden.

3.3.3. Energien

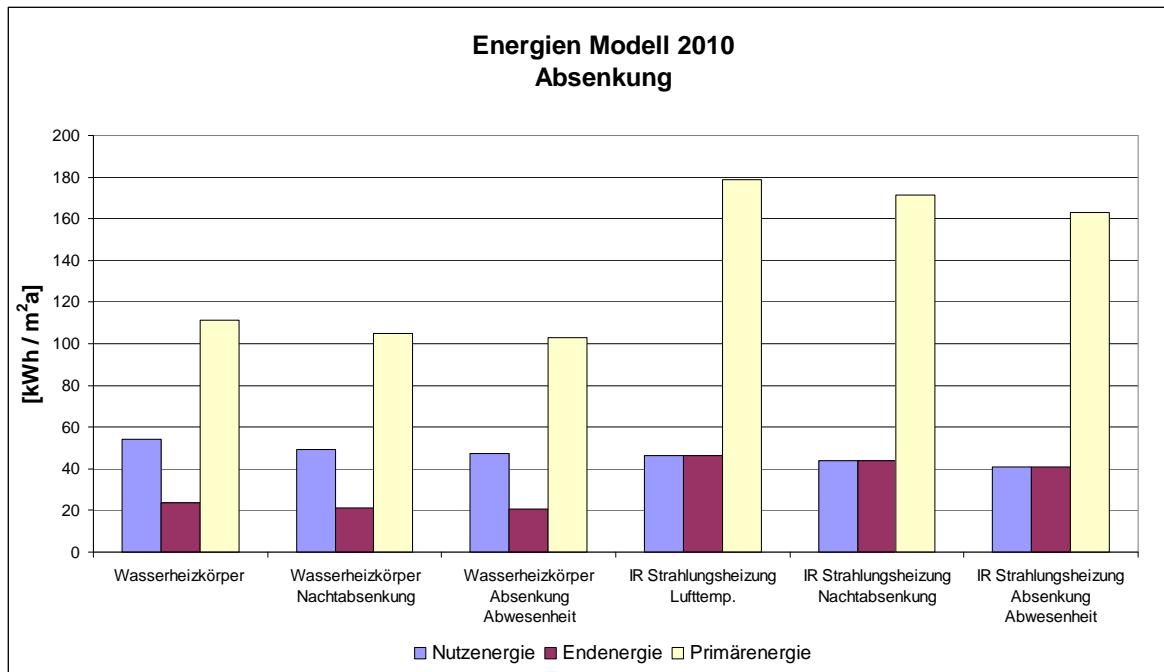


Abbildung 19 spezifischer Energiebedarf pro Jahr, Modul Absenkung

Bei der Auswertung des Energiebedarfs zeigen sich keine wesentlichen Veränderungen gegenüber den vorherigen Simulationsvarianten. Der Energiebedarf im Absenkbetrieb ist marginal tiefer als bei den Basisvarianten. Der Grund hierfür liegt wiederum in der guten Gebäudehülle von heutigen Gebäuden, welche ein Auskühlen der Räume bei ausgeschalteter Heizung entscheidend vermindern. Weiter muss die Speichermasse des Gebäudes nach jeder Absenkung wieder aufgeheizt werden. Für diese Aufheizung braucht es praktisch die gleiche Energiemenge, welche während der Absenkung eingespart werden konnte. Die Energieersparnis resultiert nur aus den reduzierten Verlusten bei tieferen Raumtemperaturen.

3.3.4. Fazit

Der Absenkbetrieb bei Personenabwesenheit hat einen geringen Einfluss auf den Energiebedarf. Sowohl das konventionelle PWW-System Heizkörper sowie die IR-Strahlungsheizung zeigen einen geringeren Energieverbrauch. Bei der Variante Nachabsenkung zeigt sich ebenfalls nur eine marginale Reduktion des Energiebedarfs. Die Absenktemperatur ist in beiden Fällen 16°C.

Die Aussage, dass bei der Strahlungsheizung dank der Temperaturabsenkung während Personen-abwesenheiten Energie eingespart werden kann, wird mit dieser Untersuchung bei energietechnisch sanierten Gebäuden widerlegt.

3.4. Speicherfähigkeit

Im Modul Speicherfähigkeit wurde der Einfluss unterschiedlicher Speicherfähigkeiten auf den Energiebedarf von Gebäuden untersucht. Es wurde eine Aussenwand im Leichtbau sowie eine Aussenwand im Massivbau mit Beton auf der thermisch relevanten Innenseite untersucht.

3.4.1. Temperaturen

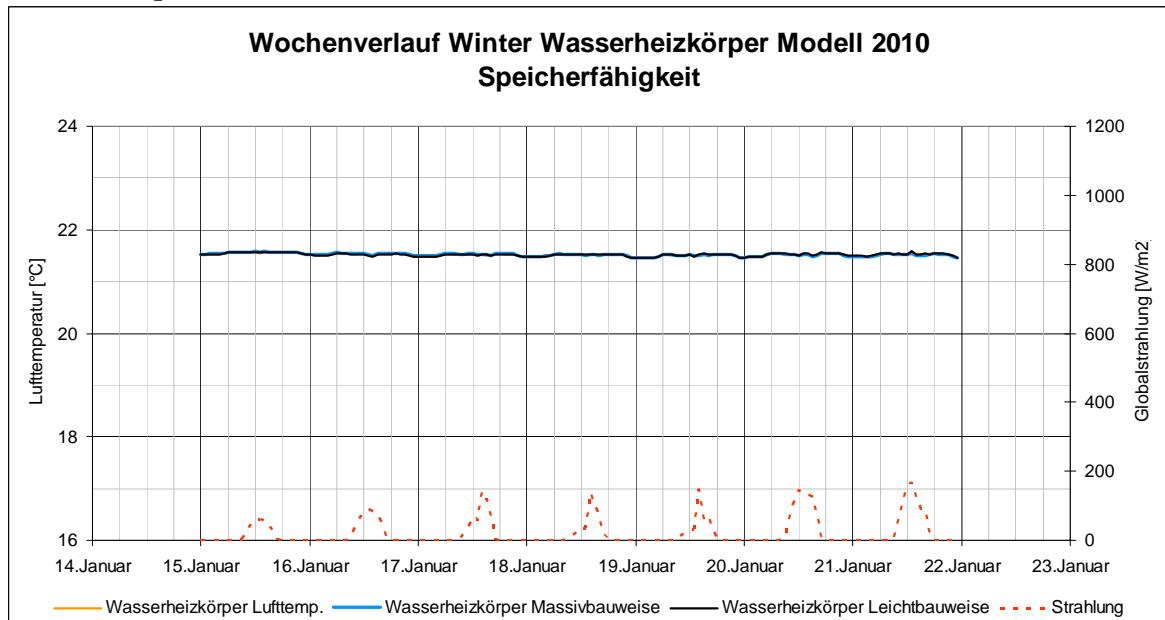


Abbildung 20 Temperaturverlauf Winterwoche, Modul Speicherfähigkeit, Modell 2010

Die Temperaturen verlaufen überlagert zueinander. Eine Änderung der Speicherfähigkeit hat keinen Einfluss auf den Temperaturverlauf. Für mehr Übersichtlichkeit wird der Temperaturverlauf der IR-Strahlungsheizung in einem separaten Diagramm abgebildet.

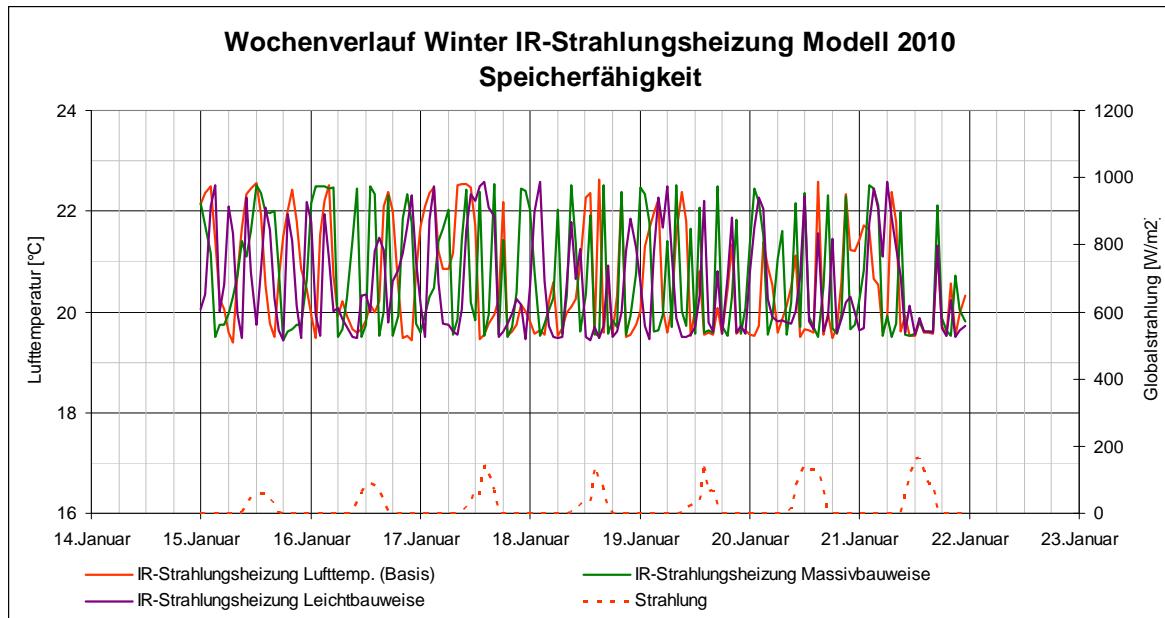


Abbildung 21 Wochenverlauf Temperatur, Speicherfähigkeit Modell, 2010 IR-Strahlungsheizung

3.4.2. PMV Werte

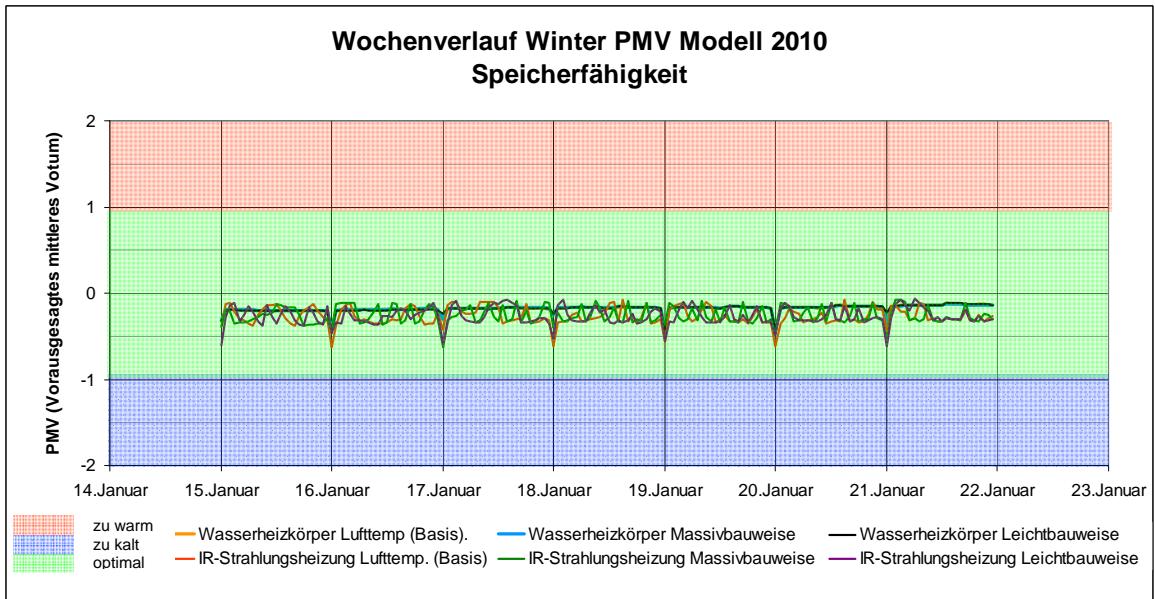


Abbildung 22 Wochenverlauf Winter, PMV-Werte, Modul Speicherfähigkeit, Modell 2010

Der thermische Komfort, dargestellt mit dem PMV-Wert, ändert sich bei unterschiedlichen Speichermassen nicht wesentlich. Alle untersuchten Varianten liegen im Komfortbereich.

3.4.3. Energien

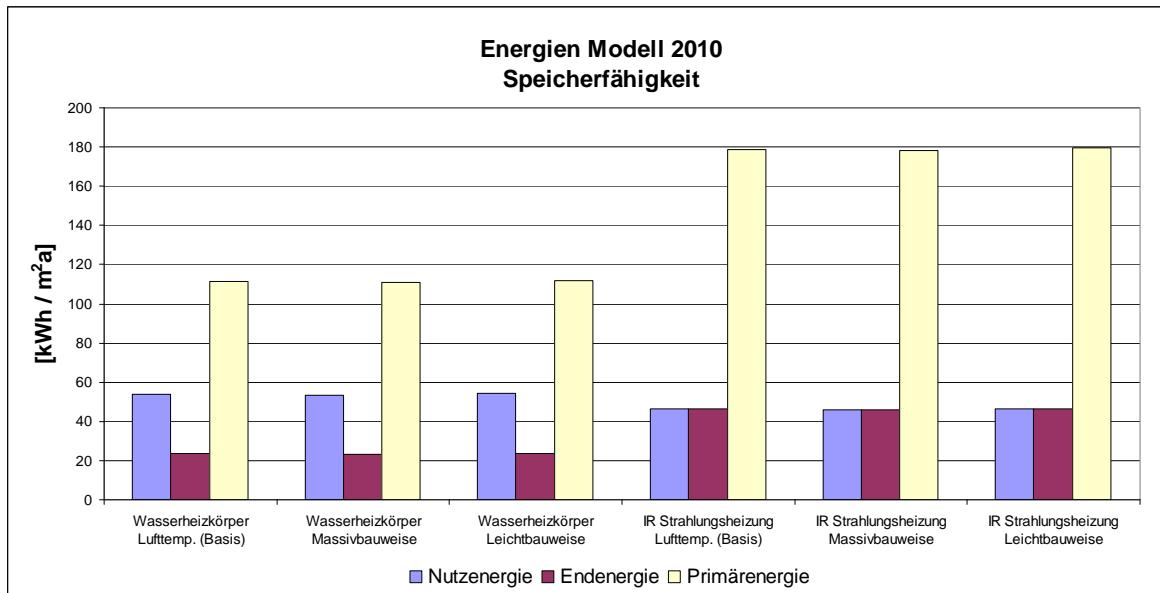


Abbildung 23 spezifischer Energiebedarf pro Jahr, Modul Speicherfähigkeit

Der Energiebedarf für die Raumheizung mit unterschiedlichen thermischen Speichermassen unterscheidet sich bei den untersuchten Varianten nicht wesentlich.

3.4.4. Fazit

Die Auswirkungen der Speicherfähigkeit des Gebäudes liegen im marginalen Bereich. Bei einer massiven Bauweise der Außenwand resultiert eine Reduktion, im Vergleich zu einer mittleren Bauweise, des Energiebedarfs um ca. 1.5%, bei einer geringen Speicherfähigkeit resultiert eine Erhöhung von ca. 0.5%. Die beiden Heizsysteme verhalten sich ähnlich.

4. Schlussfolgerung / Fazit

Die Simulationsresultate zeigen, dass IR-Strahlungsheizungen einen Raum nicht wesentlich effizienter beheizen können als konventionelle PWW Systeme (Betrachtung auf Stufe Nutzenergie). Die Abweichungen im Jahresenergiebedarf entstehen hauptsächlich durch die Rohrleitungsverluste des konventionellen Heizsystems (rund 10%). Andere Faktoren, wie z.B. Reaktionsgeschwindigkeit des Heizsystems auf äussere Einflüsse, haben nur einen sehr geringen Einfluss. Mit verschiedenen Simulationsvarianten wurde aufgezeigt, dass die Aussagen über die hohe Energieeffizienz der IR-Strahlungsheizungen falsch sind bzw. die erwähnten Vorteile auch bei anderen konventionellen Systemen auftreten können.

Bei den Speicherfähigkeiten treten keine grossen Abweichungen zwischen den untersuchten Varianten auf. In einer zusätzlichen Untersuchung wäre allenfalls dieser Effekt bei Gebäuden mit schlechteren U-Werten der Hülle zu analysieren.

Die grösste Abweichung zum Basisenergiebedarf (PWW Heizkörper Modell 1960 resp. 2010) entstand bei der Regelung nach PMV. Mit einer nur theoretisch realisierbaren Regulierung nach PMV könnte der Heizenergiebedarf so um ca. 25 % reduziert werden. Dieser Effekt ist aber auch bei einer konventionellen PWW Heizung sichtbar. In der Variante Modell 2010 und Wasserheizkörper ist vor allem der sehr tiefe Energiebedarf auffallend. Dies trotz der hohen Verluste der Rohrleitungen. Grund: Mittels der Führungsgrösse (hier: PMV-Wert) kann der Wasserheizkörper über die Variation der Wassermenge seine Leistung gleitend anpassen. IR-Strahlungsheizungen hingegen können nur ein- oder ausgeschalten werden.

Die Wärmeverluste von Rohrleitungen sind mit 10 % relativ hoch angenommen, vor allem wenn man bedenkt, dass Heizleitungen in unbeheizten Räumen isoliert werden müssen. Der Energieverlust von Rohrleitungen ist von der Temperaturdifferenz zwischen dem Medium und dem Raum abhängig. Die neue MuKEN definiert maximale Vorlauftemperaturen für Heizsysteme (z.B. Heizkörper max. 50°C). Bedingt durch neue Vorschriften fällt diese Thematik in Zukunft weniger ins Gewicht.

Die Jahresarbeitszahl des Wärmepumpensystems wird in der Basisvariante mit 2.3 angeben. Dies entspricht einem eher pessimistischen Wert.

Das Warmwasser wurde in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt. Es ist jedoch anzumerken, dass eine Erwärmung dessen auch mit einer Jahresarbeitszahl von 2 immer noch wesentlich effizienter ist als bei einer Elektrodirektheizung, wie sie bei einer IR-Strahlungsheizung nötig wäre. Bei sehr gut gedämmten Wohnbauten (z.B. Minergie-P) kann der Anteil des Warmwassers bis 50 % betragen.

Als Zusammenfassung kann man sagen, dass konventionelle Systeme bezogen auf die Systemgrenze Raum (Nutzenergie) einen praktisch identischen oder marginal grösseren Energieverbrauch aufweisen als IR-Strahlungsheizungen. Bezogen auf die Systemgrenze Haus (Endenergie) hat ein konventionelles PWW-System mit einer Wärmepumpe inkl. Hilfsenergie etwa einen 60 % tieferen Energiebedarf als eine IR-Strahlungsheizung. Ohne Systemgrenzen und mit den eingerechneten Primärenergiefaktoren ist die Differenz nochmals grösser und sogar eine Heizung mit nicht erneuerbaren Brennstoffen weist eine bessere Primärenergiebilanz auf als die IR-Strahlungsheizung (vgl. Kapitel 5.3.3).

5. Anhang

5.1. Sensitivitätsanalyse

5.1.1. Platzierung IR-Strahlungsheizung

Für die Optimierung der Platzierung der IR-Strahlungsheizungselemente wurde der Standort im Raum in einer separaten Simulation untersucht. Simuliert wurden zwei unterschiedliche Standorte. Einerseits wurde das Heizelement an einer Aussenwand platziert, andererseits an einer Innenwand. Es wurde darauf geachtet, dass die Heizelemente nicht direkt gegenüber einem Fenster platziert sind. Die Simulation ergab einen frappanten Mehrverbrauch (ca. 15%) in der kältesten Periode (Januar) des Jahres, bei einer Positionierung an der Aussenwand. Bezuglich des Jahresenergiebedarfs kann keine Aussage gemacht werden. Die Ergebnisse bestätigen die Aussagen von Herstellern solcher Systeme. In der Studie wurden alle Heizflächen an den Innenwänden oder an den Decken positioniert. Die Heizflächen, welche an den Innenwänden positioniert sind, befinden sich auf einer Höhe von ca. 1.5 m, dies korrespondiert mit diversen Reverenzen auf den Webseiten von Herstellern von IR-Strahlungsheizungssystemen.

5.1.2. Einschalthäufigkeit

Aufgrund der Mittelwertbildung kann man aus den Temperaturdiagrammen keine klare Aussage betreffend der Einschalthäufigkeit treffen. In einer weiteren Simulation wurde deshalb der Zeitschritt zwischen zwei Datenpunkten auf ca. 3 Sekunden reduziert. Aufgrund der riesigen Datenmenge konnte dies nicht auf ein ganzes Jahr angewendet werden. Die Auswertung der Einschalthäufigkeit wurde auf den kältesten Tag und den nachfolgenden beschränkt (15. und 16. Januar).

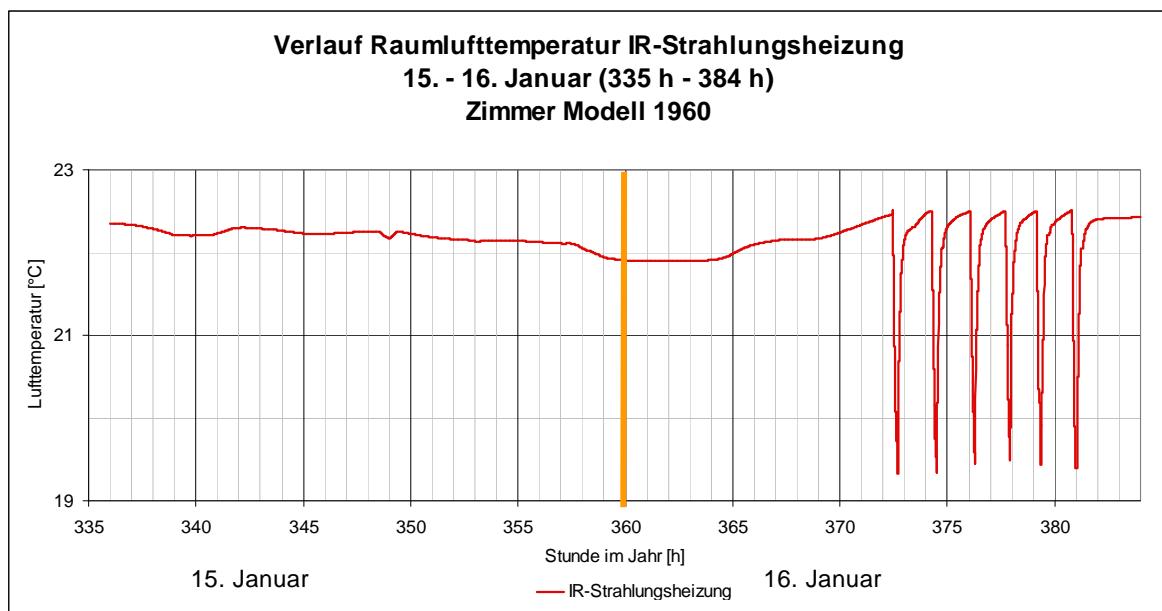


Abbildung 24 Raumtemperatur bei IR-Strahlungsheizung, 15. und 16. Januar, Modell 1960

Im Diagramm (Abbildung 24) ist ersichtlich, bedingt durch den kältesten Tag im Jahr, dass die IR-Strahlungsheizung durchläuft. Erst ab dem 16. Januar beginnt der Heizkörper zu takten.

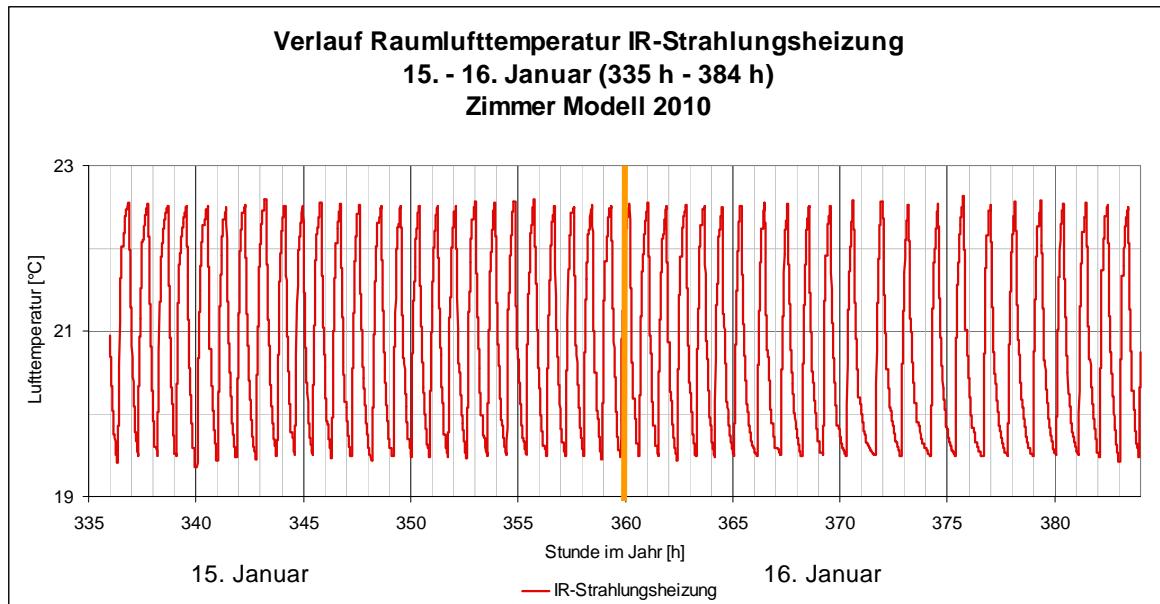


Abbildung 25 Raumtemperaturen bei IR-Strahlungsheizung, 15. und 16. Januar, Modell 2010

Im Diagramm (Abbildung 25) ist ersichtlich, dass die Leistung der IR-Strahlungsheizung genügend gross gewählt wurde. Innerhalb von 48 Stunden verzeichnet die IR-Strahlungsheizung ca. 50 Ein- und Ausschaltzyklen. Je grösser die Abstände zwischen zwei Einschaltungen desto geringer ist der Heizwärmebedarf im Raum. Am kältesten Tag ist die Periode zwischen zwei Einschaltungen kurz. Am 16. Januar verlängert sich die Periode zwischen zwei Einschaltungen schon merklich.

5.1.3. Reaktionsgeschwindigkeit

Ein Verkaufsargument von Herstellern für IR-Heizungen ist die hohe Reaktionsgeschwindigkeit solcher Systeme. In der Simulation wurde die Oberflächentemperatur der Heizfläche sowie das Stellsignal des Reglers / Thermostaten aufgezeichnet und ausgewertet. Das Ergebnis zeigt, dass die IR-Strahlungsheizung innerhalb von einigen Minuten jeweils die gewünschte Temperatur von ca. 90°C erreicht und nach dem Ausschalten die Oberfläche rasch wieder abkühlt.

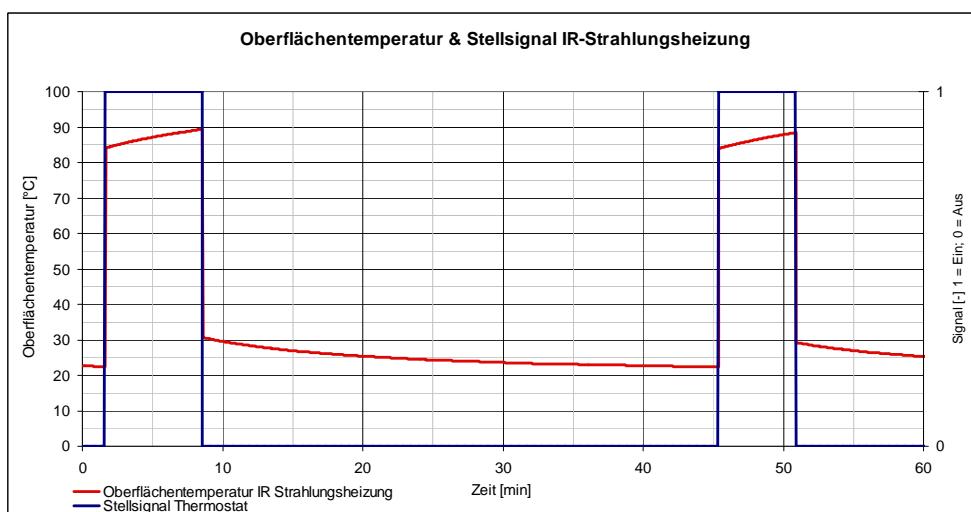


Abbildung 26 Temperaturverhalten der Oberflächentemperatur der IR-Strahlungsheizung

5.1.4. Positionierung Fühler

Die Messung des Raumtemperatur Sollwertes erfolgt beim Heizelement. Die Lufttemperaturen bei den unterschiedlichen Auswertungen respektive Diagrammen beziehen sich aber auf einen einzelnen Messpunkt, welcher eine Person darstellt. Diese Person ist höher positioniert als der Wasserheizkörper. Die IR-Strahlungsheizung ist, wie in den Produktbeispielen angegeben, auf einer ähnlichen Höhe wie die Person angeordnet. Die erwärmte Luft sammelt sich unterhalb der Decke und füllt den Raum von oben nach unten. Es entsteht ein Temperaturgradient. Diese Art der Regelung entspricht der Realität, weil Thermostatventile und Thermostaten ebenfalls beim Heizelement angeordnet werden.

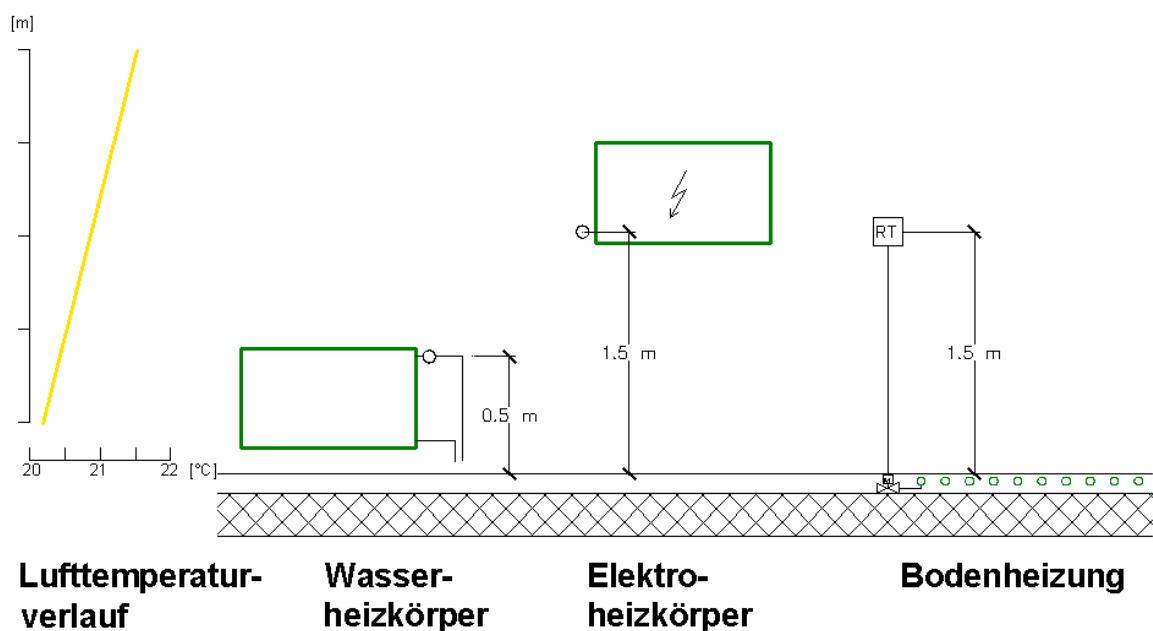


Abbildung 27 Positionierung Fühler

5.1.5. Speicherfähigkeit

Die für die Simulation verwendeten Heizelemente sind massenlos. Somit wurde die Speicherfähigkeit solcher Elemente vernachlässigt. Um den Einfluss von thermisch wirksamer Masse zu untersuchen, wurde das Modell mit einer Specksteinplatte von 2 cm Dicke, wie bei einem Kachelofen, erweitert. Die Untersuchung hat ergeben, dass diese zusätzliche Speichermasse den Energiebedarf um ca. 1 % reduziert. Mit einer zusätzlichen Masse ändert sich jedoch die Reaktionsgeschwindigkeit und das System wird trüger. Dies ist für das IR-Strahlungsheizungssystem nicht erwünscht.

5.2. Strahlungsaustausch

Das Simulationsprogramm berechnet das Modell mittels des physikalisch korrekten Rechenverfahrens für Strahlung. Es wird das Stefan-Boltzmann-Gesetz über die Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers verwendet. Eine Reduktion der Strahlungsleistung wird über ein Epsilon von 0.9 (entspricht einer normalen Heizkörperbeschichtung) vorgenommen. Massgeblich für den Strahlungsaustausch ist die Oberflächentemperatur des Heizkörpers. Diese ist wiederum abhängig von der Fläche sowie der Leistung. In der Simulation erreichen die IR-Strahlungsheizung die angegebenen Temperaturen von ca. 80 - 90°C. Der Strahlungsaustausch zwischen IR-Strahlungsheizung und Raum respektive Personen wird korrekt berücksichtigt. Für weitere Informationen betreffend Strahlung wird auf einschlägige Fachliteratur verwiesen⁷.

⁷ Technische Thermodynamik Cerbe / Wilhelms 15. Auflag
Wärme- und Stoffübertragung Baehr / Stephan 5. Auflage

5.3. Energien

5.3.1. Nutzenergie

Die Nutzenergie ist die thermische Energie, die dem Verbraucher unmittelbar zur Verfügung steht, z.B. als Wärme im Raum, als dem Raum entzogene Wärme (Kühlung) oder als Warmwasser an der Entnahmestelle.

5.3.2. Endenergie

Als Endenergie bezeichnet man die Energie, welche benötigt wird um die Nutzenergie bereitzustellen. In der Endenergie sind Wirkungsgrade respektive Leistungszahlen (COP) der Wärmeerzeugung berücksichtigt. Die Systemgrenze ist das Gebäude.

5.3.3. Primärenergie

Als Primärenergie bezeichnet man die Energieform, welche in natürlicher Form vorkommt. Mittels eines Primärenergiefaktors wird die Endenergie in Primärenergie umgerechnet. Dieser Faktor berücksichtigt die Verluste bei der Erzeugung und Verteilung der Energie sowie die Energie für z.B. die Gewinnung der Ressourcen oder deren Transport. Die verwendeten Primärenergiefaktoren wurden aus dem Bericht „Grundlage Datenbank EcoInvent“⁸ von Dr. Frischknecht übernommen. Die Faktoren für Elektrizität sind in der Schweiz tief, dies hängt mit dem Schweizer Strommix zusammen, welcher zu ca. 55 %, aus Wasserkraft besteht. In den Nachbarländern, z.B. Deutschland wird die Elektrizität primär aus Kohlekraftwerken gewonnen, was zu entsprechend höheren Primärenergiefaktoren führt (vgl. UCTE-Mix⁸).

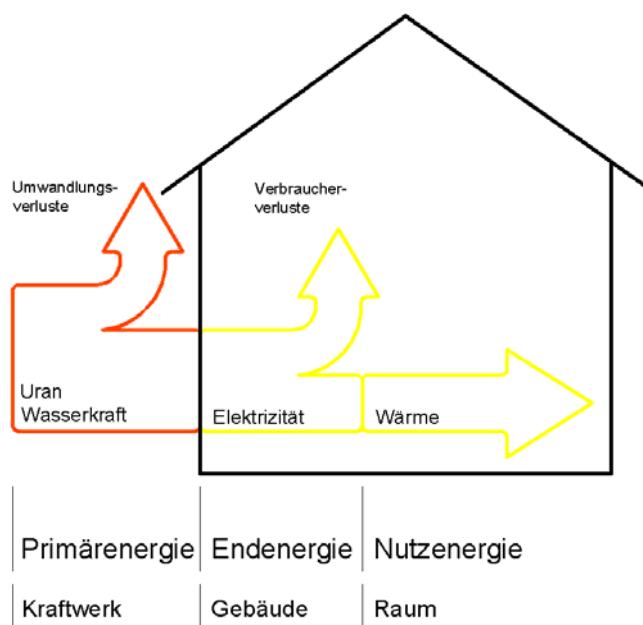


Abbildung 28 Zusammenhang Primär-, End- und Nutzenergie

⁸ <http://www.esu-services.ch/cms/fileadmin/download/frischknecht-2008-Energiesysteme.pdf> Stand April 2009

⁹ europäische Vereinigung für Transport und Systembetreuung von Elektrischer Energie (European Network of Transmission System Operators for Electricity)

13. Dezember 2010
Seite 36/55
Vergleich Energieeffizienz: Infrarot-Heizung vs. Wärmepumpen-Heizung

Elektrizität

Primärenergiefaktor
CO2-Äquivalente

CH-Verbrauchermix

2.97 MJ eq
0.043 kg CO2-eq

UCTE-Mix

3.53 MJ eq
0.165 kg CO2-eq

Heizöl

Primärenergiefaktor
CO2-Äquivalente

Erdgas

Primärenergiefaktor
CO2-Äquivalente

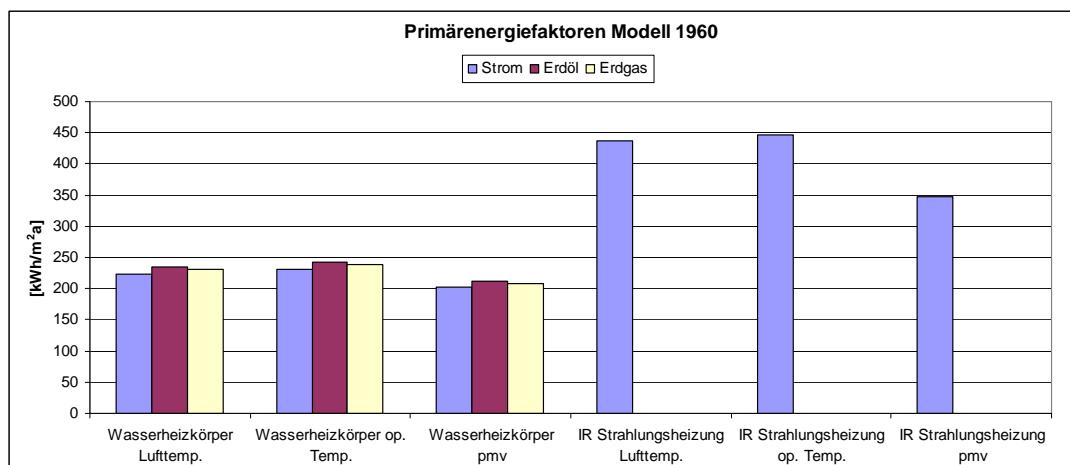


Abbildung 29 Primärenergiefaktoren, Modell 1960

Durch eine Auswertung auf Basis Primärenergie wird ersichtlich, dass IR-Strahlungsheizungen wesentlich schlechter abschneiden als ein Pumpenwarmwassersystem (PWW) mit einer nicht erneuerbaren Energiequelle wie z.B. Erdöl mit einer modernen Wärmeerzeugung¹⁰

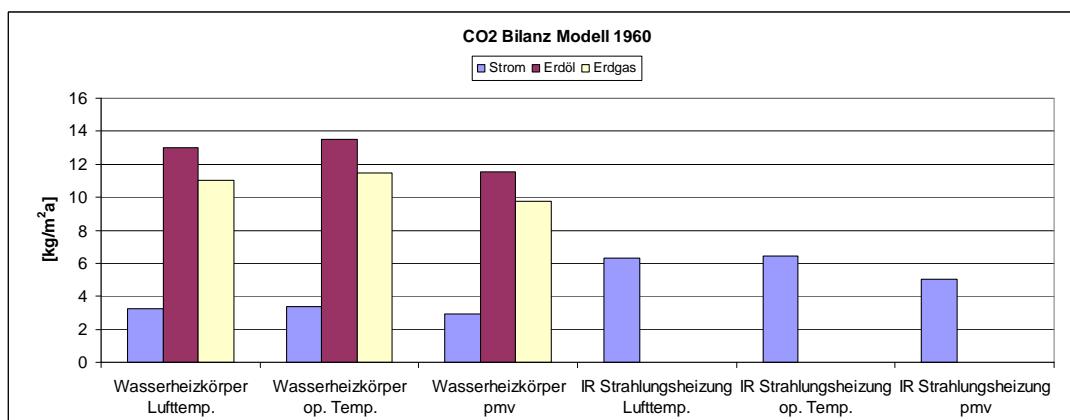


Abbildung 30 CO2-Bilanz, Modell 1960

Die Elektrizität schneidet beim Vergleich des CO₂ Ausstosses mit fossilen Energieträgern, wesentliche besser ab. Dies gilt nur solange die Elektrizität praktisch CO₂ neutral, wie z.B. in Wasserkraftwerken, erzeugt wird.

¹⁰ kondensierender, modulierender Öl- oder Gaskessel Wirkungsgrad ca. 95%

5.4. Exergie / Anergie

Als Exergie bezeichnet man den hochwertigen Teil der Energie (im Gegensatz dazu ist die Anergie der niederwertige Teil der Energie). Exergie ist z.B. Elektrizität, potenzielle Energie (z.B. Wasser in einem Stausee), innere Energie (Energiegehalt von Erdöl) usw. Diese Energieformen lassen sich in andere Energieformen umwandeln (z.B. im Verbrennungsmotor wird innere Energie in kinetische Energie umgewandelt). Anergie ist Wärme auf einem Temperaturniveau, das unterhalb der Umgebungstemperatur liegt und somit nicht direkt nutzbar ist. Der Nutzenergiebedarf bei einer Wärmepumpe und einer IR-Strahlungsheizung ist praktisch identisch. Bezogen auf die Systemgrenze Haus schneidet die Wärmepumpe wesentlich besser ab. Eine Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 3 bezieht zu einem Drittel Exergie (Antrieb des Kompressors und der Hilfsaggregate) und zu zwei Dritteln Anergie (Umweltwärme auf tiefem Temperaturniveau). Eine IR-Strahlungsheizung hingegen verwendet zu 100% hochwertige Exergie, welche sinnvoller als zu Heizzwecken auf tiefem Temperaturniveau (wie es für die Raumheizung typisch ist) verwendet werden sollte.

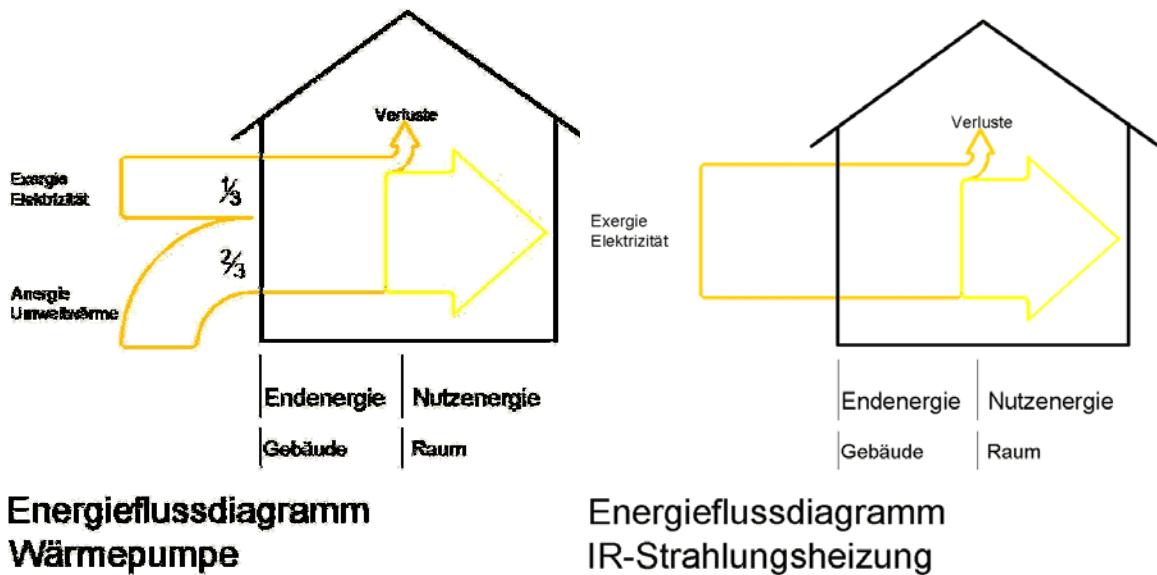


Abbildung 31 Energieflussbilder Anergie / Exergie

5.5. Temperaturen

In diesem Bericht ist von verschiedenen Temperaturen die Rede. Eine kurze Auflistung verschiedener Temperaturbegriffe soll Klarheit schaffen.

Operative Temperatur / Raumtemperatur (Empfindungstemperatur)

Die Operative Temperatur setzt sich je zur Hälfte aus der Raumlufttemperatur (t_L) und der Oberflächentemperatur (t_O) zusammen. Diese Temperatur ist bei Behaglichkeitsbetrachtungen massgebend. Bei verhältnismässig kalten Wänden muss entsprechend die Raumlufttemperatur erhöht werden, um eine gleichwertige Raumtemperatur (und somit eine gleichwertige Behaglichkeitsbedingung) zu erzielen.

Lufttemperatur (t_L)

Mittels eines strahlungsgeschützten Fühlers kann die reine Raumlufttemperatur gemessen werden.

Strahlungs- resp. Oberflächentemperatur (t_O)

Mit einem schwarzen, kugelförmigen Fühler kann die reine Oberflächentemperatur gemessen werden.

Ein gewöhnlicher Thermostat in einer konventionellen PWW Heizung misst die Raumtemperatur. Das gleiche gilt für einen Wandthermostaten wie er in den meisten IR-Heizungssystemen verwendet wird.

5.6. Regelung PMV / PPD

Die verschiedenen Temperaturgrößen (Raumlufttemperatur, Strahlungstemperatur, Raumtemperatur) sind mögliche Größen zur Beurteilung der Behaglichkeit in einem Raum. Andere, präzisere Größen sind PMV und PPD (Fangersche Komfortgrößen). PPD gibt an, welcher Anteil eines typischen Personensamples in einem Raum sich betreffend thermischer Behaglichkeit voraussichtlich unzufrieden sein werden (predicted percentage dissatisfied – PPD). PMV steht für die erwartete mittlere Bewertung dieser Temperatur (predicted mean vote – PMV). Durch ein solches Modell ist gewährleistet, dass alle Eigenschaften der Behaglichkeit, welche durch ein Heizsystem beeinflussbar sind, berücksichtigt werden.

Die Regulierung erfolgt mit einem im Aufenthaltsbereich platzierten PMV-Regler. Mit einem PI-Regler (respektive Thermostaten) werden die untersuchten Heizsysteme auf einen konstanten Komfortwert von -0.5 PMV geregelt. Die Heizungsregulierung erfolgt also nicht aufgrund der Raumlufttemperatur oder der Außenlufttemperatur sondern auf den angestrebten mittleren Komfort im Raum. Auf diese Weise können die unterschiedlichen Systeme bei gleich bleibendem Komfort verglichen werden.

Die Regelung auf den PMV-Wert von -0.5 (Behaglichkeit im Raum wird als leicht zu kühl empfunden) bezieht sich auf die Empfehlung für Raumtemperaturen des SIA (Schweizerischer Ingenieur und Architektenvereins). Dieser Wert entspricht einer Raumtemperatur, je nach Aktivität und Bekleidung, von ca. 21°C. Eine Regelung auf den PMV-Wert von 0 (entspricht ca. 23°C) macht aus energetischer Sicht nicht unbedingt Sinn.

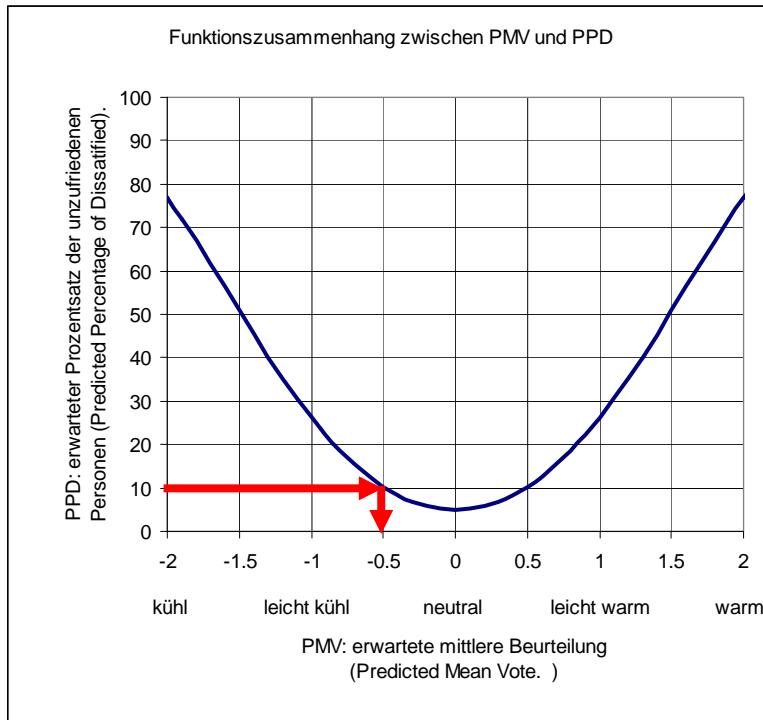


Abbildung 32 Zusammenhang PPD / PMV

In der Praxis sind solche Systeme nicht möglich, weil es sich hier nicht mehr um eine automatische sondern um eine manuelle Regelung handelt.

6. Grundlagen

6.1. Definition Infrarotheizung

Die Infrarotheizung wandelt den Elektrischen Strom direkt in Wärme um. Dabei wird mit 100% elektrischer Energie maximal 100% Wärme erzeugt. Demzufolge ist eine Infrarot-Strahlungsheizung eine Elektrodirektheizung.

6.2. Gebäude und Zonen

Für das Gebäude sind verschiedene Zonen vorgesehen. Die Grundlagen für die Zonen werden von der SIA 2024 entnommen. Die verwendeten Nutzungen sind Schlafzimmer, Küche sowie Bad/WC und Nebenräume. Eine Zusammenstellung spezifischen Werten wird nachfolgend behandelt.

6.3. Wärmeerzeugung

Die bisherige Wärmeerzeugung besteht aus einem Ölkkessel. Die Brauchwarmwasserladung erfolgt dezentral über Elektroboiler. Die Ladung des Warmwassers erfolgte in der Nacht.

6.4. Aussenwand Untergeschoss

Bestehend

Der Aufbau erfolgt von innen nach aussen.

Tabelle 5 Materialisierung Aussenwand UG bestehend

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Beton	2.5	2'400	1'000	0.3
Summe				0.3
U-Wert	W/m²K			1.67

Saniert (WS2)

Der Aufbau erfolgt von innen nach aussen.

Tabelle 6 Materialisierung Aussenwand UG saniert

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Beton	2.5	2'400	1'000	0.3
Thermische Isolation	0.036	30	1'400	0.16
Summe				0.46
U-Wert	W/m²K			0.21

6.5. Aussenwand

Bestehend

Der Aufbau erfolgt von innen nach aussen.

Tabelle 7 Materialisierung Aussenwand bestehend

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m

13. Dezember 2010
Seite 41/55
Vergleich Energieeffizienz: Infrarot-Heizung vs. Wärmepumpen-Heizung

Backstein	0.440	1'100	940	0.3
Summe				0.3
U-Wert	W/m²K			1.04

Saniert (WS1)

Der Aufbau erfolgt von innen nach aussen.

Tabelle 8 Materialisierung Aussenwand UG saniert

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Backstein	0.440	1'100	940	0.3
Thermische Isolation	0.036	30	1'400	0.16
Summe				0.46
U-Wert	W/m²K			0.18

6.6. Decke gegen Estrich

Bestehend

Der Aufbau erfolgt von innen nach aussen.

Tabelle 9 Materialisierung Decke gegen Estrich bestehend

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Balkendecke mit Schlackenfüllung				0.24
Summe				0.24
U-Wert	W/m²K			0.8

Saniert (Dsi5)

Der Aufbau erfolgt von innen nach aussen.

Tabelle 10 Materialisierung Decke gegen Estrich saniert

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Balkendecke mit Schlackenfüllung				0.24
Thermische Isolation	0.036	30	1'400	0.16
Summe				0.4
U-Wert	W/m²K			0.18

6.7. Innenwand gegen unbeheizt

Bestehend

Tabelle 11 Materialisierung Innenwand gegen unbeheizt bestehend

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Backstein	0.440	1'100	940	0.15

Summe				0.15
U-Wert	W/m²K			1.71

Saniert (Ws26)

Tabelle 12 Materialisierung Innenwand gegen unbeheizt saniert

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Backstein	0.440	1'100	940	0.15
Thermische Isolation	0.038	30	1'400	0.1
Summe				0.25
U-Wert	W/m²K			0.29

6.8. Boden EG

Bestehend

Der Aufbau erfolgt von oben nach unten.

Tabelle 13 Materialisierung Boden EG bestehend

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	M
Zementesterich	1.4	2'200	1'000	0.1
Beton	2.5	2'400	1'000	0.18
Summe				0.28
U-Wert	W/m²K			2.01

Saniert (Bs4)

Der Aufbau erfolgt von oben nach unten.

Tabelle 14 Materialisierung Boden EG saniert

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Zementesterich	1.4	2'200	1'000	0.1
Beton	2.5	2'400	1'000	0.18
Thermische Isolation	0.035	30	1'400	0.05
Summe				0.33
U-Wert	W/m²K			0.54

6.9. Fenster

Die bestehenden Fenster bestehen aus einer zweifach Verglasung (Annahme).

Tabelle 15 Detail Fenster bestehend

Bezeichnung	Wert	Einheit
U-Wert Glas	2.0	W/(m ² K)

U-Wert Rahmen (inkl. allen Wärmebrücken)	4.0	W/(m ² K)
U-Fenster	2.5	W/(m ² K)
Rahmenanteil	25	%
g-Wert	0.73	-
τ -solar	0.65	-

Tabelle 16 Detail Fenster saniert

Bezeichnung	Wert	Einheit
U-Wert Glas	0.8	W/(m ² K)
U-Wert Rahmen (inkl. allen Wärmebrücken)	2.0	W/(m ² K)
U-Fenster	1.2	W/(m ² K)
Rahmenanteil	25	%
g-Wert	0.45	-
τ -solar	0.40	-

6.10. Sonnenschutz

Es wird von einer aussen liegenden Storen-Beschattung ausgegangen. Der Reduktionswert für den g-Wert beträgt 0.33, der für τ_{solar} 0.3

Tabelle 17 Sonnenschutz detailliert

Bezeichnung	Wert best.	Wert san.
g-Wert Glas	0.73	0.45
Resultierender g-Wert	0.24	0.15
Resultierendes τ -solar	0.195	0.135

Der Sonnenschutz wird ab 150 W/m² Sonneneinstrahlung auf die Fassade automatisch geschlossen. Im IDA wird der Internal shading Control Level auf 97.5 W/m² (T = 0.65) respektive 60.0 W/m² (T = 0.40) gesetzt. Weiter ist die Innentemperatur massgeblich, sobald im Winter die Temperatur im Raum 25°C bzw. im Sommer 23°C überschreitet wird der Sonnenschutz herunterfahren. Durch diese Regelung kann man im Winter Wärme sparen und im Sommer eine Überhitzung verhindern.

Externe Verschattung

Oberhalb des Bereichs Wohnen Erdgeschoss ist ein Balkon als Externe Verschattung vorgesehen.

6.11. Wärmebrücken

In der Variante Altbau werden aufgrund der hohen U-Werte keine Wärmebrücken berücksichtigt. In der Variante Minergie werden die unten aufgeführten berücksichtigt.

Aussenwand – Geschossdecke	0.01 W/(m*K)
Aussenwand – Innenwand	0.01 W/(m*K)
Aussenwand – Aussenwand	0.06 W/(m*K)
Leibung Fenster	0.02 W/(m*K)
Anschluss Balkon	0.10 W/(m*K)

6.12. Systeme

System Basisvariante

Wärmepumpe mit Heizkörper	
Systemtemperaturen bei AT – 7°C	55/45°C
JAZ Wärmepumpe gem. SIA	2.3
Verlust Rohrleitungen (Simulation)	10%

System Variante Wärmeabgabesystem

Wärmepumpe mit Bodenheizung	
Systemtemperaturen bei AT – 7°C	35/25°C
JAZ Wärmepumpe	3.3
(Die JAZ der WP wurde mit dem Programm W-Pesti berechnet, auf dem Stand der Technik)	
Verlust Rohrleitungen (Simulation)	10%

Heizkörper

Leistungen:	variabel je nach Heizlast
Exponent:	1.28
Temp. Diff:	10 K

Infrarot Strahlungsheizung

Systemwahl wird vom Lieferant gegeben

System:	Redwell
Platzierung:	Decke / Innenwände

6.13. Energien

Ölverbrauch

Daten über den Erdölverbrauch sind seit 2004 dokumentiert. Durch diese Daten resultiert ein durchschnittlicher Jahresölverbrauch von ca. 4500 Liter. Umgerechnet von Volumen auf Masse ergibt sich eine Brennstoffmenge von ca. 3870 kg. Dies multipliziert mit dem Heizwert ergibt einen Primärenergieverbrauch von ca. 45500 kWh.

Stromverbrauch

Der durchschnittliche Stromverbrauch errechnet sich aus den Daten seit 2006. Ein hoher Verbrauch der Elektrizität im Niedertarif schliesst auf eine Nachtladung der dezentralen Warmwassererwärmung. Der durchschnittliche jährliche elektrische Energieverbrauch liegt bei ca. 7400 kWh.

Warmwasser

Durchschnittlich haben 3 Personen in diesem Haus gelebt. Diese haben bei einem durchschnittlichen Komfort¹¹ einen täglichen Warmwasserverbrauch von ca. 150 Liter 60°C. Aufgerechnet auf einen Jahresenergieverbrauch ergibt sich ein Energieverbrauch von ca. 2600 kWh¹²

¹¹ gem. SI-Handbuch Blatt 2.2.7 – 40 Liter/Person Tag

¹² Erwärmung von 10 - 60°C, Nutzungstage 365d, Wirkungsgrad 80%, Gleichzeitigkeit 0.8

SIA Systemnachweis 380/1:2007

Für den unsanierten Altbau wurde ein Systemnachweis erstellt. Der Grenzwert für die Sanierung liegt bei 367 MJ/m². Die U-Werte wurden aufgrund der tatsächlich vorhandenen Konstruktionen (Originalpläne) berechnet.

Bestehend

Der bestehende Heizwärmebedarf liegt bei 819 MJ/m². Umgerechnet auf den gesamten Energiebedarf für die Raumheizung ergibt sich ein Wert von ca. 61'500 kWh. Im Vergleich zu dem effektiven Ölverbrauch ist der Wert aus der SIA Berechnung zu hoch.

Der um ca 50% tiefere reale Verbrauch resultiert aus der Nutzung: das Haus wurde von nur drei Personen bewohnt, welche zudem häufig abwesend waren (untypische Wohnnutzung).

Saniert

Nach der Sanierung des EFH liegt der berechnete Heizwärmebedarf bei 232 MJ/m². Umgerechnet auf den gesamten Energieverbrauch ergibt sich ein Wert von ca. 18'300 kWh.

6.14. Nutzungen

Die Daten zu den Nutzungen wurden mit Hilfe des SIA MB 2024 und dem effektiven Elektrizitäts-Verbrauch interpoliert.

Nutzung Wohnen

Personen

Belegung:	54 m ² /Person
Aktivität:	1.2 met
Bekleidung:	1.0 clo
Fahrplan:	siehe 3.1.6.

Geräte

Leistung:	0.9 W/m ²
Konvektiver Anteil:	-
Fahrplan:	siehe 3.1.6.

Beleuchtung

Leistung	4.4 W/m ²
Lichtausbeute:	40 lm/W
Konvektiver Anteil:	30%
Beleuchtungsstärke:	200 Lux
Fahrplan:	Während Personenanwesenheit (Beleuchtung wird vom Benutzer von Hand Ein- / Ausgeschaltet.)

Nutzung Küche

Personen

Belegung:	5 m ² /Person
Aktivität:	1.2 met
Bekleidung:	1.0 clo
Fahrplan:	siehe 3.1.6.

Geräte

Leistung:	18.75 W/m ²
Konvektiver Anteil:	30 %
Fahrplan:	siehe 3.1.6.

Beleuchtung

Leistung	8.0 W/m ²
Lichtausbeute:	55 lm/W
Konvektiver Anteil:	30%
Beleuchtungsstärke:	500 Lux
Fahrplan:	Während Personenanwesenheit (Beleuchtung wird vom Benutzer von Hand Ein- / Ausgeschaltet.)

Nutzung Bad

Personen

Belegung: keine Personenbelegung

Beleuchtung

Leistung	5.3 W/m ²
Lichtausbeute:	40 lm/W
Konvektiver Anteil:	30%
Beleuchtungsstärke:	100 Lux
Fahrplan:	Während Personenanwesenheit (Nutzung Wohnen) (Beleuchtung wird vom Benutzer von Hand Ein- / Ausgeschaltet.)

Nutzung Nebenräume

Personen

Belegung: keine Personenbelegung

Beleuchtung

Leistung	3.0 W/m ²
Lichtausbeute:	35 lm/W
Konvektiver Anteil:	30%
Beleuchtungsstärke:	100 Lux
Fahrplan:	Während Personenanwesenheit (Nutzung Wohnen) (Beleuchtung wird vom Benutzer von Hand Ein- / Ausgeschaltet.)

6.15. Lüftungsanlage

Bestehend

Fensterlüftung, hygienischer mindest Luftvolumenstrom

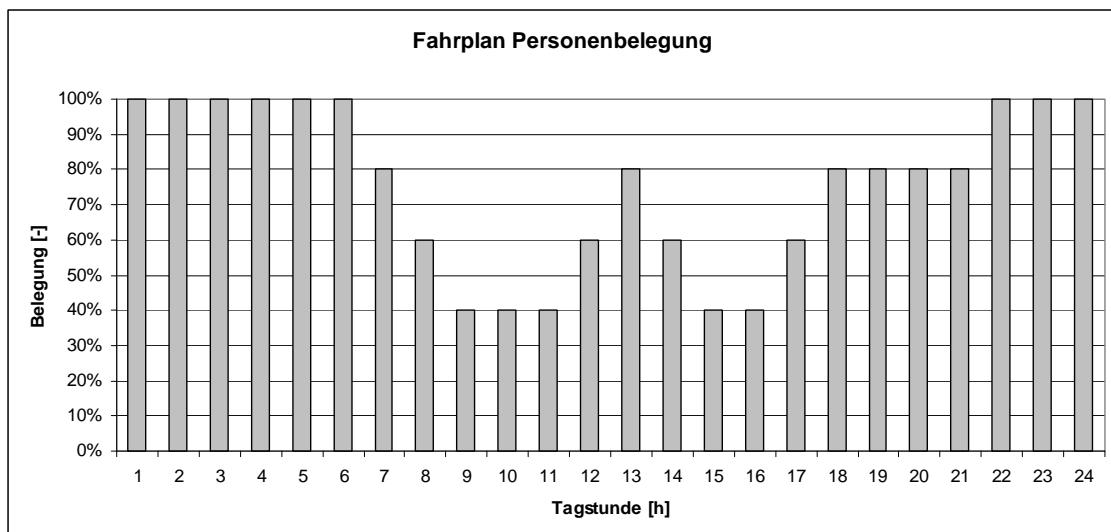
Natürliche Infiltration

n_{L50} : 1.0 h⁻¹

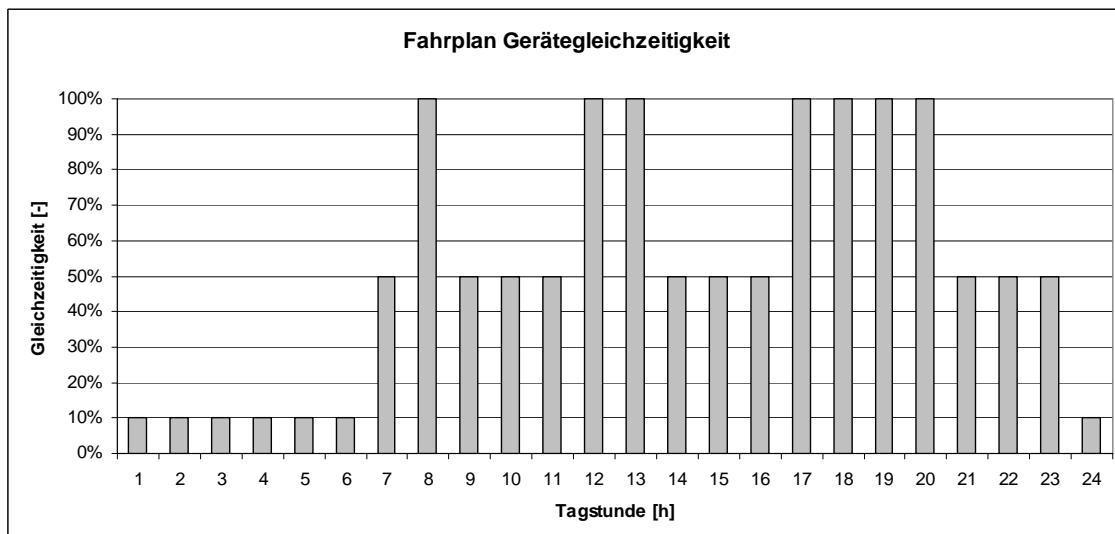
6.16. Fahrplan

Nutzung Wohnen

Personen



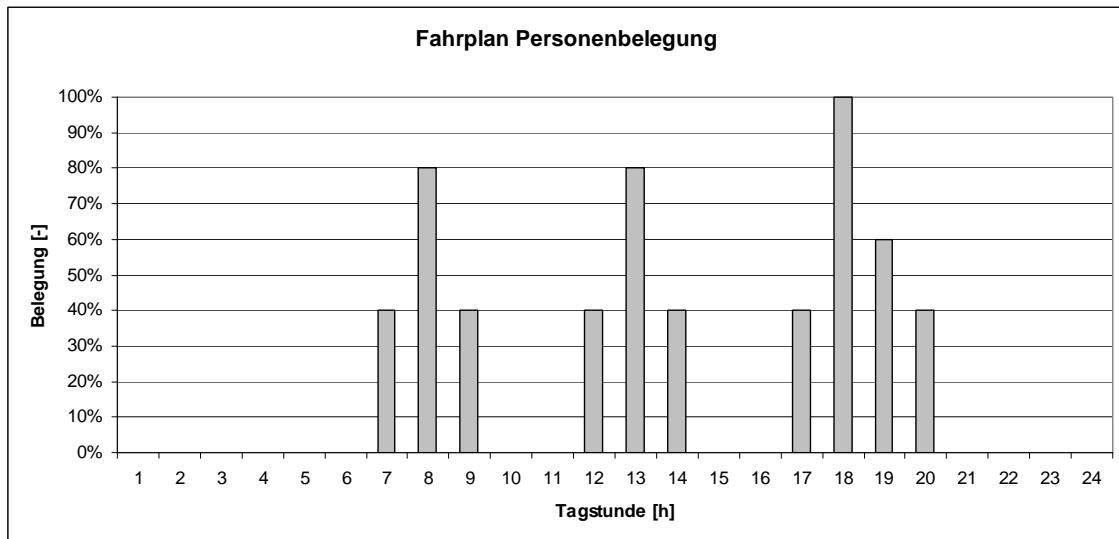
Geräte



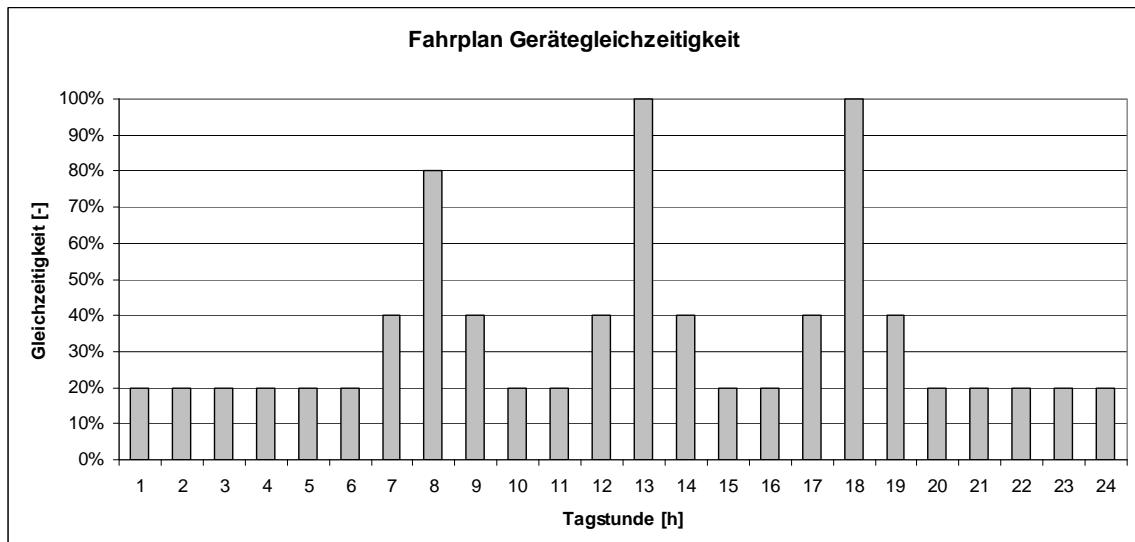
13. Dezember 2010
Seite 49/55
Vergleich Energieeffizienz: Infrarot-Heizung vs. Wärmepumpen-Heizung

Nutzung Küche

Personen

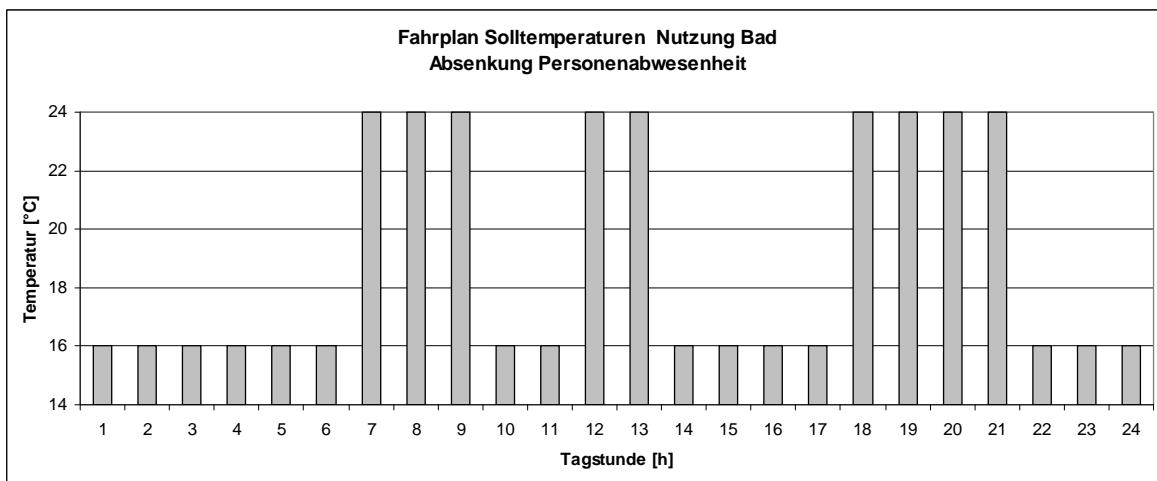
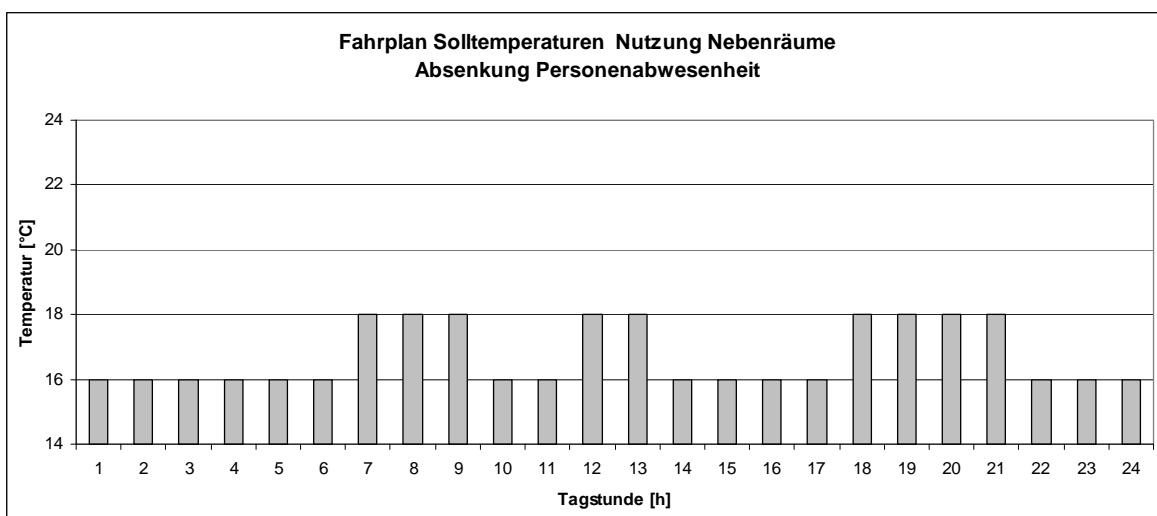
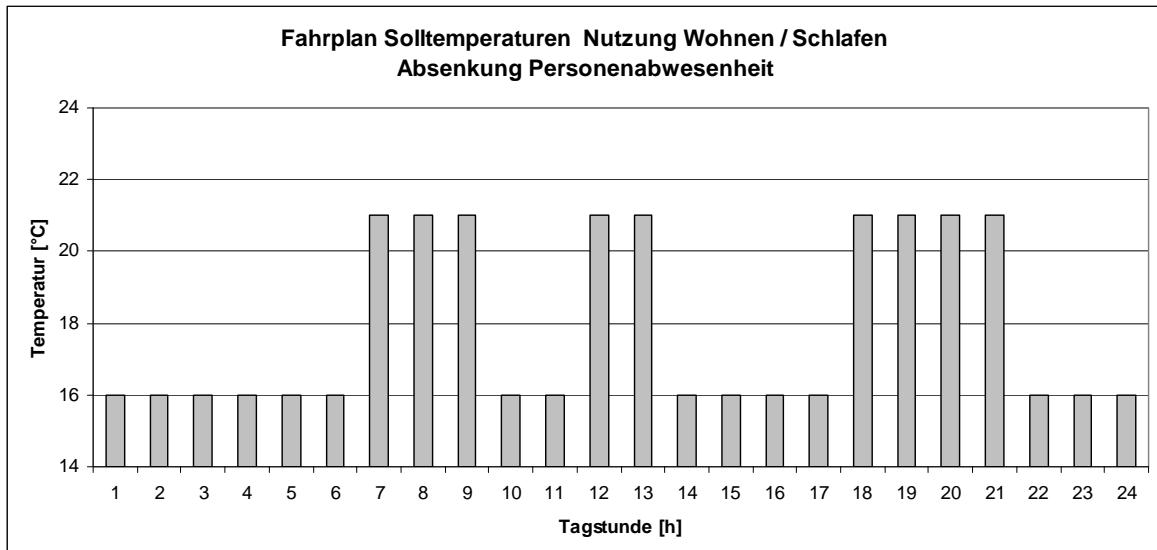


Geräte

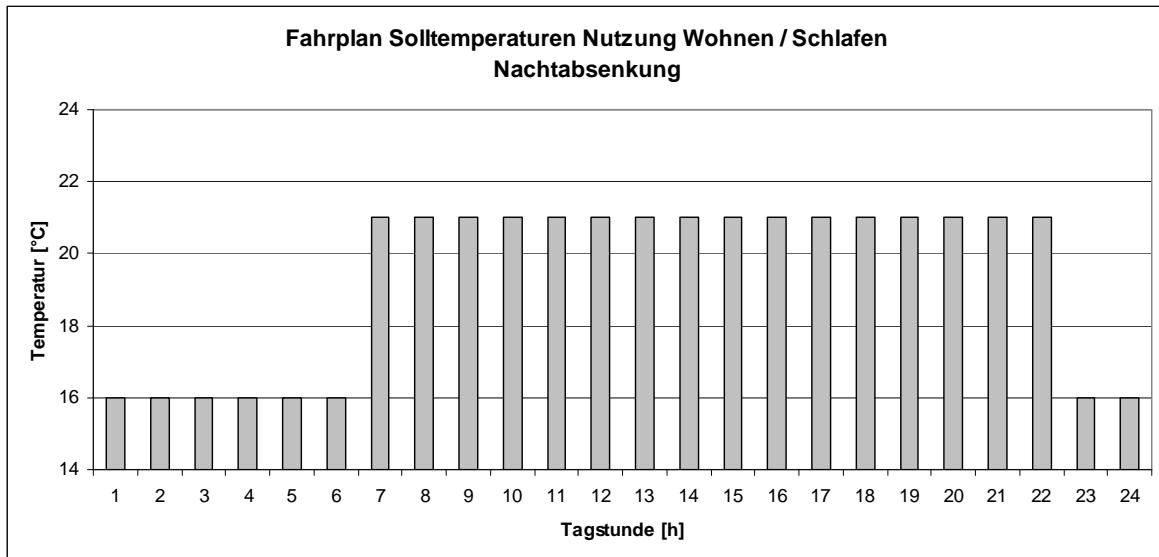


Fahrplan Nebenräume entspricht dem Fahrplan Bad

6.17. Fahrplan bei Variante Absenkung Personenabwesenheit



6.18. Fahrplan Nutzung Wohnen / Schlafen bei Variante Nachtabsenkung



6.19. Rohdaten Simulation

Variante	Grundlagen			Nutzenergie						Endenergie			Primärenergie		
	Regelungsaart	Qh	NGF	Jahresenergiebedarf	Heizung	Interne Lasten	Pumpen	Verlust	JAZ W/P	Wärmeerzeugung	Jahresenergiebedarf	Elektrizität	Differenz Endenergie	Gewichtete Primärenergie	
	kWh/m ²	m ²	kWh/a	kWh/m ²	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a m ²	kWh/a	kWh/a	J.	kWh/a	kWh/a m ²
Haus Stand 1960															
Regelstrategie															
Wasserheizkörper Lufttemp.	Lufttemperatur	227,5	284	40164	141,4	3829	120,2	4016	2,3	17463	61,5	17522,8	61,9	100%	52221
Wasserheizkörper op. Temp.	Operative Temperatur	227,5	284	41759	147,0	3829	131,5	4176	2,3	18156	63,9	18287,7	64,4	104%	54314
Wasserheizkörper pmv	pmv	227,5	284	53500	124,3	3829	77,6	3530	2,3	13348	54,0	15425,4	54,3	88%	45814
IR-Strahlungsheizung Lufttemp.	Lufttemperatur	227,5	284	37912	133,5	3829				37912	133,5	37912,0	133,5	216%	112599
IR-Strahlungsheizung op. Temp.	Operative Temperatur	227,5	284	38793	136,6	3829				38793	136,6	38793,0	136,6	221%	115215
IR-Strahlungsheizung pmv	pmv	227,5	284	23361	103,4	3829				23361	103,4	29561,0	103,4	187%	87222
Haus Stand 2010															
Regelstrategie															
Wasserheizkörper Lufttemp.	Lufttemperatur	64,4	284	15330	54,0	3963	17,0	1533	2,3	6665	23,5	6682,2	23,5	100%	18646
Wasserheizkörper op. Temp.	Operative Temperatur	64,4	284	15686	55,2	3963	29,1	1569	2,3	6820	24,0	6849,1	24,1	102%	20342
Wasserheizkörper pmv	pmv	64,4	284	11025	38,3	3963	11,8	1103	2,3	4753	16,9	4805,3	16,9	72%	14272
IR-Strahlungsheizung Lufttemp.	Lufttemperatur	64,4	284	13140	46,3	3963				13140	46,3	13140,0	46,3	197%	39026
IR-Strahlungsheizung op. Temp.	Operative Temperatur	64,4	284	13207	46,5	3963				12027	46,5	13207,0	46,5	198%	39225
IR-Strahlungsheizung pmv	pmv	64,4	284	11245	39,6	3963				11245	39,6	11245,0	39,6	168%	33398
Wärmeabgabesystem															
Wasserheizkörper	Lufttemperatur	64,4	284	15330	54,0	3963	17,0	1533	2,3	6665	23,5	6682,2	23,5	100%	18646
Fußbodenheizung	Lufttemperatur	64,4	284	15164	53,4	3963	15,0	1516	3,3	4595	16,2	4610,2	16,2	69%	13692
IR-Strahlungsheizung	Lufttemperatur	64,4	284	13140	46,3	3963				13140	46,3	13140,0	46,3	197%	39026
Absenkung															
Wasserheizkörper	Lufttemperatur	64,4	284	15330	54,0	3963	17,0	1533	2,3	6665	23,5	6682,2	23,5	100%	18646
Wasserheizkörper Nachabsenkung	Lufttemperatur	64,4	284	13933	49,1	3963	32,3	1393	2,3	6035	21,3	6090,1	21,4	91%	18088
Wasserheizkörper Abwesenheit	Lufttemperatur	64,4	284	13477	47,5	3963	26,5	1348	2,3	5860	20,6	5886,1	20,7	88%	17482
IR-Strahlungsheizung Lufttemp.	Lufttemperatur	64,4	284	13140	46,3	3963				13140	46,3	13140,0	46,3	197%	39026
IR-Strahlungsheizung Nachabsenkung	Lufttemperatur	64,4	284	12424	43,7	3963				12424	43,7	12424,0	43,7	186%	36899
IR-Strahlungsheizung Abwesenheit	Lufttemperatur	64,4	284	11632	41,0	3963				11632	41,0	11632,0	41,0	174%	34547
Speicherfähigkeit															
Wasserheizkörper Lufttemp.	Lufttemperatur	64,4	284	15330	54,0	3963	17,0	1533	2,3	6665	23,5	6682,2	23,5	100%	18646
Wasserheizkörper hoch	Lufttemperatur	64,4	284	15217	53,5	3963	27,0	1522	2,3	6616	23,3	6642,7	23,4	99%	19729
Wasserheizkörper tief	Lufttemperatur	64,4	284	15391	54,2	3963	27,2	1539	2,3	6692	23,6	6718,9	23,7	101%	19955
IR-Strahlungsheizung Lufttemp.	Lufttemperatur	64,4	284	13140	46,3	3963				13140	46,3	13140,0	46,3	197%	39026
IR-Strahlungsheizung tief	Lufttemperatur	64,4	284	13069	46,0	3963				13069	46,0	13069,0	46,0	196%	38815
IR-Strahlungsheizung hoch	Lufttemperatur	64,4	284	13218	46,5	3963				13218	46,5	13218,0	46,5	189%	39257

13. Dezember 2010
Seite 53/55
Vergleich Energieeffizienz: Infrarot-Heizung vs. Wärmepumpen-Heizung

6.20. Berechnung W-Pesti

Projekt:		MINERGIE / FWS / AWEL-En WPest / V6 4 / 2010 / HET	
Gebäudedaten			
Klimastation	Göttingen		
Gebäudekategorie	EFH		
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m^2	284
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	$Q_{h\ eff}$	MJ/m^2a	232
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_T	MJ/m^2a	300
Lüftungwärmeverluste nach SIA 380/1	Q_V	MJ/m^2a	81
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	0%
Sperrzeiten für Wärmepumpe		h/d	4
Heizleistungsbedarf SIA 384.201 bei -7°C	Vorschlagswert:	kW	9.6
Warmwasserbedarf nach SIA 380/1	Q_{ww}	MJ/m^2a	0
Warmwasser: Zusätzliche Speicher- und Verteilverluste		%	0%
Wärmepumpen-Anlage			
Name und Typ der Wärmepumpe:	FLW 1-12		
Wärmequelle:	Luft - Wärmepumpe		
Einsatz (Heizung oder Warmwasser):	Heizung		
Heizungsspeicher	ohne Heizungs - Speicher		
Betriebsweise der Wärmepumpen-Anlage:	monovalenter Betrieb Heizung		
COP bei Normtemperatur -7 °C / 35°C (A-7 / W35):			150
Heizleistung bei Normtemperatur -7 °C (A-7 / W35):			2.7
COP bei Normtemperatur +2 °C (A2 / W35):			11
Heizleistung bei Normtemperatur +2 °C (A2 / W35):			3.3
COP bei Normtemperatur +7 °C (A7 / W35):			13.1
Heizleistung bei Normtemperatur +7 °C (A7 / W35):			3.6
Temperalurerhöhung in der Wärmepumpe bei Normbedingungen	dT Nutzer	°C	15.4
Vorlauftemperatur der Heizung:	T_{VL}	°C	10
Rücklauftemperatur der Heizung:	T_{RL}	°C	35
Solaranlage			25
Resultate			
ungedeckter Wärmebedarf Heizung	0.6%		
Verluste im Heizbetrieb (Anfahren, Speicher, etc.)	2%	$Etah =$	98%
Verluste im WW-Betrieb (Anfahren, Speicher, etc.)	0%	$Etaw =$	100%
Laufzeit der Wärmepumpe		h / a	1'414
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für die Heizung	$\epsilon =$	$JAZ_h =$	3.30
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für Warmwasser		$JAZ_{ww} =$	0.00
Gewichtungsfaktor Heizung wh:		-	1.00
Gewichtungsfaktor Warmwasser www:		-	0.00
Jahresarbeitszahl Heizung + Warmwasser JAzh+ww:		-	3.30

7. Indexverzeichnis

7.1. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Vergleich U-Werte Stand 1960 / 2010	9
Tabelle 2 Vergleich Heizwärmeverbrauch 1960 / 2010.....	9
Tabelle 3 Jährlicher Heizölverbrauch unsaniert Zustand	9
Tabelle 4 Übersicht Simulationsvarianten	14
Tabelle 5 Materialisierung Aussenwand UG bestehend.....	40
Tabelle 6 Materialisierung Aussenwand UG saniert.....	40
Tabelle 7 Materialisierung Aussenwand bestehend	40
Tabelle 8 Materialisierung Aussenwand UG saniert.....	41
Tabelle 9 Materialisierung Decke gegen Estrich bestehend.....	41
Tabelle 10 Materialisierung Decke gegen Estrich saniert	41
Tabelle 11 Materialisierung Innenwand gegen unbeheizt bestehend.....	41
Tabelle 12 Materialisierung Innenwand gegen unbeheizt saniert.....	42
Tabelle 13 Materialisierung Boden EG bestehend.....	42
Tabelle 14 Materialisierung Boden EG saniert.....	42
Tabelle 15 Detail Fenster bestehend.....	42
Tabelle 16 Detail Fenster saniert.....	43
Tabelle 17 Sonnenschutz detailliert.....	43

7.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Strahlungsverlauf.....	8
Abbildung 2 Temperaturverlauf	8
Abbildung 3 Visualisierung Erdgeschoss mittels IDA-ICE 4.0	10
Abbildung 4 Visualisierung Obergeschoss mittels IDA-ICE 4.0	11
Abbildung 5 Gebäudehülle nicht saniert (Modell 1960)	12
Abbildung 6 Gebäudehülle saniert (Modell 2010)	12
Abbildung 7 Aussentemperatur- und Solarstrahlungsverlauf Winterwoche	15
Abbildung 8 Temperaturverlauf Winterwoche, Modul Regelungsstrategie, Modell 1960.....	16
Abbildung 9 Temperaturverlauf Winterwoche, Modul Regelungsstrategie, Modell 2010.....	17
Abbildung 10 Wochenverlauf Winter, PMV-Werte, Modul Regelungsstrategie, Modell 1960	18
Abbildung 11 Wochenverlauf Winter, PMV-Werte, Modul Regelungsstrategie, Modell 2010	19
Abbildung 12 spezifischre Energiebedarf pro Jahr, Modul Regelungsstrategie, Modell 1960	19
Abbildung 13 spezifischer Energiebedarf pro Jahr, Modul Regelungsstrategie, Modell 2010	20
Abbildung 14 Temperaturverlauf Winterwoche, Modul Wärmeabgabesystem, Modell 2010	21
Abbildung 15 Wochenverlauf Winter, PMV-Werte, Modul Wärmeabgabesystem, Modell 2010 ...	22
Abbildung 16 spezifischre Energiebedarf pro Jahr, Modul Wärmeabgabesystem.....	23
Abbildung 17 Temperaturverlauf Winterwoche, Modul Absenkung, Modell 2010.....	24
Abbildung 18 Wochenverlauf Winter, PMV-Werte, Modul Absenkung, Modell 2010	25
Abbildung 19 spezifischer Energiebedarf pro Jahr, Modul Absenkung	26
Abbildung 20 Temperaturverlauf Winterwoche, Modul Speicherfähigkeit, Modell 2010	27
Abbildung 21 Wochenverlauf Temperatur, Speicherfähigkeit Modell, 2010 IR-Strahlungsheizung	28
Abbildung 22 Wochenverlauf Winter, PMV-Werte, Modul Speicherfähigkeit, Modell 2010	28
Abbildung 23 spezifischer Energiebedarf pro Jahr, Modul Speicherfähigkeit	29
Abbildung 24 Raumtemperatur bei IR-Strahlungsheizung, 15. und 16. Januar, Modell 1960	31

13. Dezember 2010
Seite 55/55
Vergleich Energieeffizienz: Infrarot-Heizung vs. Wärmepumpen-Heizung

Abbildung 25 Raumtemperaturen bei IR-Strahlungsheizung, 15. und 16. Januar, Modell 2010	32
Abbildung 26 Temperaturverhalten der Oberflächentemperatur der IR-Strahlungsheizung.....	32
Abbildung 27 Positionierung Fühler.....	33
Abbildung 28 Zusammenhang Primär-, End- und Nutzenergie.....	35
Abbildung 29 Primärenergiefaktoren, Modell 1960.....	36
Abbildung 30 CO2-Bilanz, Modell 1960.....	36
Abbildung 32 Zusammenhang PPD / PMV	39