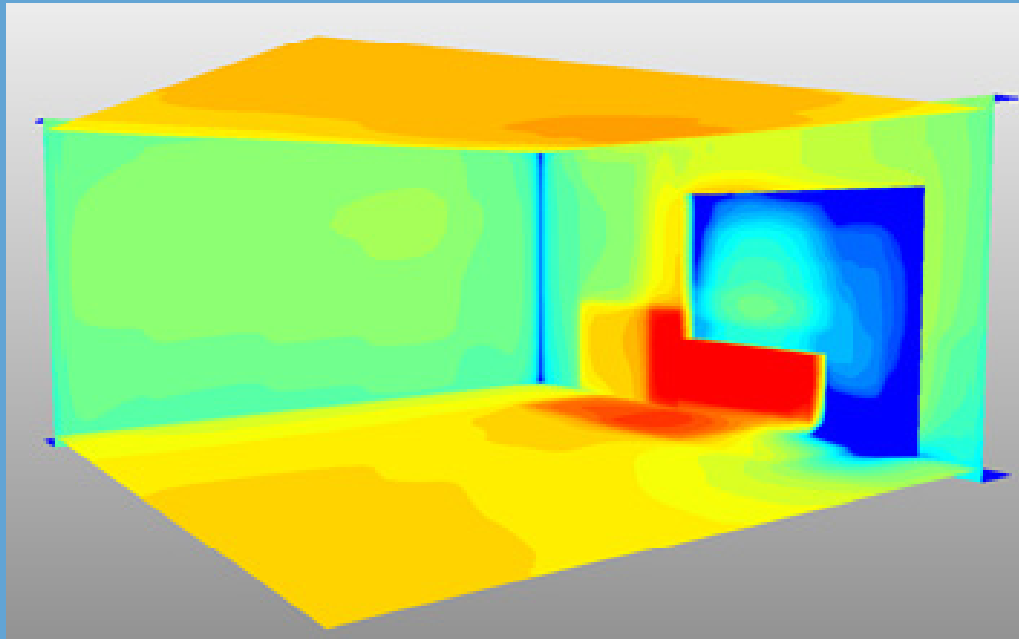


Simulationsstudie Energieeffizienz von Elektroheizungen

Thermische und Strömungstechnische Simulationen



Hintergrund

- Anstehende Ersatzpflicht für Nachtspeicherheizungen
- Intensive Bewerbung von direkten elektrischen „Infrarot“-Strahlungsheizungen

Ziele

- Vergleich der marktverfügbaren elektrischen Heizsysteme
- Komfort
- Energie
- Kosten

Wärmschutzstandard

C-Mehrfamilienhaus 1919 – 48

Haustyp C-MFH	
Energiekennwert* 238 kWh/m²a	
Wohnfläche 404 m²	
Umbautes Volumen 1061 m³	
A/V-Verhältnis 0,70 1/m	
Einsparpotential 80 – 81%	

Vorkrieg	Typ C aus Gebäudetypologie
	Ziegelmauerwerk 40cm
	U-Wert 1,57 W/m²K

Wärmschutzstandard

D-Mehrfamilienhaus 1949 - 57

Haustyp D-MFH	
Energiekennwert* 286 kWh/m ² a	
Wohnfläche 653 m ²	
Umbautes Volumen 2012 m ³	
A/V-Verhältnis 0,57 1/m	
Einsparpotential 84 – 86%	

Nachkrieg	Typ D aus Gebäudetypologie
	Bimshohlblocksteine (Hbl. 50) 40cm
	U-Wert 1,15 W/m ² K

Wärmschutzstandard

H-Mehrfamilienhaus 1984 – 94

Haustyp H-MFH	
Energiekennwert* 89 kWh/m²a	
Wohnfläche 720 m²	
Umbautes Volumen 1572 m³	
A/V-Verhältnis 0,49 1/m	
Einsparpotential 64 – 72%	

2. WSchtzVO	Typ H aus Gebäudetypologie
	Porenbeton 30cm
	U-Wert 0,60 W/m²K

Fenster in allen Varianten als Isolierverglasung $u_w = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

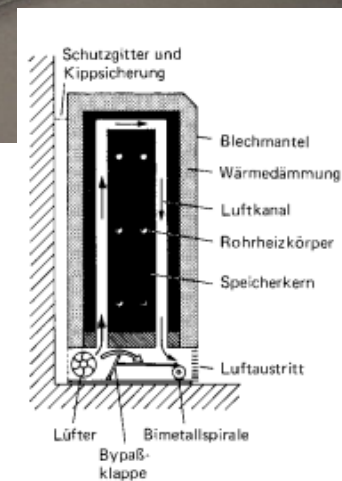
Heizsysteme:

Nachtspeicherheizung

Wärmeabgabe:

- 80% Konvektion
- 20% Strahlung

- direkte Strom / Wärmewandlung



Heizsysteme:

Konvektor

Wärmeabgabe

- 80% Konvektion
- 20% Strahlung

- Wassersystem
- direkte Strom / Wärmewandlung

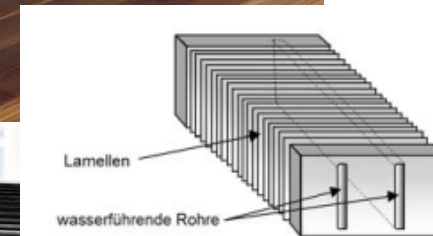


Bild 2.3.8-12. Prinzipskizze eines 2-rohrigen Konvektors.



Heizsysteme:

Heizkörper

Wärmeabgabe

Oberflächentemperatur ~ 70°C:

- 60% Konvektion
- 40% Strahlung

- Wassersystem



Heizsysteme:

Strahlungsheizung

Wärmeabgabe

Oberflächentemperaturen $\sim 90^{\circ}\text{C}$:

- 40% Konvektion
- 60% Strahlung

- direkte Strom / Wärmewandlung



Heizsysteme:

Strahlungsheizung

Wärmeabgabe

Oberflächentemperaturen $\sim 105^{\circ}\text{C}$:

- 20% Konvektion
- 80% Strahlung

- direkte Strom / Wärmewandlung



Heizsysteme:

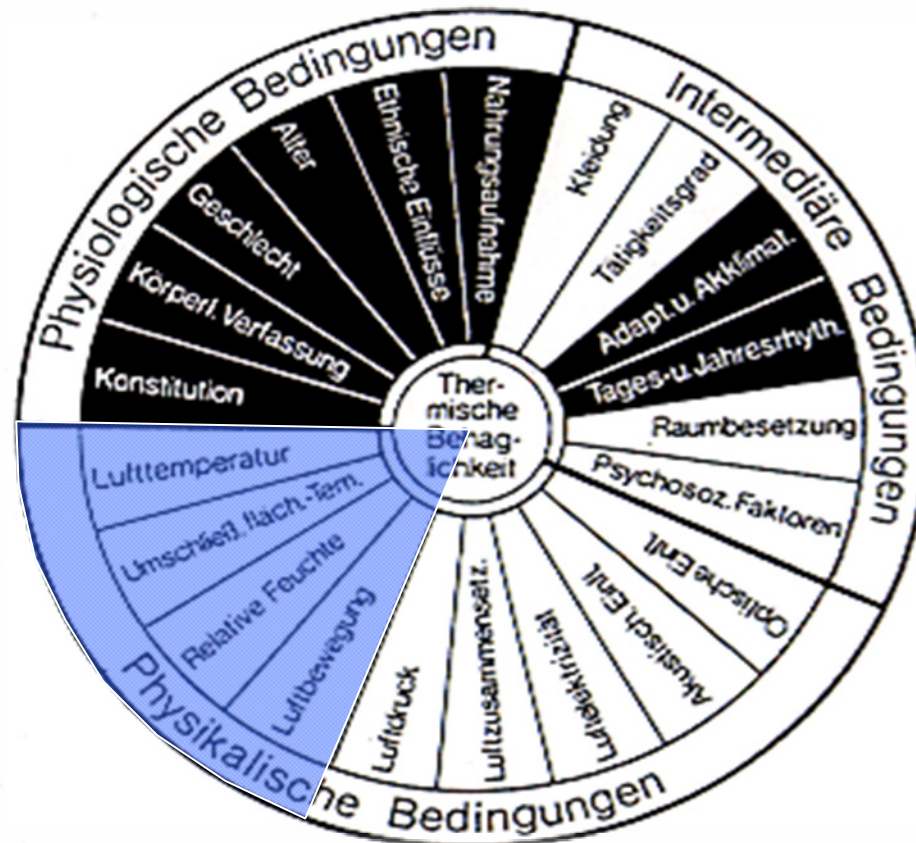
Fussbodenheizung

Oberflächentemperaturen 24-28°C°C:

- Strahlungsanteil ~ 55%
- Wassersystem
- direkte Strom / Wärmewandlung



Thermischer Komfort



Komfortbewertung

DIN EN 15251/ DIN ISO 7730

Erwartete mittlere Bewertung (Predicted Mean Vote - PMV)

Einflußfaktoren:

- Energieumsatz
- Bekleidung
- Lufttemperatur
- mittlere Strahlungstemperatur
- Luftgeschwindigkeit

Komfortbewertung

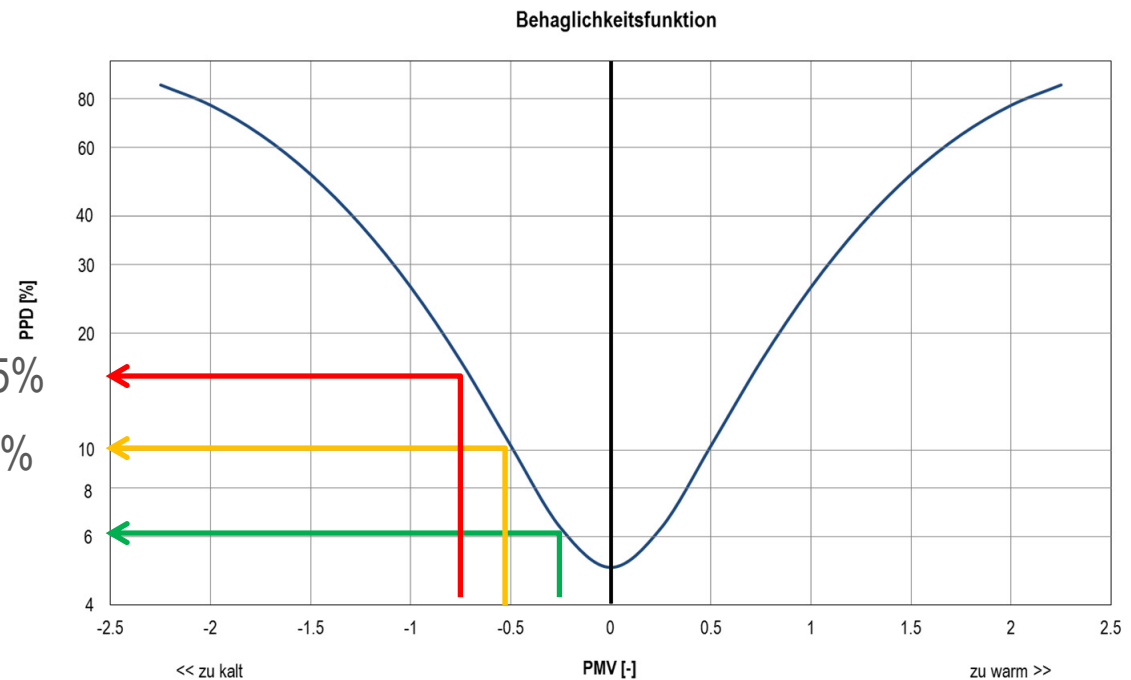
DIN EN 15251/ DIN ISO 7730

Prozentsatz an Unzufriedenen
(Percentage of Dissatisfied PPD)

Kategorie III < 15%

Kategorie II < 10%

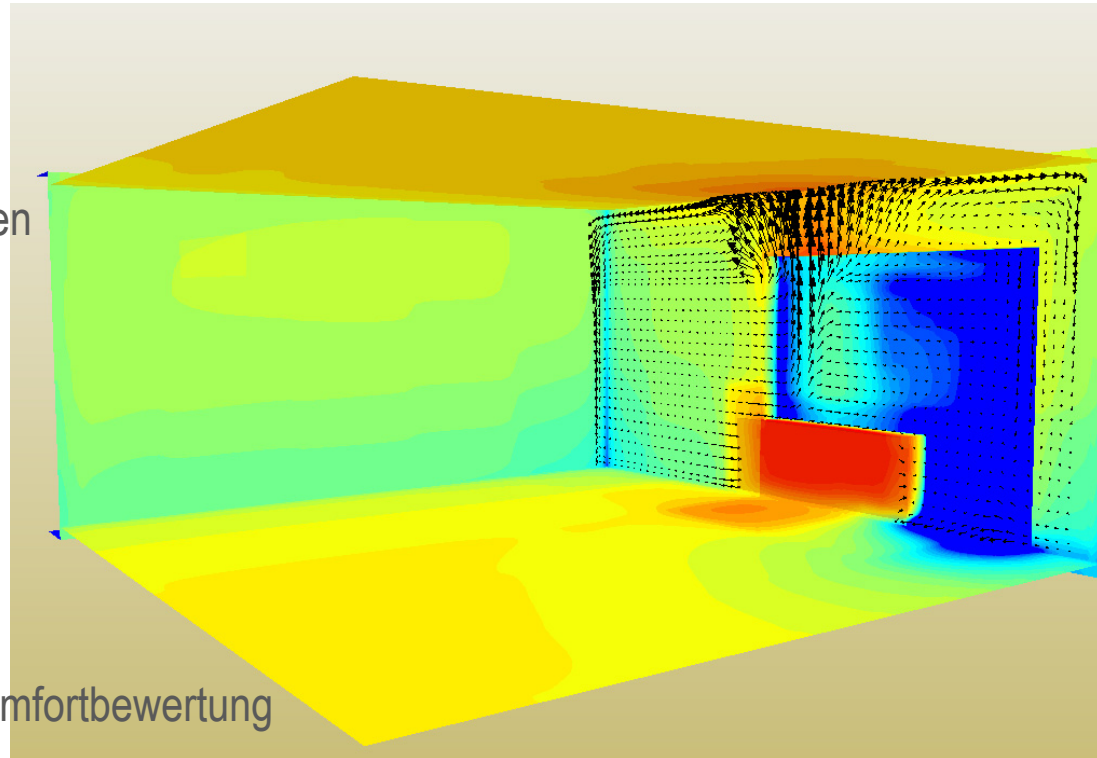
Kategorie I < 6%



Komfortvergleich via Strömungssimulation (CFD)

- Luftströmungen
- Oberflächentemperaturen
- Wärmeverteilung
- Leistungsbilanzen

➤ räumlich aufgelöste Komfortbewertung



Typraum

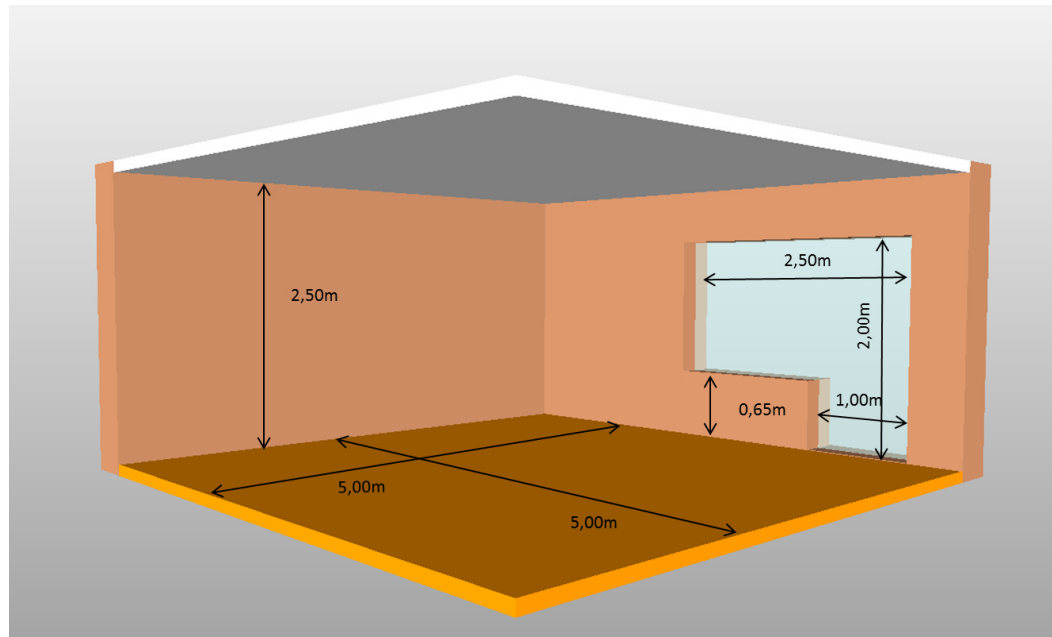
5,0 m * 5,0 m = 25,0 m²

Raumhöhe: 2,50 m

Eckraum

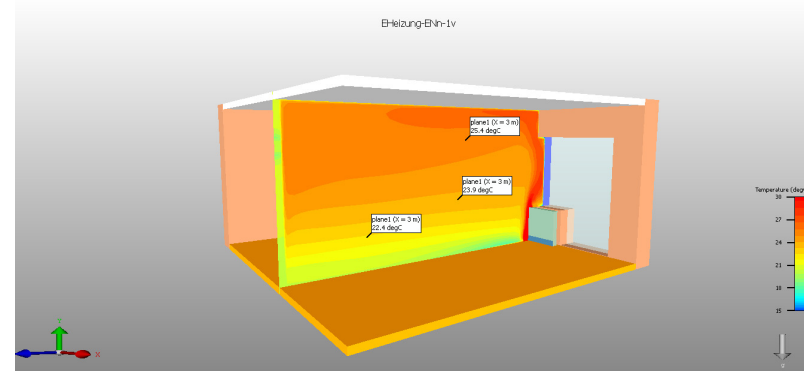
Dichtigkeit $n_{50} = 6$

Außentemperatur -10°C

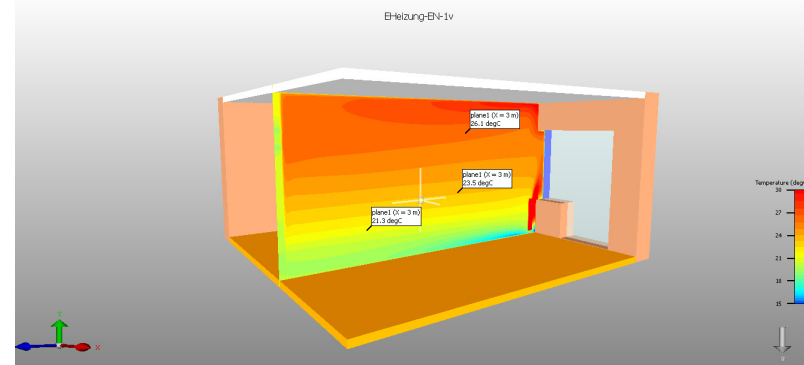


Beispiel Lufttemperatur

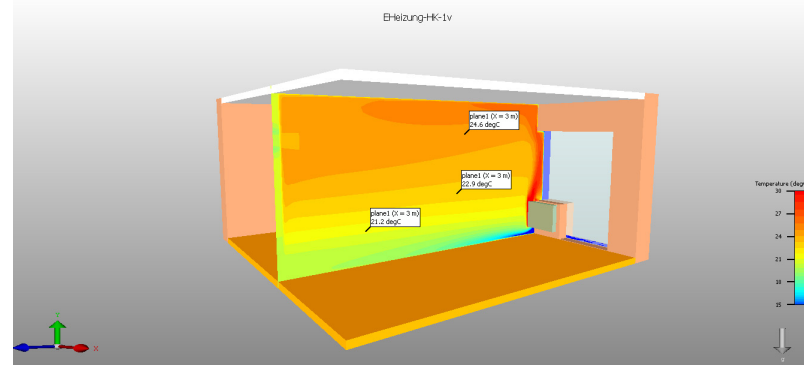
Nachtspeicher



Konvektor

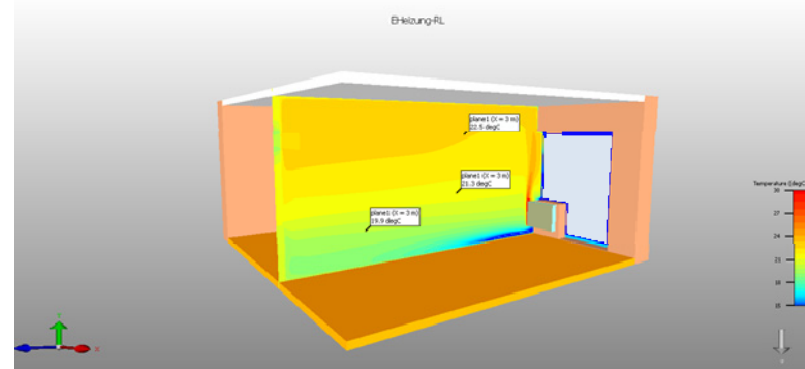


Heizkörper

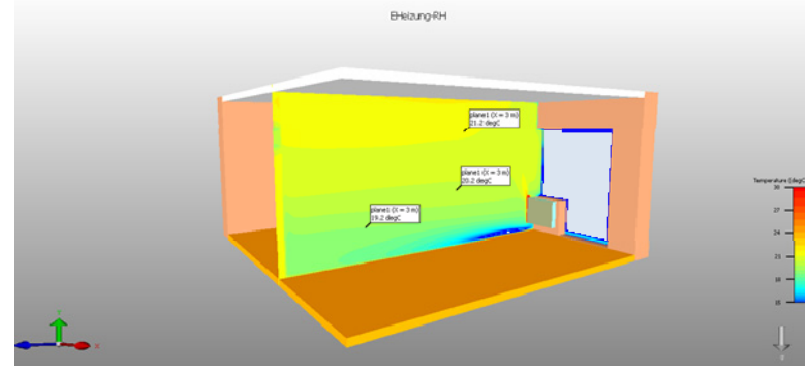


Beispiel Lufttemperatur

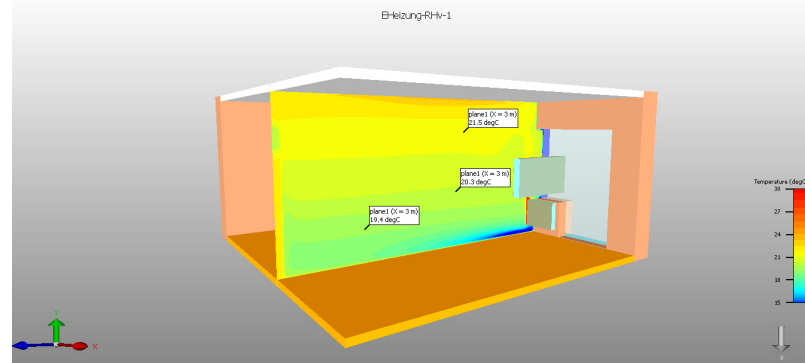
Strahlungsheizung 60%



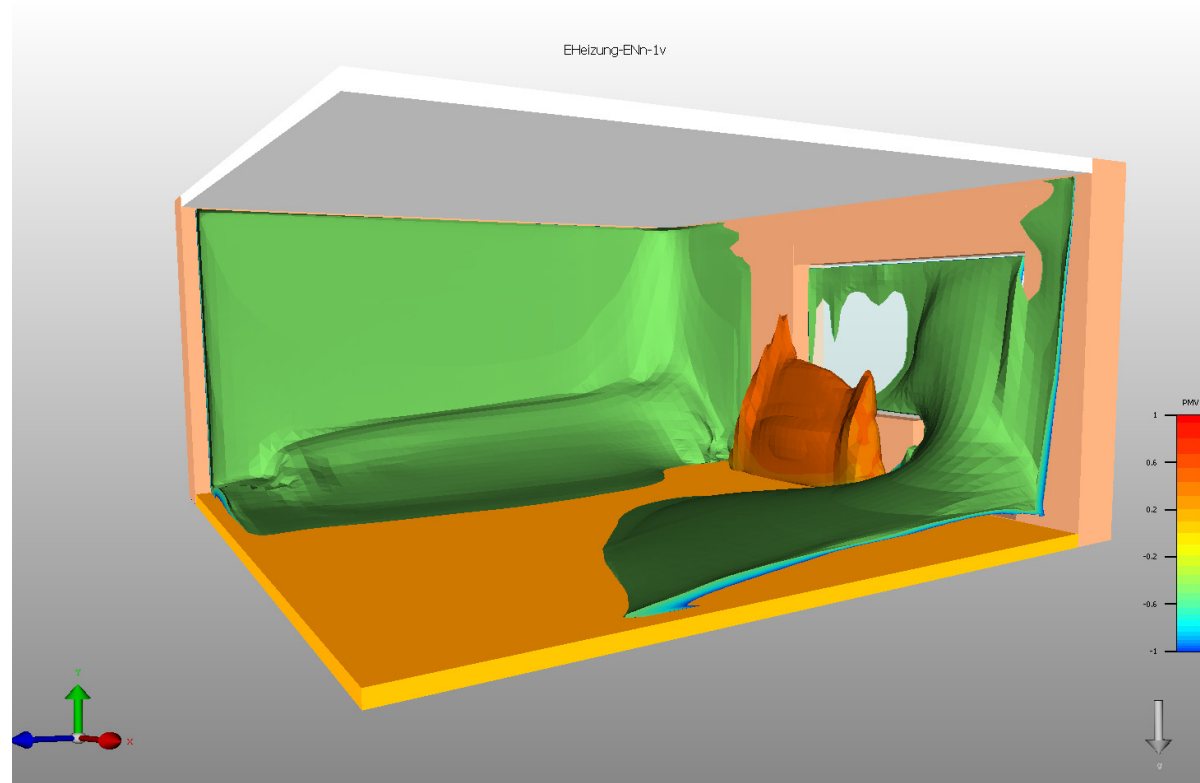
Strahlungsheizung 80%



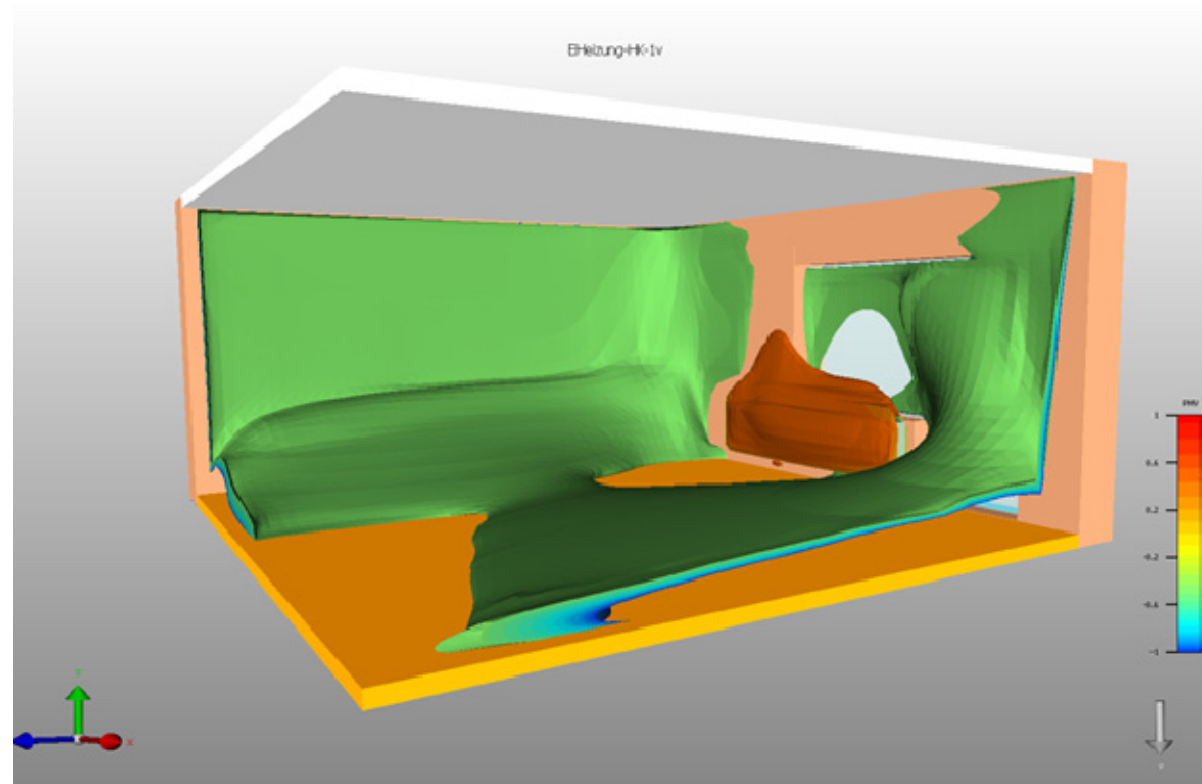
veränderte Anordnung



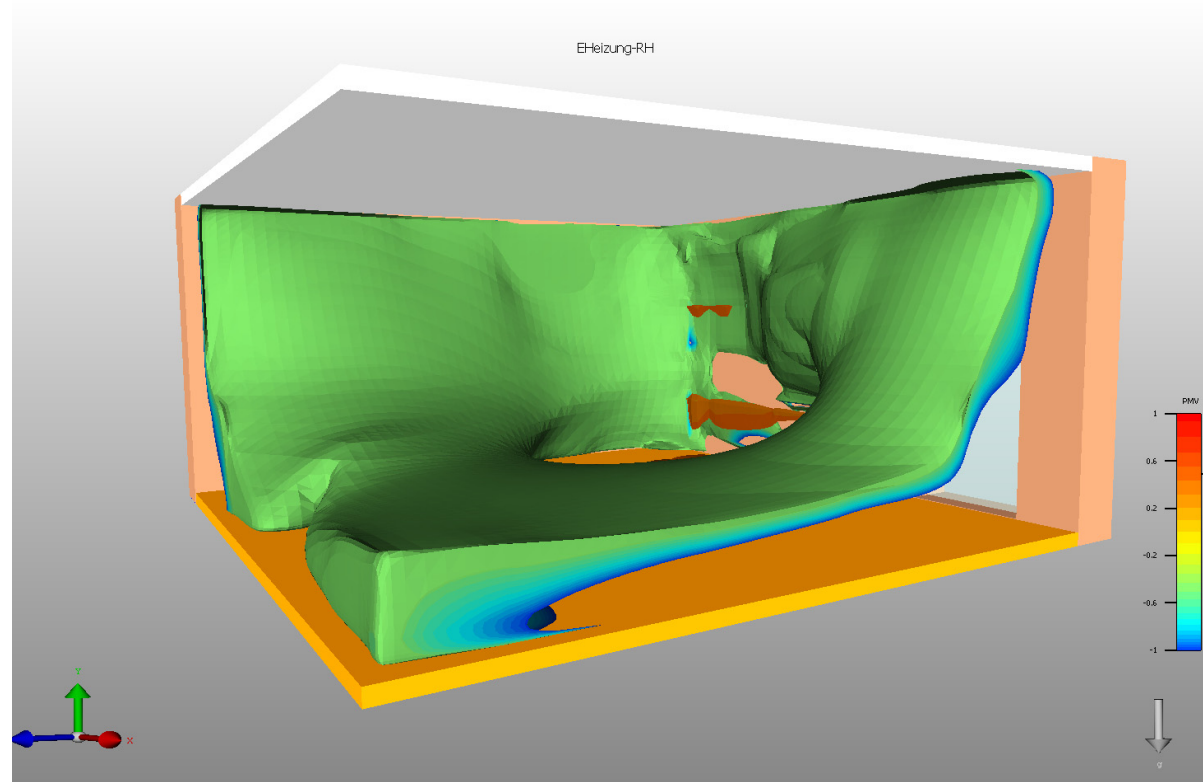
Beispiel PPD 10% Nachtspeicherheizung



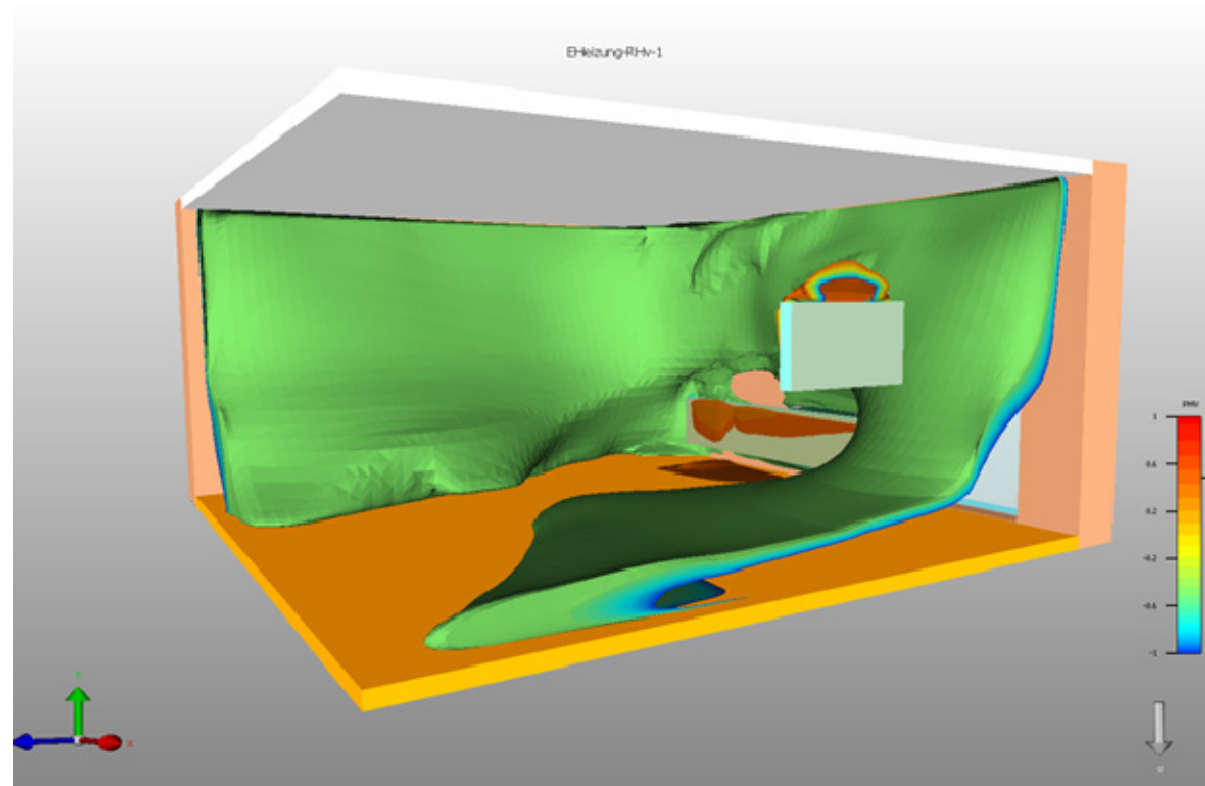
Beispiel PPD 10% Heizkörper



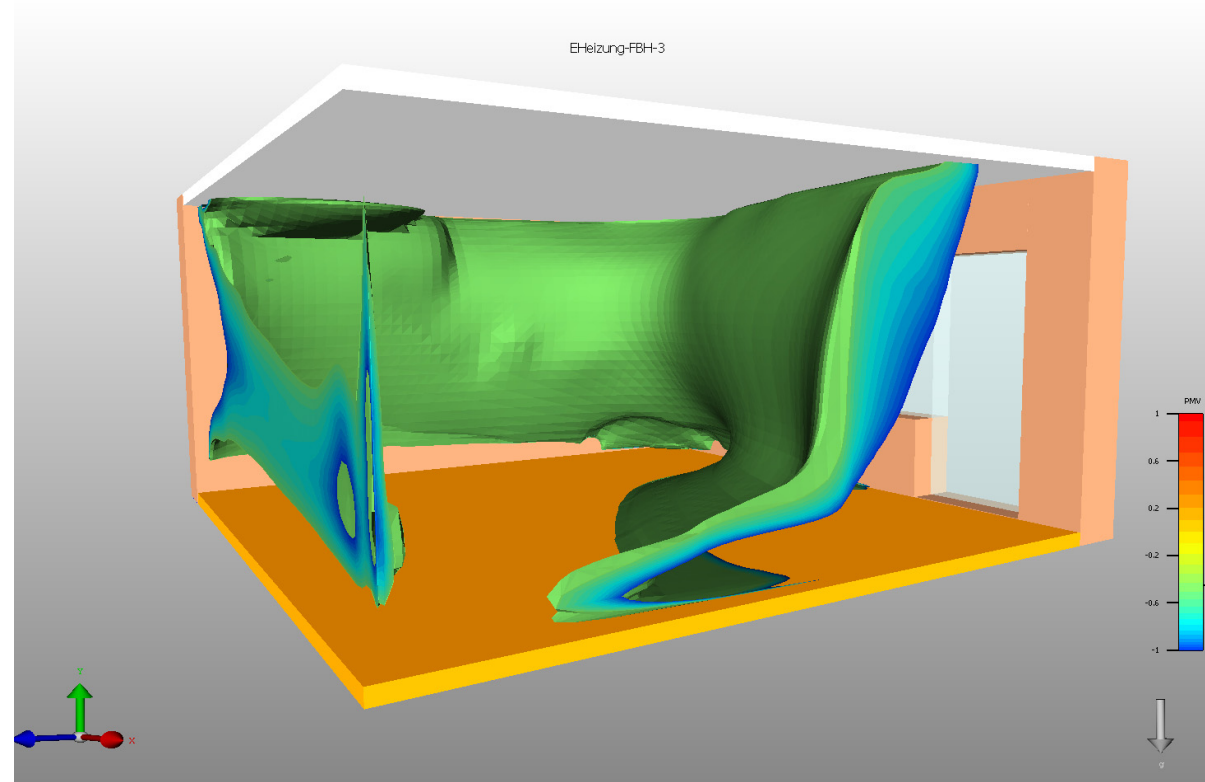
Beispiel PPD 10% Strahlungsheizung hohe Temperatur



Beispiel PPD 10% Strahlungsheizung veränderte Anordnung



Beispiel PPD 10% Fußbodenheizung



Ergebnisse des Komfortvergleichs

- grundsätzlich ist mit allen Systemen ein ausreichendes Komfortniveau erreichbar
- Lufttemperaturschichtung max. 26°C min 19°C
- Strahlungs- und Oberflächentemperaturen
Spitzen durch warme Oberflächen bauen sich schnell ab
Unterschiede in unmittelbarer Umgebung der Heizung
nur geringe Unterschiede der mittleren Oberflächentemperaturen der Raumbooberflächen
- Unterschiede in der Heizleistung

Ziele	Grundlagen / Systeme	Komfortvergleich	Verbrauchsprognose	Fazit / Ergebnisse
-------	----------------------	-------------------------	--------------------	--------------------

Ergebnisse des Komfortvergleichs:

erforderliche Heizleistung

	Vorkrieg	Nachkrieg	2. WSchtz VO
Normlast	1733 W	1448 W	1075 W
Nachtspeicher	2000 W	1660 W	1240 W
Konvektor	2034 W	1701 W	1268 W
Heizkörper	2014 W	1681 W	1250 W
Strahlungsheizung Niedrige Temperatur	1964 W	1641 W	1188 W
Strahlungsheizung hohe Temperatur	1964 W	1641 W	1178 W
Fußbodenheizung			1150 W

Ergebnisse des Komfortvergleichs:

erforderliche Heizleistung

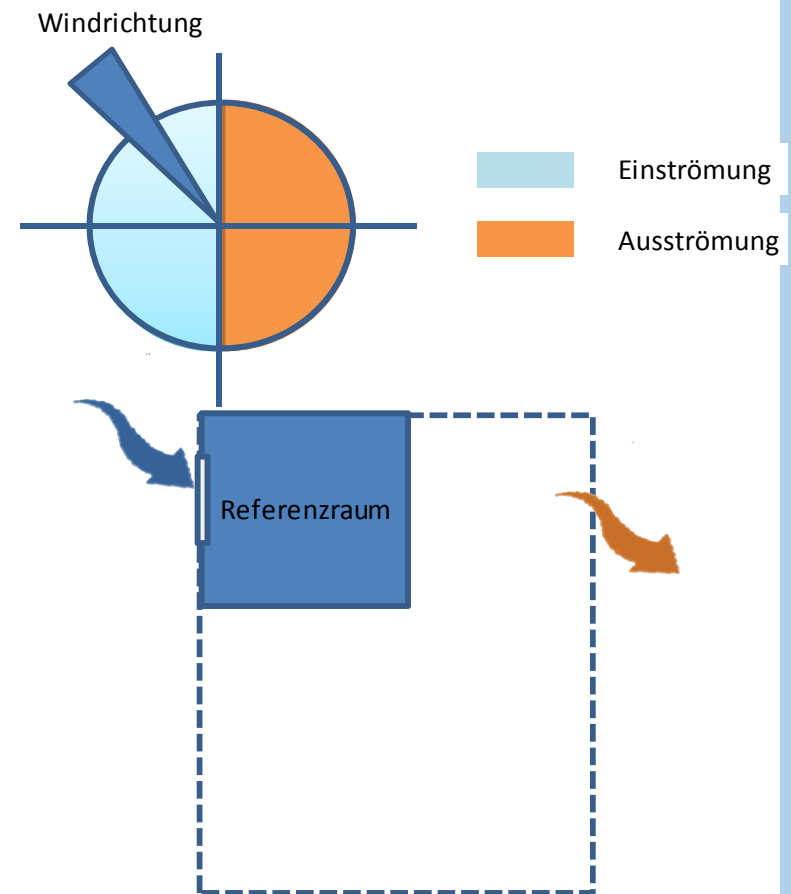
	Abweichung von der Normlast
Nachtspeicher	+15%
Konvektor	+17%
Heizkörper	+16%
Strahlungsheizung Niedrige Temperatur	+12%
Strahlungsheizung hohe Temperatur	+12%
Fußbodenheizung	+7%

Bedarfsermittlung über thermische Simulation

Repräsentative Wetterdaten (Normaljahr TRY 2010)

Windrichtungsabhängige Gebäudedurchströmung

Westorientierter Raum:

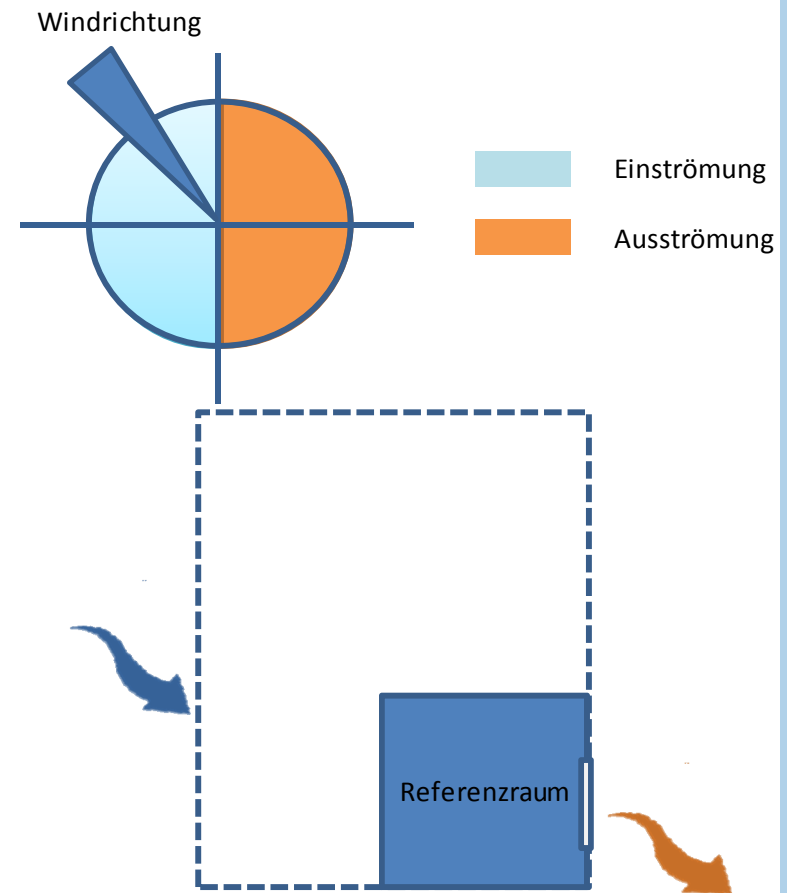


Bedarfsermittlung über thermische Simulation

Repräsentative Wetterdaten (Normaljahr TRY 2010)

Windrichtungsabhängige Gebäudedurchströmung

Ostorientierter Raum:



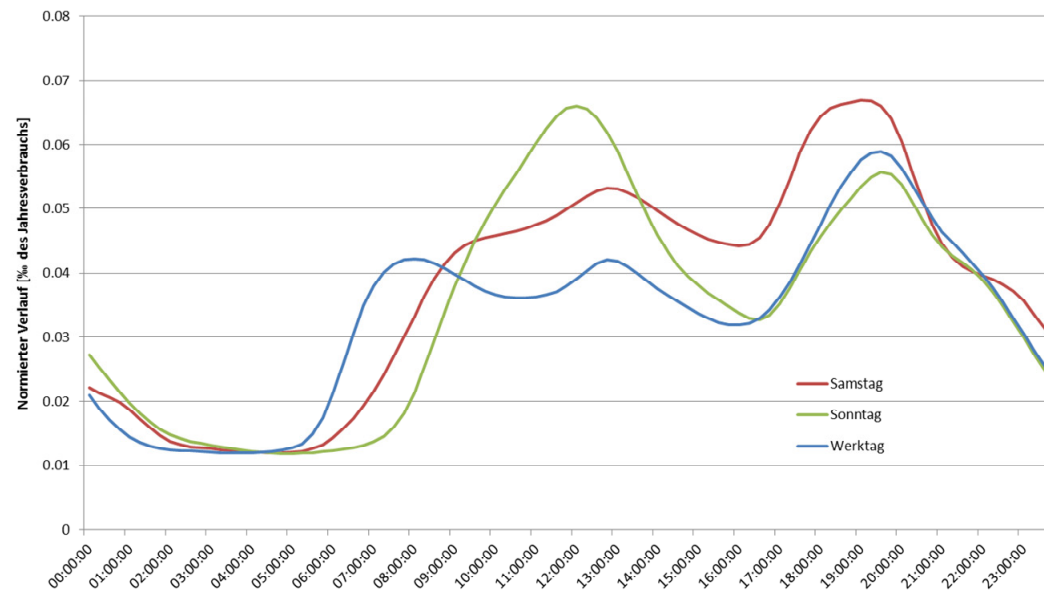
Bedarfsermittlung über thermische Simulation

Innere Lasten

DIN V 18599

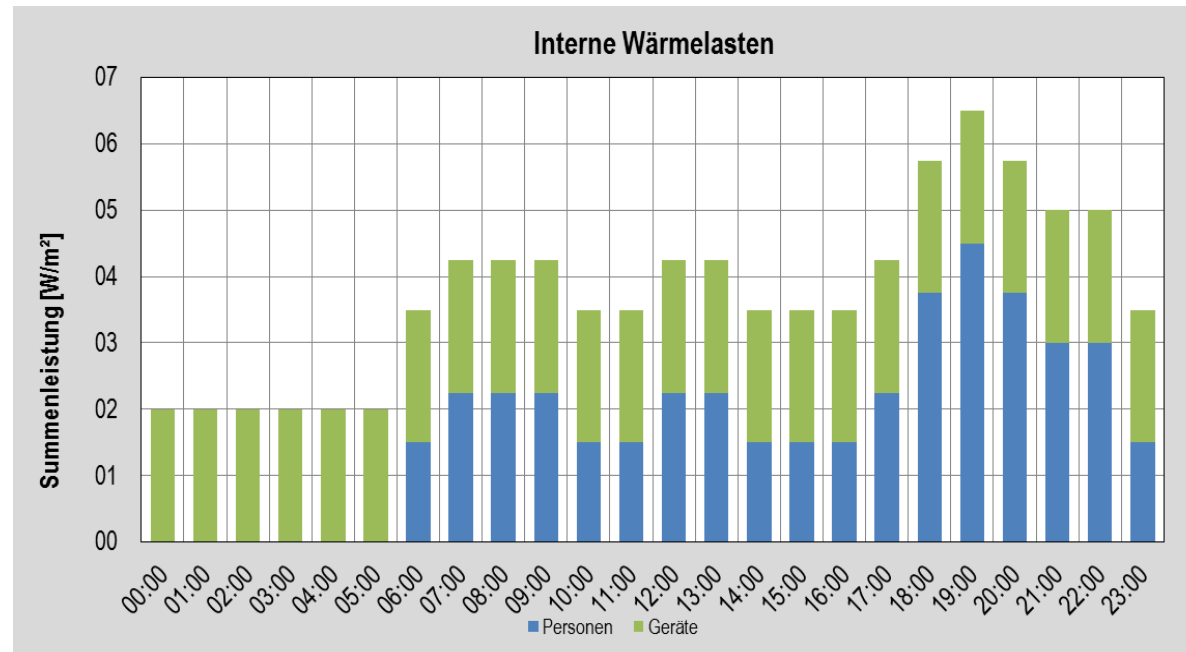
typisch MFH $\sim 90\text{Wh/m}^2\text{d}$

Standardlastprofil (HO)



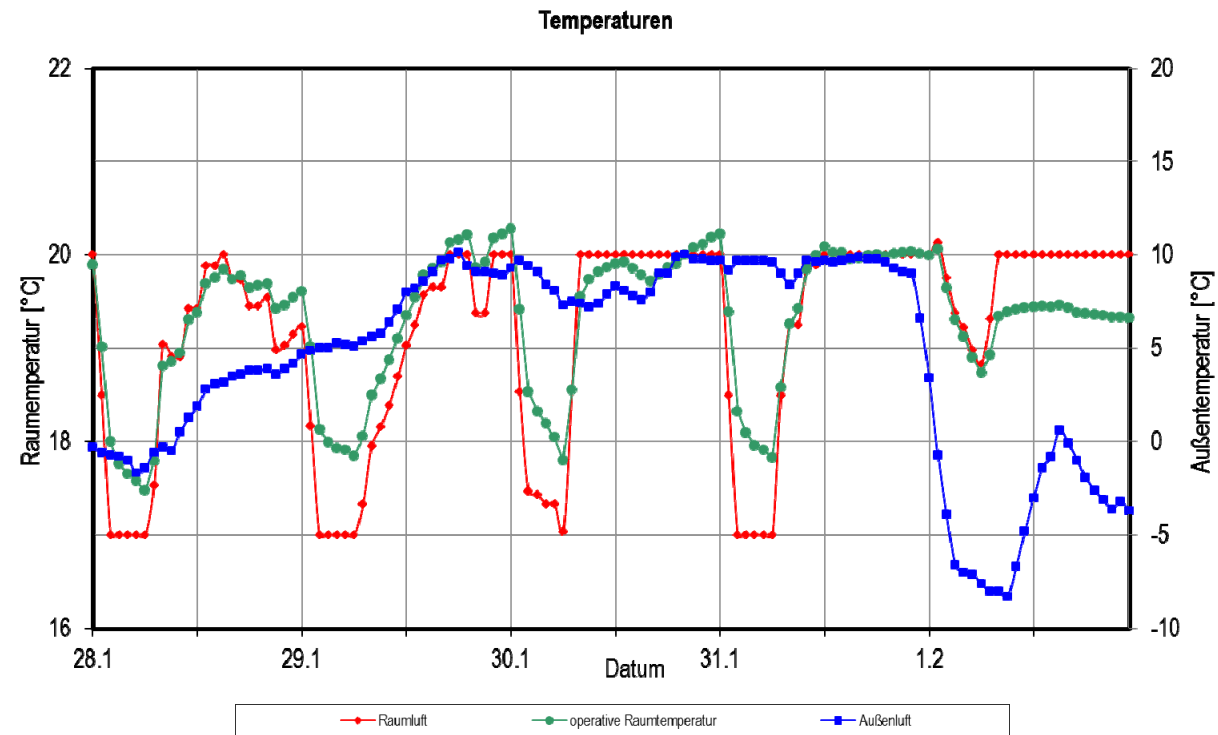
Bedarfsermittlung über thermische Simulation

Verlaufsansatz



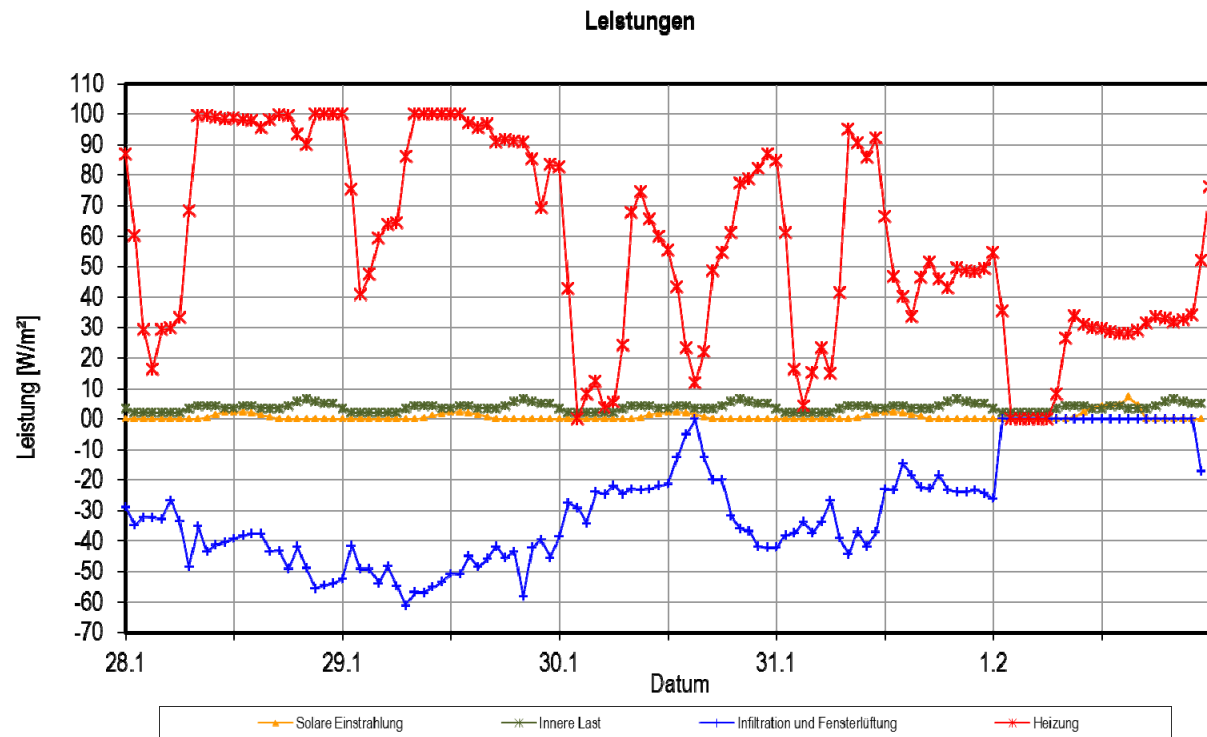
Ergebnisse

Südwest /Vorkrieg



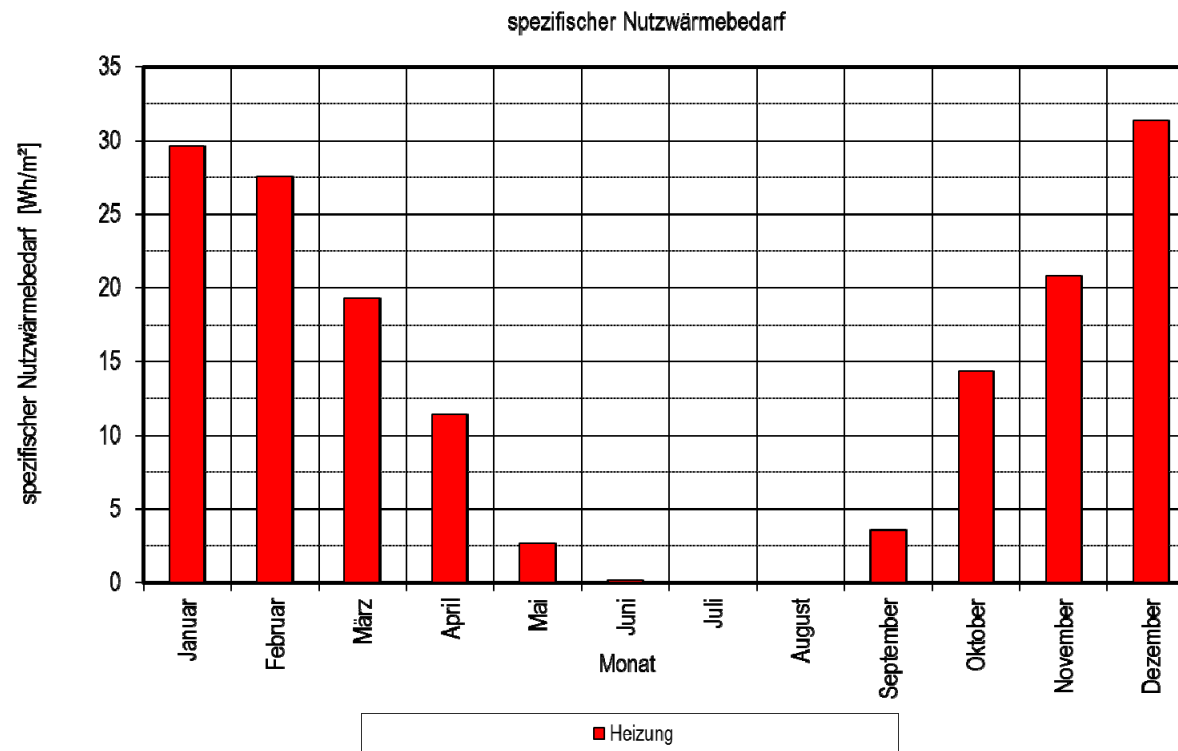
Ergebnisse

Südwest /Vorkrieg



Ergebnisse

Südwest /Vorkrieg



Ergebnisse Wärmebedarf

neutral – ohne Berücksichtigung der Wärmeübergabe

Heizwärmebedarf	Vorkrieg	Nachkrieg	2. WSchtz VO
Süd West	160,7 kWh/m ² a	133,0 kWh/m ² a	95,2 kWh/m ² a
Nord Ost	142,7 kWh/m ² a	114,0 kWh/m ² a	75,6 kWh/m ² a
Mittelwert	151,7 kWh/m²a	123,5 kWh/m²a	85,4 kWh/m²a

Ziele	Grundlagen / Systeme	Komfortvergleich	Verbrauchsprognose	Fazit / Ergebnisse
-------	----------------------	------------------	--------------------	--------------------

Ergebnisse Wärmebedarf

unter Berücksichtigung der Wärmeübergabe

	Vorkrieg	Nachkrieg	2. WSchtz VO
Nachtspeicher	156,3 kWh/m ² a	127,2 kWh/m ² a	88,0 kWh/m ² a
Konvektor	159,3 kWh/m ² a	129,7 kWh/m ² a	89,7 kWh/m ² a
Heizkörper	157,8 kWh/m ² a	128,4 kWh/m ² a	88,8 kWh/m ² a
Strahlungsheizung Niedrige Temperatur	151,7 kWh/m ² a	123,5 kWh/m ² a	85,4 kWh/m ² a
Strahlungsheizung hohe Temperatur	151,7 kWh/m ² a	123,5 kWh/m ² a	85,4 kWh/m ² a
Fussbodenheizung			81,1 kWh/m ² a

Strombedarf

- Übergabeverluste
- Regelverluste
- Verteilverluste
- Speicherverluste
- Hilfsenergie



Angaben aus:
DIN V 18599-5
DIN V 4701-10

Effizienz der Wärmeerzeugung über Wärmepumpe

Wärmequelle	Jahresarbeitszahl
Außenluft	2,2
Erdreich	2,7

gilt für mittlere Vorlauftemperatur von 55°

Ziele	Grundlagen / Systeme	Komfortvergleich	Verbrauchsprognose	Fazit / Ergebnisse
-------	----------------------	------------------	--------------------	--------------------

Zusammenfassung

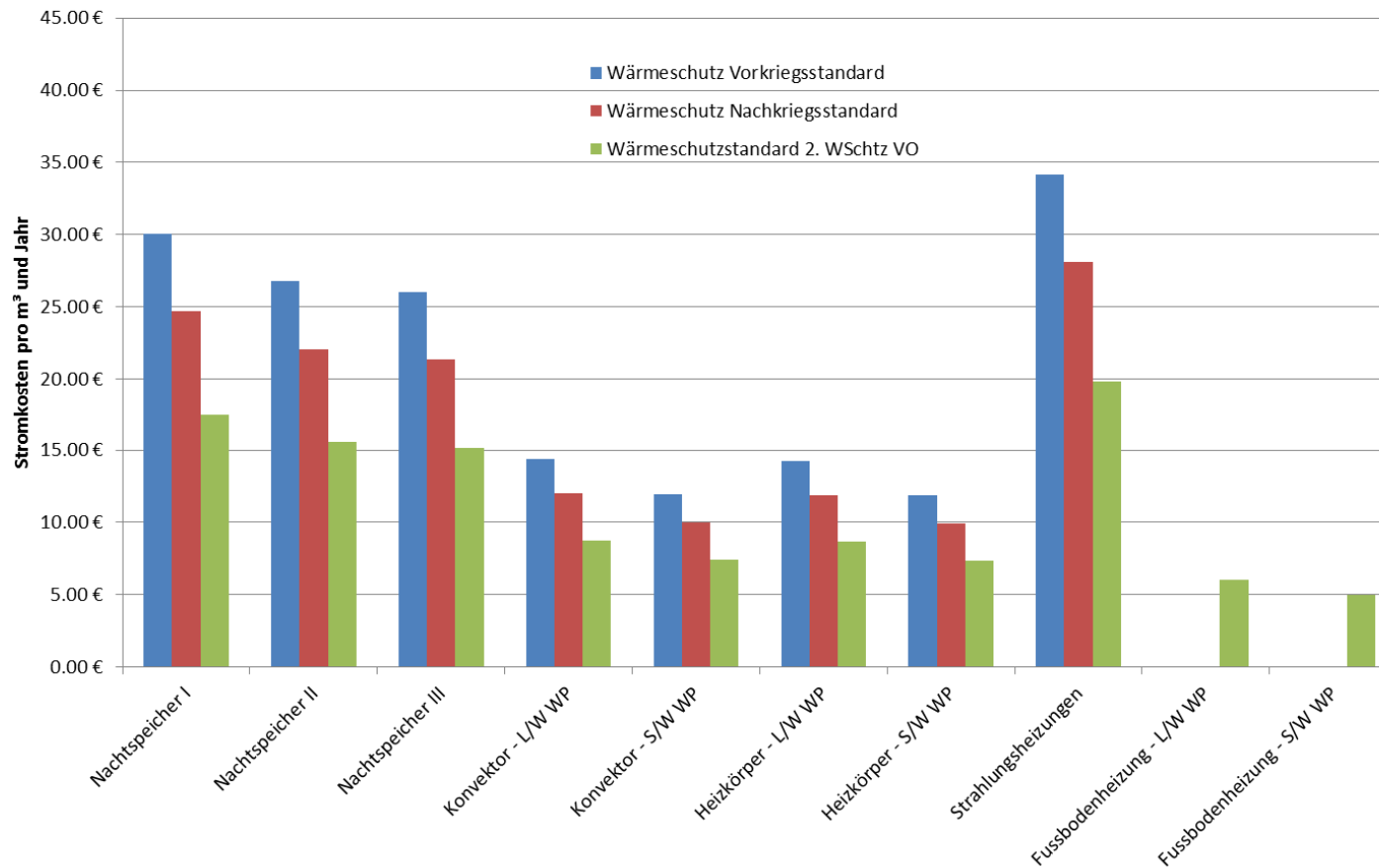
	Vorkrieg	Nachkrieg	2. WSchtz VO
Stromverbrauch Nachtspeicher ohne außentemperaturabhängige Beladung	200.0 kWh/m ²	162.8 kWh/m ²	112.6 kWh/m ²
Stromverbrauch Nachtspeicher mit außentemperaturabhängige Beladung P Regler	177.3 kWh/m ²	144.4 kWh/m ²	99.8 kWh/m ²
Stromverbrauch Nachtspeicher mit außentemperaturabhängige Beladung PID Regler optimiert	171.9 kWh/m ²	139.9 kWh/m ²	96.8 kWh/m ²
Stromverbrauch Konvektor - L/W WP	82.3 kWh/m ²	67.4 kWh/m ²	47.2 kWh/m ²
Stromverbrauch Konvektor - S/W WP	67.3 kWh/m ²	55.1 kWh/m ²	38.7 kWh/m ²
Stromverbrauch HK - L/W WP	81.5 kWh/m ²	66.8 kWh/m ²	46.8 kWh/m ²
Stromverbrauch HK - S/W WP	66.7 kWh/m ²	54.6 kWh/m ²	38.4 kWh/m ²
Strahlungsheizung niedrig	166.9 kWh/m ²	135.9 kWh/m ²	93.9 kWh/m ²
Strahlungsheizung hoch	166.9 kWh/m ²	135.9 kWh/m ²	93.9 kWh/m ²
Stromverbrauch FBH - L/W WP			30.2 kWh/m ²
Stromverbrauch FBH - S/W WP			23.7 kWh/m ²

Ziele	Grundlagen / Systeme	Komfortvergleich	Verbrauchsprognose	Fazit / Ergebnisse
-------	----------------------	------------------	--------------------	--------------------

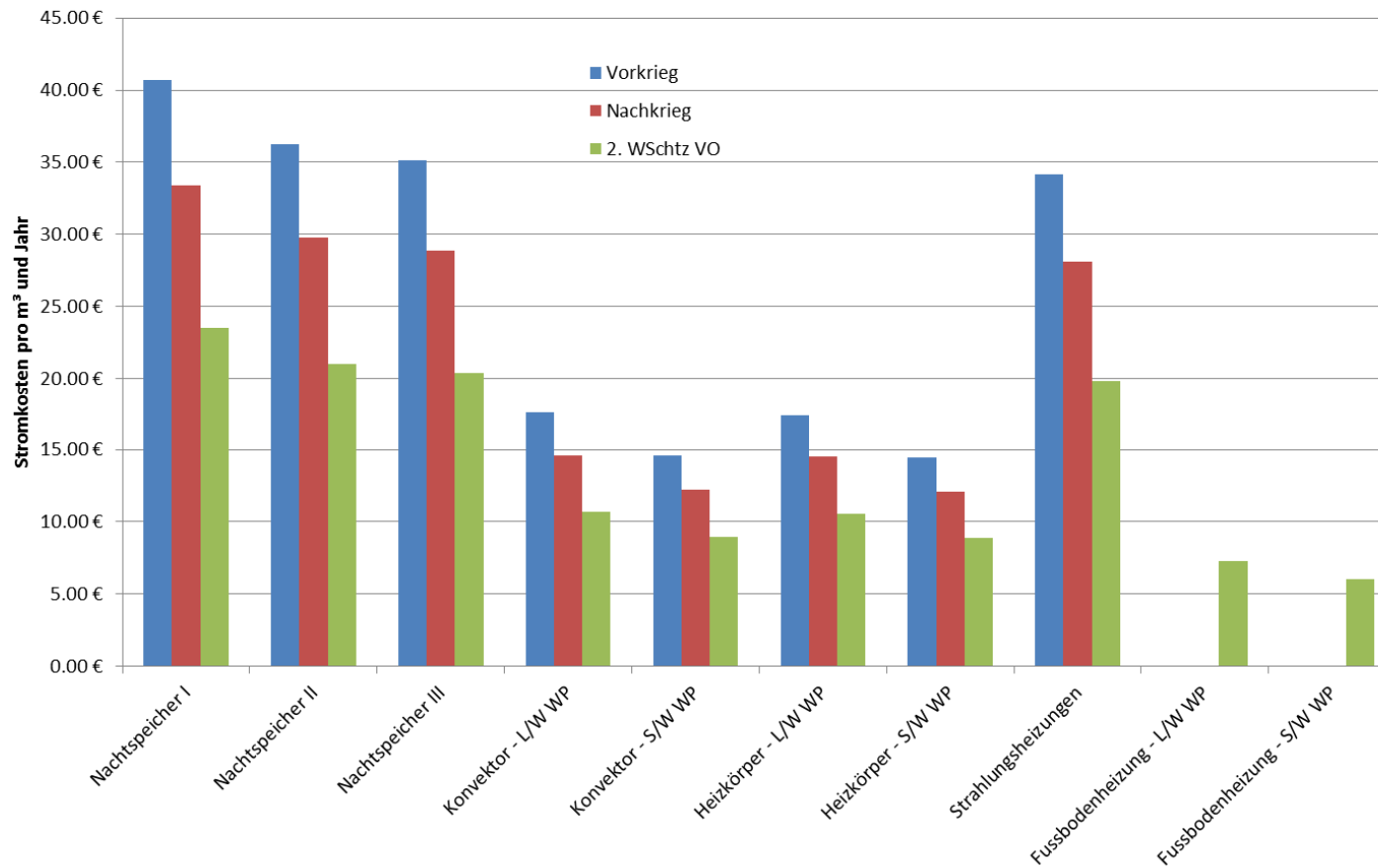
Strompreise

	Arbeitspreis		Grundpreis
	Tag	Nacht	Monat
Günstigster Internettarif	19.7 ct/kWh	19.7 ct/kWh	109.92 €/a
SW Düsseldorf WP-Tarif	23.1 ct/kWh	16.0 ct/kWh	95.16 €/a
SW Düsseldorf Nachtspeichertarif	23.1 ct/kWh	14.4 ct/kWh	95.16 €/a

Kostenvergleich günstigste Einzeltarife



Kostenvergleich günstigste Einzeltarife



Fazit und Empfehlung

- direkte Strahlungsheizungen erfordern tatsächlich eine etwas geringere Heizleistung als konvektive Systeme
- der thermische Komfort ist dabei vergleichbar aber nicht besser
- Solange die SW Düsseldorf einen Nachtstromtarif anbieten erhöhen sich bei einem Umstieg auf eine direkte Strahlungsheizung die Stromkosten
- Eine signifikante Reduktion der Heizkosten lässt sich nur über die Stromnutzung im Wärmepumpenprinzip erreichen.
- Damit sind zurzeit bei einem Wärmeschutzstandard von 1984 Heizkosten unter 10 €/m²a möglich
- Die Möglichkeiten sollten projektspezifisch untersucht werden um das jeweils beste System zu finden

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



ZWP Ingenieur-AG
An der Münze 12-18
50668 **Köln**

ZWP Ingenieur-AG
Bülowstr. 66, Aufg. D3
10783 **Berlin**

ZWP Ingenieur-AG
Massenbergstr. 15-17
44787 **Bochum**

ZWP Ingenieur-AG
Am Born 19
22765 **Hamburg**

ZWP Ingenieur-AG
August-Bebel-Str. 23
01219 **Dresden**

ZWP Ingenieur-AG
Dessauerstr. 15
80992 **München**

ZWP Ingenieur-AG
Blumenstr. 6
65189 **Wiesbaden**

ZWP Ingenieur-AG
Gropiusplatz 10
70563 **Stuttgart**