



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 15. Dezember 2009

Konventionelle Wärmeabgabesysteme und deren Regulierung für die Raumkühlung

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Schnyder-Energie
Energie-Dienstleistungen
Bildweg 34
CH-9552 Bronschhofen

Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs NTB
Werdenbergstrasse 4
CH-9471 Buchs
www.ntb.ch

Arbonia AG
Industriestrasse 23
CH-9320 Arbon
www.arbonia.ch

hps energieconsulting ag
Ingenieurbüro für nachhaltige Energie- und Gebäudetechnik
Seestrasse 127
CH-8700 Küssnacht
www.hpsec.ch

Autoren:

Jürg Schnyder, Schnyder-Energie, Energie-Dienstleistungen,
9552 Bronschhofen, schnyder-energie@bluewin.ch

Dietmar Feger, Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs NTB,
Institut für Entwicklung mechatronischer Systeme EMS, dietmar.feger@ntb.ch

Josef Graf, Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs NTB,
Institut für Entwicklung mechatronischer Systeme EMS, josef.graf@ntb.ch

Roger Rusterholtz, Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs NTB,
Institut für Energiesysteme IES, Werdenbergstrasse 4, roger.rusterholtz@ntb.ch

Dieter Schöringhumer, Arbonia AG, 9320 Arbon, schoeringhumer.dieter@arbonia.ch

Danilo Cenci, Arbonia AG, 9320 Arbon, cenci.danilo@arbonia.ch

Daniel Heule, hps energieconsulting ag, Ingenieurbüro für nachhaltige Energie- und Gebäudetechnik, 8700 Küssnacht, daniel.heule@hpsec.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153216 / 102523

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1 Ausgangslage und Zielsetzung	5
2 Thermostatkopf mit Umkehrfunktion	6
2.1 Vorbereitende Arbeitsschritte	6
2.1.1 Analyse marktüblicher Thermostatköpfe	6
2.1.2 Analyse marktüblicher Ventilköpfe	6
2.2 Konstruktion	7
2.3 Funktionstests	8
2.3.1 Mechanische Funktionen.....	8
2.3.2 Beschreibung der manuellen Umstellungen der Betriebsarten	9
2.3.3 Erreichte Ergebnisse mit dem Funktionsmuster.....	13
2.4 Optimierungen	14
2.4.1 Optimierte Konstruktion auf Basis Funktionsmuster	14
2.4.2 Miniaturisierte Konstruktion eines Prototyps	16
3 Kühlleistungen von Heizkörper	17
3.1 Kühlleistungsmessungen von Heizkörper.....	17
3.1.1 Standards und Grundlagen zu Messungen.....	17
3.1.2 Messaufbau	17
3.1.3 Messverlauf	20
3.1.4 Messergebnisse.....	21
3.1.5 Zusammenhänge und Abhängigkeiten.....	22
3.2 Kühlleistungen von Bodenheizungen	27
3.2.1 Messergebnisse.....	27
4 Simulationen	29
4.1 Grundlagen	29
4.1.1 Simulationssoftware.....	29
4.1.2 Randbedingungen und Annahmen Einzelbüro und Wohnzimmer	29
4.2 Untersuchungsergebnisse mit ausgewählten Grafiken	31
4.2.1 Raumtemperatur in einem Einzelbüro ohne und mit Raumkühlung; Orientierung Süd ..	31
4.2.2 Raumtemperatur in einem Einzelbüro ohne und mit Raumkühlung; Orientierung West	33
4.3 Zusammenfassung der Simulationsergebnisse.....	34
4.3.1 Anzahl Stunden mit Raumtemperatur > 26.5°C (Fassade mit Glasanteil 45%).....	34
4.3.2 Anzahl Stunden mit Raumtemperatur > 26.5°C (Fassade mit Glasanteil 80%).....	35
4.4 Schlussfolgerung aus den Simulationen.....	35
Referenzen	35
Anhang	36
Ergänzende Unterlagen zu Kühlleistungen Heizkörper und Bodenheizung	36
Ergänzende Unterlagen zu Simulationen	49

Zusammenfassung

Im BFE-Projekt „Konventionelle Wärmeabgabesysteme und deren Regulierung für die Raumkühlung“ wurde untersucht, wie weit Heizkörper und Bodenheizungen zu Kühlzwecken dienen können und ob deren Regulierung mittels einem selbsttätig, stromlos regulierenden Thermostaten mit Umkehrfunktion erfolgen könnte.

Thermostat mit Umkehrfunktion

Der in einer Patentschrift vorliegender Thermostat mit Umkehrfunktion wurde in der Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs NTB bis zu einem Funktionsmuster umgesetzt. Mechanische Tests und die Überprüfung der Regelcharakteristik haben gezeigt, dass die geforderten Funktionen analog eines herkömmlichen Thermostatventils vollumfänglich erfüllt werden können. Die Weiterentwicklung zu einer marktauglichen Lösung (Miniaturisierung) wäre jedoch nur zusammen mit einem Thermostatventil-Hersteller sinnvoll möglich.

Kühlleistungen von konventionellen Wärmeabgabesysteme

Es wurden Kühleistungsmessungen von Heizkörpern in den messtechnischen Labors der Forschungsanstalt HLK Stuttgart und der Firma Arbonia, Arbon durchgeführt. Es zeigte sich, dass Kühleistungen zwischen rund 4% und 11% der Norm-Heizleistungen erreicht werden können. Die Kühleistung ist tendenziell höher bei hohen Heizkörpern mit geringem Strahlungsanteil. Bei den Fußbodenheizungen konnte nur auf bestehende Messergebnisse des Prüflaboratorium WSPLab, Dr. Harald Bitter, Stuttgart und auf die Dokumentationen von Anbieter zurückgegriffen werden. Die zu geringen Kapazitäten beim Messlabor der Arbonia ließen keine weiteren Kühleistungsmessungen von Fußbodenheizungen zu. Gemäss des vorliegenden Prüfberichts und Unterlagen sind je nach Bodenbelag und Temperaturen sind Kühleistungen bei einem Verlegeabstand von 20 cm und bei Plattenbelag bis zu 25 W/m² möglich. Untersuchungen bezüglich Strahlungsasymmetrie und allfälliger notwendiger Verhinderung von Kondensatanfall wurden in diesem Projekt nicht untersucht und müssten in einem Folgeprojekt erarbeitet werden.

Simulationen

Es galt herauszufinden, ob mit Kühl-Heizkörpern ein angenehmes sommerliches Raumklima in einem Einzelbüro resp. in einem Wohnzimmer gewährleistet werden kann. Die nötigen Berechnungen wurden mit einem dynamischen, modular aufgebauten Simulationsprogramm (TRNSYS Lite 3.0) durchgeführt. Als Berechnungsgrundlage dienten die gemessenen Kühleistungen von der Firma Arbonia AG und ebenso die gemessenen durchschnittlichen Außentemperaturen der Jahre 2002 – 2007 von der Stadt Zürich (Datenbasis MeteoSchweiz). Damit besonders praxisnahe Ergebnisse modelliert werden konnten, wurde das Nutzerverhalten ebenso berücksichtigt wie die genaue Ermittlung der anfallenden internen und externen Wärmelasten. Drei Haustechniksysteme wurden näher betrachtet, die sind:

- Variante A Heizkörper in Kombination mit Fensterlüften (ohne Kühlung)
- Variante B Kühl-Heizkörper mit Kühlleistung 75 W oder 130 W in Kombination mit Fensterlüften
- Variante C Kühl-Heizkörper mit Kühlleistung 75 W oder 130 W in Kombination mit einer kontrollierten Hygienelüftung (ohne Kühlung)

Es wurden total 80 verschiedene dynamische Simulationsrechnungen durchgeführt. Die systematische Auswertung dieser Simulationen ergaben allgemeingültige Tendenzen.

Mit einem Kühl-Heizkörper in einem Einzelbüro oder in einem Wohnzimmer wird die sommerliche Behaglichkeit spürbar erhöht und die Raumtemperatur positiv beeinflusst. Bei den Varianten B + C mit einem Kühl-Heizkörper liegt die sommerliche Raumtemperatur um ca. 2 – 4°C tiefer als bei der Variante A ohne Kühlung.

Selbstverständlich bleibt aber die Forderung, die Nutzer bereits bei Planungsbeginn auf das Gebäude- und Haustechnikkonzept und die zu erwartenden Raumtemperaturen im Sommer hinzuweisen und vertraut zu machen. Zudem kann ein aktiv mithenkender Nutzer die Raumtemperatur positiv beeinflussen.

Schlussfolgerung

Mit konventionellen Wärmeabgabesystemen (Heizkörper und Bodenheizung) ist unter Beachtung von Randbedingungen eine sanfte, kostengünstige, ressourcenschonende, und ohne Zugserscheinungen wirksame Kühlung möglich. Zudem könnte mit einem Thermostatkopf mit Umkehrfunktion eine stromlose und unterhaltsfreie Regulierung dieser Systeme realisiert werden.

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Meteorologen sagen voraus, dass die Sommer in unseren Breitengraden heisser und trockener werden. Dies ist bereits teilweise eingetreten und von einer Verschärfung dieses Umstandes ist auszugehen. Dadurch gewinnt das Raumklima in den Gebäuden in den Sommermonaten an Bedeutung. Es ist absehbar, dass das Bedürfnis wächst bei der Realisierung von Neubauten vermehrt Kühlsysteme vorzusehen und bei bestehenden Bauten Kühlsysteme nachzurüsten.

Nebst der effizienten Kälteerzeugung, die in der dieser Studie nicht behandelt wurde, stellt sich die Frage, wie weit sich der Einsatz von konventionellen Wärmeabgabesysteme (Heizkörper und Fußbodenheizung) für die Raumkühlung eignen und wie deren Regulierung im Raum effizient und kostengünstig erfolgen kann.

Mit diesem Projekt wurde das Ziel verfolgt, belegbare Aussagen zu erarbeiten:

- ob mit einem selbsttätig regulierender Thermostatkopf mit Umkehrfunktion eine energieeffiziente und wirtschaftliche Raumtemperaturregulierung für konventionelle Wärmeabgabesysteme erfolgen könnte, die im Sommer auch für die Raumkühlung eingesetzt werden
- welche Kühlleistungen mit Heizkörper und Bodenheizungen erreicht werden können
- welche Komfortsteigerungen mit verhältnismässig geringen Kühlleistungen möglich sind

2 Thermostatkopf mit Umkehrfunktion

2.1 Vorbereitende Arbeitsschritte

2.1.1 Analyse marktüblicher Thermostatköpfe

Von auf dem Markt erhältlichen Thermostatköpfen (Danfoss, Heimeier) wurden in einer Klimakammer an der NTB die temperaturabhängigen Längenänderungen der Ventilstössel ausgemessen.

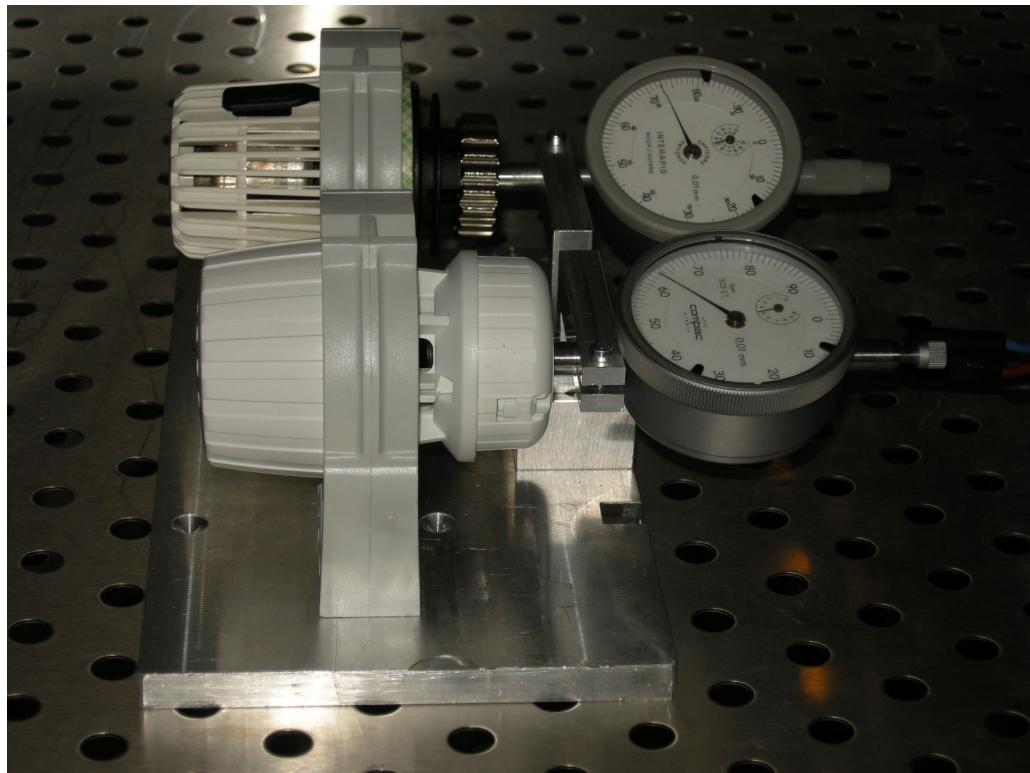


Abbildung 2.1: Messaufbau der Thermostatköpfe

Die Messergebnisse ergaben erste Anhaltspunkte über das Verhalten der jeweiligen Thermostatköpfe bei Temperaturänderungen. Da die Thermostatköpfe ein sehr träges Verhalten haben, wäre für genauere Messungen ein Messaufwand von mehreren Tagen oder Wochen notwendig, was für den Nutzen des Ergebnisses einen unverhältnismässig hohen Zeitaufwand bedeuten würde.

2.1.2 Analyse marktüblicher Ventilköpfe

Von mehreren baugleichen Ventilköpfen wurde die Federkraft (Kraft-Weg-Diagramm) ausgemessen. Überraschenderweise bestand eine recht grosse Streuung bei baugleichen Produkten, weshalb für die Auslegung der Konstruktion die jeweiligen Minimal- und Maximalkräfte berücksichtigt wurden.

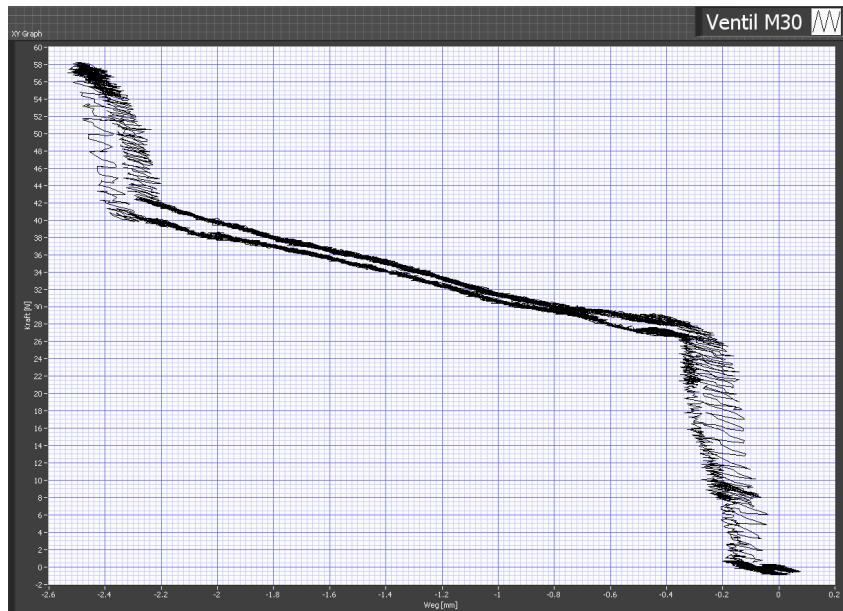


Abbildung 2.2: Beispiel eines Kraft-/Weg-Diagramms einer durchgeföhrten Messung
(y-Achse: Kraft in N, x-Achse: Weg in mm)

2.2 Konstruktion

Anhand der Patentschrift von Schnyder Energie (EP1719938A1) wurde nach genauer Aufgabenanalyse ein Konzept für die favorisierte Variante 6 der Patentschrift erstellt.

Für das Funktionsmuster wurde sowohl der Ventilkopf als auch der Thermostatkopf von bestehenden Produkten übernommen und die Umkehrfunktion Winter-/Sommerbetrieb mit einem Zwischenstück realisiert.

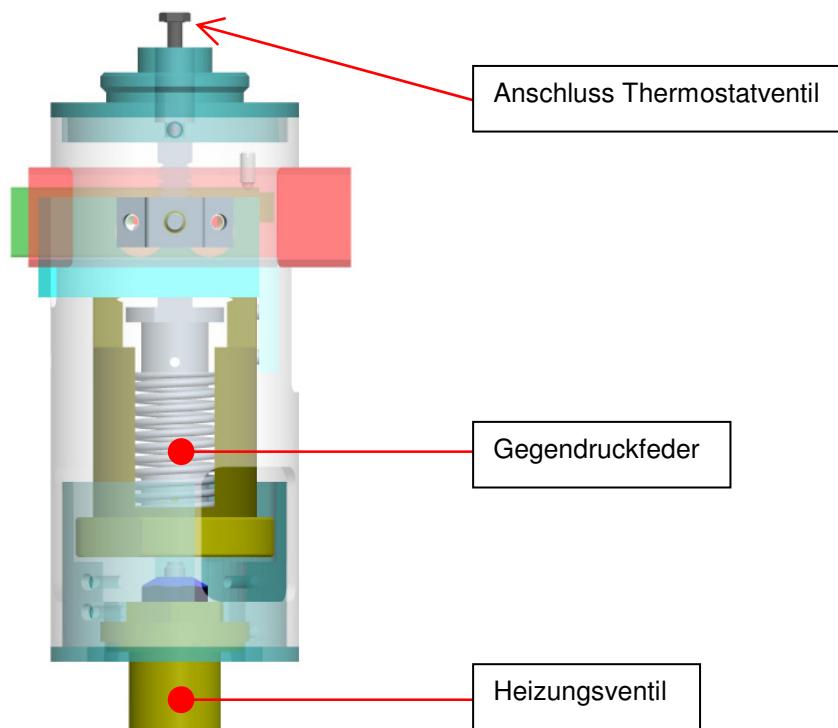


Abbildung 2.3: Aufbau des Umkehradapterkopfs (Funktionsmuster)

2.3 Funktionstests

2.3.1 Mechanische Funktionen

Die in der Zentralwerkstatt der NTB gefertigten Teile für zwei Funktionsmuster des Umkehrthermostatkopfes wurden montiert und danach auf ihre mechanischen Funktionen überprüft:

- Umschaltung Winter-/Sommerbetrieb und umgekehrt
- Entriegelung im Sommerbetrieb
- Blockierung im Winterbetrieb
- Ventilstösselbewegung im Winter- und Sommerbetrieb

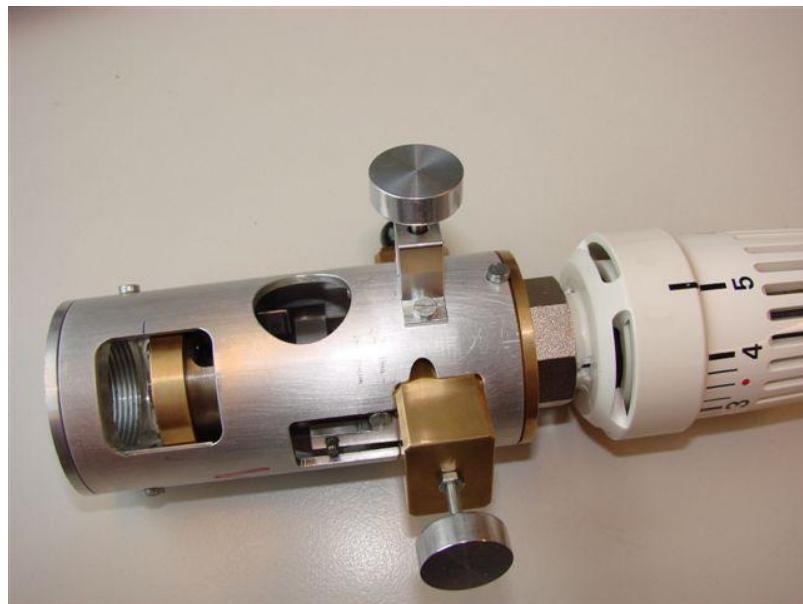


Abbildung 2.4: Fertig zusammengebauter Umkehrthermostatkopf (Funktionsmuster)

An den zusammengesetzten Funktionsmustern konnten die verschiedenen Kraft-Weg-Verläufe im Sommerbetrieb mit verschiedenen Federvarianten ausgemessen werden, um die optimalen Kraftverhältnisse zu bestimmen. Aufgrund dieser Messergebnisse wurde die optimale Feder ausgewählt und eingesetzt. Somit herrschen im Sommer- wie im Winterbetrieb ähnliche Kraftverhältnisse vom Thermostatkopf zum Ventil.

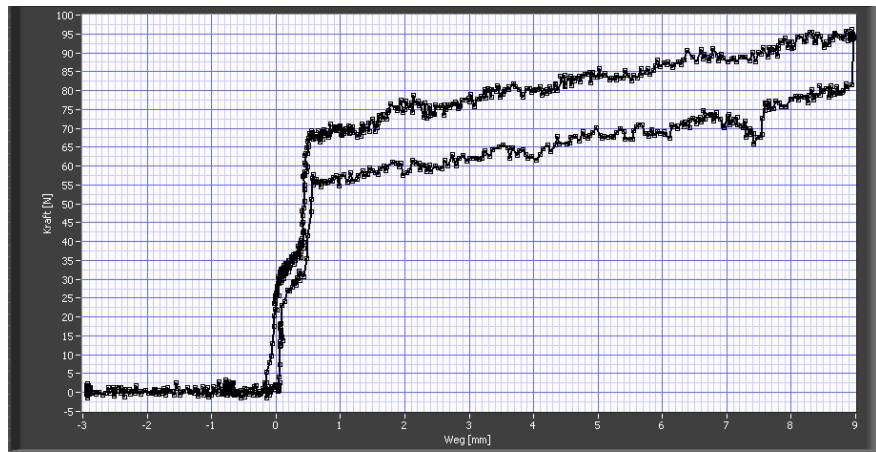


Abbildung 2.5: Beispiel eines Kraft-/Weg-Diagramms im zusammengebauten Zustand

2.3.2 Beschreibung der manuellen Umstellungen der Betriebsarten

- a) Die nachfolgenden Bilder zeigen die eingeschobenen Stellungen des inneren und äusseren Schiebers, sowie die Position für die eingerastete Entriegelungsstange.

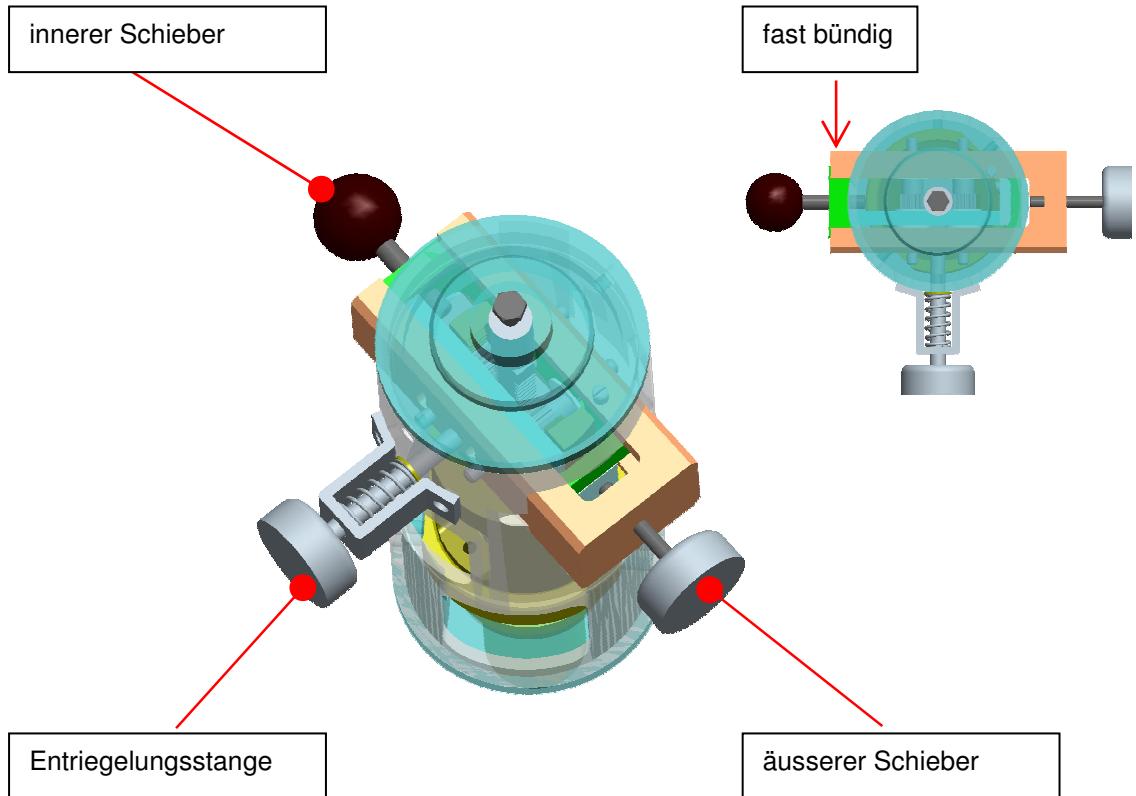


Abbildung 2.6: Umstell-Komponenten des Umkehrthermostatkopfes (ohne Thermostatkopf) in Sommerstellung

b) Folgende Bedienung ermöglicht eine Umschaltung von Sommer- auf Winterbetrieb:

- Thermostatkopf in Stellung „5“ drehen



- Entriegelungsstange nach aussen ziehen und gleichzeitig

äußeren Schieber nach aussen ziehen

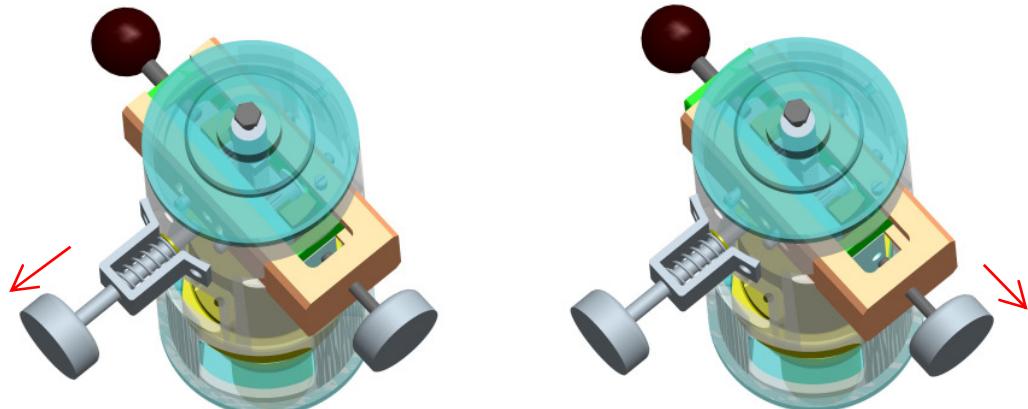
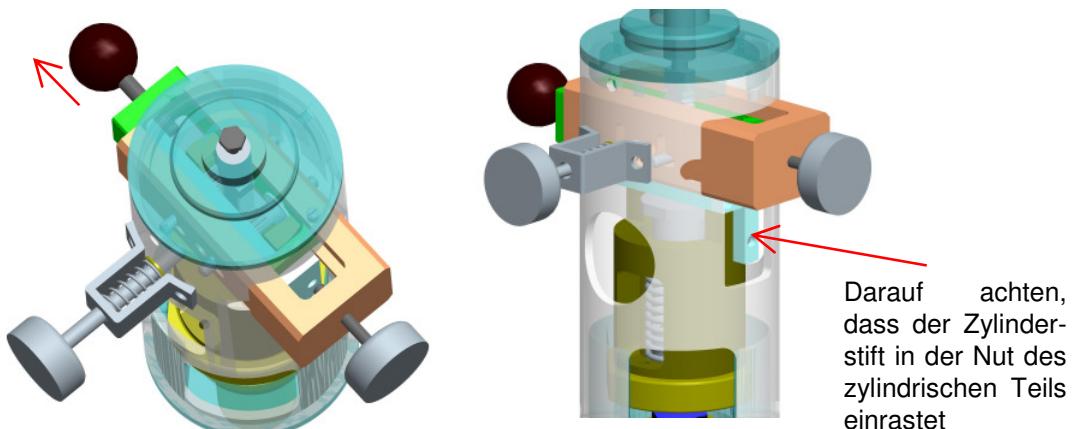


Abbildung 2.7: Bewegungen der Entriegelungsstange und des äusseren Schiebers für Winterbetrieb

- Inneren Schieber nach aussen ziehen



Darauf achten,
dass der Zylinder-
stift in der Nut des
zylindrischen Teils
einrastet

Abbildung 2.8: Bewegung des inneren Schiebers für Winterbetrieb

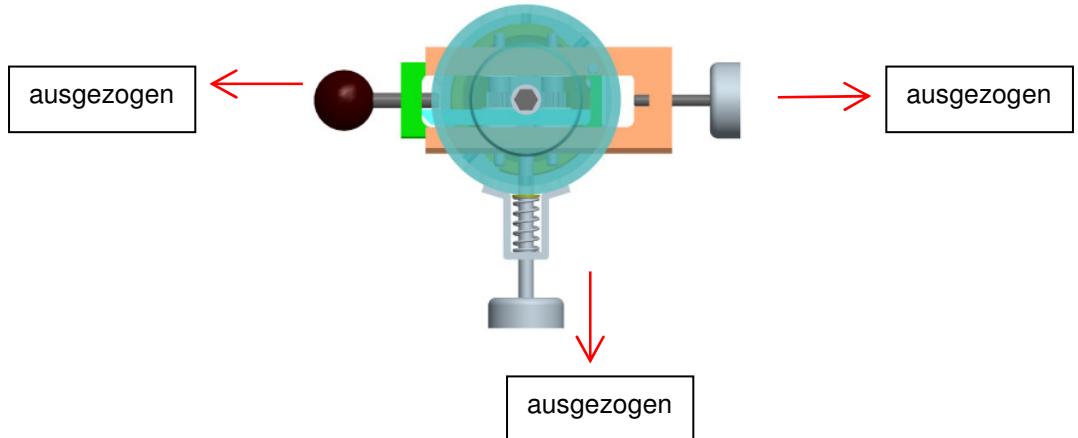


Abbildung 2.9: Positionen der Schieber und der Entriegelungsstange im Winterbetrieb

c) Umschaltung von Winterstellung in Sommerbetrieb:

- Thermostatkopf in die niedrigste Stellung drehen



Abbildung 2.10: Einstellskala am Thermostatkopf

- Inneren und äusseren Schieber gleichzeitig in Pfeilrichtung einschieben

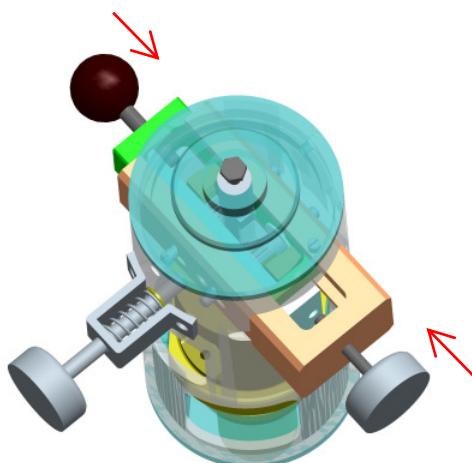


Abbildung 2.11: Bewegungsrichtung der Schieber für Umstellung auf Sommerbetrieb

- Entriegelungsschalter rastet von alleine ein

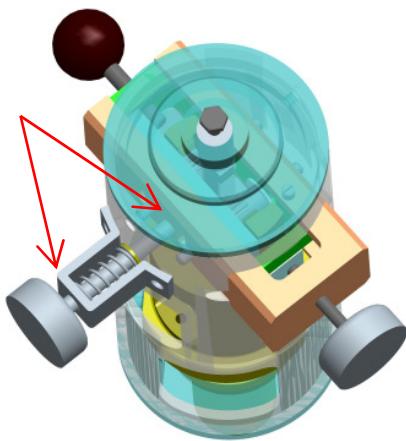


Abbildung 2.12: Positionen der Entriegelungsstange im Sommerbetrieb

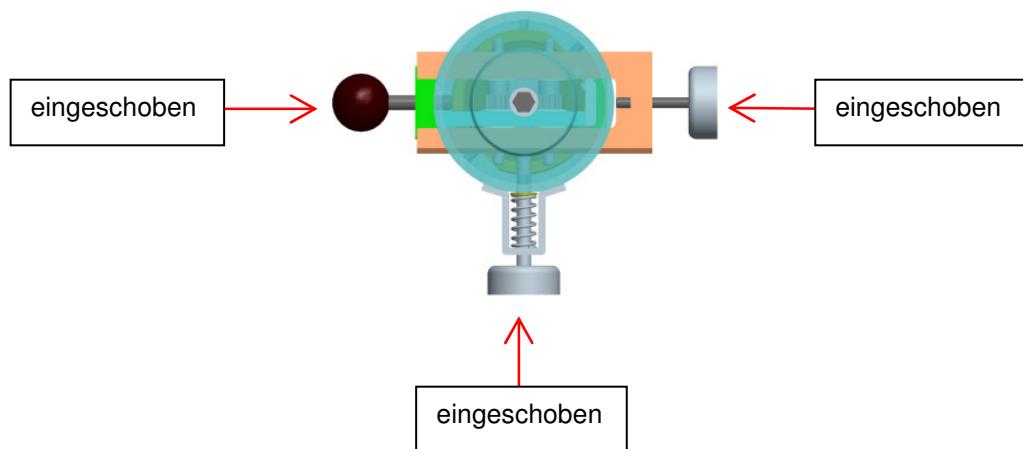


Abbildung 2.13: Positionen der Schieber und der Entriegelungsstange im Sommerbetrieb

2.3.3 Erreichte Ergebnisse mit dem Funktionsmuster

Rein mechanische Tests wie auch der Einsatz der Funktionsmuster in der Prüfkabine bei der Arbonia AG haben gezeigt, dass die geforderten Funktionen vollumfänglich erfüllt werden können.

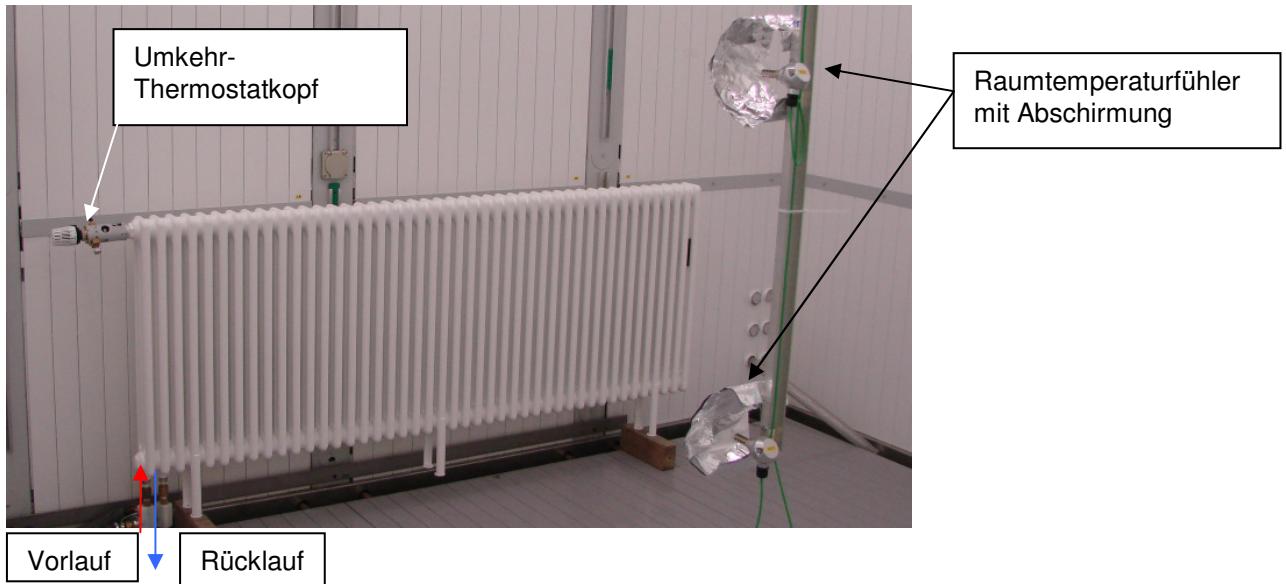


Abbildung 2.14: Messaufbau in der Prüfkabine

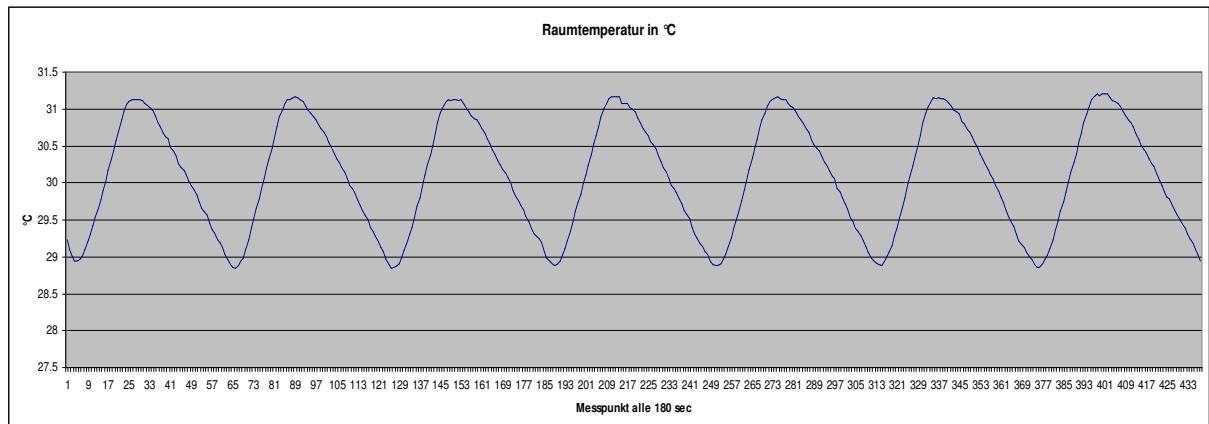


Abbildung 2.15: Temperaturverlauf bei Messung mit Thermostatkopf mit Umkehrfunktion

Regeleinheit: Thermostatkopf Fabrikat Heimeier Art.Nr. 6000-00.500 Stufe 5

Die Funktion der Einheit Umkehrfunktion ist gewährleistet – der Thermostatkopf regelt die Raumtemperatur im 2K-Bandbereich.

Bei entsprechender Kühlleistung kann daher die Raumtemperatur geregelt werden.

2.4 Optimierungen

2.4.1 Optimierte Konstruktion auf Basis Funktionsmuster

Eine optimierte Lösung beinhaltet vor allem einen speziellen Temperaturweggeber. Eine einfache Möglichkeit ist hierbei die Verwendung eines Temperaturweggebers mit eingelötetem Überhubstössel aus Metall gemäss nachfolgender Skizze. Solche Spezial-Temperaturweggeber werden z.B. von der Firma OTTO EGELHOF GmbH&Co KG, D-70736 Fellbach, angeboten.

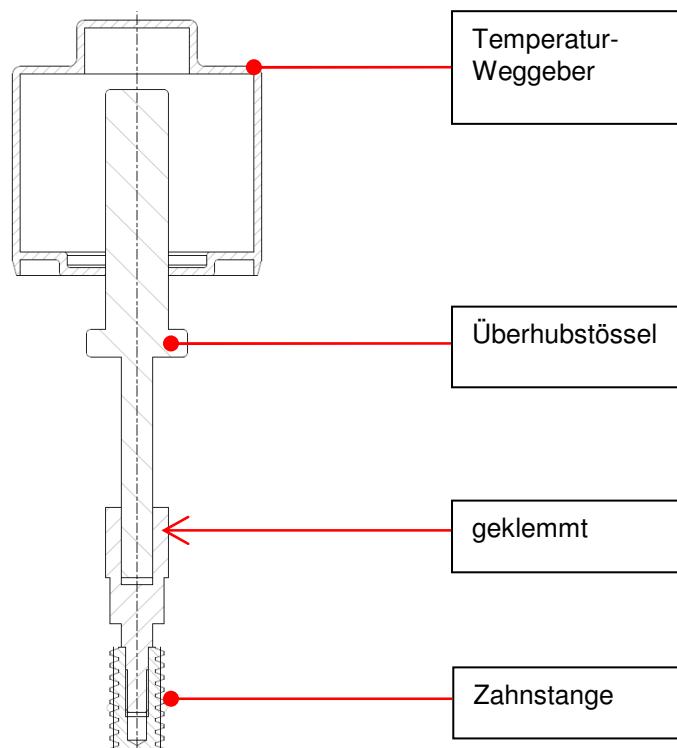


Abbildung 2.16: Spezial-Temperaturweggeber

Durch die Verbindung der Zahnstange mit dem Temperaturweggeber kann die Gegendruckfeder (siehe Abbildung 2.3) entfallen.

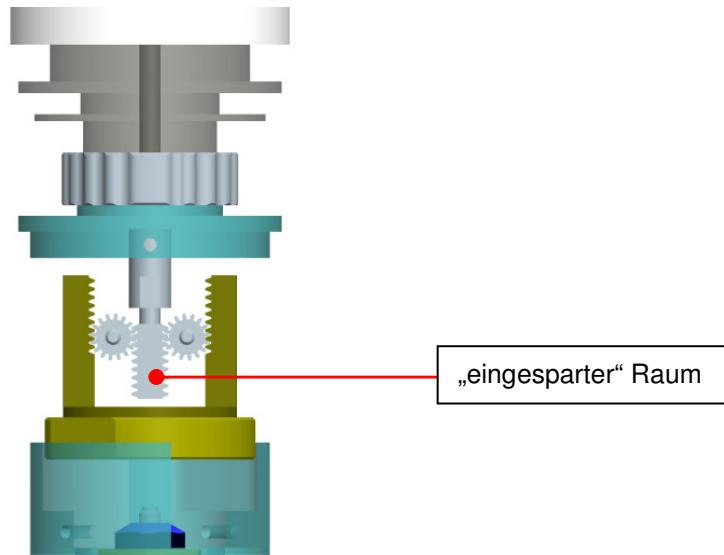


Abbildung 2.17: Umkehrthermostatkopf ohne Gegendruckfeder

Die Verbindung zur Umlenk-Zahnstange sollte aus montagetechnischen Gründen lösbar sein. Deshalb ist ein Zwischenstück sinnvoll, wobei dieses z.B. geklemmt oder mit einem Gewindestift geschraubt sein kann.

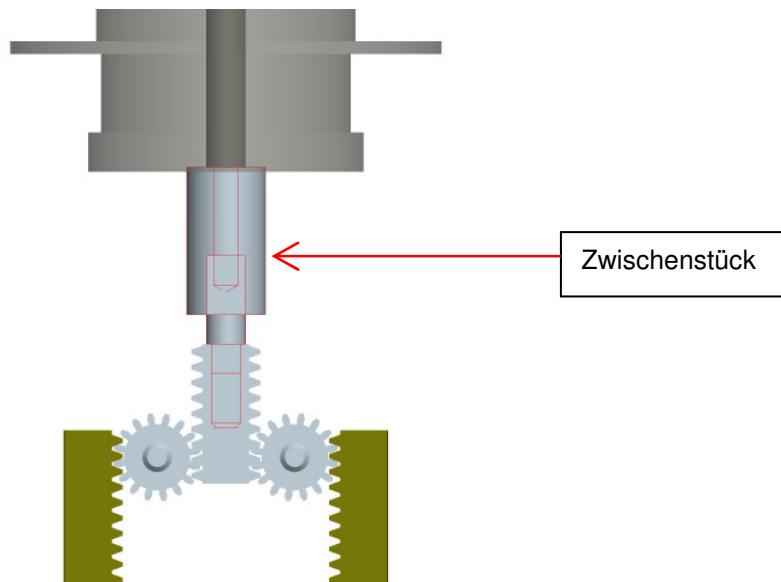


Abbildung 2.18: Zwischenstück

Mit einer Anpassung der Zahnstangen und einer Optimierung der Verzahnungslänge kann ein optimierter Umkehrkopf von ca. 75 mm Länge erreicht werden. Gegenüber dem Funktionsmuster, dessen Gehäuse 112 mm lang ist, ist das eine Reduktion von einem Drittel.

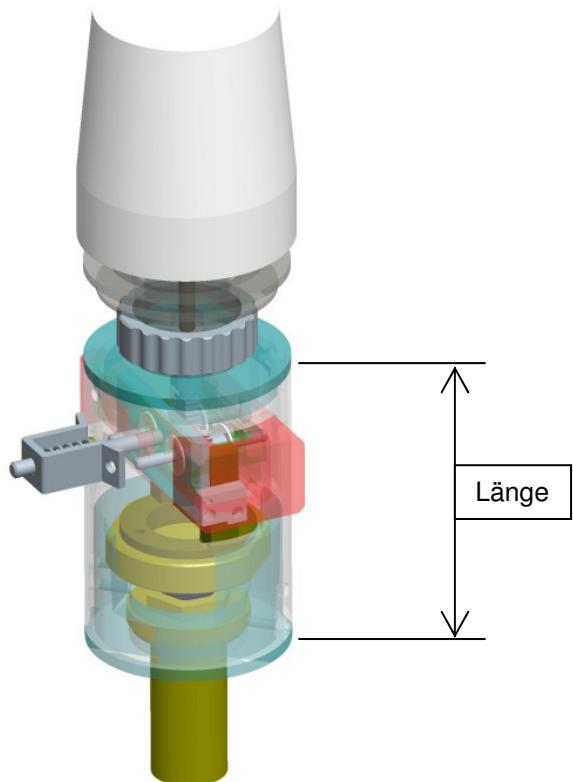


Abbildung 2.19: Optimierter Umkehrkopf

2.4.2 Miniaturisierte Konstruktion eines Prototyps

Die Umsetzung eines miniaturisierten Prototyps ist nur zusammen mit einem Thermostatventil-Hersteller sinnvoll möglich.

Zur Miniaturisierung und wirtschaftlichen Herstellung eines seriennahen Prototyps, als Vorstufe zu einer Nullserie, sind unter anderem andere Materialien und Fertigungsverfahren zu überlegen und auszuwählen.

Hierbei ist ein völlig neues Gehäuse anzustreben, welches sowohl den Temperaturweggeber umschliesst, als auch die gesamte (miniaturisierte) Umkehrvorrichtung.

3 Kühlleistungen von Heizkörper

3.1 Kühlleistungsmessungen von Heizkörper

3.1.1 Standards und Grundlagen zu Messungen

Ziel der Messung ist es eine definierte Aussage über die Kühlleistung und der Regelung des „Kühlkörper“ in Abhängigkeit der Vor- und Rücklauftemperaturen und des Wasserstromes zu machen. Um dies zu erfüllen wird eine spezielle Prüfkabine¹ benötigt.

Die Prüfkabine befindet sich in der Arbonia AG, CH-9320 Arbon und ist räumlich getrennt zu den restlichen Abteilungen. Der effektive Prüfraum ist komplett isoliert. Wände, Decke und Boden sind beheizbar bzw. kühlbar.

Die Grundfläche beträgt 4x4m mit einer Raumhöhe von 3m.

Der Messbereich der Prüfkabine liegt zwischen 0.25 und 4kW (Heizfall).

Die Prüfkabine kann für die Messung der Heiz- und Kühlleistung und die Regelung dieser Leistungen verwendet werden.

Zur Ermittlung der Kühlleistung werden folgende Parameter gemessen

- Vorlauftemperatur
- Rücklauftemperatur
- Lufttemperatur
- Wasserstrom

Zur Ermittlung der Regelung für die Raumkühlung wird die mittlere Raumtemperatur gemessen.

3.1.2 Messaufbau

Der Aufbau erfolgt gemäss EN 442-2.

Der Bodenabstand beträgt 110mm, der Wandabstand 50 mm.

Die Kühlkörper beinhalten alle ein Einbauventil, dass direkt in den Kühlkörper eingebaut ist und der Umkehrthermostatkopf direkt darauf mit dem Anschlussgewinde M30x1,5 montiert werden kann.

Wasserschläuche werden für Vor- und Rücklauf am Kühlkörper befestigt. Dazwischen befinden sich Messelemente PT1000 mit einer Auflösung von <0.02K.

Die gleichen Elemente werden auch für die Raumtemperaturmessung in 0.75m, 1.5m und 2,25m gemessen und daraus eine mittlere Temperatur gebildet.

Die Kaltwasseraufbereitung erfolgt mittels eines Kaltwassersatzes mit einer Leistung von 12kW.

Der Kaltwassersatz speist einen Boiler mit 200 Liter Wasserinhalt um die Regelschwankungen des Kaltwassersatzes aus zu schalten.

Der Boiler speist den Kühlkörper mit konstanter Temperatur Kaltwasser.

Der Wasserstrom in einem analogen Durchflussmesser eingestellt und mit einem digitalen Durchflussmesser überwacht.

Alle Daten werden elektronisch, für die Auswertung, aufgezeichnet.

¹ Prüfkabine entspricht der SIA 384/501-503 bzw. EN 442-1-3

Messmodelle:

Typ	Länge	Exp.	Heizleistung (75/65/20 °)	Strahlungsanteil Heizen
DH63-2 L63-2	2.00m	1.34	3640 W	20 %
DH49-2 L49-2	1.00m	1.36	1540 W	20 %
DH21-2 L21-2	2.5m	1.26	1725 W	20 %
DH63	2.0m	1.26	1360 W	50 %
DV180	0.591m	1.33	1000 W	50 %
RR3075	1.98m	1.36	3428 W	38 %
RR2075	1.98m	1.31	2486 W	49 %
RR6075	1.98m	1.40	6292 W	27 %
RR3030	1.98m	1.33	1439 W	38 %
C284	2.00m	1.40	3768 W	10 %
C282	2.00m	1.35	1618 W	20 %
AT6 1050-40	2.725m	1.23	2312 W	30 %
AT6 2100-40	2.725m	1.26	6936 W	25 %
SW67	2.00m	1.21	2408 W	25 %
KC2 21 BT=314mm	2.00m	1.00	6524 W	0 % (Zwangskonvektion)

Tabelle 3.1: Messmodelle

DH DECOOTHERM horizontal

DV DECOOTHERM vertikal

RR Röhrenradiator

C Konvektor

AT ARBOTHERM

KC Unterflur Heizen/Kühlen

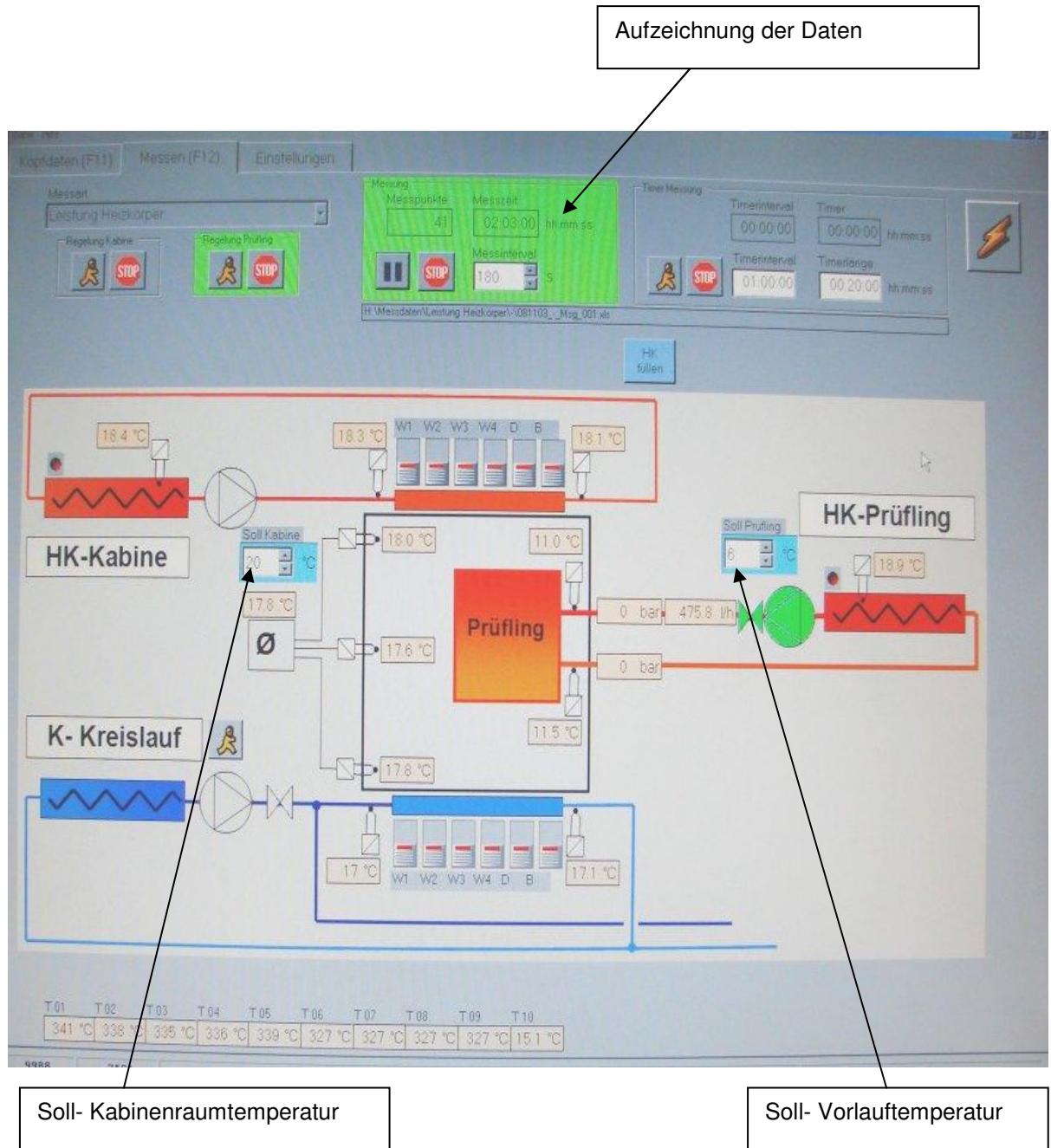


Abbildung 3.1: Messaufbau schematisch (Foto ist auf Abbildung 2.14 ersichtlich)

3.1.3 Messverlauf

Es wird die Vorlauftemperatur und der Wasserstrom eingestellt. Der Prüfling muss sich nun auf einen Beharrungszustand einstellen. D.h. alle Temperaturen und auch der Wasserstrom müssen konstante Werte aufweisen. Dieser Vorgang kann je nach „Kühlkörpertyp 4-5 Stunden dauern bis dies Zustand erreicht wird.

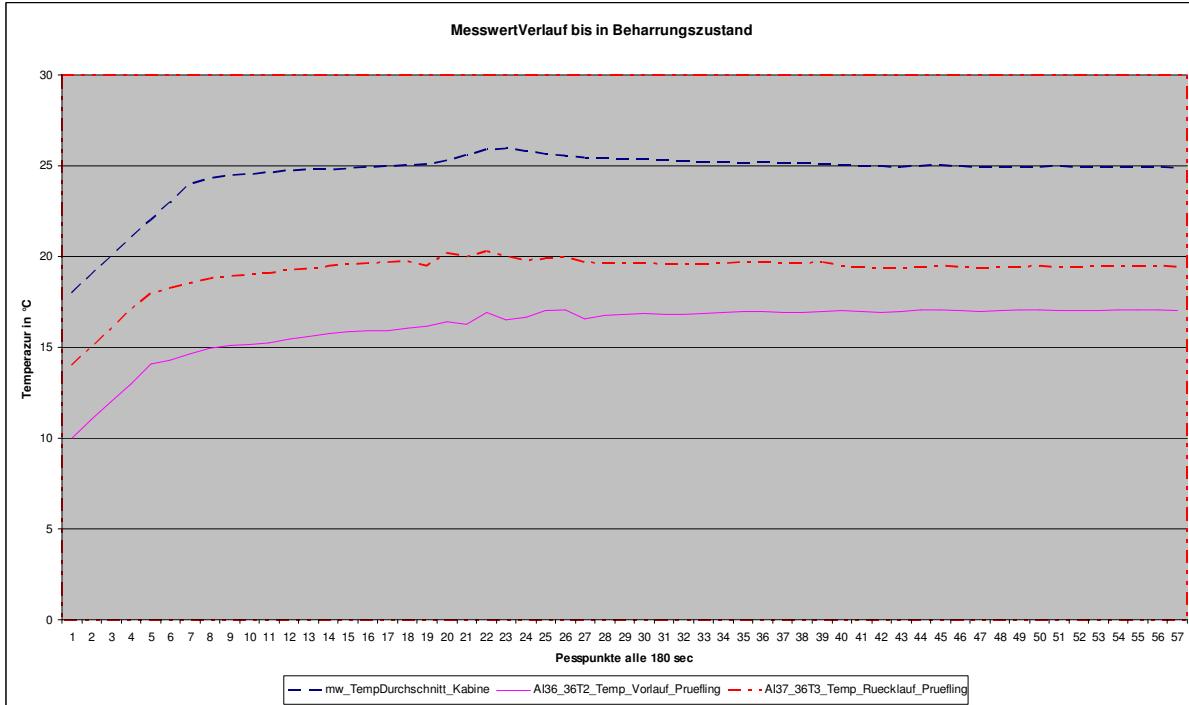


Abbildung 3.2 Messwertverlauf bis zum Beharrungszustand

Aus dem Beharrungszustand wird eine Leistungsmessung gemacht.

Die benötigten Werte dazu:

Vorlauftemperatur: VT [°C]

Rücklauftemperatur: RT [°C]

Raumtemperatur: Ti [°C]

Wasserstrom: qm [kg/h]

Die effektiv gemessene Leistung ermittelt sich aus:

$$\Phi_{\text{eff}} = c * qm * \Delta T$$

$$\Delta T = VT - RT \quad [\text{K}]$$

c ... 1,163 Wh/(kg*K) spez. Wärmekapazität

Die Normleistung auf $\Delta T_N(16/18/27^\circ)$

$$\Delta T = (VT - RT) / \ln ((VT - Ti) / (RT - Ti)) \quad [\text{K}]$$

$$\Phi_N = \Phi_{\text{eff.}} * (\Delta T / \Delta T_N)^n \quad [\text{W}]$$

3.1.4 Messergebnisse

Messergebnisse mit Standardheizkörper

Typ	Länge	Exp.	Heizleistung (75/65/20 °C)	Strahlungsanteil Heizen	Kühlleistung (16/18/27 °C)	%-Anteil Kühlleistung
DH63-2 L63-2	2.00m	1.34	3640 W	20 %	303 W	8.32 %
DH49-2 L49-2 *)	1.00m	1.36	1540 W	20 %	175 W	11.36 %
DH21-2 L21-2	2.5m	1.26	1725 W	20 %	125 W	7.25 %
DH63	2.0m	1.26	1360 W	50 %	62 W	4.56 %
DV180	0.591m	1.33	1000 W	50 %	85 W	8.50 %
RR3075	1.98m	1.36	3428 W	38 %	244 W	7.12 %
RR2075	1.98m	1.31	2486 W	49 %	186 W	7.48 %
RR6075	1.98m	1.40	6292 W	27 %	432 W	6.87 %
RR3030	1.98m	1.33	1439 W	38 %	96 W	6.67 %
C284	2.00m	1.40	3768 W	10 %	153 W	4.06 %
C282	2.00m	1.35	1618 W	20 %	71 W	4.39 %
AT6 1050-40	2.725m	1.23	2312 W	30 %	179 W	7.74 %
AT6 2100-40	2.725m	1.26	6936 W	25 %	553 W	7.79 %
2W67	2.00m	1.21	2408 W	25 %	303 W	10.67 %

Tabelle 3.2: Messergebnisse mit Standardheizkörper

Messergebnisse mit Unterflurkonvektoren mit Querstromgebläse (=erzwungene Konvektion)

Typ	Länge	Exp.	Heizleistung (75/65/20 °C)	Strahlungsanteil Heizen	Kühlleistung (16/18/27 °C)	%-Anteil Kühlleistung
KC2 21 BT=314mm *)	2.00m	1.00	6524 W	0 % (Zwangskon- vektion)	1190 W	18.24 %

Tabelle 3.3: Messergebnisse mit Unterflurkonvektor mit Querstromgebläse

*) Diese Messungen wurden durch HLK Stuttgart auf einem zertifiziertem Prüfstand in Anlehnung an die EN 442 / DIN 4704 durchgeführt.

Kühlleistungsberechnung bei anderen Untertemperaturen =

$$\text{Kühlleistung bei } (16/18/27^\circ\text{C}) \times (\Delta T \text{ neu} / 10 \text{ K})^{\text{Exp.}}$$

Kommentar:

Der in Stuttgart gemessene Heizkörper DH49-2 L49-2 weist im Verhältnis eine grössere Kühlleistung wie die anderen Heizkörper auf, welche im Prüflabor der Firma Arbonia ausgemessen wurden. Der Prüfstand in Stuttgart ist zertifiziert und das Labor in Arbon wurde exakt nachgebaut und ebenfalls mit präzisen Messgeräten ausgerüstet. Die Messabweichungen sind im Wesentlichen auf die Tatsache zurückzuführen, dass es sich um relativ kleine Kühlleistungswerte handelt. Die Messabweichungen dürfen somit grösser als 4% sein, welche bei Heizleistungsmessungen nach EN 442 toleriert wird. Es ist somit davon auszugehen, dass es sich bei den gemessenen Kühlleistungen bei der Firma Arbonia eher um konservative Werte handelt.

3.1.5 Zusammenhänge und Abhängigkeiten

Zusammenhang zwischen Konvektion und Strahlung:

Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik in der Formulierung von Clausius lautet:

Es gibt keine Zustandsänderung, deren einziges Ergebnis die Übertragung von Wärme von einem Körper niederer auf einen Körper höherer Temperatur ist.

Einfacher ausgedrückt: Wärme kann nicht von selbst von einem Körper niedriger Temperatur auf einen Körper höherer Temperatur übergehen. Diese Aussage scheint zunächst überflüssig zu sein, denn sie entspricht der alltäglichen Erfahrung, wie die über die Anziehungskraft der Erde. Dennoch ist sie äquivalent zu allen weiteren, weniger „selbstverständlichen“ Aussagen, denn alle Widersprüche zu den anderen Aussagen lassen sich auf einen Widerspruch zu dieser zurückführen.

Aufgrund dieser physikalischen Grundlage haben Kühlkörper gegenüber dem wärmeren Raum keine Abstrahlung weil nur der Raum Energie an den Kühlkörper abführt.

D.h. weiter der Kühlkörper nimmt Wärmeenergie auf und führt diese über das, im Kühlkörper befindliche Wasser ab.

Kühlkörper strahlen gegenüber dem warmen Raum nicht – *Heizkörper mit hohem Strahlungsanteil gegenüber Heizkörper mit niedrigem Strahlungsanteil haben einen schlechteren Wirkungsgrad im Kühlfall.*

Des Weiteren kann anhand der Messungen gesagt werden, dass hohe schmale Heizkörper sich wesentlich besser für den Kühlfall eignen (entgegen gesetzte Kaminwirkung)

Zusammenhang zwischen Wasserstrom und Kühlleistung:

Der Wasserstrom verhält sich zur Kühlleistung linear.

$$\Phi_{\text{eff}} = c * qm * \Delta T$$

$$\Delta T = VT - RT \quad [\text{K}]$$

c 1,163 Wh/(kg*K) spez. Wärmekapazität

qm ...Wasserstrom [kg/h]

Wird jedoch der minimale Wasserstrom unterschritten fällt die Leistung ab und es führt zu einem hydraulischen Kurzschluss im Kühlkörper.

Der minimale Wasserstrom wird unterschritten wenn sich der Exponent mit sinkendem Wasserstrom stark ändert. Dies passiert abrupt bei einem gewissen Wasserstrom.

Der minimale Wasserstrom muss für jedes Modell und Typ gemessen werden (analog Exponent).

Zusammenhang zwischen Wasserstrom bei der Wärmeleistung und der Kühlleistung:

Bei der Ermittlung der Kühlleistung wird beim Normpunkt ein anderer Wasserstrom ermittelt als bei der Wärmeleistung.

Ausgehend von der Wärmeleistung mit 100% Massenstrom ergibt sich bei der Kühlleistung ein kleineres ΔT (Übertemperatur) als bei der Normkühlpunkt.

Heizfall:

DH63-2 L63-2 L=2.00 m n=1.34 $\Phi = 3640W$

Normwasserstrom Heizen (75/65/20 °C):

$$qm = 313 \text{ kg/h}$$

Kühlfall:

DH63-2 L63-2 L=2.00 m n=1.34 $\Phi = 303W$

Normwasserstrom Kühlen(16/18/27 °C):

$$qm = 130 \text{ kg/h}$$

Kühlfall:

DH63-2 L63-2 L=2.00 m n=1.34

Wasserstrom wie Heizen m=313kg/h:

$$RT = 16.9 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (VT=16 \text{ } ^\circ\text{C}; Ti=27 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$\Delta T = 10.54 \text{ K}$$

$$\rightarrow \Phi = 326 \text{ W}$$

Wird der Heizkörper mit dem Normwasserstrom des Heizens zum Kühlen verwendet ergibt sich ein dementsprechendes kleines ΔT zwischen Vor- und Rücklauf.

Die Übertemperatur ΔT erhöht sich über die Normkühlübertemperatur, daher kommt es zu einer geringen Leistungssteigerung gegenüber der Normkühlleistung.

Um eine Leistungssteigerung im Kühlfall zu erzielen, muss die Vorlauftemperatur gesenkt werden. Diese kann jedoch dann unter den Taupunkt fallen, dass zu Kondenswasserbildung führen kann.

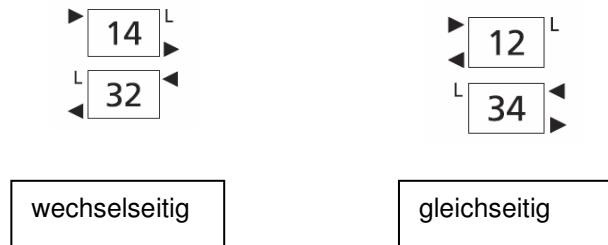
Der Taupunkt ist abhängig von der Luftfeuchte (ersichtlich im Mollier – Diagramm).

Einfluss der Heizkörperanschlussarten auf die Kühlleistung:

Bei den Heizkörpern ist auf die Anschlüsse zu achten, da nur wechselseitige und Anschlüsse für das Kühlen geeignet sind.

Es darauf zu achten das die Kühlkörper lagedurchströmt sind (eingebaute Trennscheiben für eine definierte Wasserdurchströmung) damit kein „Kaltwassersee“ entsteht.

Bei einer undefinierten Durchströmung entstehen diese „Kaltwasserseen“ infolge des thermischen Auftriebes und der unterschiedlichen Temperaturen im Wasser.



Bei den Anlagen ist darauf zu achten, dass es sich um 2-Rohranlagen handelt.

TKM Anschluss

Aufbau des Anschlusses

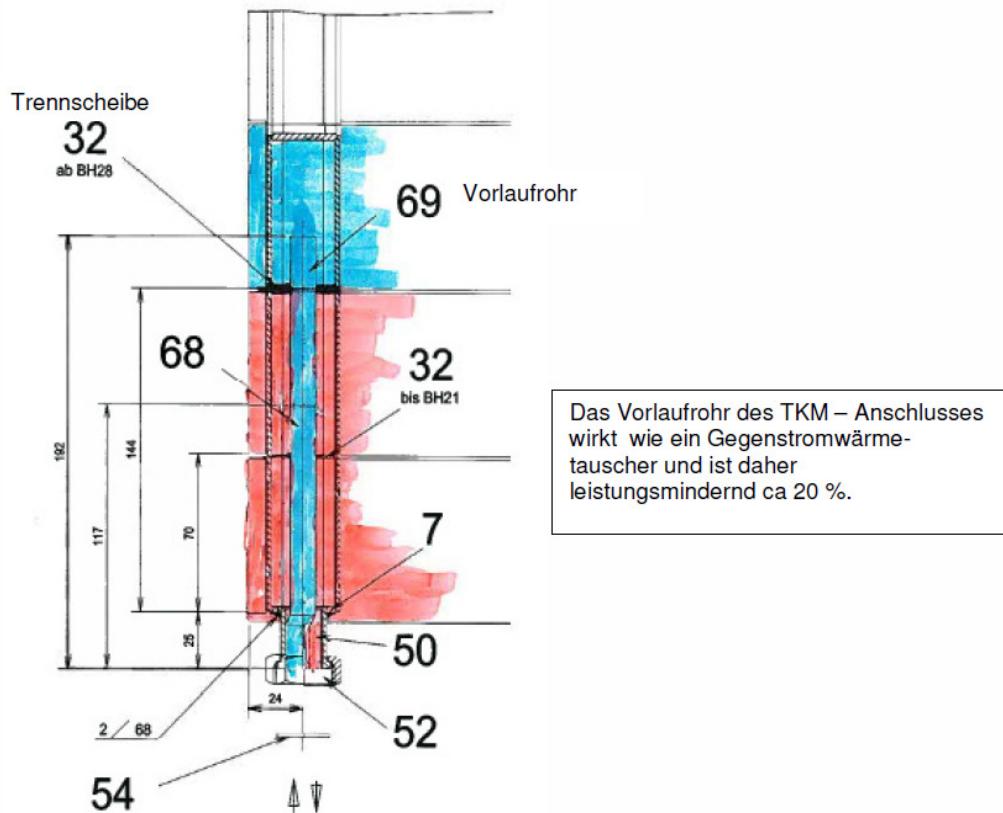


Abbildung 3.3: Aufbau des TKM-Anschlusses

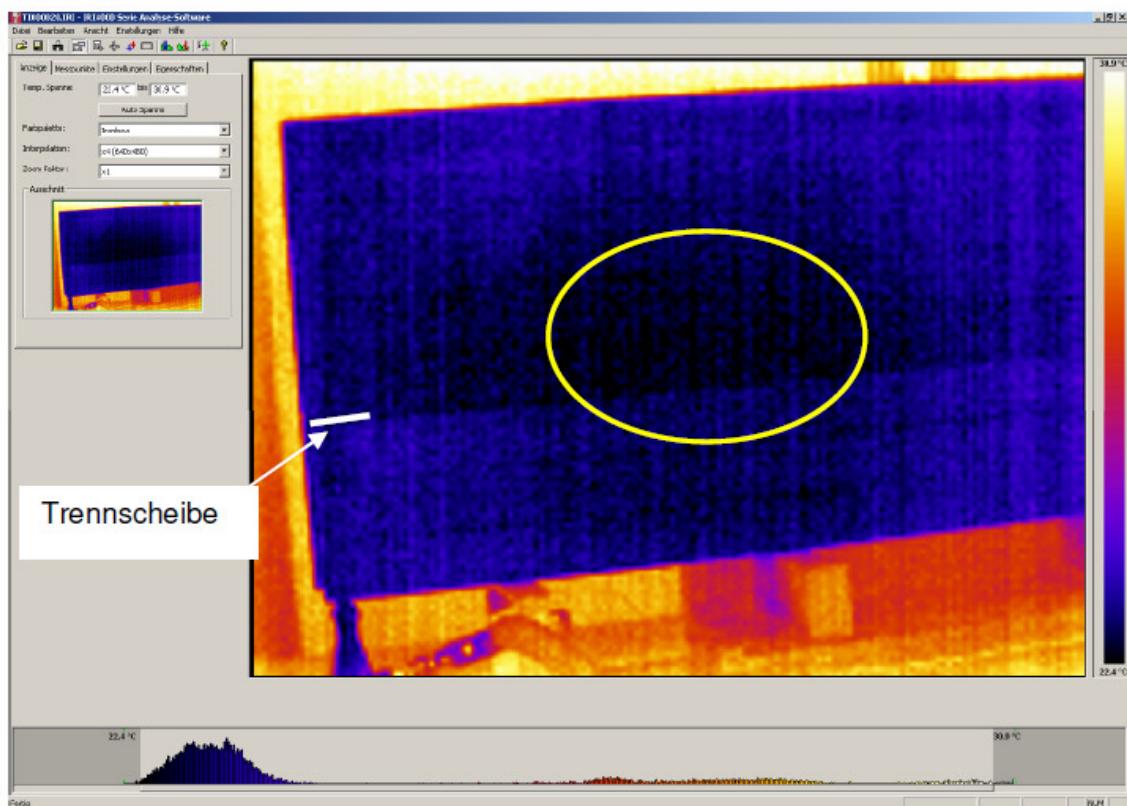


Abbildung 3.4: Thermographische Aufnahme Heizkörper mit TKM-Anschluss im Kühlfall

Der DECOTHERM wurde angeschlossen und mit einer Vorlauftemperatur von 14 °C beaufschlagt. Der Wasserstrom betrug 315 kg/h.

Aus dem Thermographiebild ist ersichtlich, dass sich ein „Kaltwassersee“ (gelbe Ellipse) bildet, der in der Mitte bis ans Ende des DECOTHERM's sich hinzieht und sich im unteren Bereich des Heizkörpers befindet. Infolge des thermischen Auftriebs des Wassers bleibt das wärmere Wasser im oberen Teil des Heizkörpers und dieser wird auch nicht mehr durchströmt. Es bildet sich ein Kurzschluss im Heizkörper und die ganze Heizkörperoberfläche kann nicht mehr für das Kühlen genutzt werden.

Diese und ähnliche Positionen und Anschlüsse sind daher nur sehr bedingt für das Kühlen geeignet.

Weitere Anschlussarten von Heizkörpern [2]

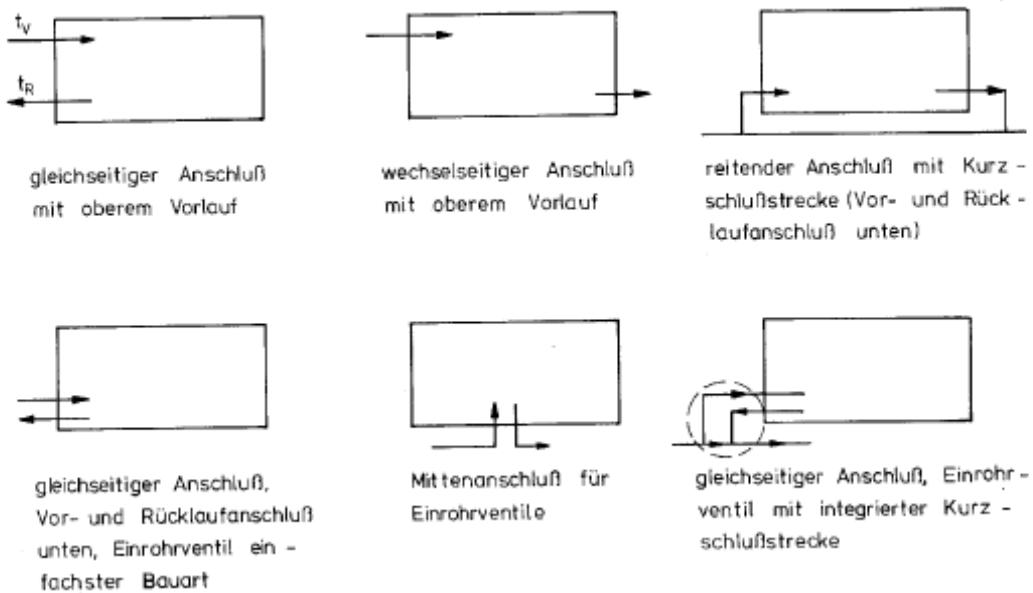


Abbildung 3.5: Weitere Anschlussarten

Die effektive Kühlleistung in Abhängigkeit des Anschlusses und die daraus resultierende Leistungsverluste kann mit den Werten φ und ψ aus den Diagrammen 3 und 4 berechnet werden.

$$\Phi_{\text{eff}} = \Phi_N * \varphi * (\Delta T_{\text{eff}} / \Delta T_N)^n (\psi^n)$$

Φ_{eff}effektive Kühlleistung [W]

Φ_NNormkühlleistung [W]

φ Wert aus Diagramm 3 []

ΔT_{eff} ...effektive Übertemperatur [K]

ΔT_NNormübertemperatur [K]

ψ Wert aus Diagramm 4 []

nExponent des Kühlkörpers []

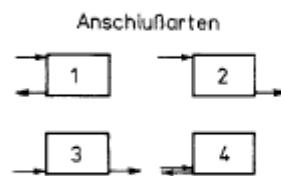
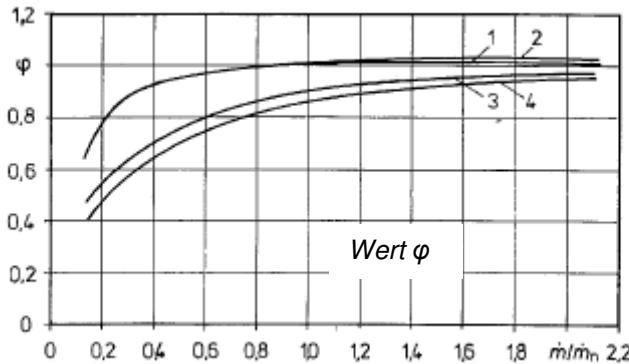


Abbildung 3.6: Wert φ in Abhängigkeit der Anschlussart und des Wasserstromes

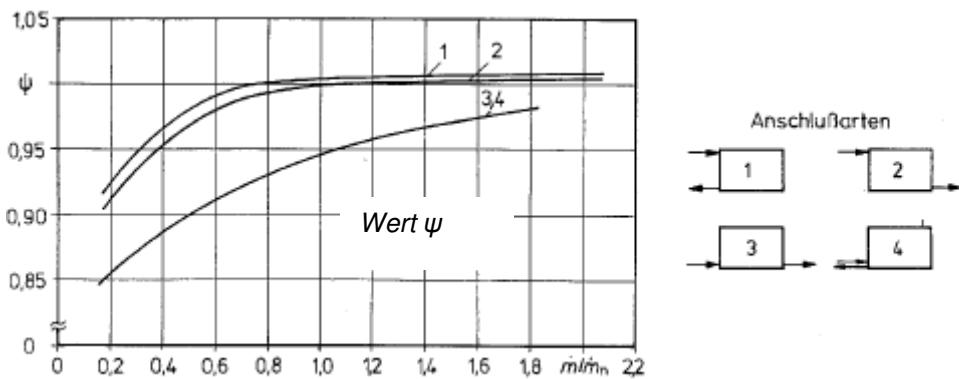


Abbildung 3.7: Wert ψ in Abhängigkeit der Anschlussart und des Wasserstromes

3.2 Kühlleistungen von Bodenheizungen

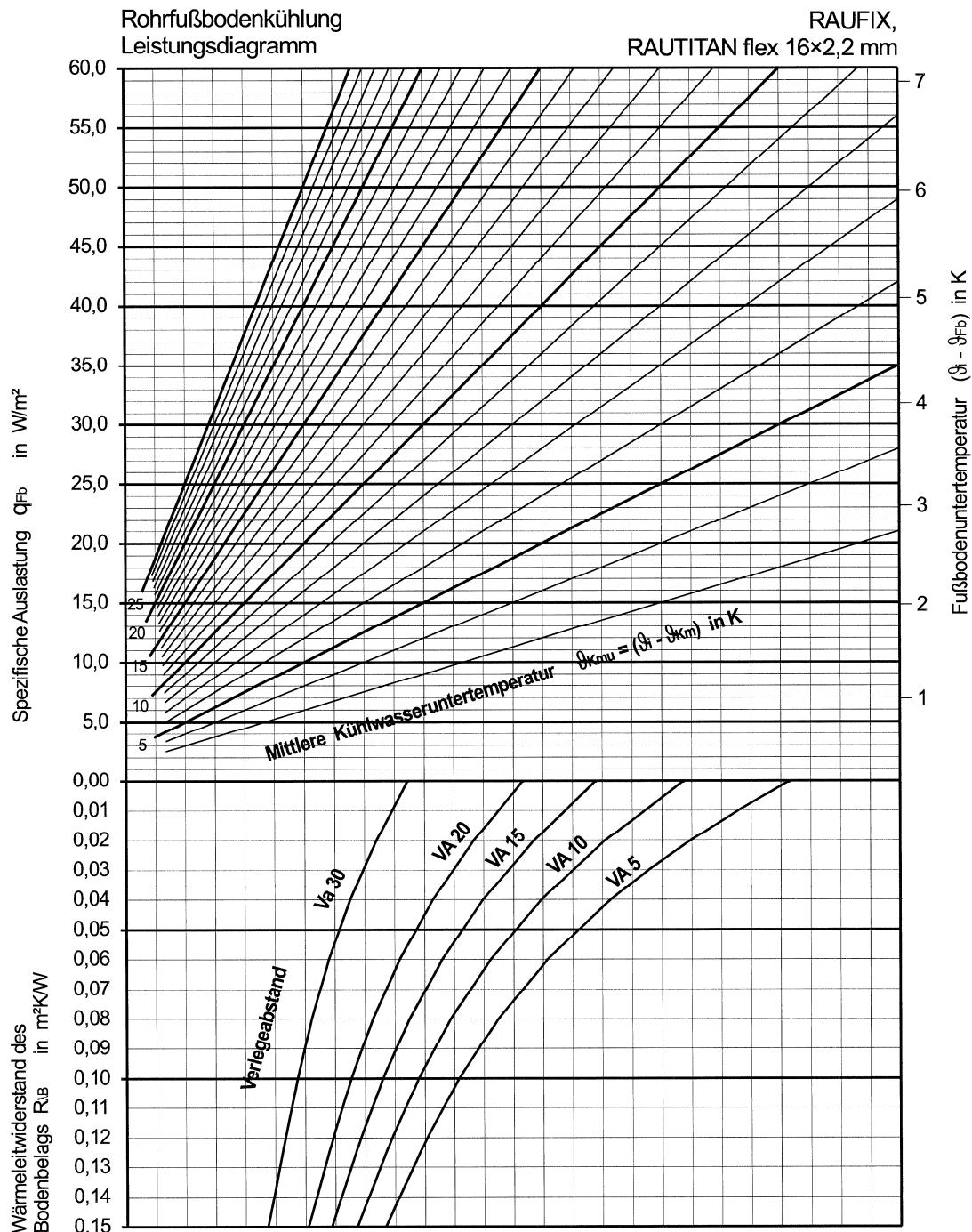
3.2.1 Messergebnisse

Mangels Kapazitäten des messtechnischen Labors der Firma Arbonia konnten keine Kühlleistungsmessungen von Bodenheizungen durchgeführt werden.

Im Anhang dieses Berichtes ist ein vollständiger Prüfbericht von einer Kühlleistungsmessung einer Bodenheizung im Nassverlegesystem (Bodenheizrohre im Zementüberzug) angefügt, welche vom Prüflabors WSPLab, Dr. Harald Bitter in Stuttgart im Auftrag der Firma Kermi (einer Tochterfirma der Arbonia-Forster-Holding AG) durchgeführt wurde. Darin ist ersichtlich, dass bei einem Verlegeabstand von 11 cm, einer mittleren Untertemperatur von 8 Kelvin (z.B. Raumtemperatur 26 °C, Vorlauf 17 °C, Rücklauf 19 °C) und ohne Bodenbelag eine Kühlleistung von rund 39 W/m² resultiert.

Einige Anbieter von Bodenheizsystemen deklarieren auch deren Kühlleistungen. Wie bei der Bodenheizung ist auch im Kühlfall die Leistung von den Temperaturdifferenzen (Raumtemperatur zu mittlerer Systemtemperatur), Verlegeabstand, Rohrdimension, Überdeckung der Rohre und Bodenbelag abhängig.

Nachfolgend ein Beispiel der Kühlleistungsangaben von der Firma Rehau, welche mit Zahlen im Prüfbericht im Anhang übereinstimmen.



Typische Wärmedurchlasswiderstände ($\text{m}^2\text{K/W}$):

Teppich	0.120
Parkett	0.045
Linoleum	0.030
Plattenboden	0.010

4 Simulationen

Es galt herauszufinden, ob mit Kühl-Heizkörpern ein angenehmes sommerliches Raumklima in einem Einzelbüro resp. in einem Wohnzimmer gewährleistet werden kann. Wegen den dynamischen Raumverhältnissen und des Einflusses von mehreren Faktoren wie Gebäudemasse, interne Wärmelasten, Aussentemperatur, Sonnenschutz, Fenstergrösse- und qualität, wurden dynamische Simulationsrechnungen durchgeführt.

Die gemessenen Kühlleistungen von der Firma Arbonia AG (Siehe Position 3. Kühlleistungen von Heizkörper und Bodenheizung) dienten dabei als Grundlage für die dynamischen Simulationsrechnungen. Damit besonders praxisnahe Ergebnisse modelliert werden konnten, wurde das Nutzerverhalten ebenso berücksichtigt wie die genaue Ermittlung der anfallenden internen und externen Wärmelasten.

4.1 Grundlagen

4.1.1 Simulationssoftware

Zur Anwendung gelangte das Softwarepaket TRNSYSlite 3.0 der Firma TRANSSOLAR Energietechnik GmbH in Stuttgart, welches zur einfachen, schnellen und sicheren Simulation einer thermischen Gebäudezone dient. Das Aussenklima entspricht dem Standort der Stadt Zürich mit den durchschnittlichen Aussentemperaturen von 2002 bis 2007 (Datenbasis: Stundenwerte von MeteoSchweiz).

4.1.2 Randbedingungen und Annahmen Einzelbüro und Wohnzimmer

Die ermittelten Werte beziehen sich auf ein Einzelbüro in einem Zwischengeschoß gemäss Abbildung 4.1. Der Kühlenergiebedarf (als auch Heizwärmebedarf) von Büroräumen die im Erdgeschoss oder unter dem Dach liegen, sowie von Eckbüros, fällt naturgemäss höher aus. Auf eine Auswertung dieser Randsituationen wurde bewusst verzichtet, da dies eine Festlegung zusätzlicher Parameter erfordert hätte. Das Einzelbüro wurde im Grundriss nach vier Himmelsrichtungen gedreht (Nord, Ost, Süd und West).

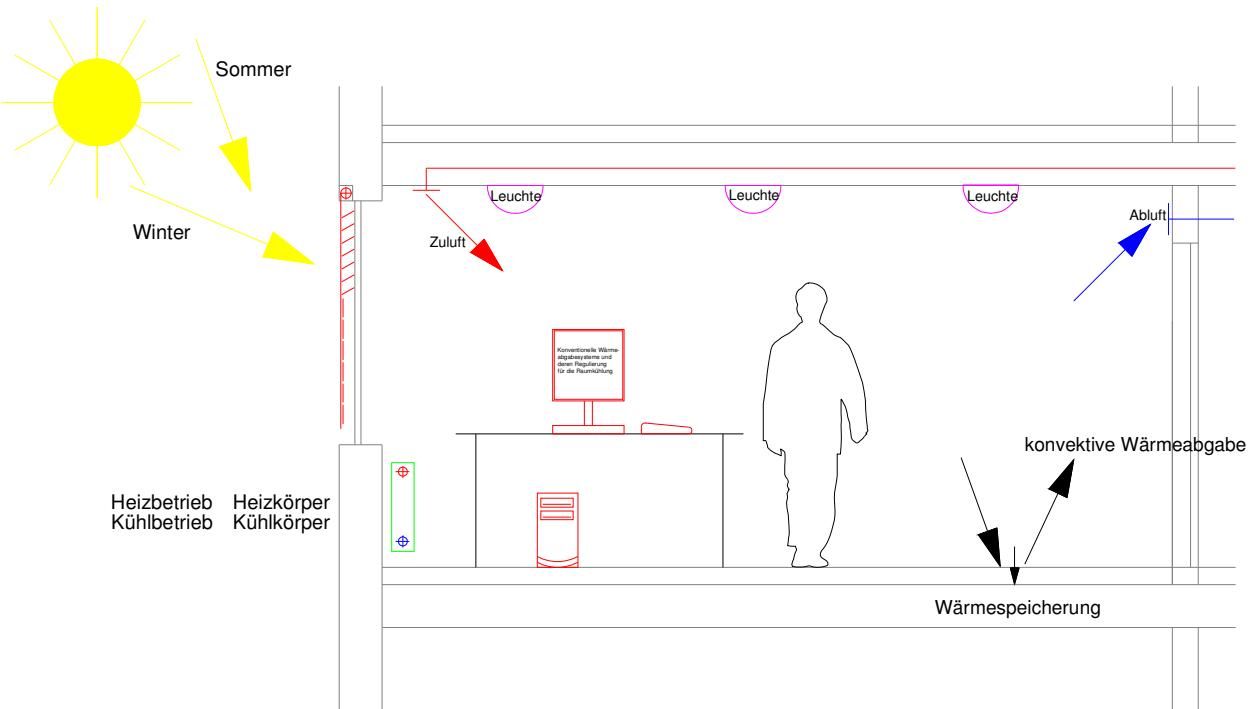


Abbildung 4.1: Ausstattung eines Einzelbüros in einem Zwischengeschoß

Raumabmessungen

Die Raumbreite wird auf 5.00 m, die Raumbreite 3.00 m und die lichte Raumhöhe auf 2.80 m festgelegt. Dies gibt eine Bodenfläche von 15.00 m² und ein Raumvolumen von 42.00 m³ (EBF = 17.00 m²).

Raumtemperatur

Als Basis dient die SIA 180, die eine Raumtemperatur von 26.5°C als angemessen erachtet.

Interne Wärmelasten

In der Tabelle 4.1: Übersicht der internen Wärmelasten Variante „Standard“ und Variante „Effizient“ sind die internen Wärmelasten aufgelistet. Einerseits wurden normale, heute oft verwendete Bürogeräte und Beleuchtung in der „Variante Standard“ und andererseits bestmögliche, heute auf dem Markt erhältliche Bürogeräte und Beleuchtung (annähernd MINERGIE-Standard) in der „Variante Effizient“ berücksichtigt.

	Variante „Standard“		Variante „Effizient“	
	Wärmelast	Spez. Wärmelast	Wärmelast	Spez. Wärmelast
1 Person	75 W	5 W/m ²	75 W	5 W/m ²
1 PC mit Bildschirm	140 W	9.3 W/m ²	45 W	3 W/m ²
1 Beleuchtung	238 W	15.3 W/m ²	153 W	10.2 W/m ²
Total interne Wärmelasten	453 W	29.6 W/m²	273 W	18.2 W/m²

Tabelle 4.1: Übersicht der internen Wärmelasten Variante „Standard“ und Variante „Effizient“

Fassadenkonstruktion

Es wurden Fassaden mit 45% und 80% Glasanteil untersucht. Die Gläser weisen U-Werte von 1.10 W/m²K und 0.70 W/m²K (bei 80% Glasanteil) auf. Der g-Wert der Kombination Verglasung und aussenliegender Sonnenschutz weisen 0.14 und 0.10 (bei 80% Glasanteil) auf.

Haustechniksysteme

Variante A Heizkörper in Kombination mit Fensterlüften (keine Kühlung)

Variante B Kühl-Heizkörper mit Kühlleistung 75 W oder 130 W in Kombination mit Fensterlüften

Variante C Kühl-Heizkörper mit Kühlleistung 75 W oder 130 W in Kombination mit einer kontrollierten Hygienelüftung (ohne Kühlung)

Kühlleistung der Kühl-Heizkörper für die Varianten B + C

Für die Variante B + C wurden die von der Firma Arbonia AG gemessenen Kühlleistungen verwendet. Als Referenz-Heizkörper (resp. Kühl-Heizkörper) diente dabei ein Decotherm DH49-2 L49-2. Bei einer mittleren Temperaturdifferenz von 5.5 K (Raumtemperatur 26.5°C und Heizkörpermitteltemperatur 21°C) resultiert eine Kühlleistung von 75 Watt und bei einer mittleren Temperaturdifferenz von 8 K (Raumtemperatur 26.5°C und Heizkörpermitteltemperatur 18.5°C) eine solche von 130 Watt.

Kälteabgabe

Es wurden bewusst nur geringe spezifische Kühlleistungen von 5 W/m² (75 W / 15 m²) oder 8.66 W/m² (130 W / 15 m²) und auch geringe Temperaturdifferenzen gewählt. Dadurch könnte die Kälteabgabe an den Raum auch mit einer Fußbodenheizung erfolgen. Beide Systeme funktionieren mehrheitlich im Heizfall nach dem Strahlungsaustausch und wurden deshalb in den Simulationsrechnungen nicht näher unterschieden. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen beziehen sich auf beide Systeme.

Wohnzimmer

Die unklare Belegung, die geringen internen Wärmelasten, das Bedienen vom Sonnenschutz (manuell!), die Baukonstruktionen (Altbau/Neubau), geöffnete Balkonfenster (Durchzug!) etc. erschweren korrekte Simulationsrechnungen. Sicher ist, dass Wohnzimmer weit weniger kritisch bezüglich hoher Raumtemperaturen im Sommer sind als Bürogebäude. Auf separate Simulationsrechnungen wurde verzichtet.

4.2 Untersuchungsergebnisse mit ausgewählten Grafiken

Es wurden total 80 verschiedene dynamische Simulationsrechnungen durchgeführt. Die systematische Auswertung dieser Simulationen ergaben allgemeingültige Tendenzen. In Abbildung 4.2 ist die gemittelte Aussentemperatur zwischen 2002 – 2007 von der Stadt Zürich abgebildet.

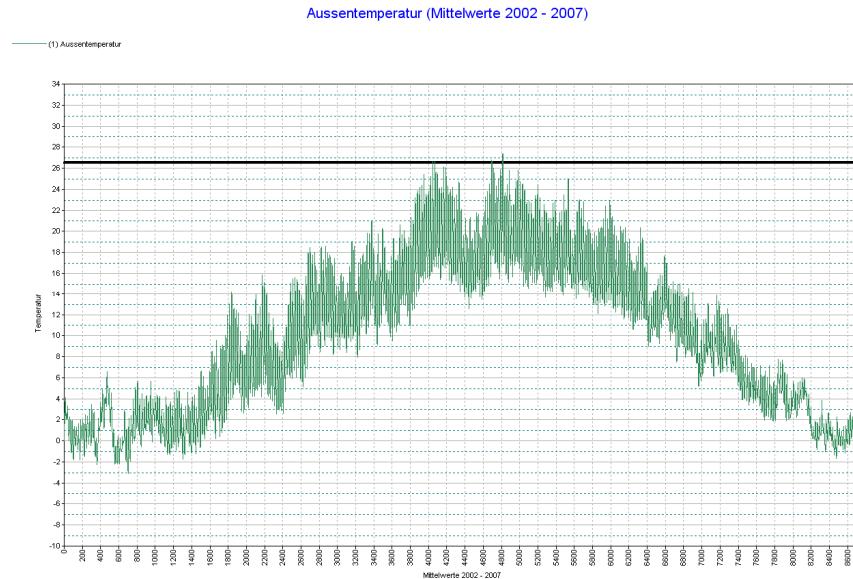


Abbildung 4.2: Gemittelte Aussentemperaturen zwischen 2002–2007 (Datenbasis: MeteoSchweiz)

Mit der Methode der gemittelten Aussentemperatur wird ein durchschnittlicher Sommer berücksichtigt. Die Resultate und Schlussfolgerungen der Simulationsrechnungen sind aber nicht für einen warmen Sommer mit längeren Schönwetterperioden und Aussentemperaturen von deutlich über 28°C gültig (z.B. im Jahr 2006 hatte es 108 Stunden über 28°C).

4.2.1 Raumtemperatur in einem Einzelbüro ohne und mit Raumkühlung; Orientierung Süd

Die Abbildungen 4.3, 4.4 und 4.5 zeigen die zu erwartende Raumtemperatur mit und ohne Kühlung bei Verwendung von effizienten Bürogeräten und Beleuchtung auf („Variante Effizient“). Die Abbildung 4.3 zeigt, dass die Raumtemperatur bei der Variante A (keine Kühlung) auf bis zu 30°C ansteigt.

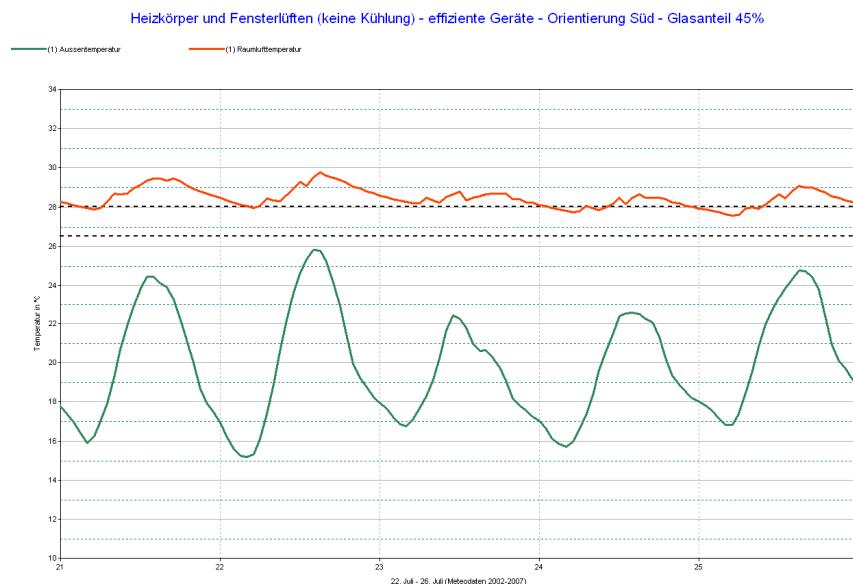


Abbildung 4.3, Variante A: Heizkörper und Fensterlüften (keine Kühlung), Glasanteil 45%, Orientierung Süd

Bei gleicher Ausgangslage wie in Abbildung 4.3, aber mit einer zusätzlichen Kühlung von 130 Watt wird die Raumtemperatur positiv beeinflusst und steigt nur noch leicht über 26.5°C an (Variante B). Die Obergrenze der Raumtemperatur von 28°C wird nicht überschritten, wie Abbildung 4.4 zeigt.

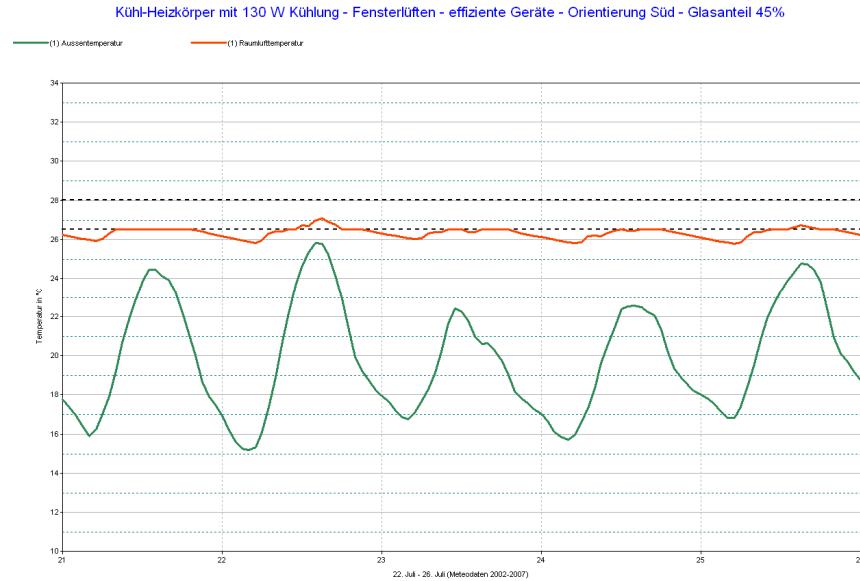


Abbildung 4.4, Variante B: Kühl-Heizkörper (130 W) und Fensterlüften, Glasanteil 45%, Orientierung Süd

Ein aktiv mitdenkender Nutzer kann die Raumtemperatur zusätzlich positiv beeinflusst. Beim morgendlichen Durchlüften wird die Bürotür und das Fenster (vollständig offenes Fenster) gleichzeitig geöffnet. Dadurch entsteht Durchzug, der zu einem höheren Luftwechsel führt. Zudem werden die Bürogeräte und die Beleuchtung vor dem Verlassen des Büros ausgeschaltet.

Bei gleicher Ausgangslage wie in Abbildung 4.3, aber mit einer zusätzlichen Kühlung von 130 Watt und mit einer kontrollierten Hygienelüftung (Variante C) steigt die Raumtemperatur ebenfalls nur noch leicht über 26.5°C an. Eine Raumtemperatur von 28°C wird nicht mehr überschritten. Mit der kontrollierten Hygienelüftung werden in etwa die gleichen Raumtemperaturen erreicht, wie in Abbildung 4.4 mit Kühlung und mit Fensterlüften, sofern sich der Nutzer (Fenster öffnen und schliessen) korrekt verhält, siehe dazu Abbildung 4.5.

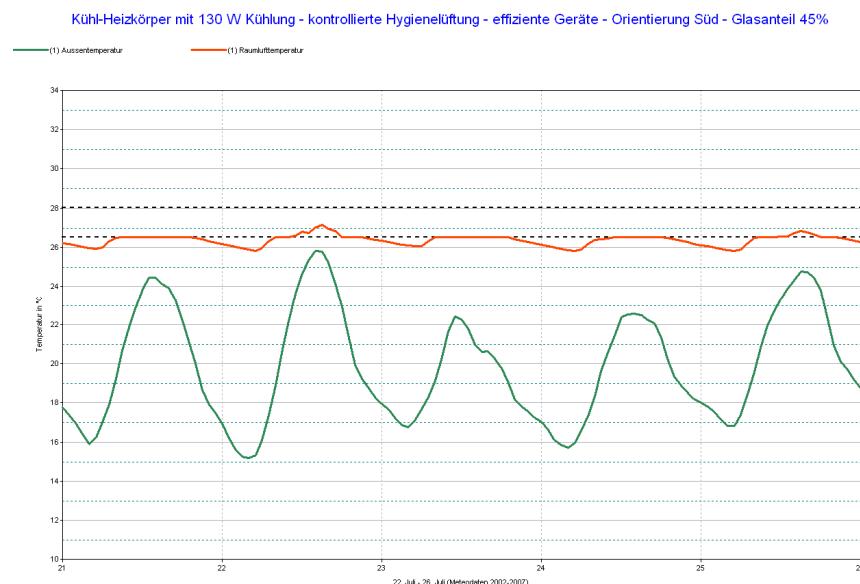


Abbildung 4.5, Variante C: Kühl-Heizkörper (130 W) und Hygienelüftung, Glasanteil 45%, Orientierung Süd

4.2.2 Raumtemperatur in einem Einzelbüro ohne und mit Raumkühlung; Orientierung West

Im Sommer wird die meiste Wärme auf der Ost- und Westseite eingestrahlt, im Winter dagegen auf der Südseite (niedriger Sonnenstand resp. im Sommer ein hoher Sonnenstand).

Die Abbildung 4.6, 4.7 und 4.8 zeigen die zu erwartende Raumtemperatur mit und ohne Kühlung und bei Verwendung normaler Bürogeräte und Beleuchtung Variante „Standard“ auf.

Bei der Variante A (keine Kühlung) steigt die Raumtemperatur auf über 30°C an, wie in Abbildung 4.6 dargestellt. Verursacher dieser unakzeptablen Raumtemperaturen sind die unnötig hohen anfallenden Wärmelasten der Bürogeräte und Beleuchtung (Variante „Standard“).

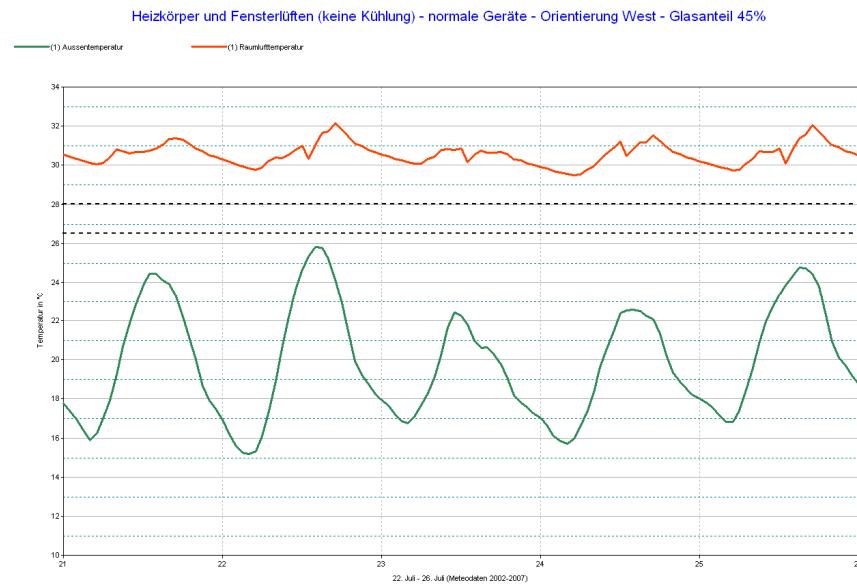


Abbildung 4.6, Variante A: Heizkörper und Fensterlüften (keine Kühlung), Glasanteil 45%, Orientierung West

Bei einem Kühl-Heizkörper mit einer Kühlleistung von 130 Watt und mit Fensterlüften (Variante B) wird die Raumtemperatur massiv reduziert. Die Obergrenze der Raumtemperatur von 28°C wird nur noch einige Stunden im Jahr überschritten, wie Abbildung 4.7 zeigt.

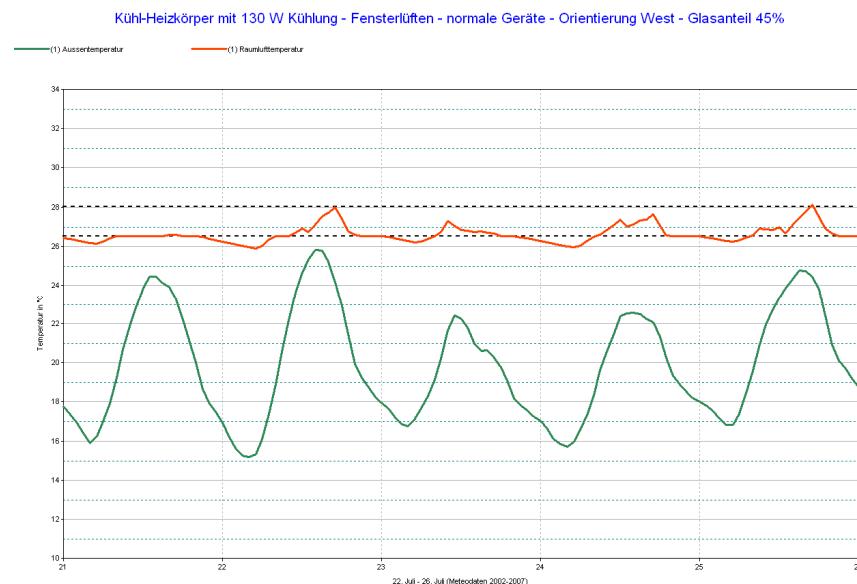


Abbildung 4.7, Variante B: Kühl-Heizkörper (130 Watt) und Fensterlüften, Glasanteil 45%, Orientierung West

Abbildung 4.8 zeigt, bei der Variante C mit einer kontrollierten Hygienelüftung in etwa die gleiche Raumtemperatur erreicht werden, wie in Abbildung 4.7 mit Kühlung und mit Fensterlüften, sofern sich der Nutzer (Fenster öffnen und schliessen) korrekt verhält.

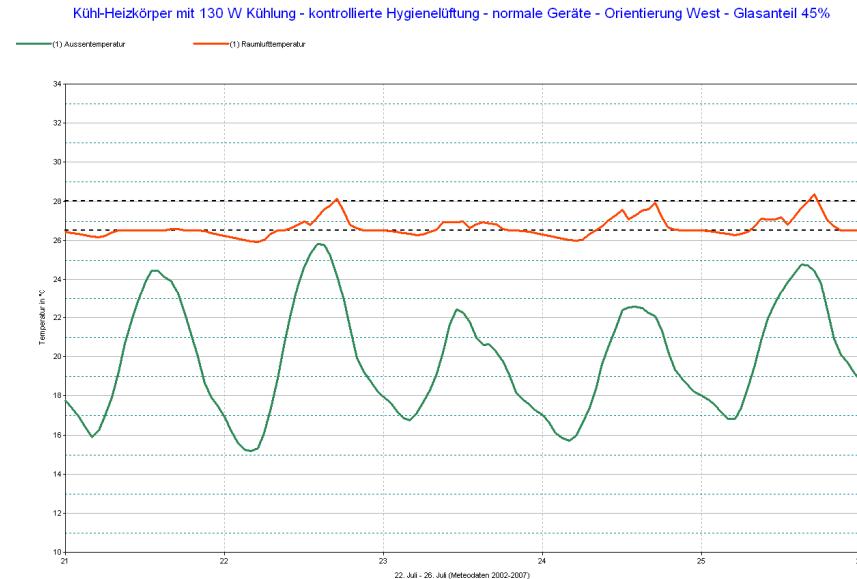


Abbildung 4.8, Variante C: Kühl-Heizkörper (130 Watt) und Hygienelüftung, Glasanteil 45%, Orientierung West

Die Verwendung normaler Bürogeräte und Beleuchtung Variante „Standard“ (leider auch teilweise von der unnötig eingeschalteten Raumbeleuchtung) bestimmen die Wärmebilanz unabhängig von der Fassade wesentlich. So kann es für den Nutzer interessant sein, durch Optimierungen, wie z.B. frühere Arbeitszeiten im Sommer oder den Einsatz energiesparender Bürogeräte (vor allem Computer) und Leuchten mit geringeren Wärmeabgaben (Variante „Effizienz“), diesen Anteil der Wärmelasten zu verringern, um eine bessere thermische Behaglichkeit zu schaffen.

4.3 Zusammenfassung der Simulationsergebnisse

Die Intensität der im Raum als Wärmelast wirksam werdenden Sonneneinstrahlung wird direkt von der Fassade beeinflusst. Sie hängt primär von der Grösse der verglasten Fassadenflächen, der Qualität des Sonnenschutzes und der Effizienz der natürlichen Raumbelüftung ab, falls diese nicht mechanisch erfolgt. In Tabelle 4.2 und 4.3 sind die Ergebnisse der dynamischen Simulationsrechnungen aufgelistet. Die beiden Tabellen unterscheiden sich durch den Glasanteil an der Fassade (45% oder 80%).

4.3.1 Anzahl Stunden mit Raumtemperatur > 26.5 °C (Fassade mit Glasanteil 45%)

Variante A Heizkörper und Fensterlüften			Variante B Kühl-Heizkörper und Fensterlüften			Variante C Kühl-Heizkörper in Kombination mit einer kontrollierten Hygienelüftung	
			keine Kühlung 0 W	Kühleistung 75 W	Kühleistung 130 W	Kühleistung 75 W	Kühleistung 130 W
Interne Wärmelasten			Gebäu-de-masse	g-Wert	Anzahl Stunden mit Raumtemperatur >26.5 °C/28 °C		
Nord	Standard	massiv	< 0.14	822/616	578/35	369/3	551/40
	effizient	massiv	< 0.14	554/204	214/0	79/0	320/0
Ost	Standard	massiv	< 0.14	1322/1187	1170/719	985/374	1269/884
	effizient	massiv	< 0.14	1159/983	904/445	655/156	1050/557
Süd	Standard	massiv	< 0.14	882/606	606/61	420/7	728/108
	effizient	massiv	< 0.14	530/248	243/1	101/0	329/4
West	Standard	massiv	< 0.14	870/690	661/78	479/16	786/148
	effizient	massiv	< 0.14	652/386	321/0	138/0	430/7
			Anzahl Std. mit Raumtemperatur >26.5 °C/28 °C				

Tabelle 4.2: Anzahl Stunden mit Raumtemperatur über 26.5 °C und 28 °C (Fassade mit Glasanteil 45%)

Bei den Varianten B und C mit Kühl-Heizkörpern und einer Kälteleistung von 75 Watt oder 130 Watt werden die Anzahl Stunden mit Raumtemperaturen über 26.5°C deutlich reduziert. Werden zudem noch die bestmöglichen, heute auf dem Markt erhältliche Bürogeräte und Beleuchtungen (Variante „Effizient“) berücksichtigt, sinkt die Anzahl Stunden mit Raumtemperaturen über 26.5°C nochmals deutlich. Mit einer kontrollierten Hygienelüftung können keine weiteren Verbesserungen gegenüber dem Fensterlüften erreicht werden, ausser der Nutzer verhält sich passiv und falsch.

4.3.2 Anzahl Stunden mit Raumtemperatur > 26.5°C (Fassade mit Glasanteil 80%)

			Variante A Heizkörper und Fensterlüften	Variante B Kühl-Heizkörper und Fensterlüften	Variante C Kühl-Heizkörper in Kombination mit einer kontrollierten Hygienelüftung		
			keine Kühlung 0 W	Kühlleistung 75 W	Kühlleistung 130 W	Kühlleistung 75 W	Kühlleistung 130 W
	Interne Wärmelasten	Gebäu-de- masse	g-Wert	Anzahl Stunden mit Raumtemperatur >26.5°C/28°C			
Nord	Standard	massiv	< 0.10	804/558	546/48	349/6	526/46
	effizient	massiv	< 0.10	503/162	200/0	80/0	294/0
Ost	Standard	massiv	< 0.10	1347/1239	1216/825	1036/503	1312/1005
	effizient	massiv	< 0.10	1226/1043	973/527	726/252	1108/668
Süd	Standard	massiv	< 0.10	845/532	564/70	396/11	688/127
	effizient	massiv	< 0.10	464/205	214/3	100/0	304/5
West	Standard	massiv	< 0.10	864/666	642/111	464/25	779/185
	effizient	massiv	< 0.10	616/360	325/12	156/0	421/23

Tabelle 4.3: Anzahl Stunden mit Raumtemperatur über 26.5°C und 28°C (Fassade mit Glasanteil 80%)

Bei der Fassade mit einem Glasanteil von 80% wurde ein deutlich besserer U-Wert der Verglasung von 0.70 W/m²K gegenüber 1.10 W/m²K und ebenso ein g-Wert (Verglasung und Sonnenschutz) von 0.10 gegenüber 0.14 eingesetzt. Ansonsten würden deutlich höhere Raumtemperaturen respektive eine höhere Anzahl an Stunden über 26.5°C, gegenüber Fassaden mit geringerem Glasanteil, anfallen.

4.4 Schlussfolgerung aus den Simulationen

Ein Kühl-Heizkörper in einem Einzelbüro oder auch in einem Wohnzimmer erhöht die sommerliche Behaglichkeit spürbar und beeinflusst die Raumtemperatur positiv. Die sommerlichen Raumtemperaturen können um 2 – 4°C gesenkt werden.

Selbstverständlich bleibt aber die Forderung, die Nutzer bereits bei Planungsbeginn auf das Gebäudekonzept und die zu erwartenden Raumtemperaturen im Sommer hinzuweisen und vertraut zu machen. Zudem kann ein aktiv mitdenkender Nutzer die Raumtemperatur positiv beeinflussen.

Referenzen

- [1] Marion Hiller: **Handbuch 11/03 TRNSYSite 3.0**, TRANSOLAR Energietechnik GmbH, 70563 Stuttgart
- [2] **Merkblatt SIA 2024** „Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, Ausgabe 2006

Anhang

Ergänzende Unterlagen zu Kühlleistungen Heizkörper und Bodenheizung

WSP*Lab*

DR.-ING. HARALD BITTER

x-net C 12

PRÜFBERICHT

03.58.KER.001

über die Ermittlung der Kühlleistung
einer Bodenkühlfläche in Anlehnung an DIN 4715-1

*Dieser Bericht wurde im Wortlauf des Originalberichtes
am 24.11.2003 als pdf-Datei erstellt*

Der Prüfbericht enthält 13 Seiten

Der Bericht darf ohne schriftliche Genehmigung des Prüflaboratoriums nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

Anerkannt vom Europäischen Komitee für Normung (CEN), Brüssel, von DIN CERTCO, Berlin, und von anderen europäischen nationalen Normungsinstituten.
Mitglied von EUROLAB D.

Durch die DAP GmbH (Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen) nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium.
FMPA Begutachtungsstelle



1. Prüflaboratorium und Prüfort

WSPLab
Dr.-Ing. Harald Bitter
Kapuzinerweg 7
D-70374 Stuttgart

Telefon: (0711) 953922-0
Telefax: (0711) 953922-66

von DIN CERTCO anerkanntes Prüflaboratorium
akkreditiert nach EN ISO/IEC 17025

2. Auftraggeber und Antragsteller

Kermi GmbH
Pankofen- Bahnhof 1
94447 Plattling

3. Hersteller

Kermi GmbH
Pankofen- Bahnhof 1
94447 Plattling

4. Angaben zum Prüfgegenstand

- | | | |
|-----|-----------------------------------|--|
| 4.1 | Eingangsdatum der Prüfgegenstände | 23.09.2003 |
| 4.2 | Datum der Prüfung | 30.09. bis 08.10.2003 |
| 4.3 | Herstellerbezeichnung | Kermi x-net C 12 |
| 4.4 | Beschreibung des Prüfgegenstandes | Bodenkühlfläche, geschlossene Ausführung, bestehend aus mäanderförmig angeordneten Kunststoffrohren (PEXc 16 x 2 mm), im Naßverlegesystem mit Zementestrich auf Kermi Dämmplatte NM 30-2 verlegt. Verlegesystem mit 4 Rohren bildet 1 Element. 16 Elemente in Reihe geschaltet (siehe Skizze Seite 11) |

Die Anschlüsse der Elemente liegen außerhalb der Bodenkühlfläche und innerhalb der umlaufend angebrachten Dämmung zwischen den Elementen und den Kabinenwänden (siehe Skizze Seite 11-13).

4.5 Abmessungen des Prüfgegenstandes	16 Elemente, jeweils mit den Abmessungen: $(1,65 \times 0,4) \text{ m}^2$
	Gesamte Bodenkühlfläche $16 \times (1,65 \times 0,4) = 11,6 \text{ m}^2$
4.6 Anschluss des Prüfgegenstandes	16 Elemente sind in Reihe angeschlossen.
4.7 Wärmedämmung	Unterseite der Elemente liegen auf der Wärmedämmung (100mm) des Kabinenbodens. Verbindungsleitungen zwischen den Elementen nicht einzeln wärmegedämmt, jedoch innerhalb der umlaufend angebrachten Dämmung zwischen den Elementen und den Kabinenwänden verlegt. Anschlussleitungen wärmegedämmt

5. Angaben zu Prüfstand und Prüfanordnung

5.1 Art des Prüfstandes:	DIN 4715-1
5.2 Prüfspezifikation:	in Anlehnung an DIN 4715-1 Abweichend von den Festlegungen der DIN 4715-1 erfolgte keine Messung der Raumluftgeschwindigkeiten
5.3 Innenmaße der wärmegefärbten Kabine:	Länge = 3886 mm Breite = 3786 mm Höhe = 2775 mm
5.4 Messstelle der Bezugstemperatur (Globetemperatur):	1,10 m über der Kühlbodenfläche in der Kabinenmitte

6. Eingestellter Wasserstrom 250 kg/h

7. Prüfergebnisse

Sämtliche Berechnungen wurden mit einer EDV-Anlage durchgeführt. Das Ergebnis einer Nachrechnung anhand der Protokollwerte kann deshalb durch Rundungsfehler abweichend sein. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.

Kennlinien siehe Seite 5 und 6, Messprotokolle siehe Seite 7 bis 10.

Norm-Kühlleistung

- bei Nennwasserstrom ($\Delta t=10$ K): $Q_n = 571 \text{ W}$
- bezogen auf die Kühlbodenfläche ($A = 11,6 \text{ m}^2$; $\Delta t=10$ K): $q_n = 49,2 \text{ W/m}^2$

Gleichung der Norm-Kennlinie
bei Nennwasserstrom $Q = 54,933 \cdot \Delta t^{1,017}$

Reynoldszahl
bei Nennwasserstrom ($d_i = 12 \text{ mm}$) $Re > 6100$

Kühlleistung

- bei halbem Nennwasserstrom ($\Delta t=10$ K): $Q_n = 571 \text{ W}$
- bezogen auf die Kühlbodenfläche ($A = 11,6 \text{ m}^2$; $\Delta t=10$ K): $q_n = 49,2 \text{ W/m}^2$

Gleichung der Kennlinie
bei halbem Nennwasserstrom $Q = 53,544 \cdot \Delta t^{1,028}$

Reynoldszahl
bei halbem Nennwasserstrom ($d_i = 12 \text{ mm}$) $Re > 3050$

Stuttgart, den 24.11.2003

Im Original unterzeichnet

Bitter

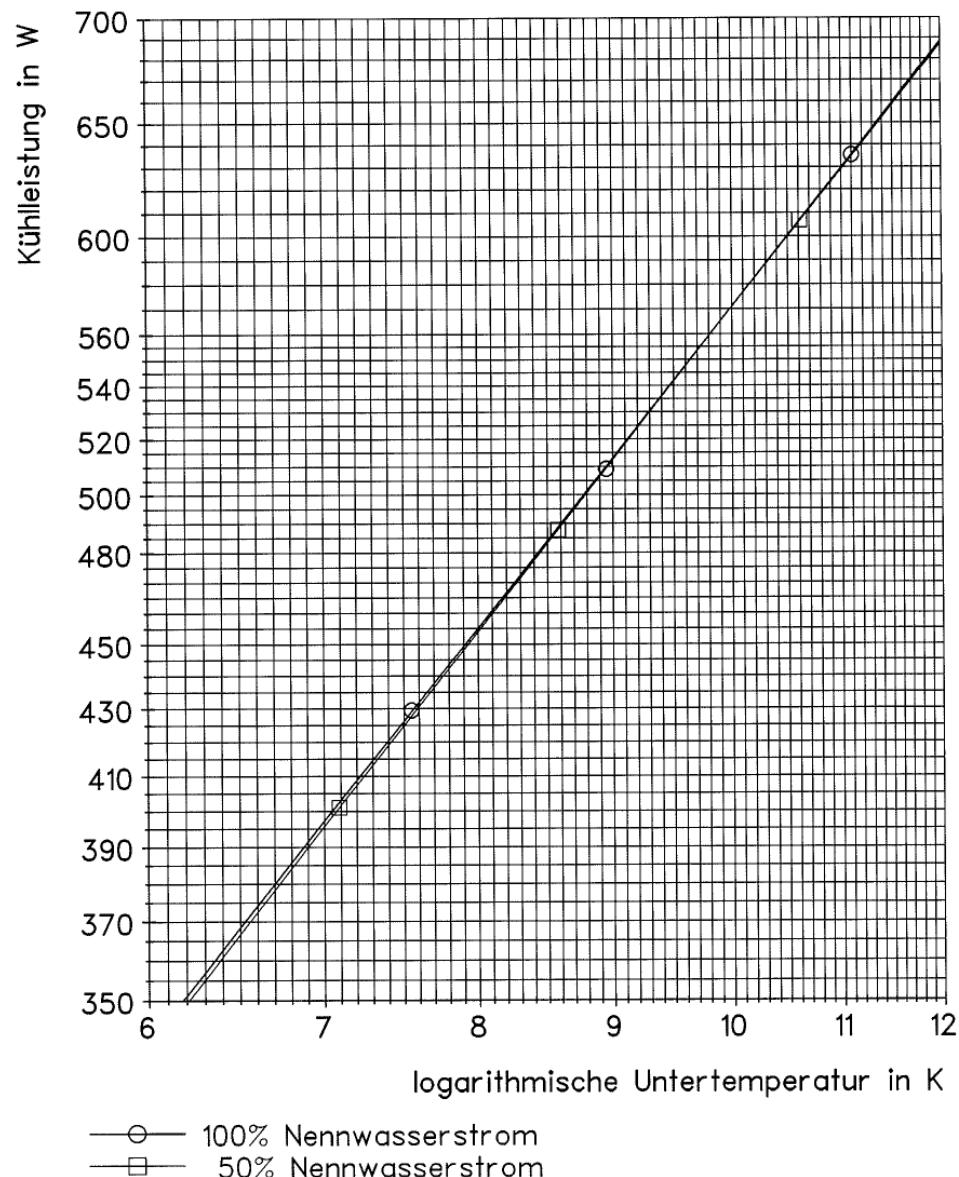
Dr.-Ing. H. Bitter
(Leiter der Prüfstelle)

Im Original unterzeichnet

Sax

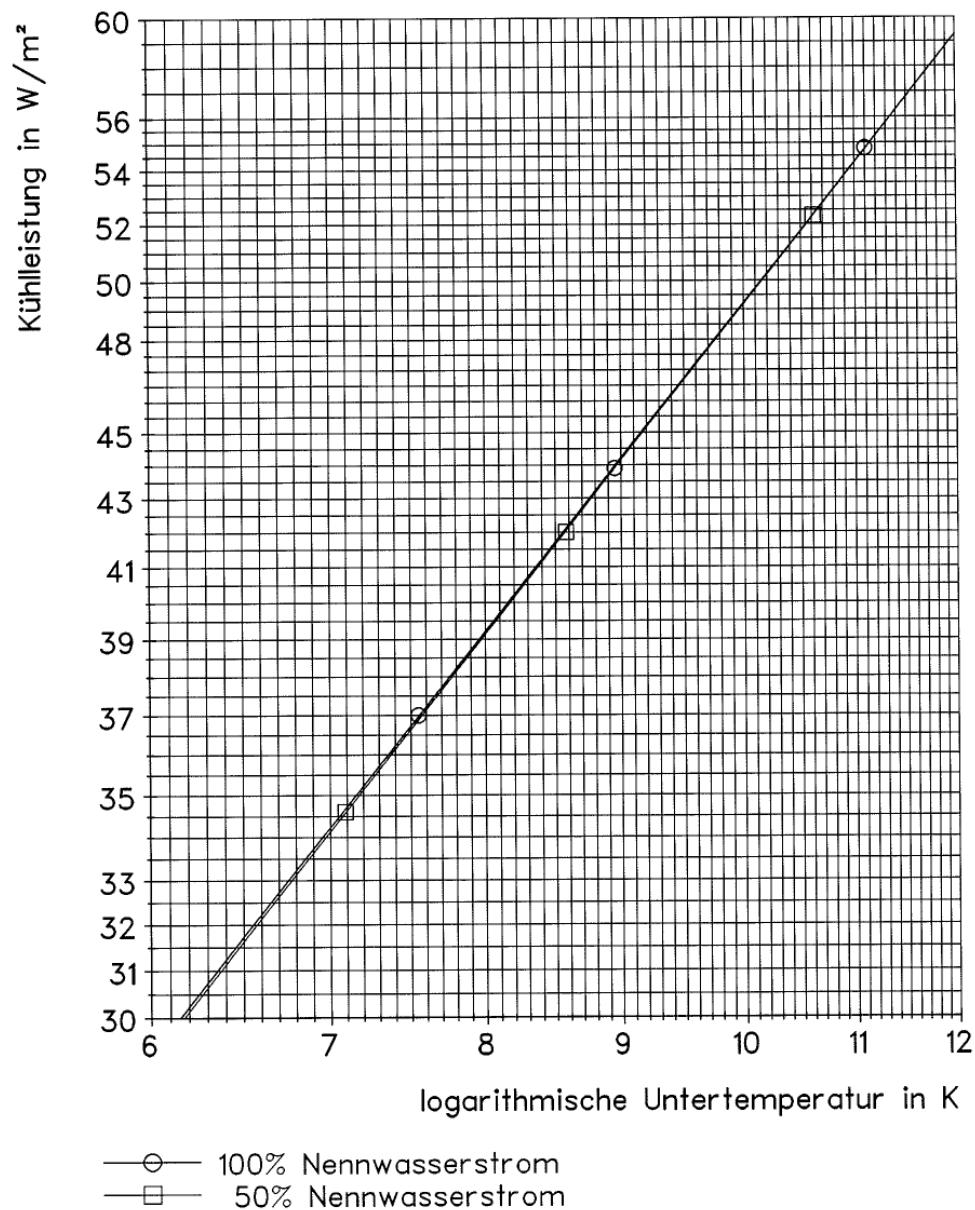
Dipl.-Ing. B. Sax
(Prüfingenieur)

Kennlinien der Kühlleistung:



03KER001

Kennlinien der Kühlleistung bezogen auf die Bodenkühlfläche:



03KER0

8. Messwerte zur Leistungsbestimmung

Werte bei Nennwasserstrom:

Versuch Nr:		Einheit	1	2	3
Datum der Prüfung			30.09.2003	01.10.2003	02.10.2003
Wasserstrom	m	kg/h	249,84	249,92	249,98
Bezugstemperatur (Globetemperatur)	t	°C	25,04	25,02	25,95
Eintrittstemperatur des Kühlmediums	t ₁	°C	12,82	15,17	17,66
Austrittstemperatur des Kühlmediums	t ₂	°C	15,00	16,92	19,14
Temperaturspreizung	t ₂ -t ₁	K	2,19	1,75	1,48

Werte bei halbem Nennwasserstrom:

Versuch Nr:		Einheit	1	2	3
Datum der Prüfung			06.10.2003	07.10.2003	08.10.2003
Wasserstrom	m	kg/h	124,95	125,03	124,88
Bezugstemperatur (Globetemperatur)	t	°C	26,14	25,58	25,72
Eintrittstemperatur des Kühlmediums	t ₁	°C	17,59	15,23	12,89
Austrittstemperatur des Kühlmediums	t ₂	°C	20,35	18,59	17,07
Temperaturspreizung	t ₂ -t ₁	K	2,76	3,36	4,18

9. Werte zur Leistungskennzeichnung

Werte bei Nennwasserstrom:

Versuch Nr:		Einheit	1	2	3
Mittlere Untertemperatur, logarithmisch	Δt	K	11,10	8,95	7,53
Kühlleistung	Q	W	635	509	430

Werte bei halbem Nennwasserstrom:

Versuch Nr:		Einheit	1	2	3
Mittlere Untertemperatur, logarithmisch	Δt	K	7,09	8,57	10,61
Kühlleistung	Q	W	401	488	607

10. Werte zur Bestimmung der Wärmebilanz

Werte bei Nennwasserstrom:

Versuch Nr:		Einheit	1	2	3
Kühlleistung	Q	W	635	509	430
Wärmeleistung der Simulatoren	Q_{Sim}	W	-641	-512	436
Trans.-Wärmestrom durch die innere Wärmedämmung gerechnet	Q_T	W	-20	-13	-4
Wärmebilanz	ΔQ	W	-26	-16	-10

Werte bei halbem Nennwasserstrom:

Versuch Nr:		Einheit	1	2	3
Kühlleistung	Q	W	401	488	607
Wärmeleistung der Simulatoren	Q _{Sim}	W	-395	-480	-600
Trans.-Wärmestrom durch die innere Wärmedämmung gerechnet	Q _T	W	-8	-4	-8
Wärmebilanz	ΔQ	W	-2	4	-1

11. Kontrolltemperaturen

11.1 Gemessene Raumlufttemperaturen

Werte bei Nennwasserstrom:

Versuch Nr:		Einheit	1	2	3
Höhe über dem Boden in m		°C			
0,10		°C	24,83	24,65	25,56
1,10		°C	25,85	25,69	26,49
1,70		°C	26,06	25,87	26,64
2,77 (unterhalb Bodenkühlfläche)		°C	18,85	19,76	21,42

Werte bei halbem Nennwasserstrom:

Versuch Nr:		Einheit	1	2	3
Höhe über dem Boden in m		°C			
0,10		°C	25,83	25,22	25,29
1,10		°C	26,67	26,21	26,45
1,70		°C	26,84	26,39	26,64
2,77 (unterhalb Bodenkühlfläche)		°C	21,85	20,60	19,49

11.2 Mittlere Oberflächentemperaturen

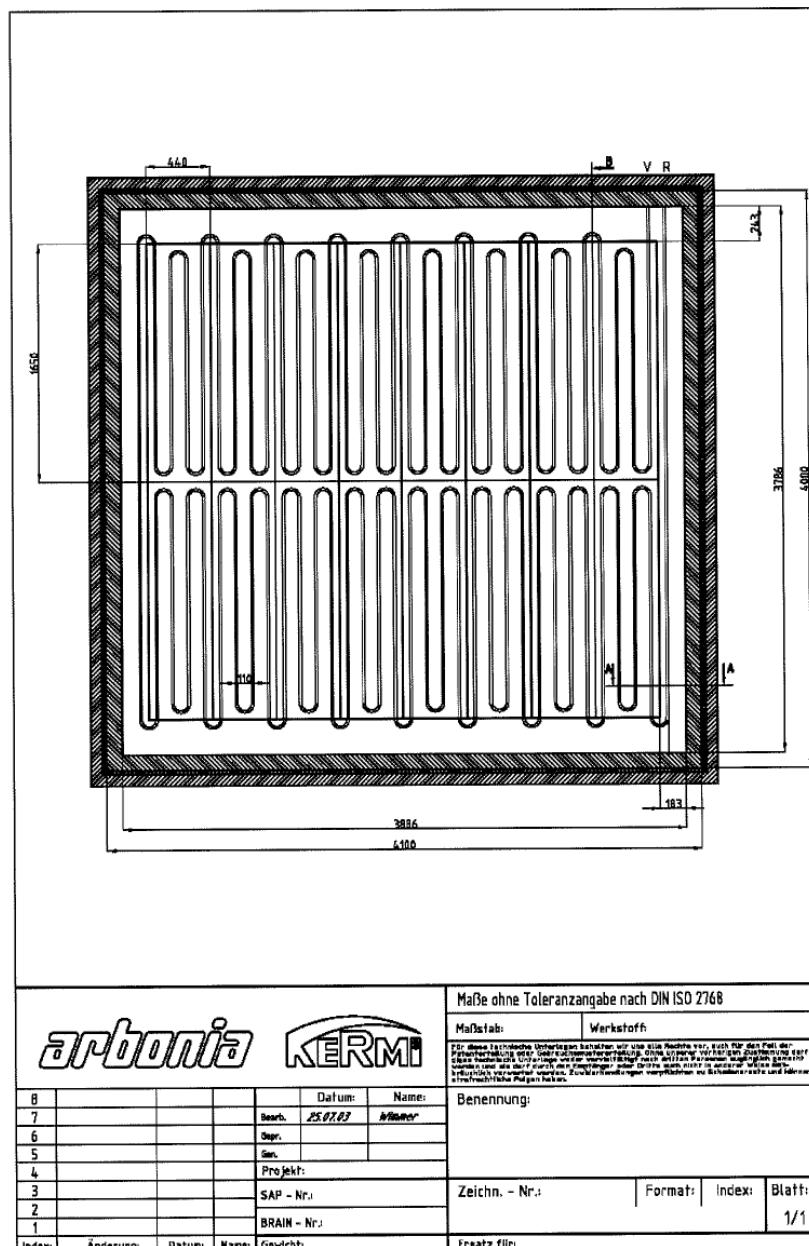
Werte bei Nennwasserstrom:

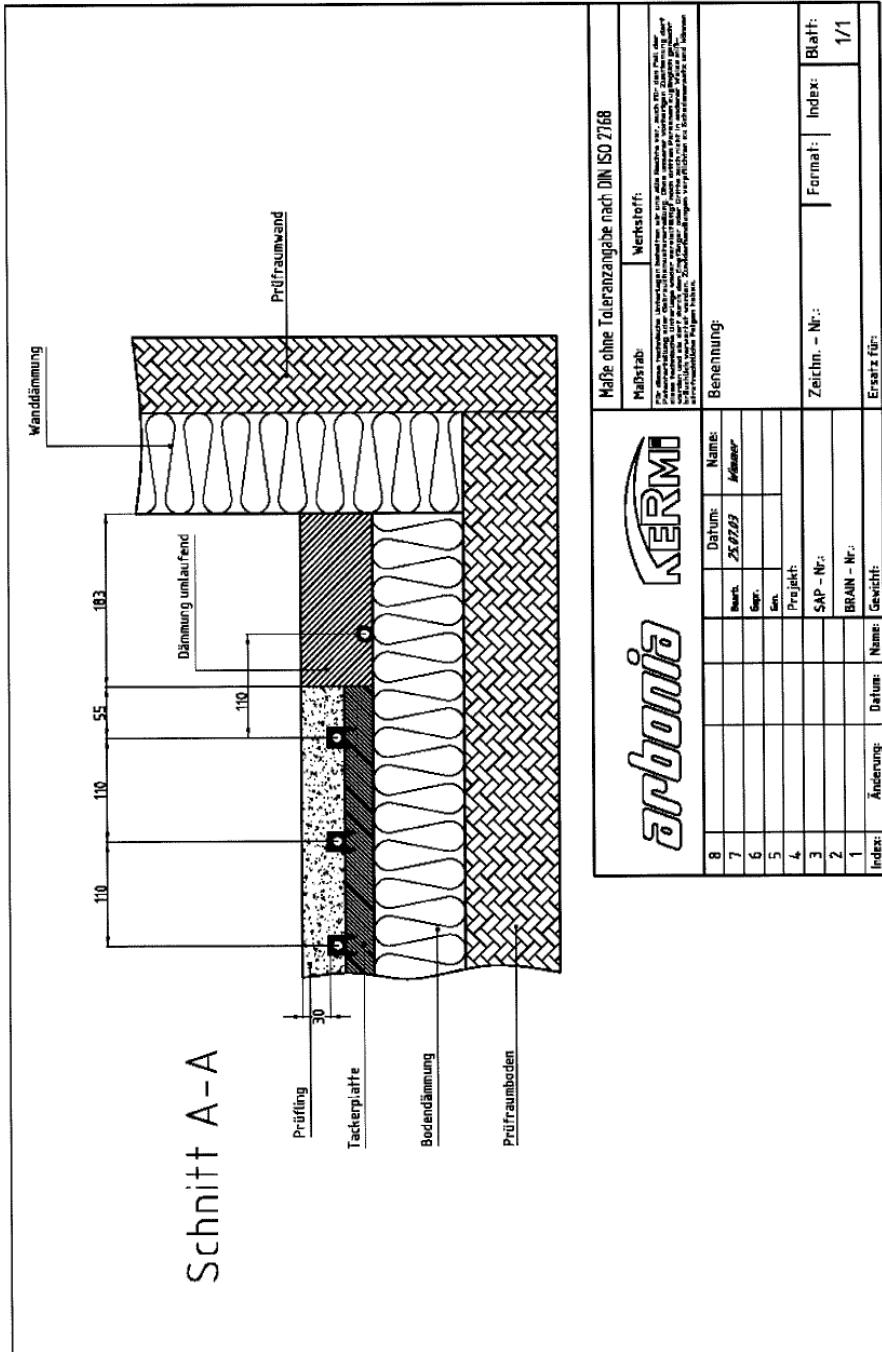
Versuch Nr:		1	2	3
Bezeichnung	Einheit			
Wand West	°C	25,22	25,20	26,17
Wand Ost	°C	25,17	25,19	26,14
Wand Nord	°C	25,17	25,14	26,14
Wand Süd	°C	25,20	25,19	26,17
Boden	°C	25,11	25,14	26,17
Decke	°C	25,14	25,12	26,14

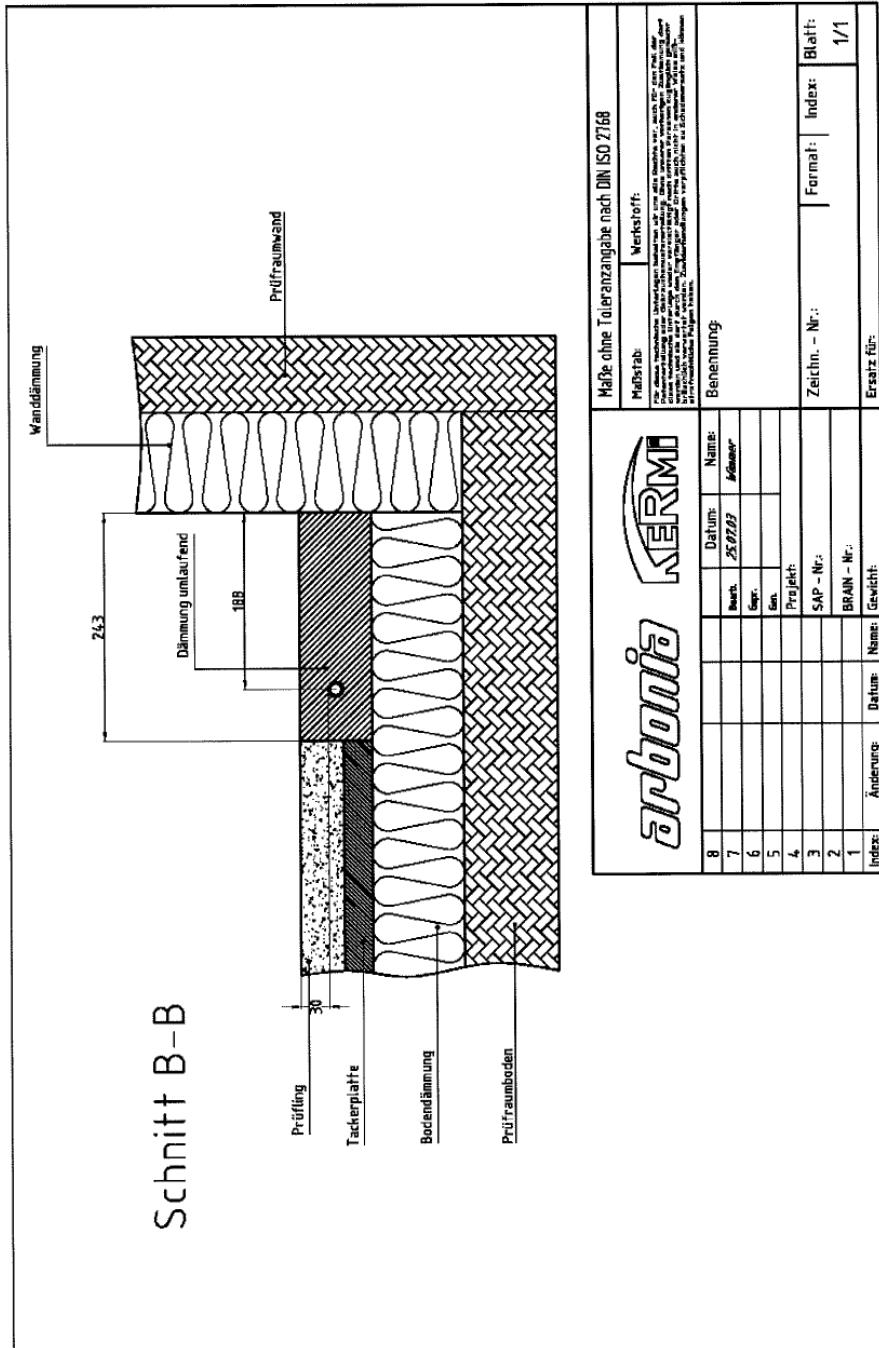
Werte bei halbem Nennwasserstrom:

Versuch Nr:		1	2	3
Bezeichnung	Einheit			
Wand West	°C	26,15	26,12	26,14
Wand Ost	°C	26,12	26,12	26,12
Wand Nord	°C	26,13	26,12	26,11
Wand Süd	°C	26,16	26,14	26,14
Boden	°C	26,09	26,08	26,07
Decke	°C	26,10	26,09	26,09

12. Skizzen der Raumkühlfläche







Ergänzende Unterlagen zu Simulationen

Zusammenstellung der Rechenwerte für die Simulationen

Raumdaten

Breite	m	3.00
Tiefe	m	5.00
Innenwände (angrenzend an Büros)	m	0.15
Höhe im Licht	m	2.80
Bodenfläche (Netto)	m ²	15.00
Raumvolumen (Netto)	m ³	42.00
<hr/>		
Geschoss Höhe	m	3.20
Energiebezugsfläche (3.3 m x 5.15 m)	m ²	17.00
Fassadenfläche total (3.3 m x 3.2 m)	m ²	10.56
Innenwände 2 x 5.15 x 3.2 + 3.3 x 3.2	m ²	43.52

Fassadendaten

Fassade mit Glasanteil		45-50%	80%
Fassadenfläche total	m ²	10.56	10.56
Fensterkonstruktion mit Rahmen	m ²	5.30	8.45
Glasfläche	m ²	4.20	7.2
Rahmenfläche	m ²	1.10	1.25
Rahmenanteil	%	20	15
Glasqualität	---	2-fach	3-fach
U-Wert Verglasung	W/m ² K	1.10	0.70
g-Wert Verglasung	---	0.60	0.41
U-Wert Rahmen	W/m ² K	1.50	1.50
Sonnenschutz nach Helligkeit gesteuert	W/m ²	150	150
g-Wert Sonnenschutz aussenliegend	---	0.26	0.24
g-Wert Verglasung + Sonnenschutz	---	0.15 (alle Fassaden)	0.10 (alle Fassen)

Betriebseinrichtungen

		Normale Bürogeräte	Energieeffiziente Büro
Personen	Anzahl	1	
Anwesenheit	Mo -Fr	7-12 / 13-17 Uhr	
Anwesenheit	Sa - So	---	
Interne Wärmelasten	Zeit	7-12 / 13-17 Uhr	
Gleichzeitigkeit	%	80	
<hr/>			
Personenabwärme	W	75	75
PC mit Bildschirm	W	140	45
Last Standby PC (ca. 10%)	W	14	2
Beleuchtung	W	238	153
Regulierung Beleuchtung (tageslichtabhängig)	---	Ein > 120 W/m ² Aus < 200 W/m ²	Ein > 120 W/m ² Aus < 200 W/m ²
<hr/>			
Spez. Personenlast	W/m ²	5	5
Spez. Lasten PC mit Bildschirm	W/m ²	9.3	3
Spez. Beleuchtungslast	W/m ²	15.3	10.2
Total interne Wärmelasten	W/m ²	29.6	18.2

Haustechnik

Standard-Heizkörper und Fensterlüftung

Kühlleistung der Standard-Heizkörper	W	75	130
Betriebszeit	Zeit	Bedarfsabhängig zwischen 7 - 18 Uhr, danach Betrieb ohne Kühlung	
Nat. Luftwechsel durch Gebäudehülle	h-1	0.10	
Fensteröffnung	Zeit	7.00 – 7.30	7.30 – 17.00
Luftwechsel (Annahmen)	h-1	6	1.5
Offene Fläche bei 50% Glasanteil	m ²	1.5 (1.5 x 1.0)	1.5 (1.5 x 1.0)
Offene Fläche bei 80% Glasanteil	m ²	1.1 (0.5 x 2.2)	1.1 (0.5 x 2.2)

Kühl-Heizkörper und Hygienelüftung ohne Kühlung

Kühlleistung der Standard-Heizkörper	W	75	130
Betriebszeit	Zeit	Bedarfsabhängig zwischen 7 - 18 Uhr, danach Betrieb ohne Kühlung	
Kühltemperatur	°C	nach Außentemperatur	
Volumenstrom	m ³ /h	45 (3 m ³ /h pro m ²)	
Mech. bedingter Luftwechsel	h-1	1.05 (45 m ³ /h / 42 m ³)	
Zulufttemperatur ohne Kühlung	°C	Außentemperatur	
Nachbarraumtemperatur	°C	ditto	
Betriebszeit	Zeit	07.00 – 17.00 Uhr	
Nat. Luftwechsel durch Gebäudehülle	h-1	0.10	