

Bericht zur Messdurchführung und zur Auswertung der Raumklimaanalyse vom 21./22.04.2010 bei IVG in Bonn

Teilnehmer:	Herr Sittler, IVG * Herr Bender, ARC Herr Winkler, SICC Herr Walczok, SICC * * zeitweise
Messdurchführung:	Prof. Dr. Peter Marx, Berlin
Messobjekte:	2 identische Büroräume, A und B Einer davon (A) wurde mit ThermoShield Interieur beschichtet, der andere (B) mit normaler Farbe Fußboden: dunkler Teppichboden Rollos vor den Fenstern (lichtabhängig gesteuert)
Raumgeometrie:	$L \times B \times H = 5,47 \times 4,01 \times 2,80 \text{ m}$, $V = 61,42 \text{ m}^3$
Messgerät:	Raumklima-Analysator MS 01A
Messort:	Raummitte, auf Stativ, in 1,35 m Höhe
Messprogramm:	siehe Tabelle 1: Messprogramm vom 21. und 22.04.2010
Aufzeichnung:	Messprotokolle mit Auswertenomogrammen
Ad-hoc-Beobachtung:	Der ThermoShield Anstrich nimmt zunächst weniger Wasser auf im Vergleich zum konventionellen Anstrich. Der Vorteil: höhere relative Feuchte verbleibt im Raum.. Insbesondere im Winter sind Büroräume meist zu warm und zu trocken, dem wird entgegen gewirkt. Durch eine geringere Wandfeuchte wird Schimmelbildung vorgebeugt. (vergl. Messungen 2-A und 3-A am Donnerstag). Der ThermoShield Anstrich speichert die Wärme länger im Vergleich zum konventionellen Anstrich. (vergl. Messungen 5-A und 6-A).
Auswertung:	Prof. Dr. Peter Marx, Berlin Dipl.-Ing. Matthias G. Bumann, DIMaGB

Inhaltsverzeichnis

<u>1.</u>	Kurze Erläuterung des Messprinzips	3
<u>2.</u>	Beschreibung der Versuchsdurchführung	4
<u>3.</u>	Ergebnisdiskussion zum 1. Messtag (21.04.)	5
<u>4.</u>	Zur Klimaveränderung über Nacht	8
<u>5.</u>	Zum Temperaturniveau am 2. Messtag (22.04.)	9
<u>6.</u>	Zum Verhalten nach Befeuchtung einschließlich Zeitverlauf	11
<u>7.</u>	Zum Verhalten nach Raumlüftung	13
<u>8.</u>	Zum Verhalten nach Aufheizen einschl. Zeitverlauf	14
<u>9.</u>	Zusammenfassung	15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Auswertenomogramm zum Raumklimaanalysator, die rote ist die Ideallinie, der blaue Pfeil zeigt die abgetragenen Messwerte – die Linien sollten nahe der roten liegen, um dem Optimum nahe zu kommen	3
Abbildung 2: Der Mensch im thermischen Klima des umbauten Raumes	3
Abbildung 3: Foto Raum A.....	5
Abbildung 4: Foto Raum B.....	5
Abbildung 5: Vergleichende Darstellung der Startwerte am 21.04.2010	6
Abbildung 6: Relation der Startwerte wie vor, deutliche Unterschiede bei t_{lf} und rel. LF	6
Abbildung 7: Vergleichende Darstellung der Messwerte nach dem Aufheizen	7
Abbildung 8: Die Darstellung der Differenzwerte zeigt: deutliche Veränderungen bei rel. LF und v_l	7
Abbildung 9: Vergleichende Darstellung der Messwerte nach dem Übernachten...	8
Abbildung 10: Die Darstellung der Differenzwerte zeigt die Veränderungen deutlicher	8
Abbildung 11: Vergleich der Messwerte der 6 Messungen am 22.04., hier: t_{ltr}	9
Abbildung 12: Vergleich der Messwerte der 6 Messungen am 22.04., hier: t_{lf}	9
Abbildung 13: Vergleich der Messwerte der 6 Messungen am 22.04., hier: t_u	10
Abbildung 14: Vergleich der Messwerte der 6 Messungen am 22.04., hier: t_e	10
Abbildung 15: Messwerteveränderungen nach Befeuchten der Raumluft und 45 Minuten später.....	11
Abbildung 16:	11
Abbildung 17: Anstieg und Abfall der rel. Luftfeuchte nach Befeuchten.....	12
Abbildung 18: Kaum merkliche Veränderungen bei t_u und t_e	12
Abbildung 19: Verdeutlichung der Veränderungen durch größere Spreizung	12
Abbildung 20: Absinken der Temperaturen nach dem Lüften, unterschiedlich ausgeprägt.....	13
Abbildung 21: Messwerteveränderungen nach dem Aufheizen mit 1,0 kWh	14
Abbildung 22: Messwerteveränderungen nach einer Wartezeit von 1 h nach dem Aufheizen.....	14

1. Kurze Erläuterung des Messprinzips

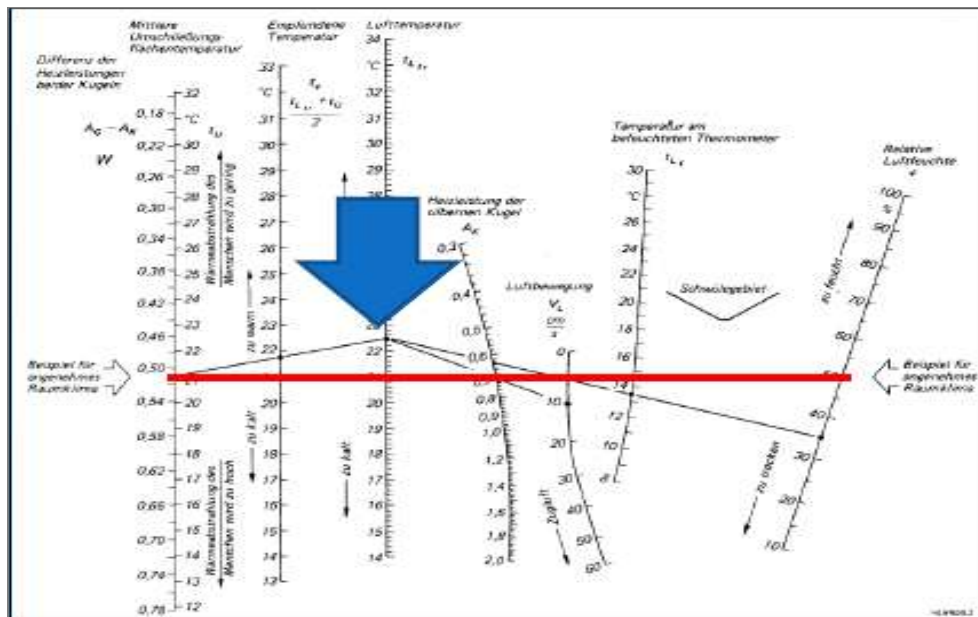


Abbildung 1: Auswertenomogramm zum Raumklimaanalysator, die rote ist die Ideallinie, der blaue Pfeil zeigt die abgetragenen Messwerte – die Linien sollten nahe der roten liegen, um dem Optimum nahe zu kommen

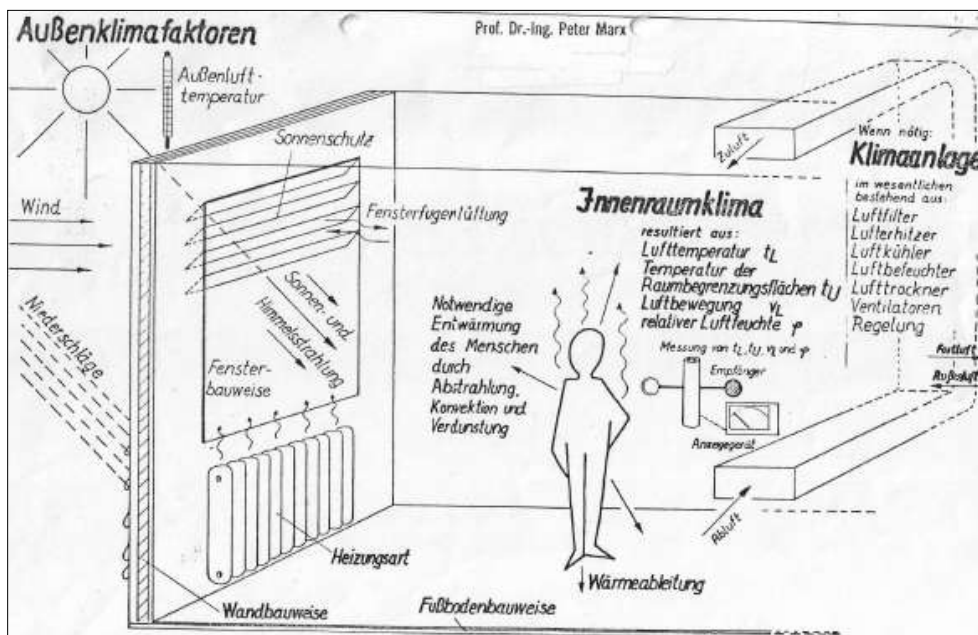


Abbildung 2: Der Mensch im thermischen Klima des umbauten Raumes

Das Raumklima ist zu komplex, als dass es sich nur mit „der Raumtemperatur“ und der relativen Luftfeuchte beschreiben ließe. Durch den Einsatz des Raumklimaanalysators lassen sich Zustände messtechnisch nachweisen und das Raumklima lässt sich objektivieren.

Folgende Parameter werden mit dem elektronischen Raumklimaanalysator erfasst:

t_{Ltr}	Raumlufttemperatur, trocken
t_{Lf}	Raumlufttemperatur, feucht
ϕ	relative Raumluftfeuchte (rel LF)
v_L	Luftgeschwindigkeit (Zugluft)
t_u	Umschließungsflächentemperatur (mittlere Hüllflächenstrahlungstemp.)
t_e	Empfindungstemperatur $t_e = (t_{Ltr} + t_u) : 2$

Zur weiteren Erläuterung des Messprinzips und zu den Hintergründen der thermischen Behaglichkeit des Menschen in Aufenthaltsräumen wird auf die Fachliteratur verwiesen.¹

2. Beschreibung der Versuchsdurchführung

Datum	Nr.	Raum	Zeit	Bemerkung
21.04.2010	1	A	15:20	Start, Heizung u. Licht aus
21.04.2010	2	A	15:45	nach Aufheizen mit 0,33 h x 2 kW
21.04.2010	3	A	17:00	nach 0,5 h Fensterlüftung
21.04.2010	1	B	15:30	Start, Heizung u. Licht aus
21.04.2010	2	B	16:10	nach Aufheizen mit 0,33 h x 2 kW
21.04.2010	3	B	17:15	nach 0,5 h Fensterlüftung
22.04.2010	1	A	09:50	Start, Heizung u. Licht aus
22.04.2010	2	A	10:45	0,5 + 0,4 l Wasser in die Luft
22.04.2010	3	A	11:30	nach 0,75 h Wartezeit
22.04.2010	4	A	12:20	nach 0,25 h Fensterlüftung
22.04.2010	5	A	13:35	nach Aufheizen mit 0,5 h x 2 kW
22.04.2010	6	A	14:35	nach 1,00 h Wartezeit
22.04.2010	1	B	09:40	Start, Heizung u. Licht aus
22.04.2010	2	B	10:20	0,5 + 0,4 l Wasser in die Luft
22.04.2010	3	B	11:05	nach 0,75 h Wartezeit
22.04.2010	4	B	11:55	nach 0,25 h Fensterlüftung
22.04.2010	5	B	13:00	nach Aufheizen mit 0,5 h x 2 kW
22.04.2010	6	B	14:00	nach 1,00 h Wartezeit

Tabelle 1: Messprogramm vom 21. und 22.04.2010

¹ (zuletzt: Peter Marx: Prima Klima, Bewertung und Messung des thermischen Raumklimas in Räumen mit künstlicher Beleuchtung mittels eines elektronischen Raumklima-Analysators, erschienen in LICHT 7-8/2007, S. 580 ff.)

Die Räume standen seit der Beschichtung des einen Raumes mit ThermoShield Interieur drei Wochen leer. Die Konditionierung erfolgte unter gleichen Bedingungen. Zum Zeitpunkt der Startmessung waren Heizung und Licht aus. Über Nacht waren die Türen beider Räume geschlossen.

Das Aufheizen der Räume am 21.04.2010 erfolgte mit einem elektrischen Heizlüfter. Die Energiemenge betrug jeweils 20 Minuten (0,33 h) x 2,0 kW = 0,66 kWh. Die am 22.04.2010 eingetragene Energiemenge betrug jeweils 30 Minuten (0,50 h) x 2,0 kW = 1,00 kWh.

B	5,47 m		
T	4,01 m	F_{Wd}	53,09 m ²
H	2,80 m	F_{De}	21,93 m ²
F	21,93 m ²	F_{Fb}	21,93 m ²
U	18,96 m	V	96,96 m ³

Tabelle 2: Berechnungen zur Raumgeometrie

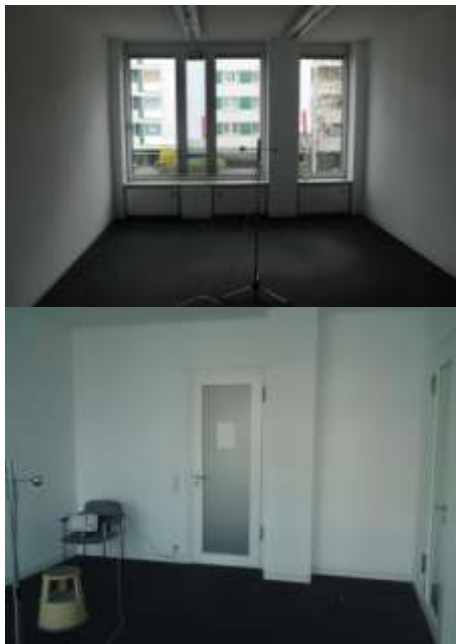


Abbildung 3: Fotos Raum A



Abbildung 4: Fotos Raum B

3. Ergebnisdiskussion zum 1. Messtag (21.04.)

Die Konditionierung der Räume erfolgte ohne Einflussnahme durch Personen oder Ereignisse. Insofern überrascht es nicht, dass die Startwerte beider Räume sehr nahe beieinander liegen.

Auffällig ist, dass die Feuchteparameter deutlichere Unterschiede aufweisen als die Temperaturwerte. Die Werte im Raum B mit Normalfarbe sind niedriger. Das betrifft die Lufttemperatur feucht und die rel. Luftfeuchte (rel. LF).

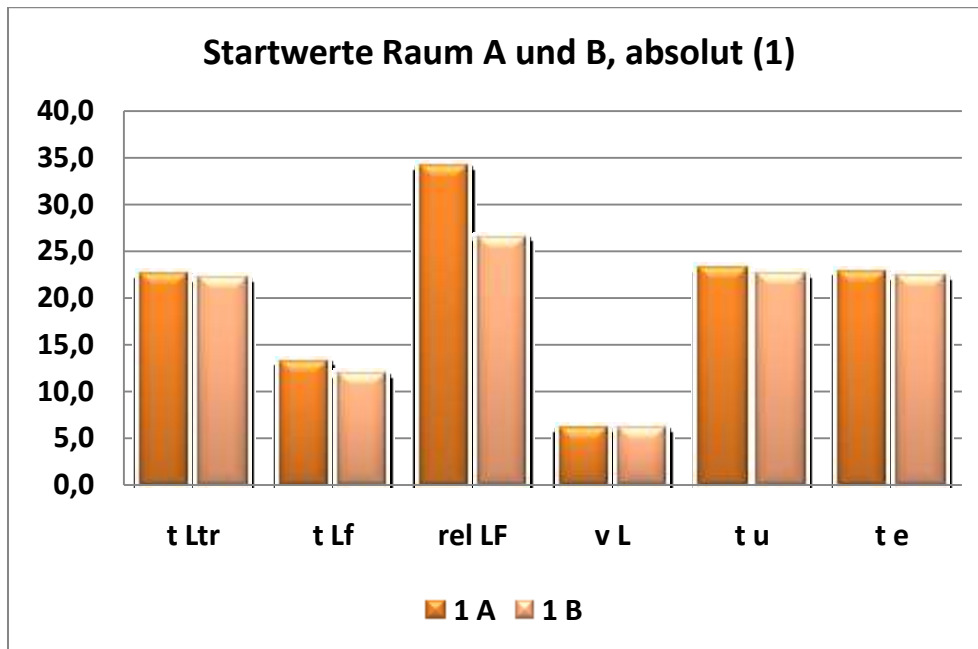


Abbildung 5: Vergleichende Darstellung der Startwerte am 21.04.2010

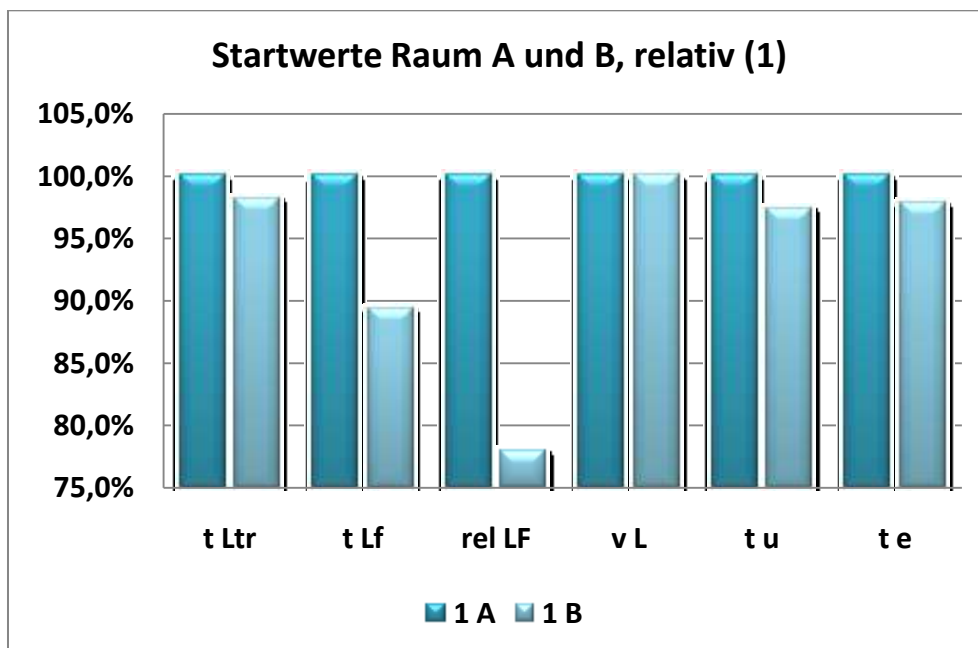


Abbildung 6: Relation der Startwerte wie vor, deutliche Unterschiede bei t_{Lf} und rel. LF

Die meisten Startwerte liegen in beiden Räumen recht nah beieinander. Abbildung 6 verdeutlicht den Zustand, dass die Werte für Lufttemperatur feucht und die rel. Luftfeuchte in Raum B prozentual deutlich unter denen von Raum A liegen. **ThermoShield wirkt Luftfeuchte regulierend in Richtung Optimum.** t_u und t_e liegen im ThermoShield Raum 0,5°C höher.

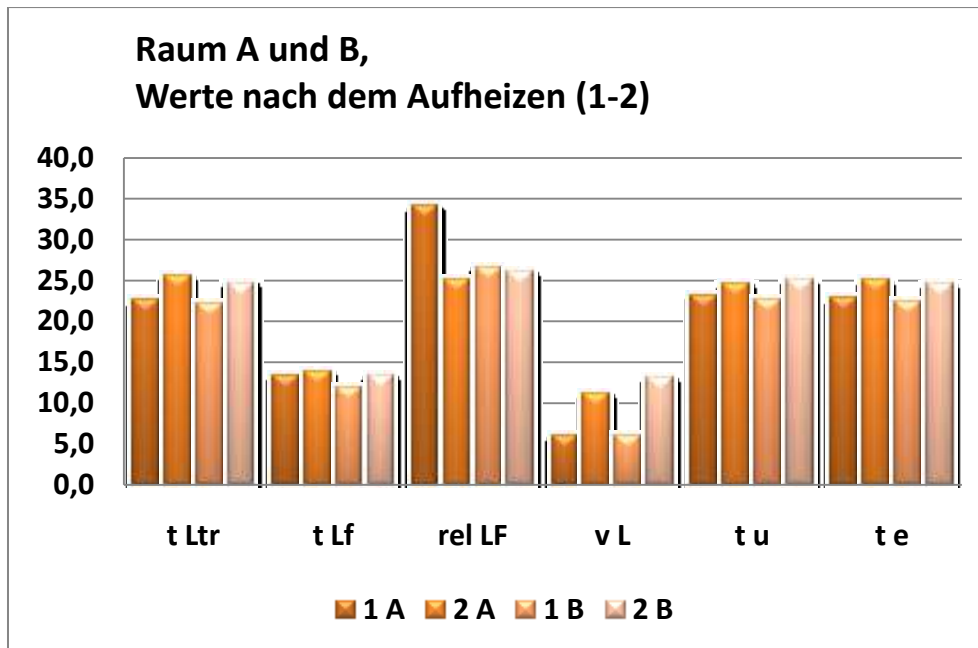


Abbildung 7: Vergleichende Darstellung der Messwerte nach dem Aufheizen

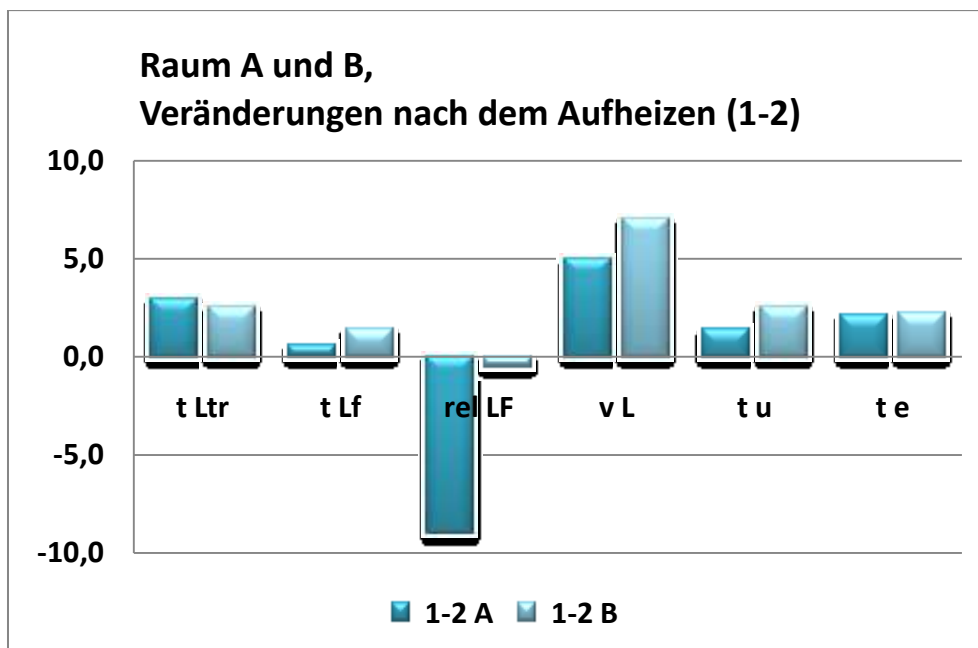


Abbildung 8: Die Darstellung der Differenzwerte zeigt: deutliche Veränderungen bei rel. LF und v_L

Inwiefern eine punktuelle Betrachtung ohne Zeitverlauf nach dem Aufheizen sowie die in diesem Versuch relativ kurze Heizdauer (respektive Energiemenge) von nur 20 Minuten repräsentative Ergebnisse liefert, bliebe zu diskutieren. Die eingetragene Energiemenge hat in beiden Räumen die Empfindungstemperatur fast in gleichem Maße verändert, wobei bei signifikante Unterschiede bei rel. LF und t_u festzustellen sind.

4. Zur Klimaveränderung über Nacht

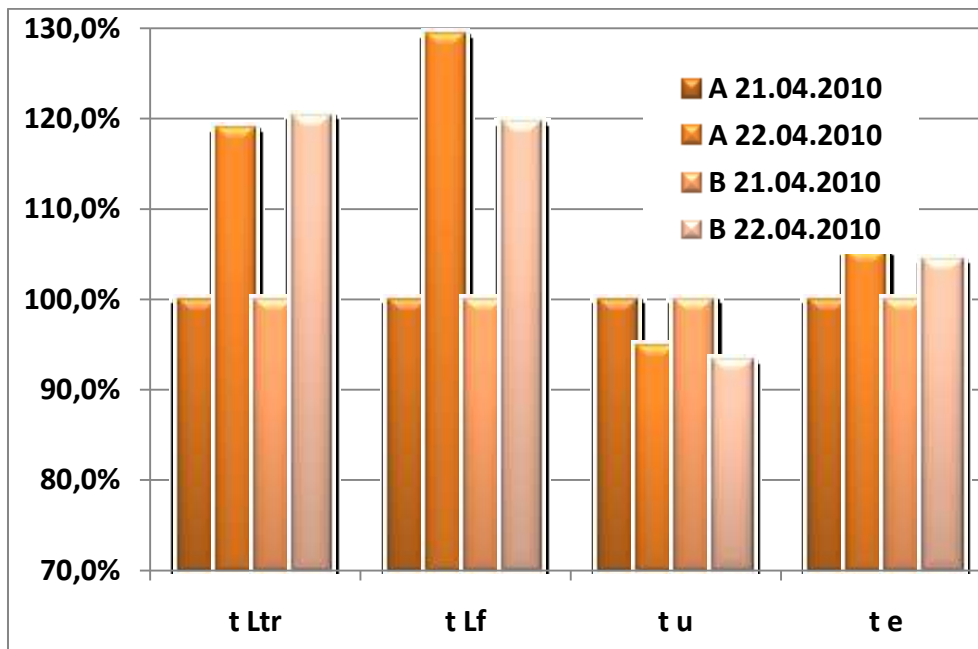


Abbildung 9: Vergleichende Darstellung der Messwerte nach dem Übernachten

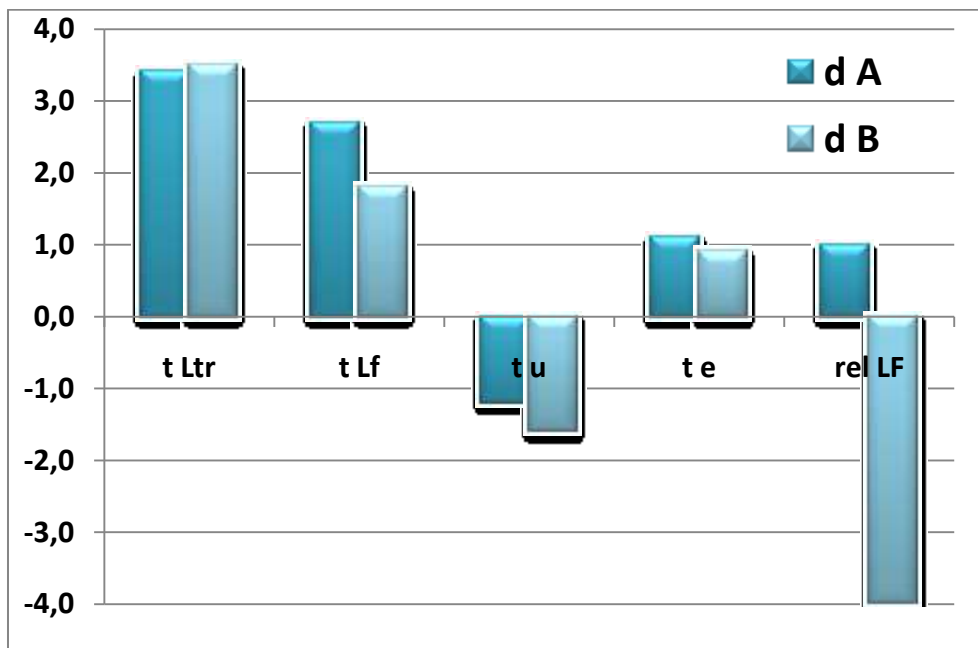


Abbildung 10: Die Darstellung der Differenzwerte zeigt die Veränderungen deutlicher

Über Nacht hat die Empfindungstemperatur jeweils zugenommen, in Raum A etwas stärker. In Raum B ist die Hüllflächentemperatur stärker abgefallen, die rel. LF ist hier gesunken, in Raum A ist die rel. LF etwas angestiegen. Während t_{Ltr} fast gleichermaßen angestiegen ist, ist t_{Lf} in Raum A deutlich stärker angestiegen. Als beeinflussende Prozeduren gingen voran: Aufheizen und Fensterlüftung.

5. Zum Temperaturniveau am 2. Messtag (22.04.)

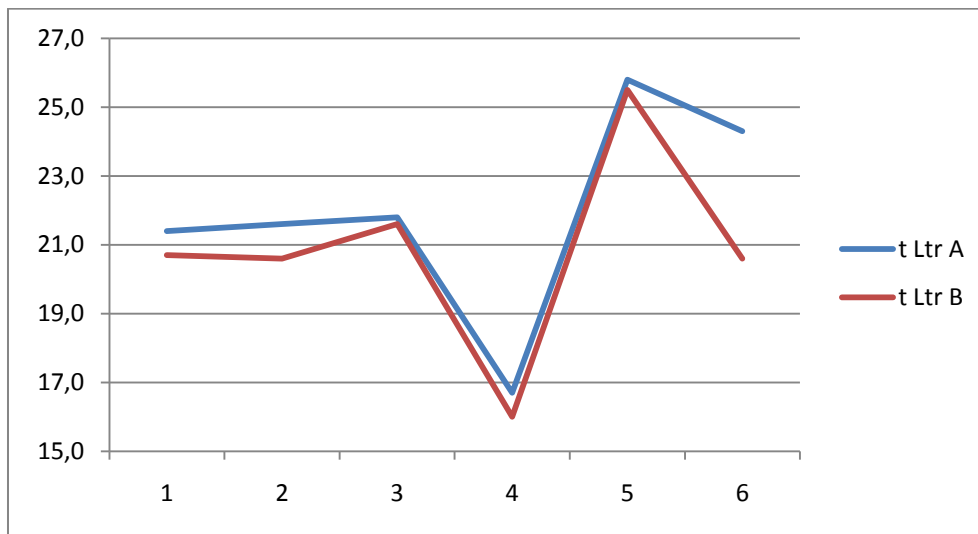


Abbildung 11: Vergleich der Messwerte der 6 Messungen am 22.04., hier: t_{Ltr}

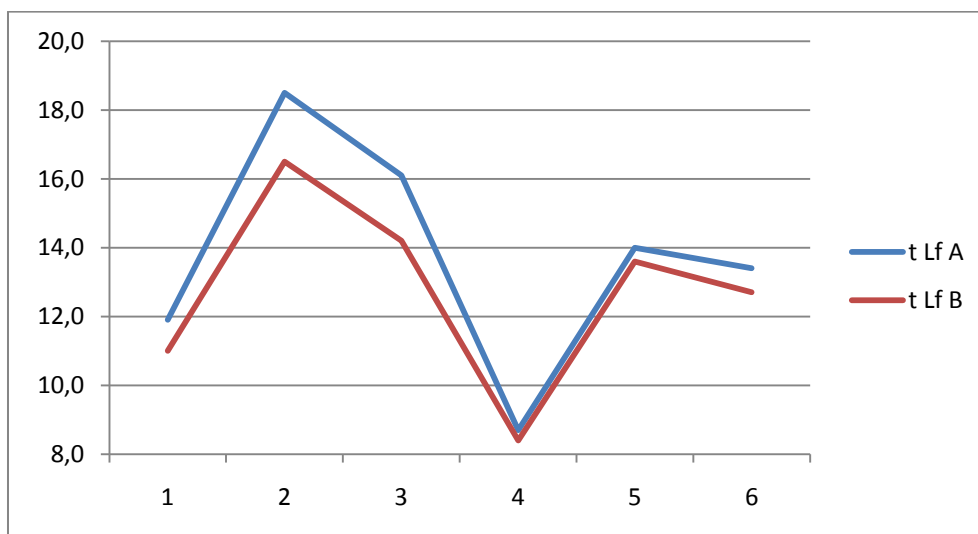


Abbildung 12: Vergleich der Messwerte der 6 Messungen am 22.04., hier: t_{Lf}

Die Grafiken [Abbildung 11 bis Abbildung 14] sind die Abbildungen der Temperaturmesswerte. Die Messpunkte 1 bis 6 kennzeichnen die Messungen am Messtag 2 vom Start über die Befeuchtung, die Fensterlüftung und das Aufheizen.

Gezeigt werden die Veränderungen der temperaturwerte für:

t_{Ltr} Raumlufttemperatur, trocken

t_{Lf} Raumlufttemperatur, feucht

ϕ relative Raumluftfeuchte (rel LF)

v_L Luftgeschwindigkeit (Zugluft)

t_u Umschließungsflächentemperatur (mittlere Hüllflächenstrahlungstemp.)

t_e Empfindungstemperatur $t_e = (t_{Ltr} + t_u) : 2$

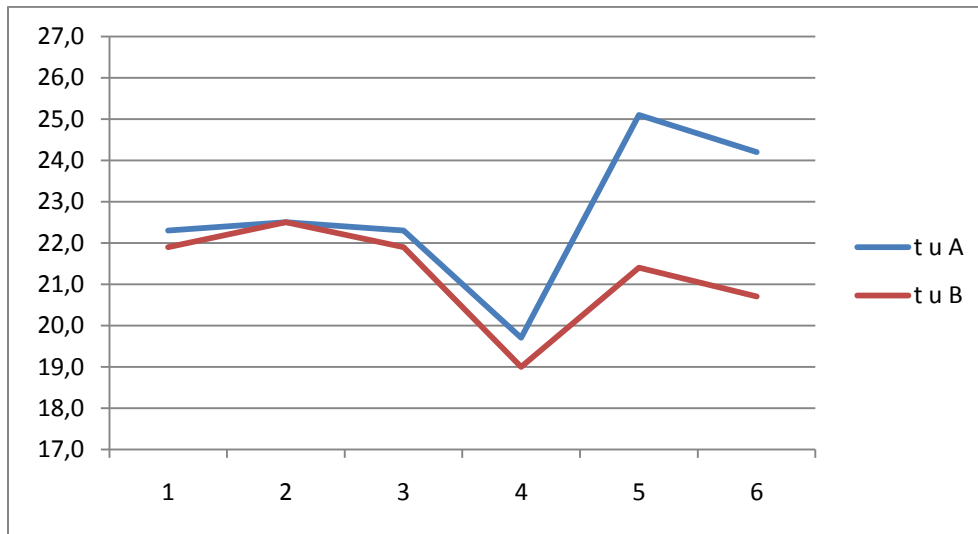


Abbildung 13: Vergleich der Messwerte der 6 Messungen am 22.04., hier: t_u

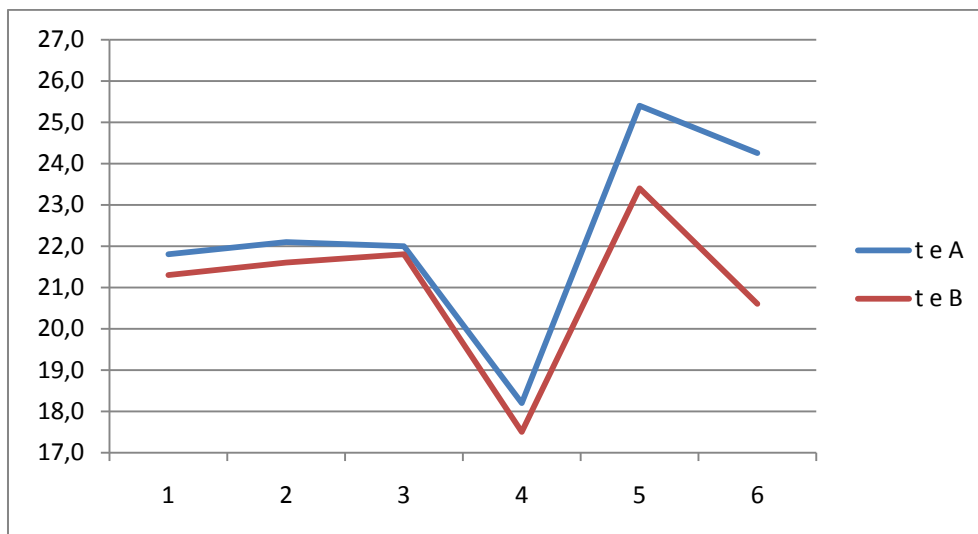


Abbildung 14: Vergleich der Messwerte der 6 Messungen am 22.04., hier: t_e

Die Messpunkte 1 bis 6 in der Grafik sind

- | | | |
|---|---------------------------|-------------------------------|
| 1 | Start | |
| 2 | Befeuchtung | 3 = nach 45 Minuten Wartezeit |
| 4 | 15 Minuten Fensterlüftung | |
| 5 | Aufheizen mit 1,0 kWh | 6 = nach 60 Minuten Wartezeit |

Allen Messwerten ist gemeinsam, dass die im Raum A (ThermoShield, blaue Kurven) über denen im Raum B (normale Farbe, rote Kurve liegen). **Das bedeutet, dass ThermoShield das Raumklima stets auf einem thermisch höheren Niveau hält** – egal, in welcher Form eine Beeinflussung erfolgt.

6. Zum Verhalten nach Befeuchtung einschließlich Zeitverlauf

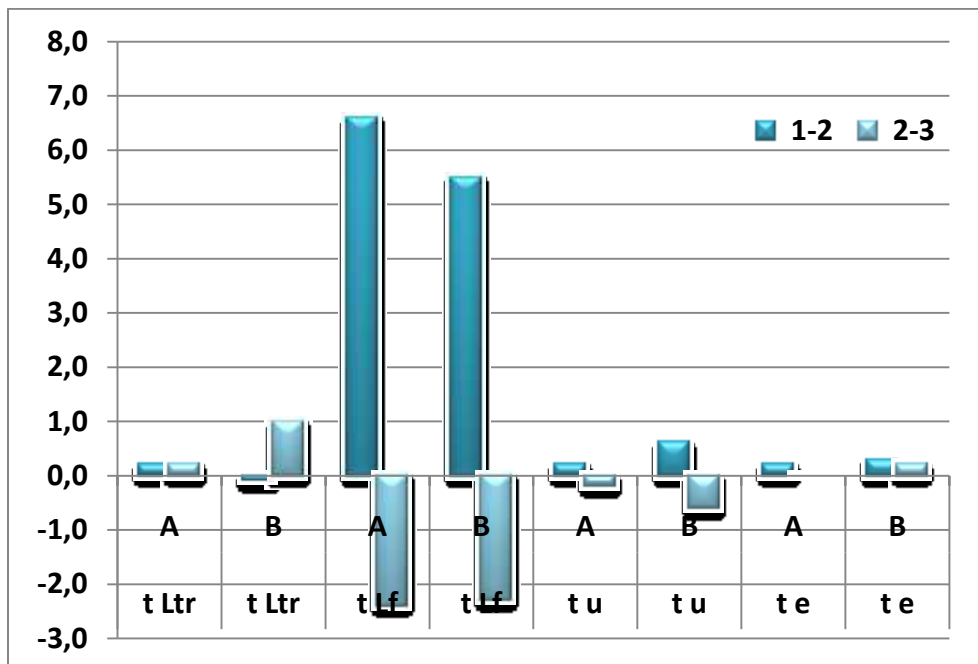


Abbildung 15: Messwertveränderungen nach Befeuchten der Raumluft und 45 Minuten später

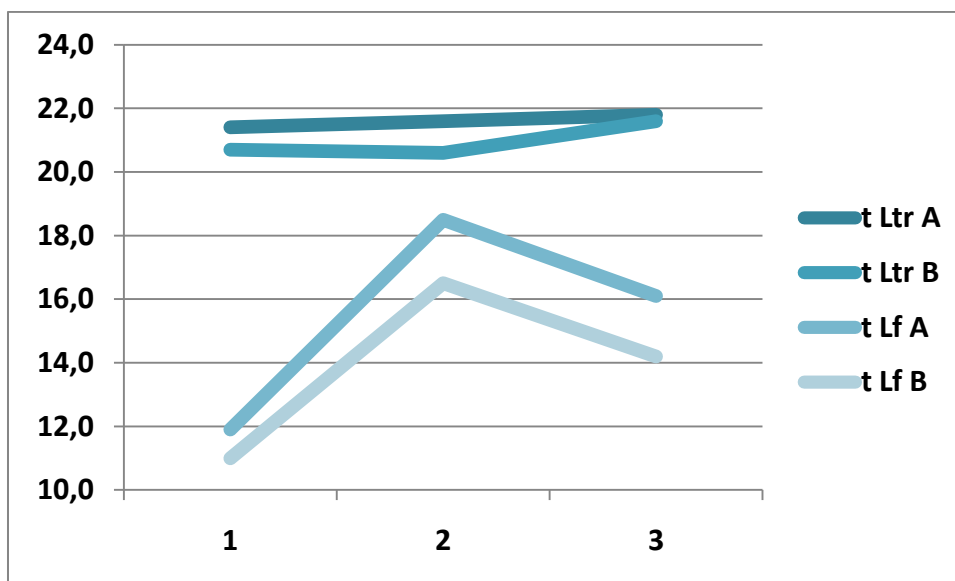


Abbildung 16:

Das Befeuchten der Raumluft erfolgte mittels Verdampfen von 0,5 l Wasser und zusätzlichem Versprühen von 0,4 l Wasser mit einem Zerstäuber. Der Wassereintrag beträgt somit 900 g Wasser auf 61,42 m³ Raumluft. Diese 14,65 g/m³ entsprechen 75% der Wasserdampfsättigungsdichte bei 22°C. Die Raumluft steht aber in Korrespondenz mit den Hüllflächen, welche Wasser adsorbieren, absorbieren und desorbieren. Die Raumluft wird von rd. 97 m² Hüllflächen umschlossen, wovon im Raum A ca. 75% mit ThermoShield beschichtet sind.

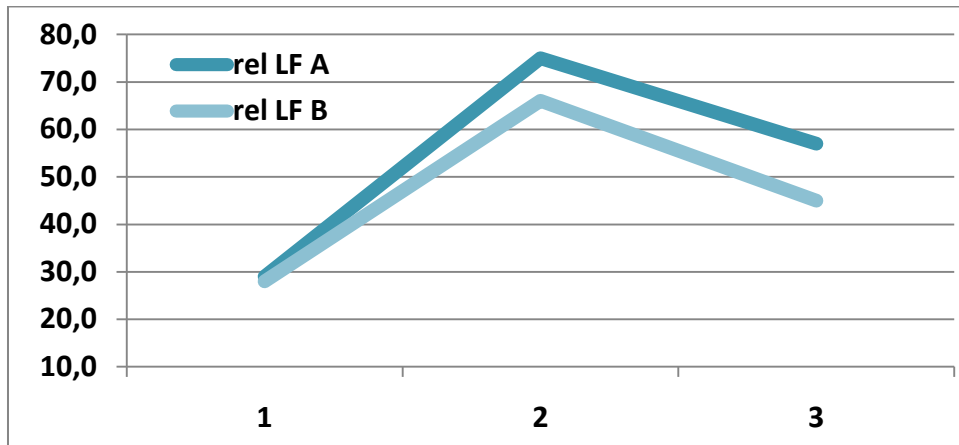


Abbildung 17: Anstieg und Abfall der rel. Luftfeuchte nach Befeuchten

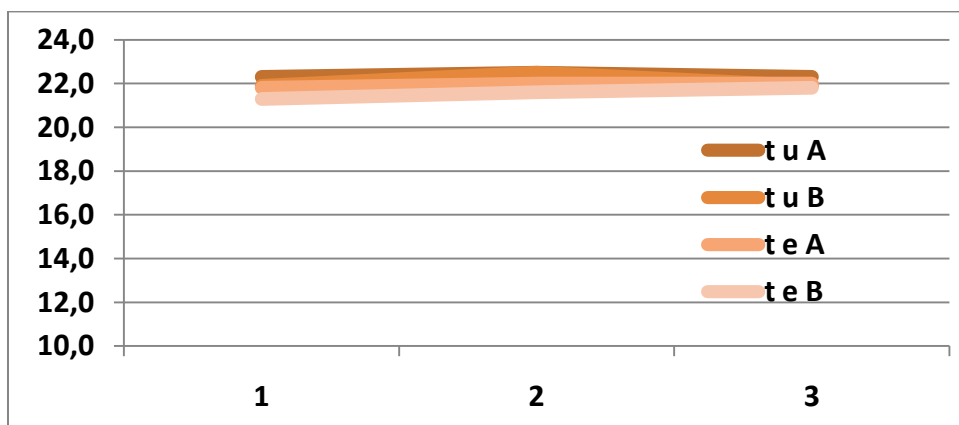


Abbildung 18: Kaum merkliche Veränderungen bei t u und t e

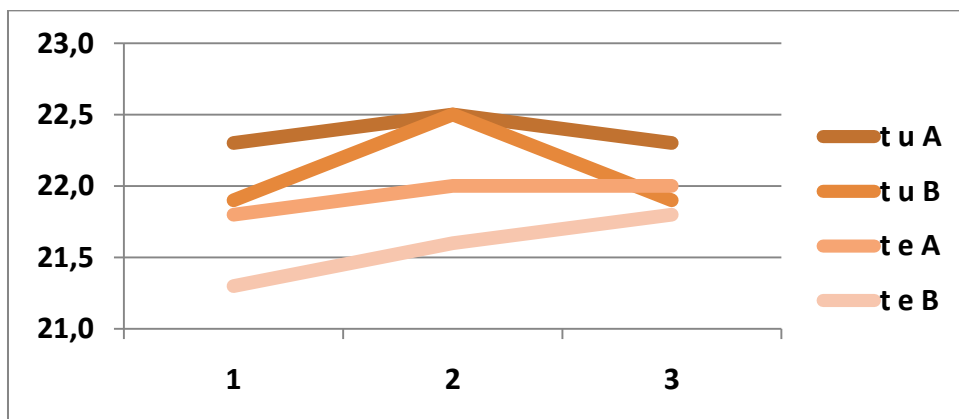


Abbildung 19: Verdeutlichung der Veränderungen durch größere Spreizung

Im ThermoShield Raum wird zunächst weniger Wasser von den Hüllflächen aufgenommen, die rel. LF steigt stärker an. Im Zeitverlauf wird deutlich, dass im Raum B die rel. LF unter das Optimum abfällt. Im ThermoShield Raum wird die Luftfeuchte auf einem angenehmeren Niveau gehalten. Auch t_u und t_e verbleiben auf etwas höherem Niveau.

7. Zum Verhalten nach Raumlüftung

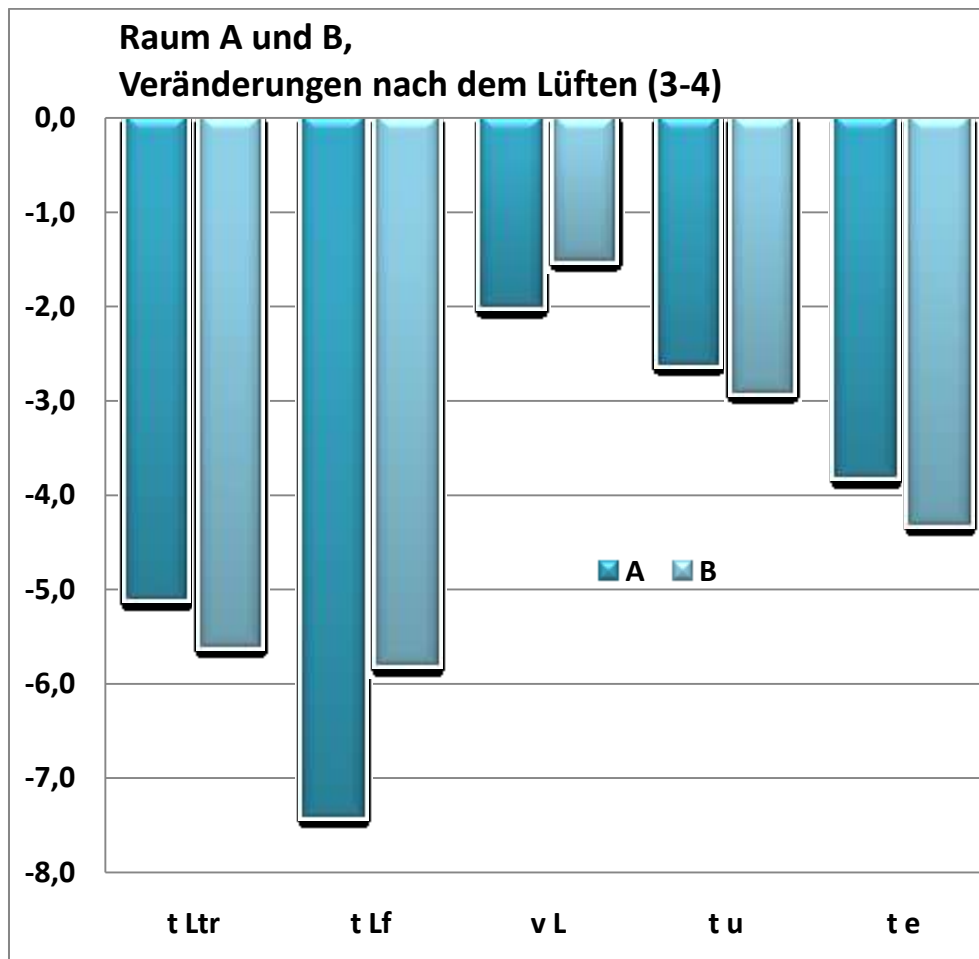


Abbildung 20: Absinken der Temperaturen nach dem Lüften, unterschiedlich ausgeprägt

Dass die Temperaturen nach dem Lüften etwas fallen, ist an sich nichts Neues. Bei diesem Vorgang wird im ganz häufigen Normalfall warme feuchte Luft gegen kalte trockene Luft ausgetauscht. Raum A: von 57% auf 32%, Raum B: von 45% auf 32% (der letzte Wert muss gleich sein, da ja die gleiche Luft einströmt).

Es muss aber klar sein, dass mit diesem Luftaustausch nur die in der Raumluft vormals befindliche Feuchte abgeführt wird. An den Hüllflächen gebundene Feuchte kann nur den Weg über die nunmehr wieder trockene Raumluft nehmen, deren rel. LF im Ergebnis ansteigt.

Die Oberflächentemperatur der Hüllflächen (d.h. deren Mittel als Strahlungstemperatur im Raumwinkel) und die Empfindungstemperatur fallen im Raum B stärker ab als in Raum A. **ThermoShield vermindert das Auskühlen.**

8. Zum Verhalten nach Aufheizen einschl. Zeitverlauf

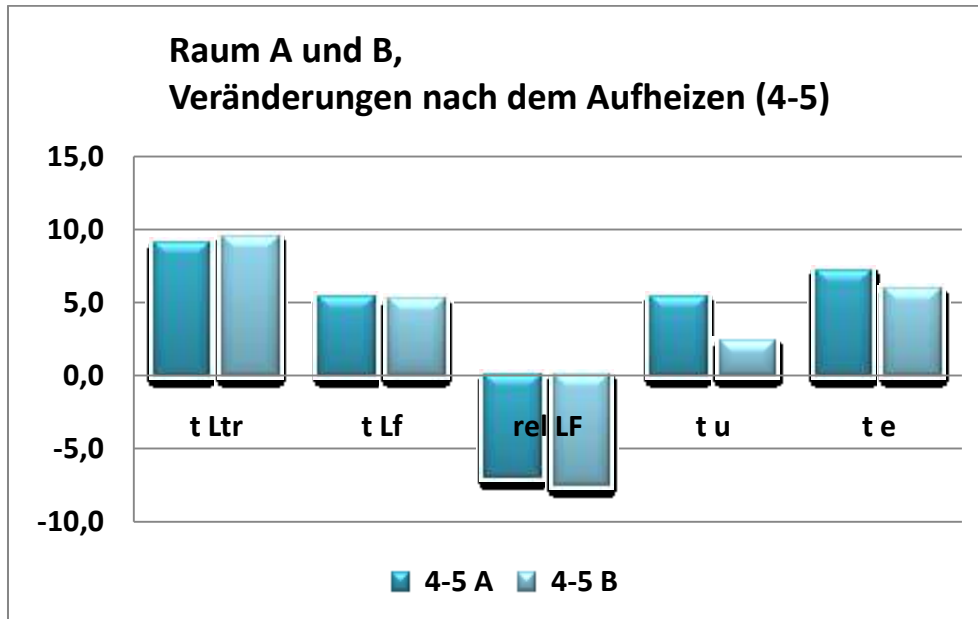


Abbildung 21: Messwerteveränderungen nach dem Aufheizen mit 1,0 kWh

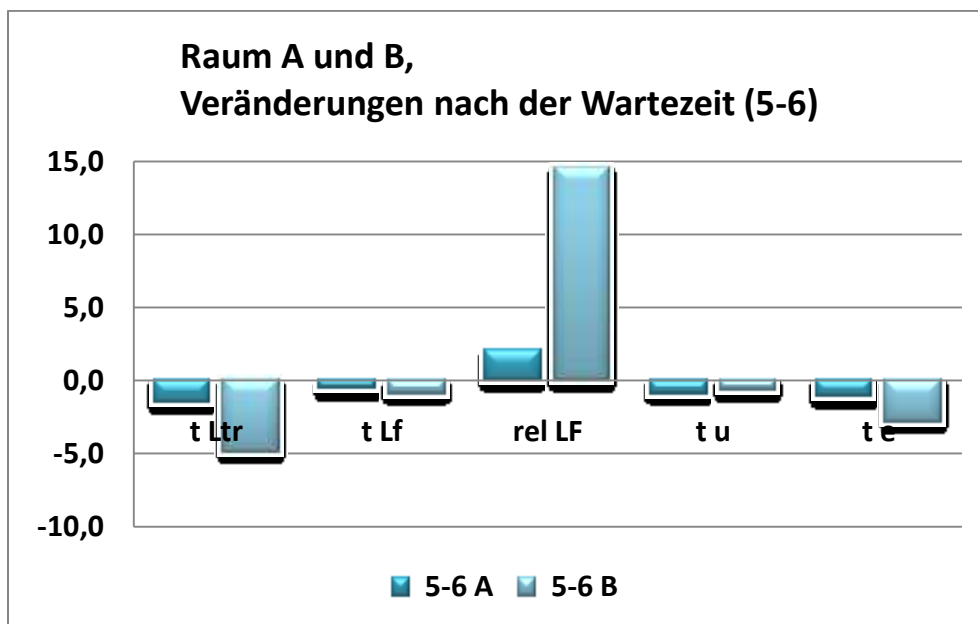


Abbildung 22: Messwerteveränderungen nach einer Wartezeit von 1 h nach dem Aufheizen

Der Anstieg von t_u und t_e durch das Aufheizen ist im Raum A höher als im Raum B. Das bedeutet entweder, **es wird im ThermoShield Raum schneller warm** bzw. im Umkehrschluss, dass man mit weniger Energieeinsatz auf dasselbe thermische Niveau gelangt. Der Abfall von t_e in Raum B ist deutlicher ausgeprägt. **Das Auskühlen eines ThermoShield Raumes geht langsamer vonstatten.**

9. Zusammenfassung, Rück- und Ausblick

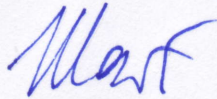
Im Mai 2008 stellte das Fraunhofer Institut ² fest: *"Neben den zahlreichen Einzeluntersuchungen existieren auch schon sehr gute Zusammenfassungen, die die wesentlichen physikalischen Mechanismen und Ergebnisse aus praxisnahen Untersuchungen benennen. Hier sind vor allem die schon recht frühe Darstellung von Prof. Siebel (#016) wie auch die Darstellung von Herrn Dipl.- Ing Bumann (#062) sehr zielführend. ... Angesichts dieser großen vorhandenen Datenfülle stellt sich die Frage, wo und ob überhaupt noch Bedarf an weiteren Untersuchungen besteht."*

Zudem ist dies nicht die erste Raumklimaanalyse, denn bereits im September 2005 in Bonn ³ und im Dezember 2009 in Stockholm ⁴ sind ähnliche Untersuchungen in Vergleichsräumen vorgenommen worden. Zudem sind nachgestellte Versuche von Wettbewerbern der SICC GmbH bekannt. ⁵ Signifikante Unterschiede zu handelsüblichen Farben sowohl in der Kurzzeitdynamik als auch in der Langzeitdynamik wurden bei ähnlichen Untersuchungen zur Bestimmung von Parametern für die dynamische Simulation festgestellt. ⁶

Insofern hat diese Messreihe nichts wesentlich Neues erbracht. In Nuancen sind neue Erkenntnisgewinne gegeben, die sich auf etwaige weitere Versuche auswirken sollen. Für die SICC GmbH ist die wiederholte messtechnische (!) Bestätigung der Eigenschaften und Wirkungen der ThermoShield Innen-Beschichtung dennoch positiv.

Fazit: ThermoShield Interieur trägt zur Verbesserung des Raumklimas und zur Energieeinsparung bei, weil

- das Aufheizen eines Raumes verkürzt wird
- das Auskühlen eines Raumes verzögert wird
- die Raumluftheuchte in Richtung Optimum reguliert wird



Prof. Dr.-Ing. Peter Marx
Am Kleinen Wannsee 12 J
14109 Berlin
☎ 030 / 805 19 80



² „Bericht: Erarbeitung eines physikalisch-chemischen Bewertungsverfahrens für ThermoShield-Schichten – Phase I: Sichtung und Auswertung der vorhandenen Daten und Ergebnisse, für: SICC GmbH“, bearbeitet von: Dr. Christian Oehr und Dr. Michaela Müller, Fraunhofer IGB (Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik), Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart, 23. Mai 2008

³ Die Raumklima-Analyse vom 01. und 02.09.2005 bei der Deutschen Welle in Bonn, Prof. Dr.-Ing. Peter Marx i.A. der SICC GmbH

⁴ Die Raumklima-Analyse vom 05. und 06.12.2009 in der Bibliothek der Stadt Stockholm, Prof. Dr.-Ing. Peter Marx i.A. der ThermoGaia AB

⁵ Raumklimaanalyse am Institut für Umwelt und Gesundheit/ Fulda, 2006, i.A. der Fa. SOLAKLIM (PHN Klimafarbe)

⁶ „Expertise für Thermo-Shield Produkte der SICC GmbH, Berlin“ der Delzer Kybernetik GmbH, Lörrach vom 09.09.2003 und Versuchsbericht Thermo-Shield, Analyse, Versuchbeginn 2.8.2002, Abschlußbericht, 03.03.2004 S. Delzer, Delzer Kybernetik GmbH, Lörrach (dynamischer Materialtest); "Allein aufgrund der untersuchten Feuchtekenwerte sind Energieeinsparungen von mehr als 10% erreichbar."