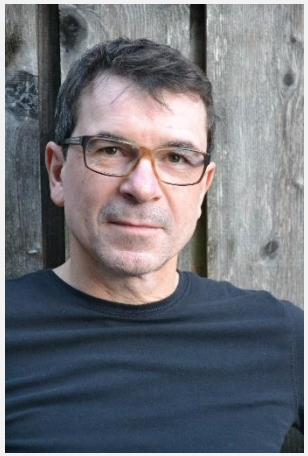
Klima-Top GmbH
Benninger Str. 70
87700 Memmingen



Erwin Aurbacher
Staatl. gepr. Bautechniker (Hoch-/Tiefbau)
Energieberater Wohngebäude (hwk)
Energieberater Baudenkmale (bayika)
BNK Auditor (BiRN)

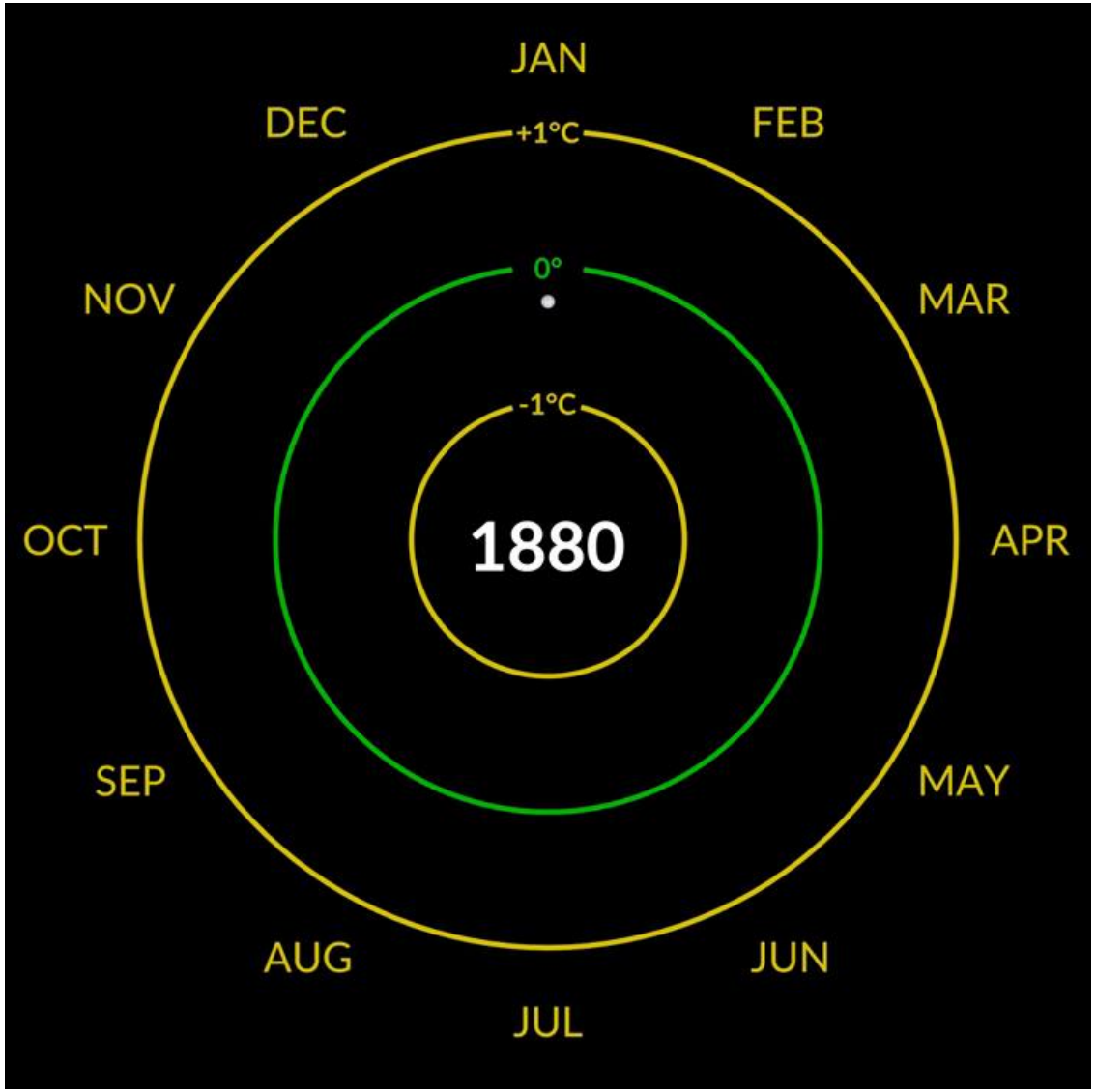
Deckenstrahlheizung

„Mehr als eine Alternative zur Fußbodenheizung“

Ergebnispräsentation Testräume Uli-Wieland-Schule, Vorlauftemperatur 28°C

Energietag in Vöhringen
21.09.2024

Temperatur-Abweichung im Zeitverlauf der letzten rund 140 Jahre

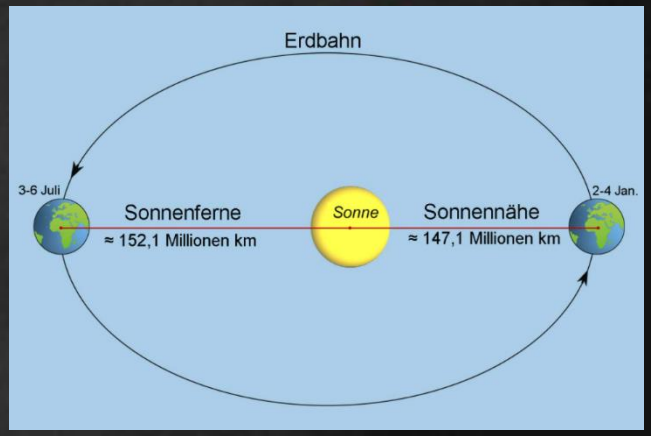


Die NASA hat Daten des Goddard Institute for Space Studies (GISS) zur Temperatur-Abweichung im Zeitverlauf der letzten rund 140 Jahre auf interessante Art und Weise in einer Klima-Spirale visualisiert. Ja, die aufmerksamen Leute haben derartige Darstellungen der (zu) rasant zunehmenden Temperatur bereits zuhauf gesehen, aber einige scheinen diesen Klimawandel noch immer zu ignorieren oder ihm im Zuge alternativer Krisen der aktuellen Zeit vergessen zu haben… Daher hilft daran zu erinnern und sich die Entwicklung nochmal vor Augen zu führen.

Quelle: Die Klima-Spirale - Temperatur-Abweichungen im Zeitverlauf (langweiledich.net)

Wärmeübertragung ohne Luft

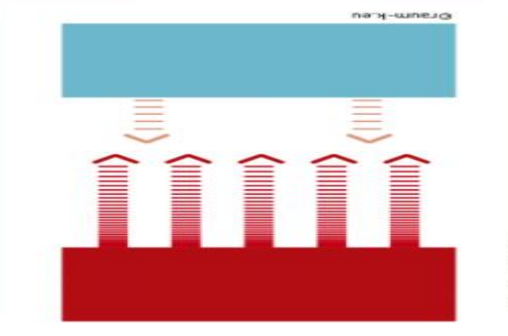
über eine Distanz von 149,6 Mio. km (im mittel)



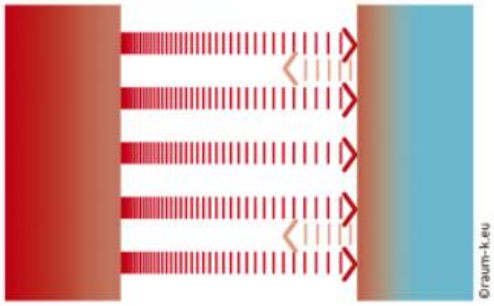
– Jede Oberfläche strahlt Wärme ab

Ohne die Wärmestrahlen der Sonne wäre unsere Erde eine Eiswüste.
„Aber warum erfrieren wir dann nicht nach Sonnenuntergang?“

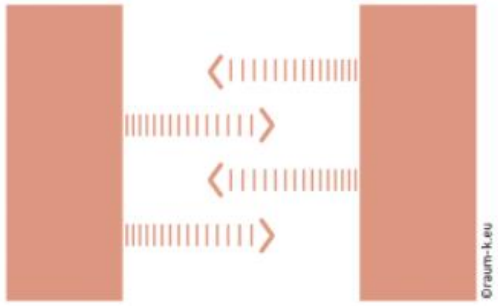
Weil die von der Sonne aufgeheizten Oberflächen die Wärme speichern und rund um die Uhr an ihre Umgebung abstrahlen: Heiße Flächen strahlen viel Wärme ab und kalte Flächen wenig. Dabei verhalten sich die Wärmestrahlen der Objekte übrigens genau wie die Sonnenstrahlen: Sie durchdringen die Luft – ohne diese zu erwärmen – und übertragen ihre Energie direkt auf andere Oberflächen. Durch diesen gegenseitigen Strahlungsaustausch gleichen sich die Temperaturen aller Oberflächen aneinander an. Auf jede Entfernung. Und genau das nutzen wir zum Heizen und Kühlen. Ganz nach dem Vorbild der Sonne – nur viel sanfter mit geringen Temperaturdifferenzen.



Warme Oberflächen strahlen viel Wärme ab – kalte Oberflächen strahlen wenig Wärme ab.

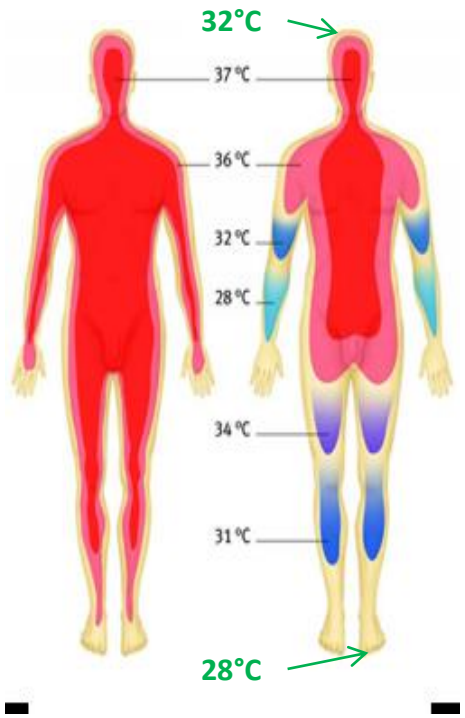


Eine warme Oberfläche überträgt also mehr Wärmestrahlung an eine kalte Oberfläche, als sie im Gegenzug von dieser empfängt.



Die warme Oberfläche kühlt ab und die kalte Oberfläche erwärmt sich. Die Temperaturen gleichen sich aneinander an – auf jede Entfernung und ohne dabei die Luft zu temperieren.

Die Wärmeabgabe über Strahlung, Verdunstung und Leitung



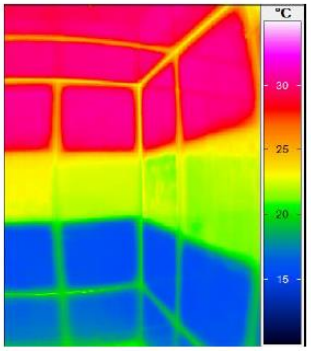
Ein gesunder erwachsender Mensch gibt durchschnittlich 100 Watt Heizleistung ab.

Circa 10 Watt davon über Verdunstung, Atemluft und direkte Transmission (Bsp. Fußsohlen).

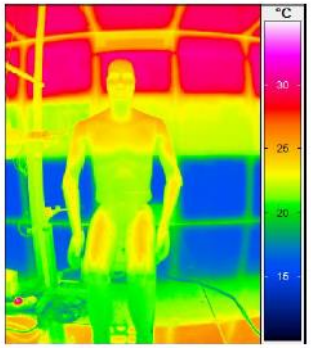
Die restlichen 90 Watt werden von ca. 2 m² Haut abgestrahlt.

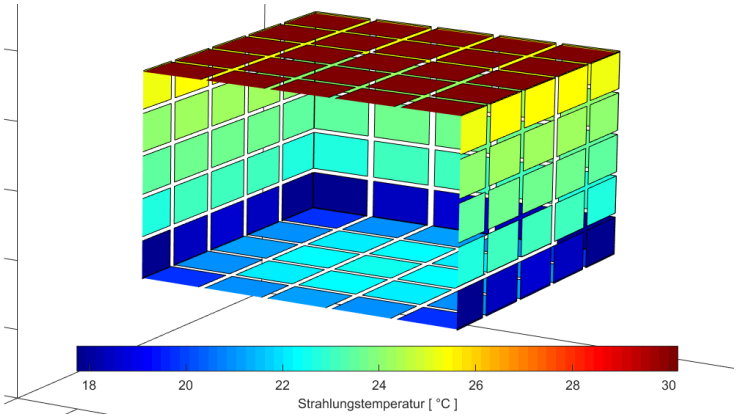
Nur in der richtigen Umgebung

Heizdecke
$\Delta\vartheta$=16 K



Heizdecke
$\Delta\vartheta$=16 K





„Funktion nur bei geringem Heizwärmebedarf“ ?

Simulation der Messung in der Klimakammer mit simBEE:

- Einstellen der Bauteileigenschaften und Randbedingungen, bis dass der auf den Bildern dargestellte Temperaturverlauf in etwa erreicht wird
- Berechnung des Heizwärmebedarfs

Oberflächen-temperaturen

Das Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie, Dortmund belegte ganz klar, dass bei Konvektionsheizungen (Radiator) die Raumoberflächen 5◦ C kälter, bei Strahlungsheizungen (Decke) hingegen 2◦ Celsius wärmer ist als die Raumlufttemperatur.

Internat. Z. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol., Bd. 16, S. 335—355 (1957)

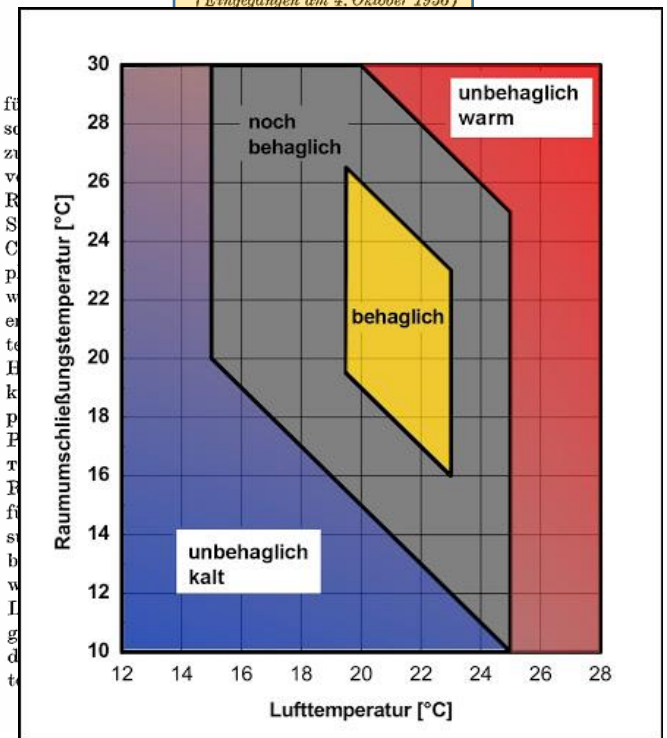
Aus dem Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie, Dortmund
(Direktor: Prof. Dr. med. G. Lehmann),
Physiologische Abteilung (Leiter: Prof. Dr. med. E. A. Müller)

Untersuchungen der Behaglichkeit des Raumklimas bei Deckenheizung

Von
H.-G. Wenzel und E. A. Müller

Mit 10 Textabbildungen

(Eingegangen am 4. Oktober 1956)



Zusammenfassung

Es wird über Versuche in einem Raum mit warmwasserbeheizter Betondecke berichtet, aus denen sich folgende klimatechnische und klimaphysiologische Besonderheiten der Deckenheizung gegenüber der Radiatorenheizung ableiten lassen:

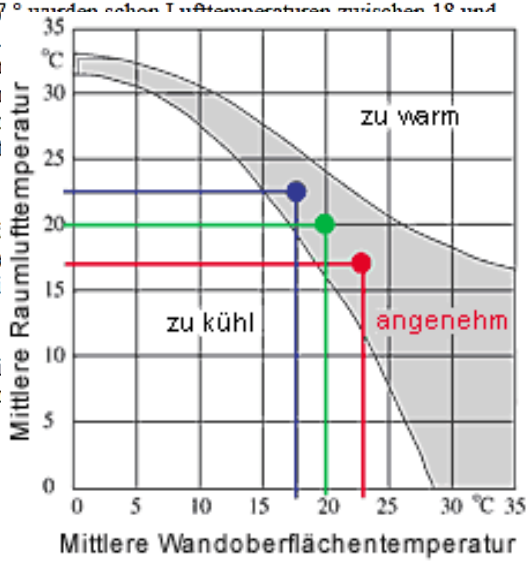
Bei angenehmer Temperierung des Versuchsraumes bestand bei beiden Heizungsarten im wesentlichen ein vertikales Lufttemperaturgefälle, das bei Radiatorenheizung von der Decke bis zum Boden ziemlich gleich ist, während es bei Deckenbeheizung mit der Höhe über dem Boden steiler wird.

Bei Radiatorenbeheizung waren die Wände, der Boden und die ihnen anliegenden Luftschichten bis zu 5 ° kälter, bei Deckenbeheizung dagegen bis zu 2 ° wärmer als die Luft in Raummitte.

Unter näher beschriebenen Versuchsbedingungen wurde das Klima im Raum von der überwiegenden Zahl einer größeren Gruppe von Vp. dann als angenehm bezeichnet, wenn die Lufttemperatur bei nicht geheizter Decke etwa zwischen 19 und 23 °C lag. Bei einer mittleren Strahlungstemperatur der Decke von 37 ° wurden schon Lufttemperaturen zwischen 18 und 22 ° als „angenehm warm" empfunden. zunehmenden Anzahl der Vp. in zuneh Kopf. Die Empfindungen, die die Vp. n deckenbeheizten Raum hatten, änderten Behaglichkeitsgrenzen in Abhängigkeit Diagramm gebracht.

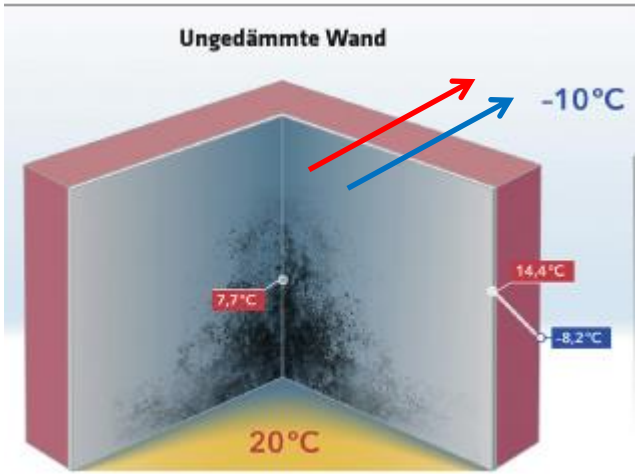
Die Deckenheizung ist im physiologisc nicht möglich ist, ein Zuviel der Wärme Mehr an Deckenstrahlung zu kompensi der Decke her.

Die Beziehungen zwischen der Behagli der beheizten Rohre, der Heizwasserter Diagramm dargestellt.

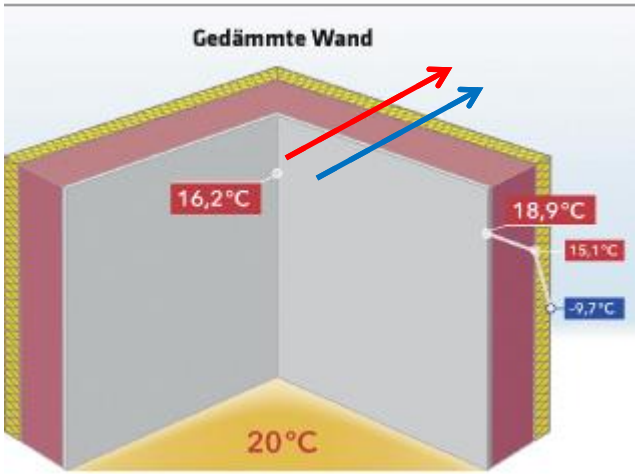


Feuchtigkeit und ihre Folgen

Der Feuchtetransport findet immer in die gleiche Richtung wie der Wärmefluss statt. Die Luftfeuchtigkeit kondensiert an den Konstruktiven Wärmebrücken .



Dies ist auch bei einer energetisch ertüchtigten Außenwand der Fall.
Lediglich in einem verringertem Maße!

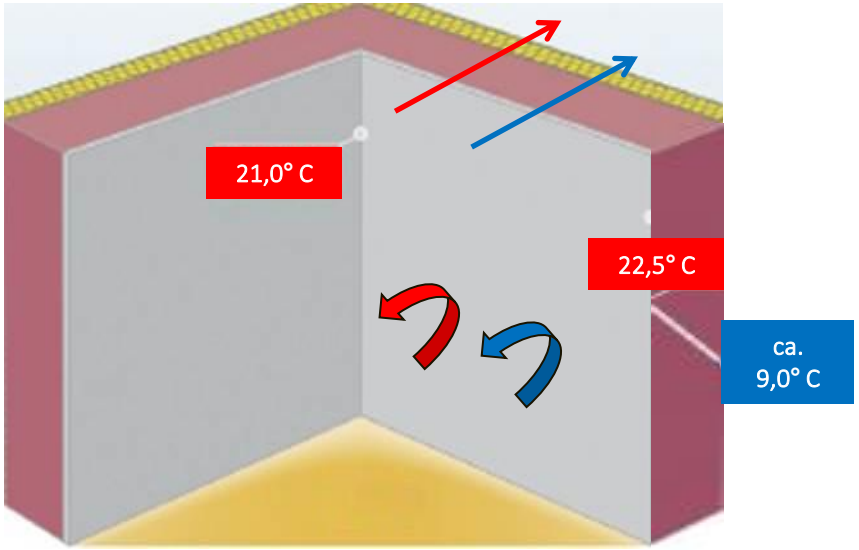


Grund: Energie strebt immer einen Potentialausgleich an und bewegt sich von warm nach kalt.
Da die Oberflächentemperatur der Außenwand bei Konvektionsheizungen niedriger als die Raumlufttemperatur ist, bleibt dieses physikalische Prinzip unverändert bestehen und Feuchtigkeit wird in das Mauerwerk eingelagert.

Fazit: Um so länger eine Heizperiode dauert, desto mehr Feuchte wird in ein Bauteil gedrückt. Dies hat zur Folge dass die relative Feuchtigkeit zunimmt und sich die Dämmeigenschaft des Baukörpers verschlechtert.

(Mauerwerk ± 4% feuchte bedeutet ± 50% Dämmwert; J.S. Cammerer 1928)

Baustofffeuchtigkeit bei Strahlungsheizungen

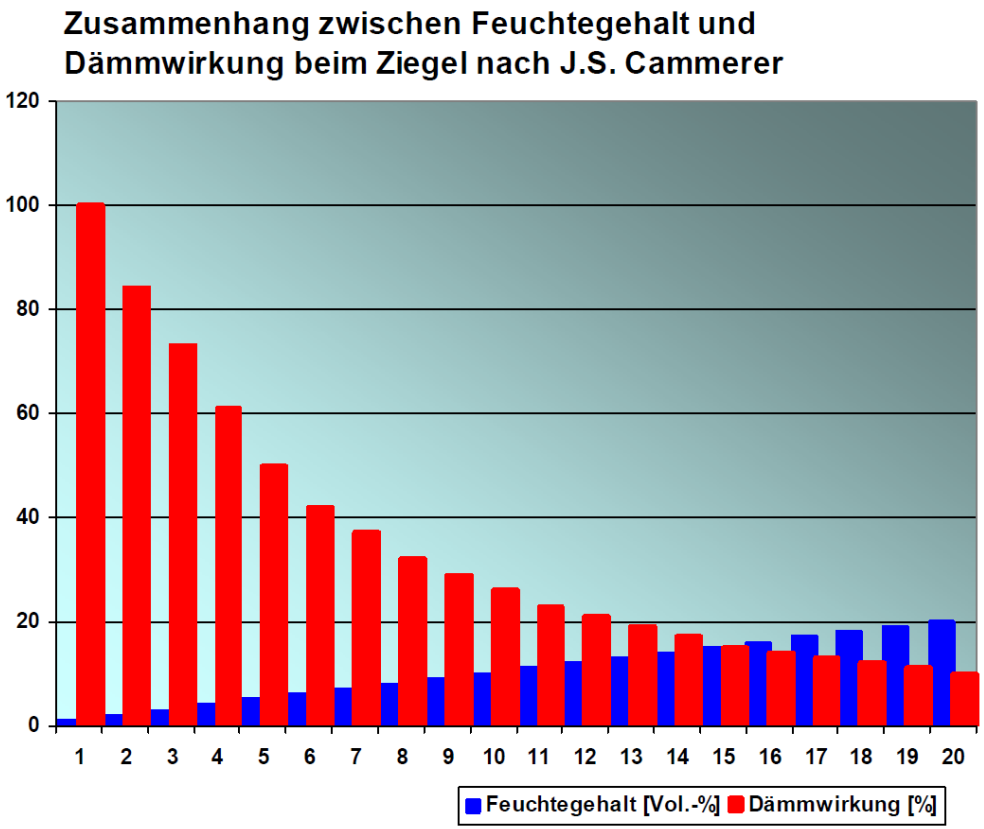


Drang der Energie ist nach wie vor immer noch von warm nach kalt (Potentialausgleich).
Die Oberflächentemperatur der Außenwand liegt nun höher als die Raumlufttemperatur. Das physikalische Prinzip bleibt auch nun unverändert bestehen. Allerdings ist der Drang der Raumluft nicht mehr hin zur Außenluft vorhanden.

Abhängig von der Länge einer Heizperiode und der Anzahl der Heizperioden, wird Feuchte aus einem Bauteil gezogen. Dies hat zur Folge dass das Volumenprozent Feuchtigkeit abnimmt und die Dämmeigenschaft des Baukörpers sich deutlich verbessert.

(Mauerwerk ± 4% feuchte bedeutet ± 50% Dämmwert; J.S. Cammerer 1928)

Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen in Abhängigkeit ihrer Feuchte



J.S. Cammerer (1892-1983)

Begründer der K-Wert Theorie (1920ger Jahre)

Quelle: https://www.tbas.de/Isolierwert-der-Wand-in-Abhaengigkeit-der-Wandfeuchte.html

Wissenswertes

Strahlungsheizungen und Energieeinsparverordnung (EnEV)

Unverständlicherweise wird bei den Wärmeübertragungssystemen die Strahlungsheizung als effiziente Maßnahme zur Energieeinsparung in der nicht zu Ende gedachten und zu laschen Energieeinsparverordnung noch nicht einmal direkt erwähnt.

Dafür wird um so mehr informiert über sehr dicke Wärmedämmung, Solaranlagen, mehr oder weniger teure Wärmeerzeugungssysteme, Niedrigenergiehäuser mit künstlicher Belüftung etc.

Für fast alle energiesparende Lösungen (selbst z. B. für effiziente Umwälzpumpen etc.) gibt es außerdem auch Fördermittel, bis jetzt aber nicht für Strahlungsheizsysteme.

Das Plancksche Strahlungsgesetz beschreibt die Wärmestrahlung als elektromagnetische Welle, damit ist es ein Teil der Quantenphysik.

Mit den Methoden der Thermodynamik (Wärmelehre) kann Strahlung somit (nach Prof. C. Meier) nicht behandelt werden. Das wird aber gemacht, mit der Folge einer Überbewertung der Konvektionsheizung und Unterbewertung der Strahlungsheizung.

Selbst DIN-Normen können, sogar mit Unterstützung der Wissenschaft, mitunter nur ein Regelungsinstrument zur Durchsetzung wirtschaftlicher Interessen sein.

Mehr zur > Tragödie der Strahlung, von Prof. Dr.-Ing. Claus Meier, Architekt SRL, BayAK Nürnberg.

(Quelle: http://clausmeier.tripod.com/missbr.htm)

Heizen und Kühlen mit wasserführenden Deckenstrahlplatten

Heizen

Deckenstrahlheizungen benötigen die Raumluft nicht als Wärmeträger (tatsächliche Lufttemperatur < gefühlte).
Im Falle von Lüftungswärmeverlusten geht weniger Wärme verloren.

Die Temperatur unter Decke/Dach steigt weniger stark gegenüber Heizkörpern (Transmissions-Wärmeverlust geringer).

Nach DIN 18599 darf die ermittelte **Heizlas**t mit dem **Faktor 0,85 verkleinert** werden.

Im Heizbetrieb erfolgt die **Wärmeabgabe** der Decke hauptsächlich durch Strahlung.

Kühlen

Korrosionsfeste Deckenheizelemente aus Cu oder Al eignen sich sehr gut zur Kühlung.

Im Kühlbetrieb erfolgt die **Wärmeaufnahme** der Decke zu ca. **60% durch Strahlung**, die zur Abkühlung aller Umgebungsflächen und Einrichtungsgegenstände führt.

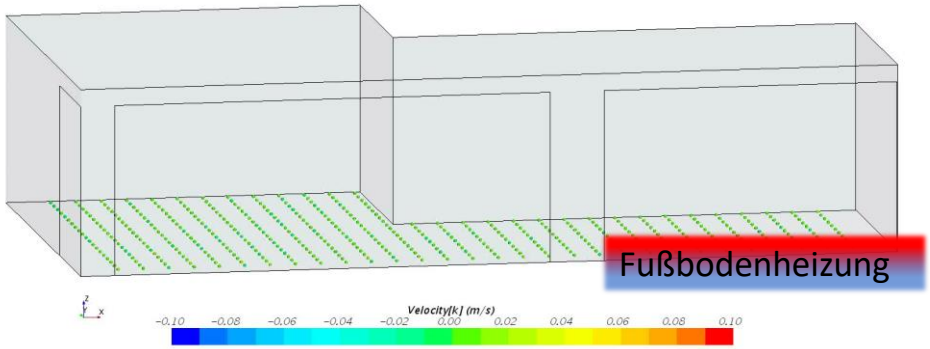
Bei Wohn-/Bürogebäuden bewegen sich die Vorlauftemperaturen, je nach energetischem Zustand der Gebäudehülle und des eingesetzte Decken-System, zwischen ca. 28° C bis 45° C. *(Wichtig es muss eine Vollflächige Belegung stattfinden.)*

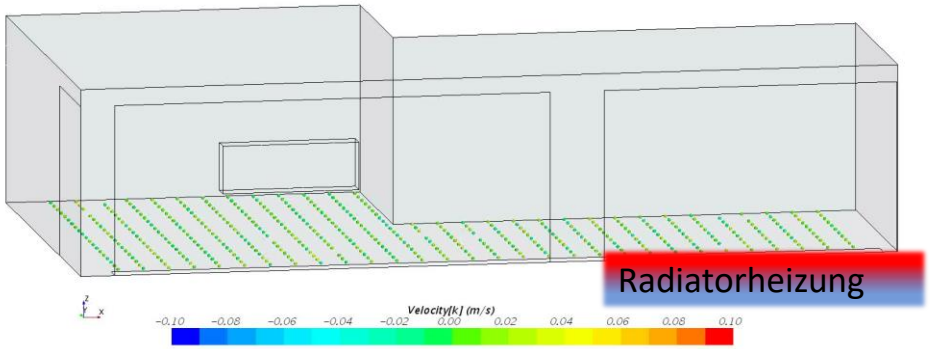
Quelle: http://energieberatung.ibs-hlk.de/grundl_wasys_fl&strahlhzg.htm

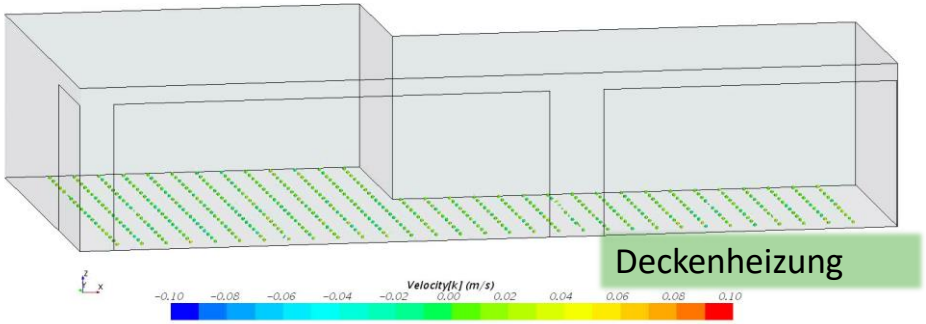
Konvektion vs. Behaglichkeit

Nach Behaglichkeitsnorm EN ISO 7730 wird eine Luftströmung ab einer Geschwindigkeit von 0,08 m/s als unbehaglich empfunden.
In den Animationen entspricht das den türkisen bis dunkelblauen bzw. orangen bis roten Strömungen.

22.12.2015 8:30 Uhr 5* Hotel in Innsbruck





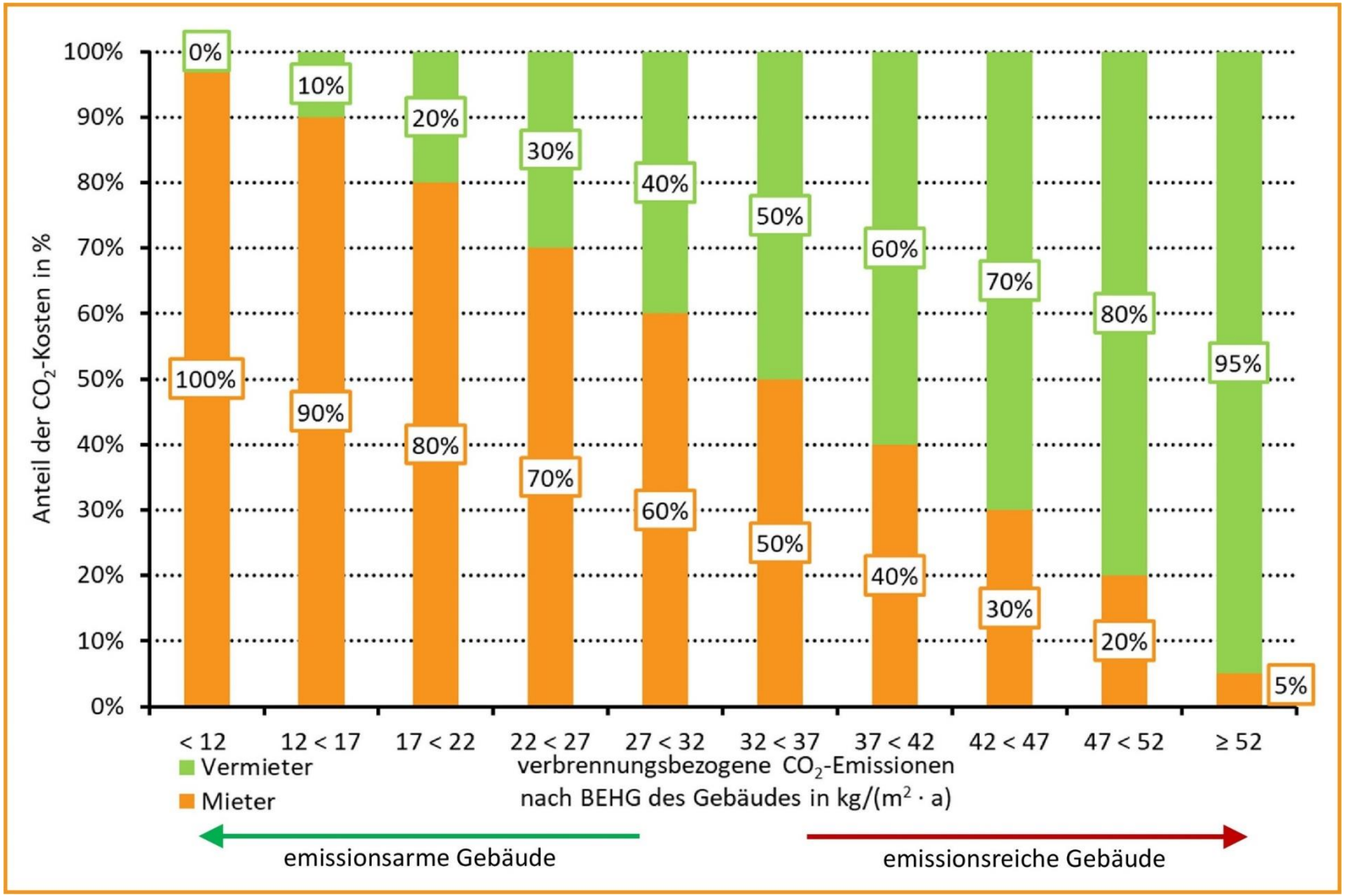


Quelle: https://www.igr-raumklimasysteme.de/

	Ausstoß [g] CO2/kWh					
	pro kWh [g]	1 Liter Öl 1m³ Gas = ca. [kWh]	pro liter bzw. m³ CO2 [g]	pro liter bzw. m³ CO2 [kg]	pro liter bzw. m³ CO2 [t]	**1000 ltr. Öl bzw. m³ Gas** CO2 [t]
Öl	318	10	3180	3,18	0,00318	**3,18**
ErdGas	247	10	2470	2,47	0,00247	**2,47**
FlüssigGas	230	10	2300	2,3	0,0023	**2,3**
NaturGas	202	10	2020	2,02	0,00202	**2,02**

	CO2 Bepreisung/Kosten					
	CO2 Preis/t 2023	**IST 2023**	CO2 Preis/t 2024	**IST 2024**	CO2 Preis/t 2025	**IST 2025**
Öl	35,00 €	**111,30 €**	45,00 €	**143,10 €**	55,00 €	**174,90 €**
ErdGas	35,00 €	**86,45 €**	45,00 €	**111,15 €**	55,00 €	**135,85 €**
FlüssigGas	35,00 €	**80,50 €**	45,00 €	**103,50 €**	55,00 €	**126,50 €**
NaturGas	35,00 €	**70,70 €**	45,00 €	**90,90 €**	55,00 €	**111,10 €**

	Noch in Schwebe			
	CO2 Preis/t 2026	**IST 2026**	CO2 Preis/t 2050	**IST 2050**
Öl	65,00 €	**206,70 €**	275,00 €	**874,50 €**
ErdGas	65,00 €	**160,55 €**	275,00 €	**679,25 €**
FlüssigGas	65,00 €	**149,50 €**	275,00 €	**632,50 €**
NaturGas	65,00 €	**131,30 €**	275,00 €	**555,50 €**

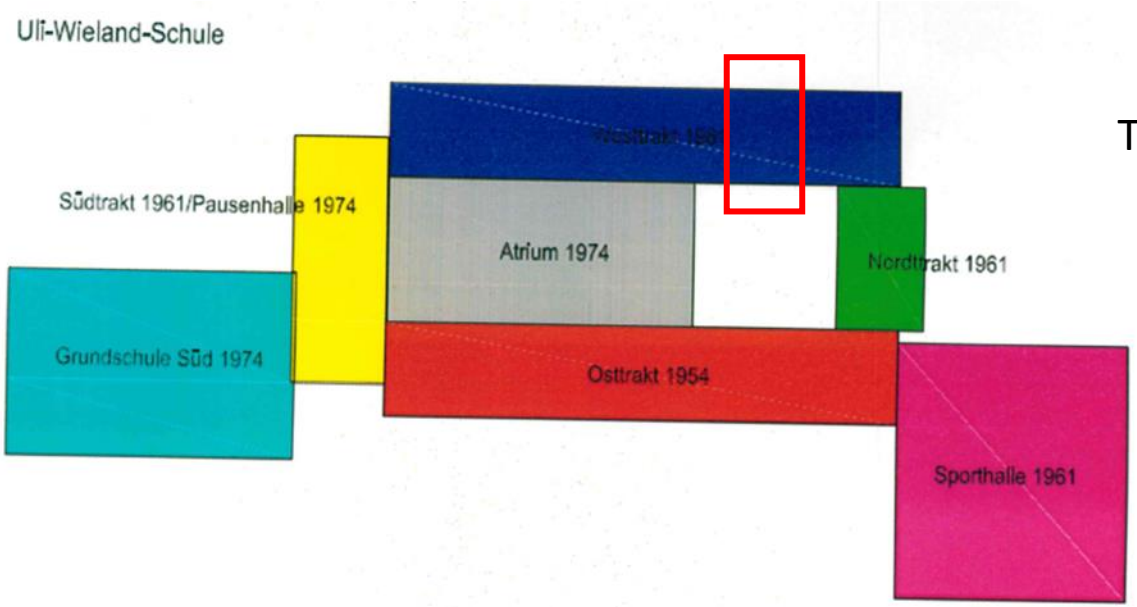


Quelle: [CO2-Bepreisung - So teilen sich ab 2023 Mieter und Vermieter die CO2-Kosten - TGA+E Fachplaner (tga-fachplaner.de)]

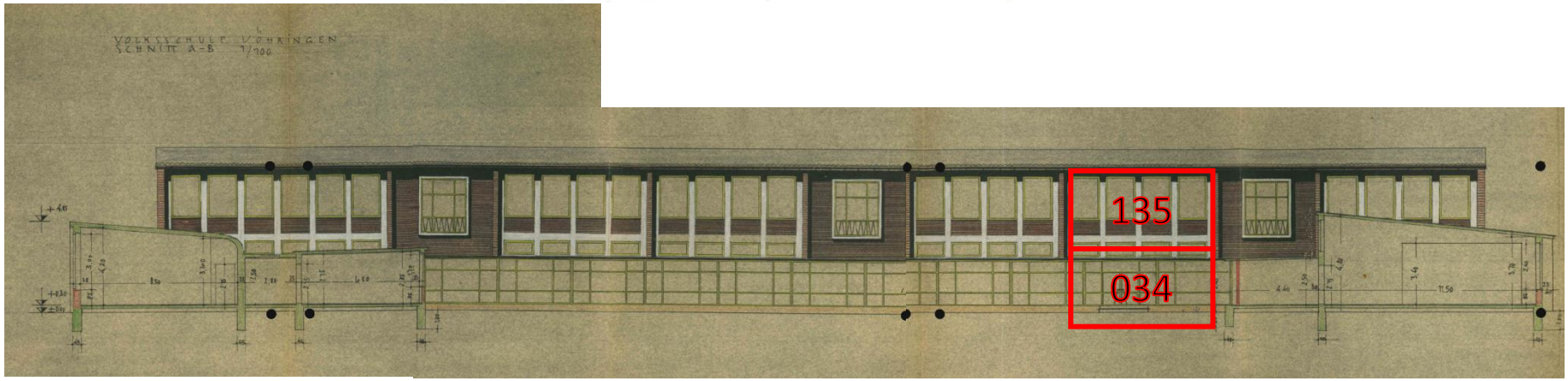
Allgemeine Übersicht

Die Testräume sind im Westtrakt

Baujahr: 1961



Testräume 034 und 135



Energetische Einordnung – Westtrakt heute

1. Mauerwerk/Wand

- Material: Stärke 38 cm (vermutlich Leichtbeton)
- Heiznischen – Wärmebrücken wurden durch nachträgliche Dämmung reduziert
- EPS-Dämmung: 53 mm

2. Obere Geschossdecke

- Betondecke: 33 cm
- Gedämmt 25 cm Holzfaserdämmplatten (WLS 036/035)

3. Kellerbodendecke

- Betonkellerbodendecke: 33 cm
- Keller – Testraum EG unterkellert, Großteil vom Westtrakt nicht.

4. Fenster

- Fenster OG
- 162/230
- U-Wert Fensterglas 1,1; Fenster gesamt ~1,4

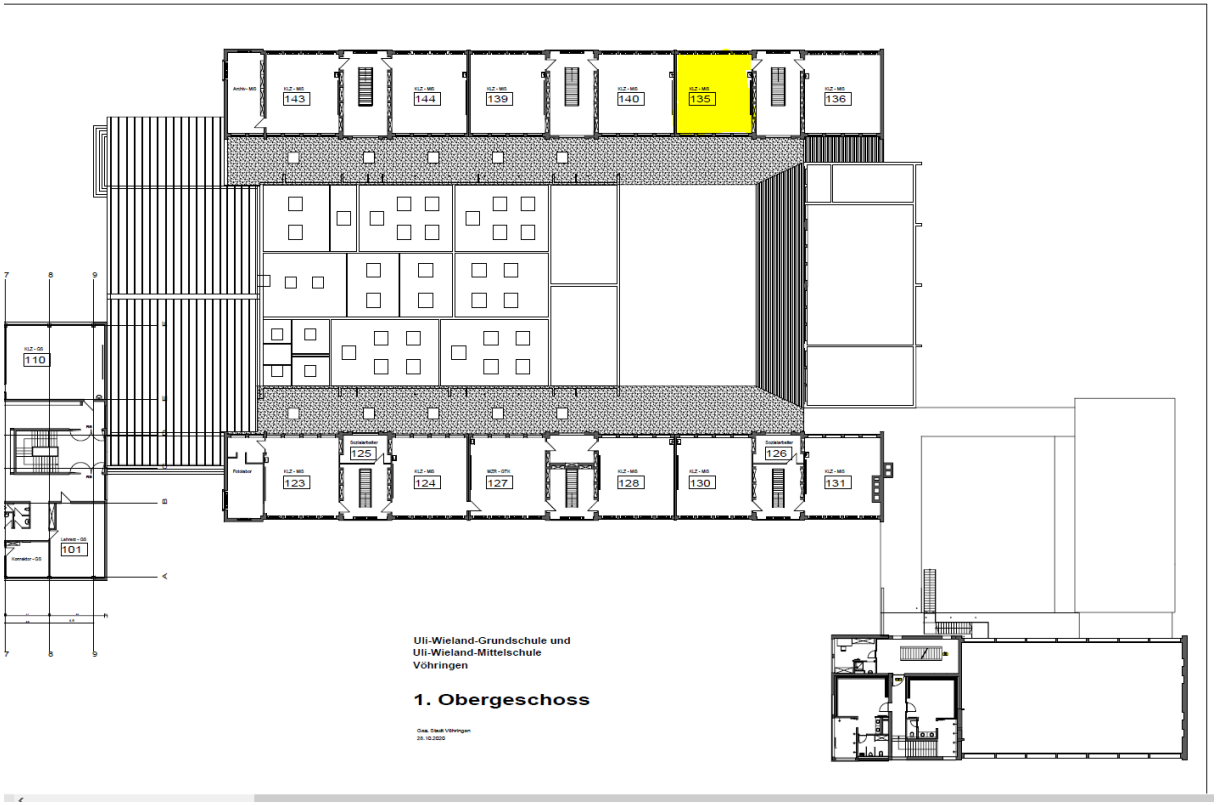
Seit 1961 wurde das Gebäude bei Instandhaltungsmaßnahmen ebenfalls energetisch optimiert. Fenster sind gut, wenn auch nicht neuster Stand. Dach gedämmt. <u>Fassadendämmung nicht vorhanden</u>.

Wie kann die Uli-Wieland-Schule zukünftig ohne fossile Brennstoffe beheizt werden?

- Machbarkeitsstudie mit verschieden Szenarien (Ist-Zustand, Wärmepumpe + Spitzenlastkessel Gasbrennwert, direkte Abwärmenutzung und Hochtemperaturwärmepume)
- Für den effizienten Einsatz von Wärmepumpen ist es notwendig, dass die Vorlauftemperaturen des Heizsystems möglichst niedrig sind
- Mögliche Industrieabwärme mit einer Temperatur von 28°C kann eventuell direkt genutzt werden
- Bedenken, dass UWS nicht mit Niedertemperaturheizsystem ohne kostenintensive energetische Sanierung beheizt werden kann
- Lösungsansatz: Installation von Deckenstrahlheizsystemen in zwei Testräumen der UWS
- Aufzeichnung des Temperaturverlaufs während der Wintermonate

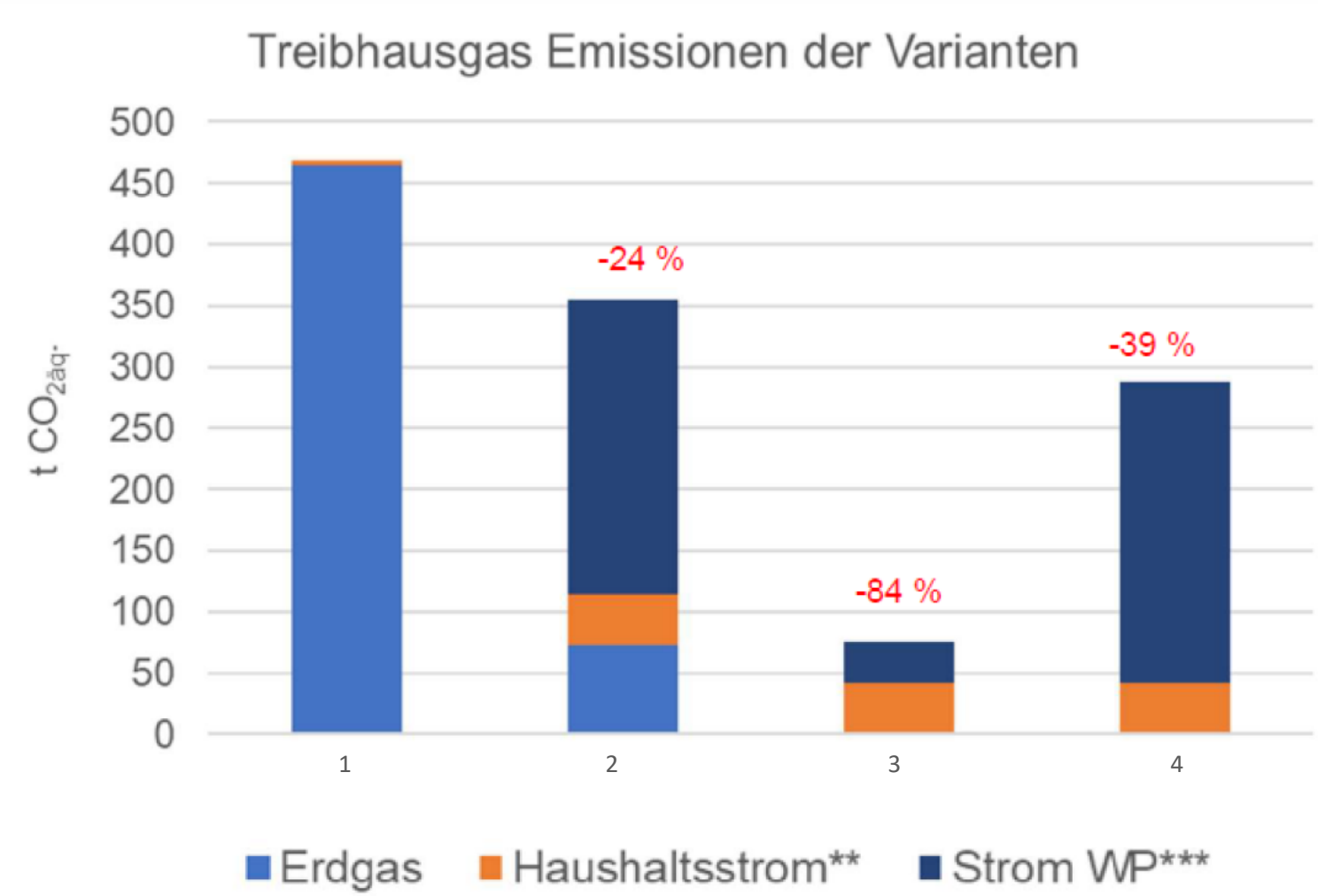
EG-Testraum 034

OG-Testraum 135



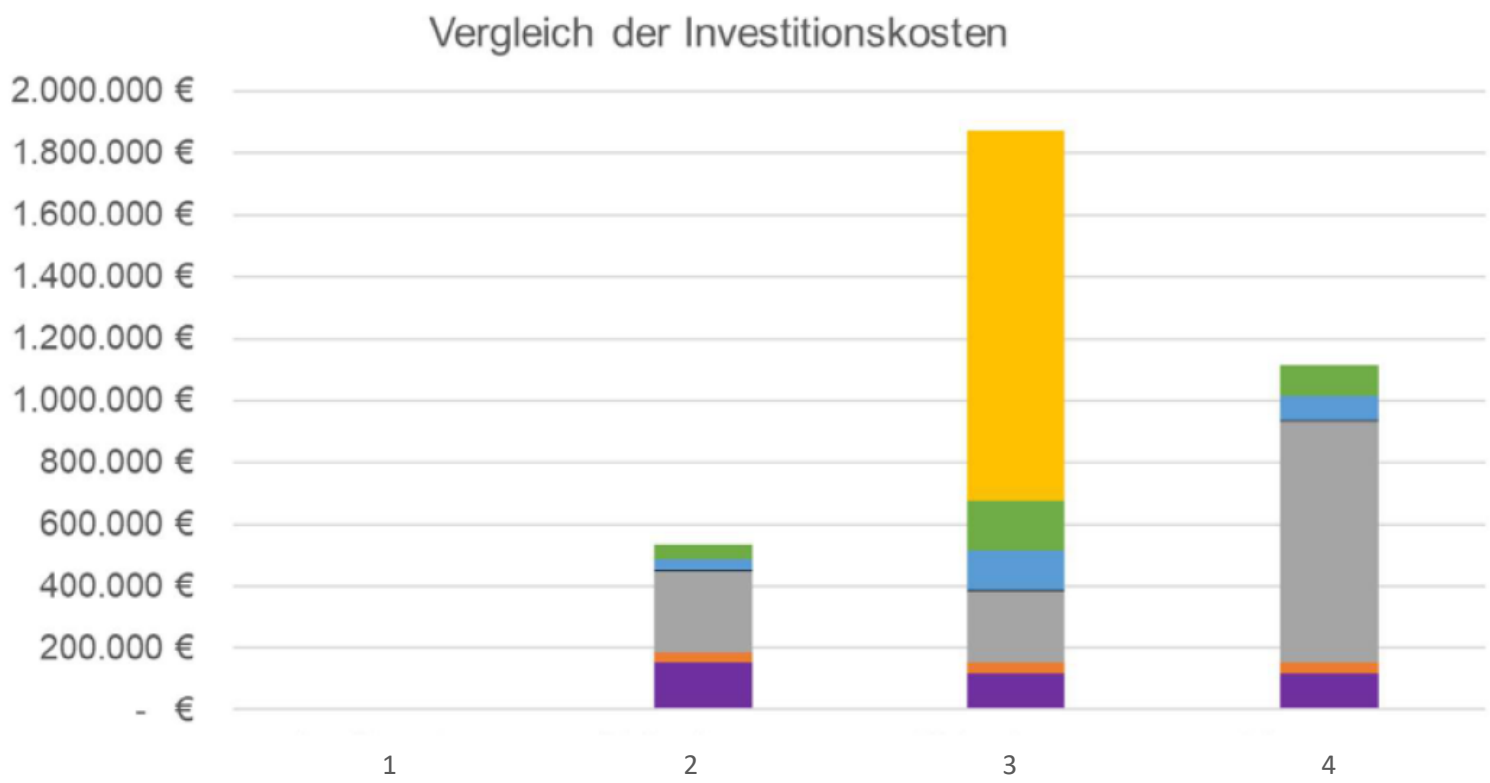
Machbarkeitsstudie der Hochschule-Landshut

Szenario 1: Ist Situation
Szenario 2: Wärmepumpe + Gasbrennwertkessel (Spitzenlastabdeckung)
Szenario 3: Direkte Nutzung der Abwärme + Wärmepumpe
Szenario 4: Hochtemperaturwärmepumpen



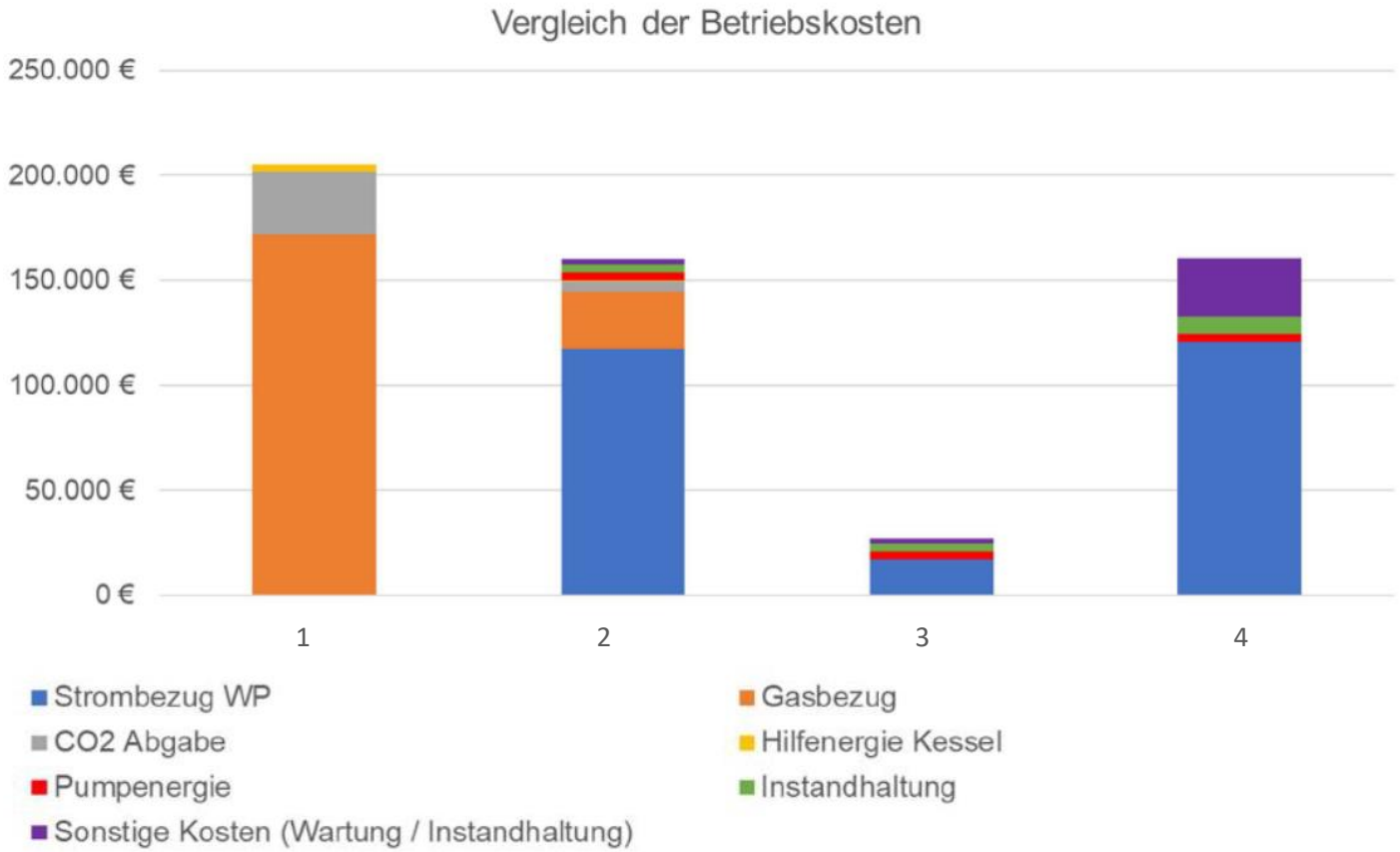
Machbarkeitsstudie der Hochschule-Landshut

Szenario 1: Ist Situation
Szenario 2: Wärmepumpe + Gasbrennwertkessel (Spitzenlastabdeckung)
Szenario 3: Direkte Nutzung der Abwärme + Wärmepumpe
Szenario 4: Hochtemperaturwärmepumpen



Machbarkeitsstudie der Hochschule-Landshut

Szenario 1: Ist Situation
Szenario 2: Wärmepumpe + Gasbrennwertkessel (Spitzenlastabdeckung)
Szenario 3: Direkte Nutzung der Abwärme + Wärmepumpe
Szenario 4: Hochtemperaturwärmepumpen



Machbarkeitsstudie der Hochschule-Landshut

Szenario 1: Ist Situation
Szenario 2: Wärmepumpe + Gasbrennwertkessel (Spitzenlastabdeckung)
Szenario 3: Direkte Nutzung der Abwärme + Wärmepumpe
Szenario 4: Hochtemperaturwärmepumpen

	Ausstoß [g] CO_2/kWh					
	pro kWh [g]	1m³ Gas	pro m³	pro m³	pro m³	**1000 m³ Gas**
		= ca. [kWh]	CO_2 [g]	CO_2 [kg]	CO_2 [t]	CO_2 [t]
ErdGas	247	10	2470	2,47	0,00247	**2,47**

		CO_2 Bepreisung/Kosten			Noch in Schwebe		zu erwartende **GESAMT** CO_2 Kosten bis 2050
		CO_2 Preis/t 2023	CO_2 Preis/t 2024	CO_2 Preis/t 2025	CO_2 Preis/t 2026	CO_2 Preis/t 2050	
ErdGas		35,00 €	45,00 €	55,00 €	65,00 €	275,00 €	liniar ansteigend
	t $CO_{2äq}$						
Szenario 1:	475	16.625,00 €	21.375,00 €	26.125,00 €	30.875,00 €	130.625,00 €	2.082.875,00 €
Szenario 2:	361	12.635,00 €	16.245,00 €	19.855,00 €	23.465,00 €	99.275,00 €	1.582.985,00 €
Szenario 3:	76	2.660,00 €	3.420,00 €	4.180,00 €	4.940,00 €	20.900,00 €	333.260,00 €
Szenario 4:	290	10.150,00 €	13.050,00 €	15.950,00 €	18.850,00 €	79.750,00 €	1.271.650,00 €
	t $CO_{2äq}$	entfällt lediglich auf "Fossile"-Energieträger					
Szenario 1:	475	16.625,00 €	21.375,00 €	26.125,00 €	30.875,00 €	130.625,00 €	2.082.875,00 €
Szenario 2:	75	2.625,00 €	3.375,00 €	4.125,00 €	4.875,00 €	20.625,00 €	328.875,00 €
Szenario 3:	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Szenario 4:	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €

Machbarkeitsstudie der Hochschule-Landshut

Szenario 1: Ist Situation
Szenario 2: Wärmepumpe + Gasbrennwertkessel (Spitzenlastabdeckung)
Szenario 3: Direkte Nutzung der Abwärme + Wärmepumpe
Szenario 4: Hochtemperaturwärmepumpen

	Momentaufnahme					
	Energiekosten (Gas bzw. Strom) Stand 2022	CO_2 Kosten Stand 2023	**Betriebskosten Stand 2022**	Betriebskosten Einsparung	Investition	Amortisation [Jahre]
Szenario 1:	188.375,00 €	16.625,00 €	**205.000,00 €**	- €	- €	0
Szenario 2:	157.375,00 €	2.625,00 €	**160.000,00 €**	45.000,00 €	575.000,00 €	12,8
Szenario 3:	25.000,00 €	0,00 €	**25.000,00 €**	180.000,00 €	1.825.000,00 €	10,1
Szenario 4:	160.000,00 €	0,00 €	**160.000,00 €**	45.000,00 €	1.100.000,00 €	24,4

	Zeitraum bis 2050*)					
	Energiekosten (Gas bzw. Strom) Stand 2022 bis 2050	Energiekosten Einsparung (Gas bzw. Strom) bis 2050	CO_2 Kosten bis 2050	Betriebskosten Energie + CO_2 Kosten bis 2050	Betriebskosten Einsparung (Energie + CO_2 Kosten)	Investition
Szenario 1:	6.093.750,03 €	- €	2.082.875,00 €	8.176.625,03 €	- €	- €
Szenario 2:	5.090.929,85 €	1.002.820,18 €	328.875,00 €	5.419.804,85 €	2.756.820,18 €	575.000,00 €
Szenario 3:	808.725,95 €	5.285.024,08 €	- €	808.725,95 €	7.367.899,08 €	1.825.000,00 €
Szenario 4:	5.175.846,08 €	917.903,95 €	- €	5.175.846,08 €	3.000.778,95 €	1.100.000,00 €

*) Energiekostensteigerung 2,5%

Machbarkeitsstudie der Hochschule-Landshut

Szenario 1: Ist Situation
Szenario 2: Wärmepumpe + Gasbrennwertkessel (Spitzenlastabdeckung)
Szenario 3: Direkte Nutzung der Abwärme + Wärmepumpe
Szenario 4: Hochtemperaturwärmepumpen

	Ø Energiekosten*)/ -einsparung pro Jahr *(28 Jahre)*							
	Durchschnittliche Energiekosten (Gas bzw. Strom) bis 2050	Durchschnittliche Einsparung (Gas bzw. Strom) bis 2050	Durchschnittliche CO_2 Kosten bis 2050	Betriebskosten Energie + CO_2 Kosten bis 2050	Einsparung (Energie + CO_2 Kosten)	Investition	Amortisation Energiekosten [Jahre]	Amortisation Energiekosten + CO2 Kosten [Jahre]
Szenario 1:	217.633,93 €	- €	74.388,39 €	292.022,32 €	- €	- €	0	0
Szenario 2:	181.818,92 €	35.815,01 €	11.745,54 €	193.564,46 €	98.457,86 €	575.000,00 €	16,1	5,8
Szenario 3:	28.883,07 €	188.750,86 €	- €	28.883,07 €	263.139,25 €	1.825.000,00 €	9,7	6,9
Szenario 4:	184.851,65 €	32.782,28 €	- €	184.851,65 €	107.170,68 €	1.100.000,00 €	33,6	10,3

*) Energiekostensteigerung 2,5%

RAUMOK
New World of Energy

singular
klima to go

KLIMATOP
DIE KLIMADECKE

RAUMOK
New World of Energy

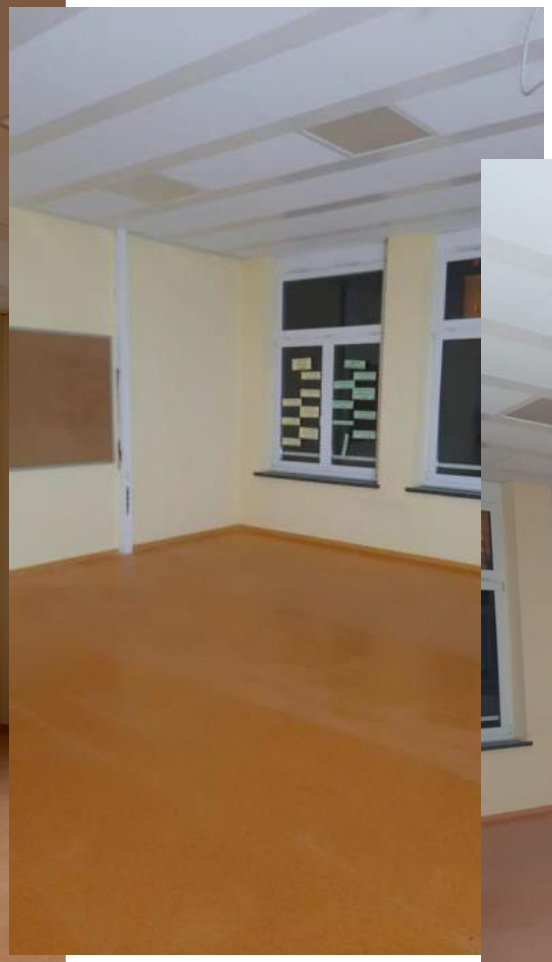
singular
klima to go

KLIMATOP
DIE KLIMADECKE

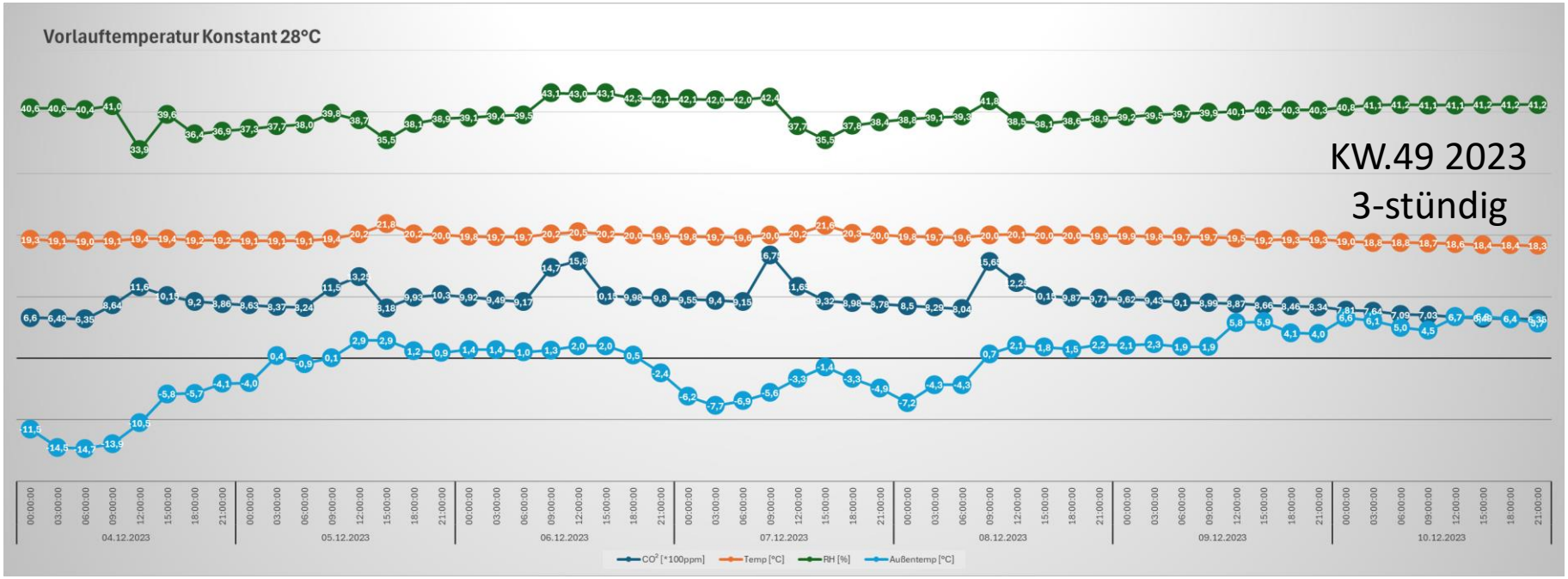
RAUMOK
New World of Energy

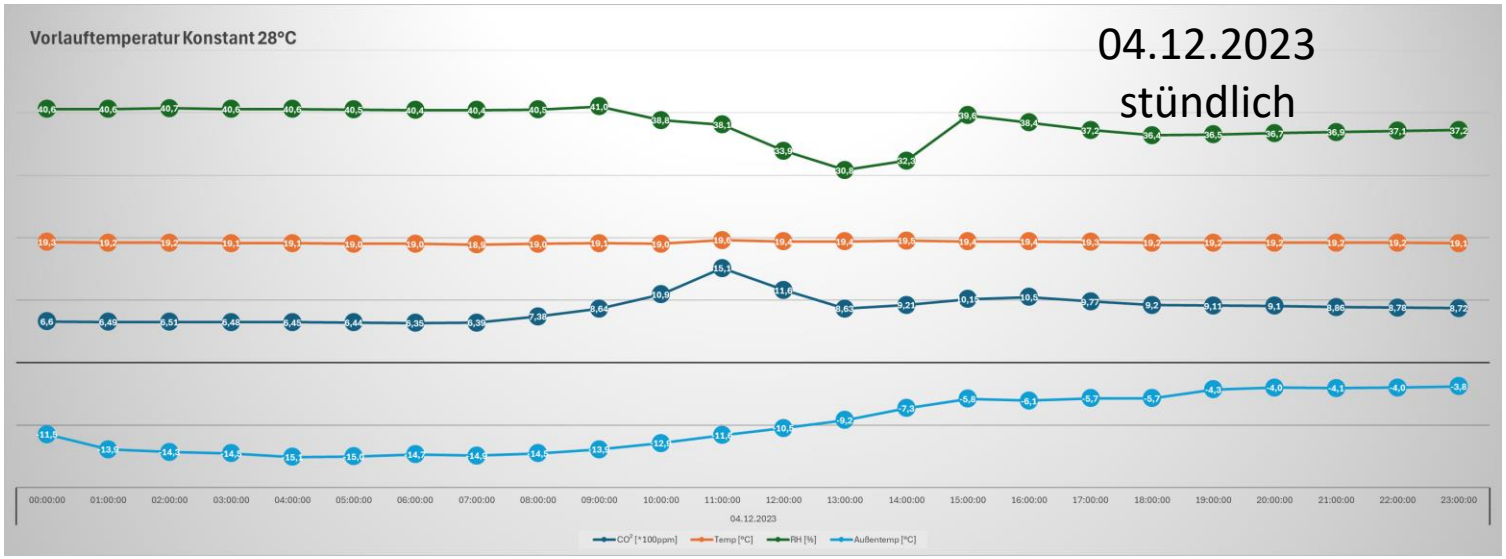
singular
klima to go

KLIMATOP
DIE KLIMADECKE

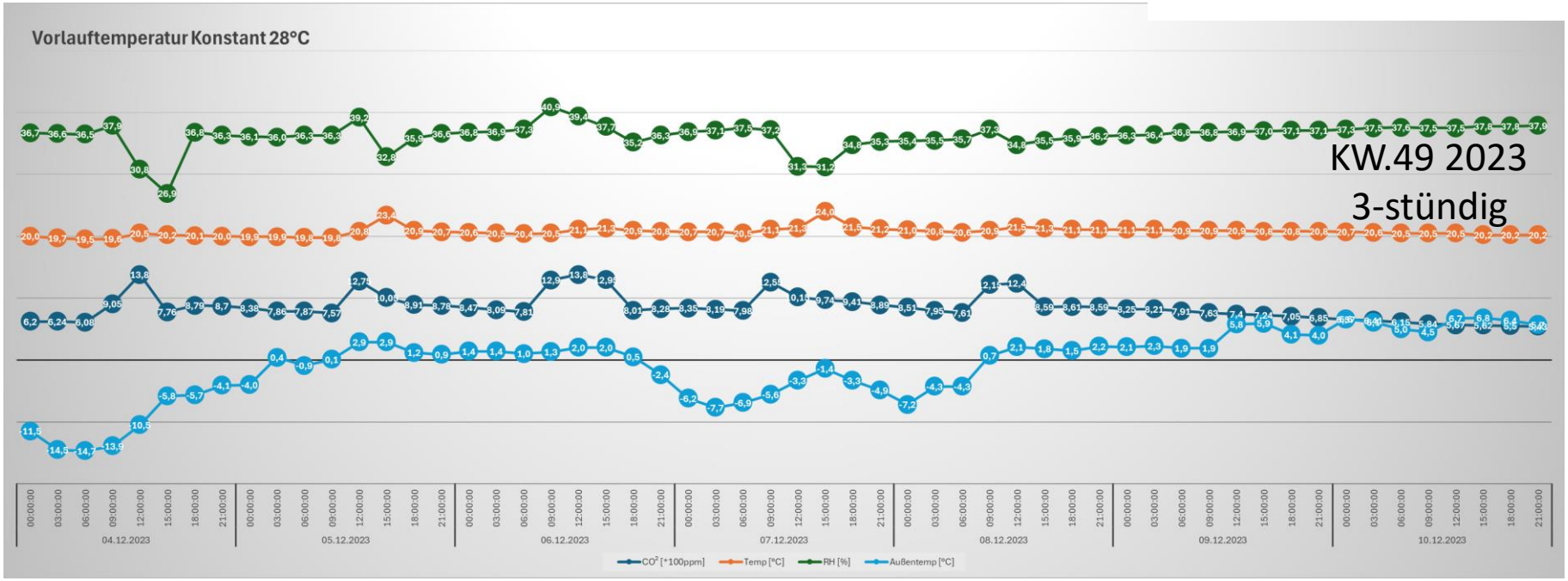


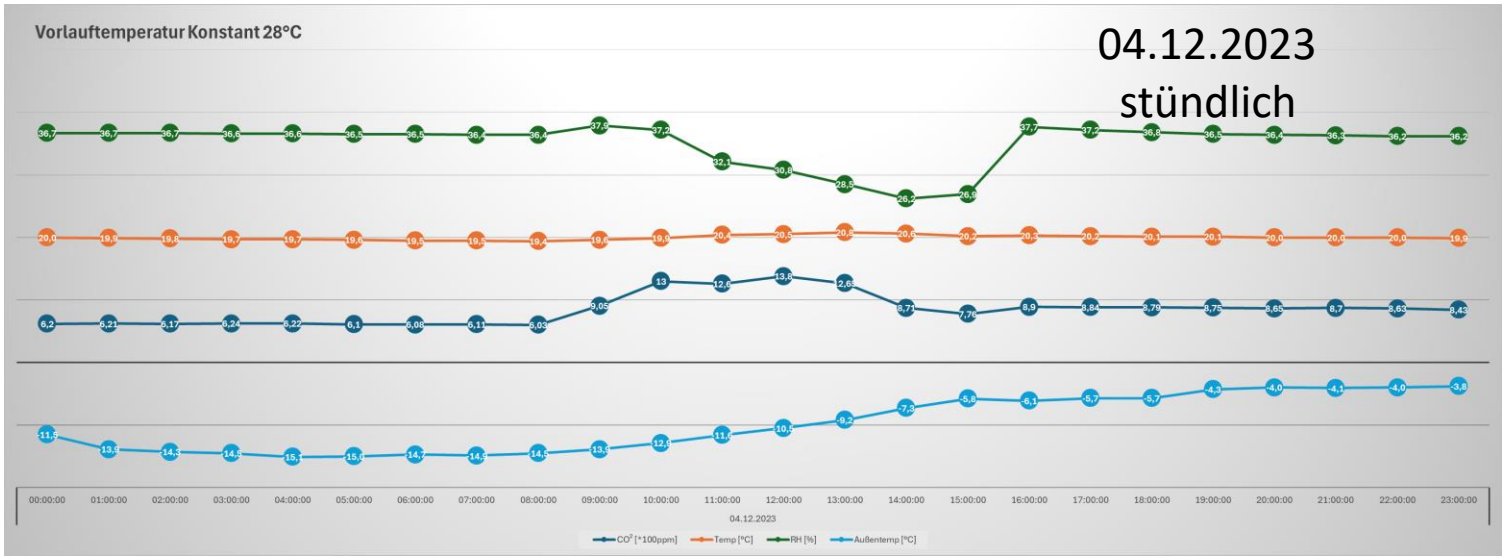
EG-Testraum 034





OG-Testraum 135





RAUMOK
New World of Energy

singular
klima to go

KLIMATOP
DIE KLIMADECKE

Fragen, Wünsche,

Diskussion