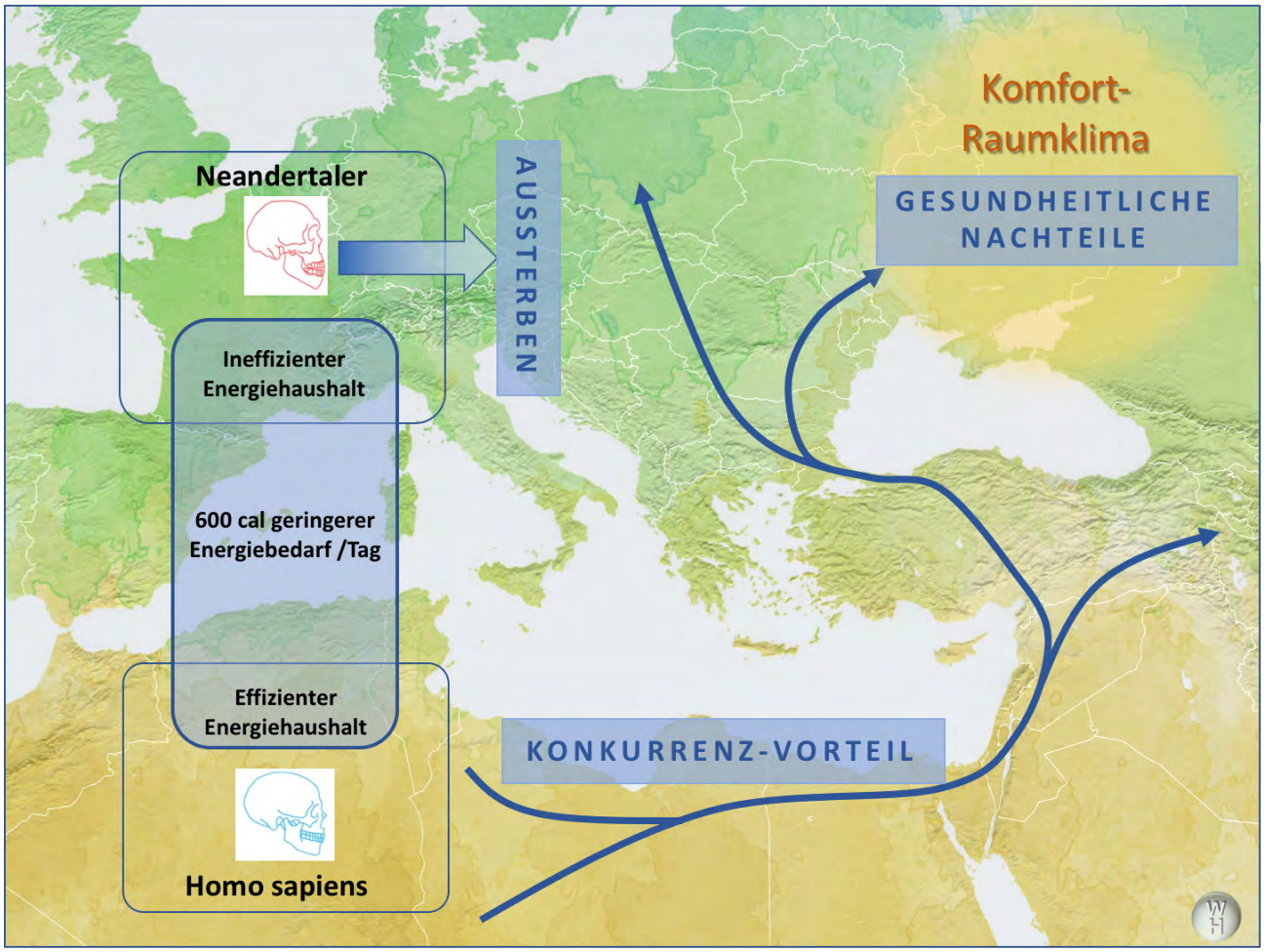
Sehr verehrte Damen und Herren,
Herzlichen Dank dafür, dass ich heute **zum 2. Mal** an einem TGA Kongress einen Kommentar abgeben darf zum Tagungsthema, aus der Sicht eines Arztes.

Heute zum Thema: **„Komfortables Innenraumklima – ist das gesund?“**

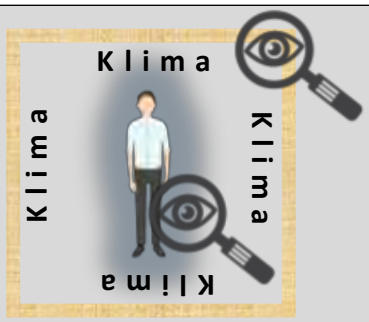
Alle sprechen von „Komfortlüftungen“,
→ von „Komfortklima“ und von
→ „Komfortheizungen“.

Ärzte sind dem **Komfortbegriff** gegenüber skeptisch eingestellt – ist dieser Komfort auch gut für unsere Gesundheit?



Der gewaltige Einfluss des Klimas auf **Evolution** und **kulturelle Entwicklung des Menschen** wurde bis vor wenigen Jahren noch masslos unterschätzt.
Grund für das Aussterben des Neandertalers war gemäss **neuesten Evolutionstheorien**, dass sein Körperbau und sein ineffizienter Energiehaushalt der entscheidende Nachteil war gegenüber seinem Konkurrenten Homo sapiens.

Genau dieser effiziente Umgang mit den Energie-Ressourcen wird dem Homo sapiens im «Komfort-Klima» moderner Gebäude nun zum Verhängnis.



Es lohnt sich, genau hinzusehen, was mit dem Menschen unter verschiedenen Klimabedingungen geschieht!

Beispiel ①

Sanctorius, 1561 - 1636,
italienischer Arzt,
Entdecker der Perspiratio insensibilis,
des unsichtbaren Flüssigkeitsverlustes,
nachgewiesen mit Gewichtsbilanzierung
im Selbstversuch

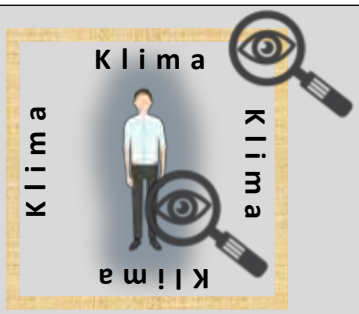
„Perspiratio insensibilis" ist der unsichtbare Flüssigkeitsverlust durch Atmung und durch die Haut, seit 400 Jahren bekannt und quantifiziert!

Als Ingenieure sind Sie sich gewohnt, zu untersuchen wie sich die Emissionen und Aktivitäten des Menschen auf das Gebäude auswirken.
Um Aussagen machen zu können über die Auswirkungen des Klimas auf den Menschen müssen Sie die Fragestellung umkehren.

Es lohnt sich, genau hinzusehen, was mit dem Menschen unter verschiedenen Klimabedingungen geschieht!

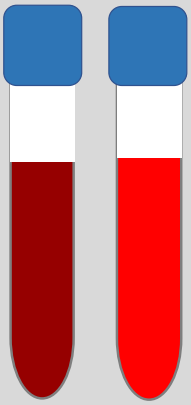
→ Beispiel ①

Sanctorius, ein italienischer Arzt entdeckte durch Gewichtsbilanzierung im Selbstversuch die Perspiratio insensibilis, den unsichtbaren Flüssigkeitsverlust durch Wasserverdunstung aus der Haut und beim Atmen. Er konnte diesen Flüssigkeitsverlust, **mit dem wir uns heute so schwer tun**, schon vor 400 Jahren quantifizieren …



Beispiel ②

Robert Mayer
1814 – 1878
Arzt aus Heilbronn

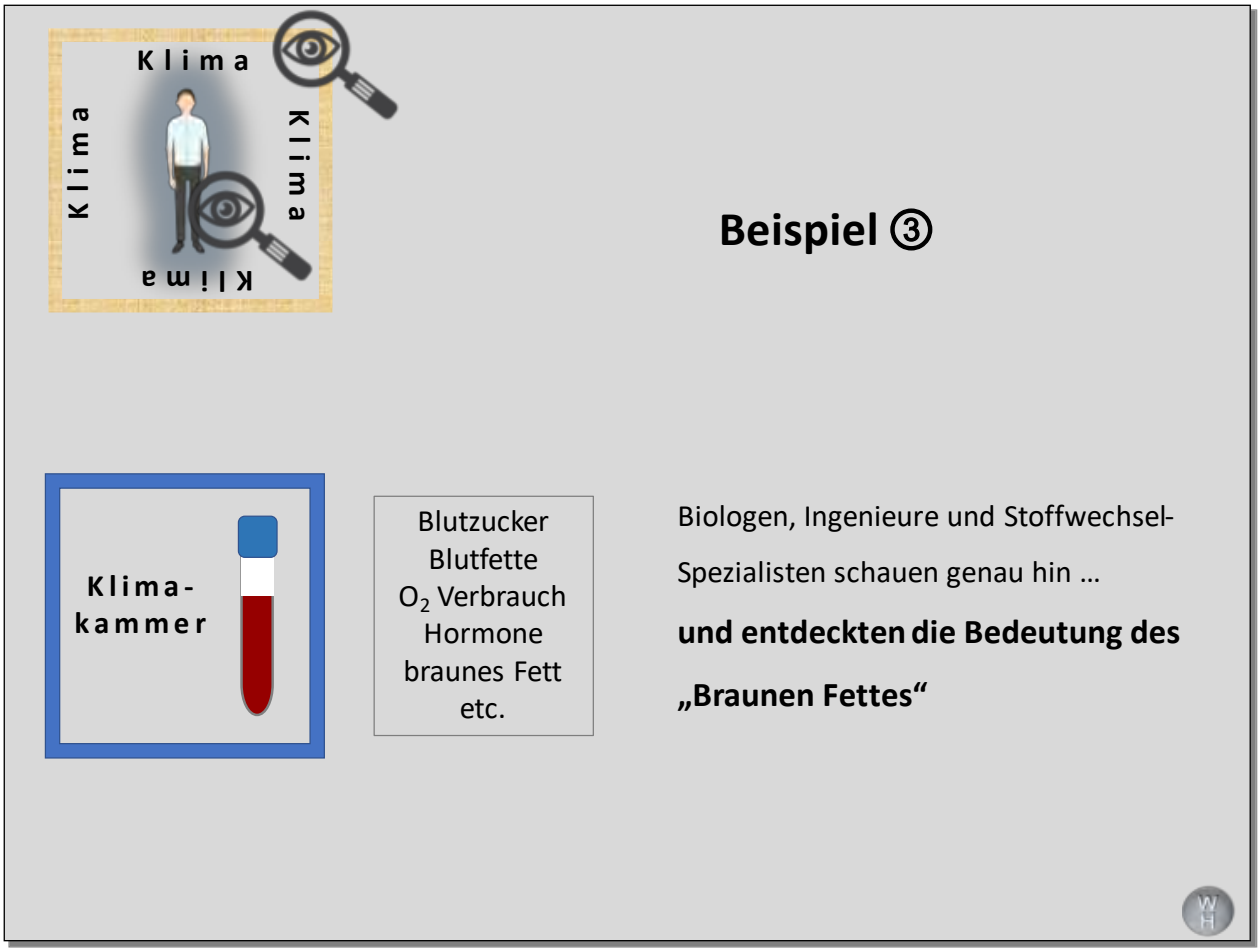


Robert Meyer hat noch vor dem Physiker Joule anhand seiner Beobachtungen den **1. Hauptsatz der Thermodynamik formuliert.**
Er erkannt, dass Wärme eine Form der Energie ist und Arbeit eine Erscheinungs-form der Energie ist …

Venöses Blut im kalten Heilbronn (links) und in den warmen Tropen (rechts). Die hellere Farbe in den Tropen bedeutete, dass dort die Sauerstoffkapazität des Blutes (= Äquivalent zum Energieverbrauch) weniger ausgeschöpft wird ….

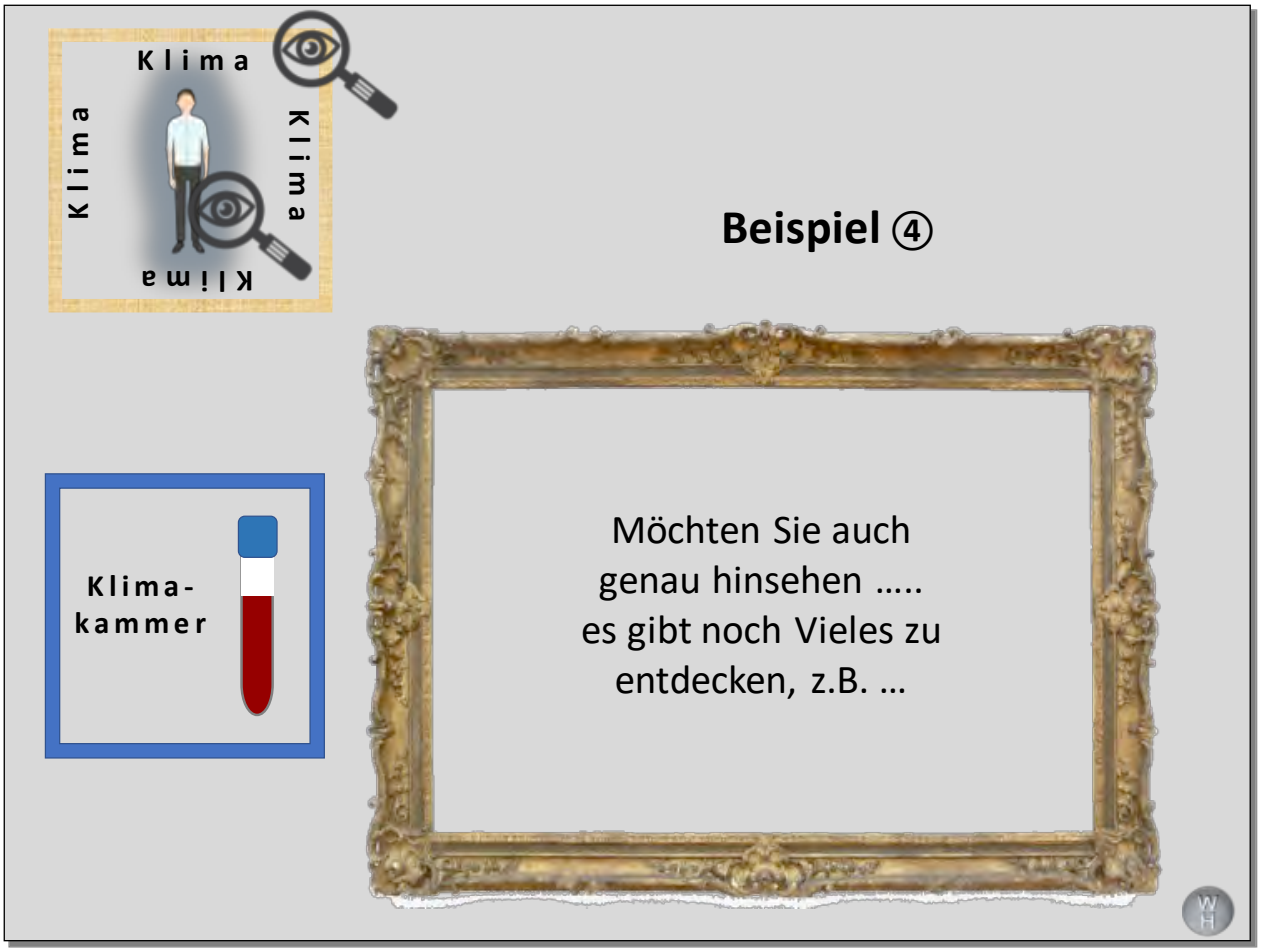
Beispiel ②

Der Heilbronner Arzt Robert Mayer hat viele Jahre vor dem Physiker Joule den 1. Hauptsatz der Thermodynamik formuliert, abgeleitet aus Beobachtungen am venösen Blut in den Tropen und in Heilbronn. Lesen Sie die Geschichte nach, sie ist spannend!

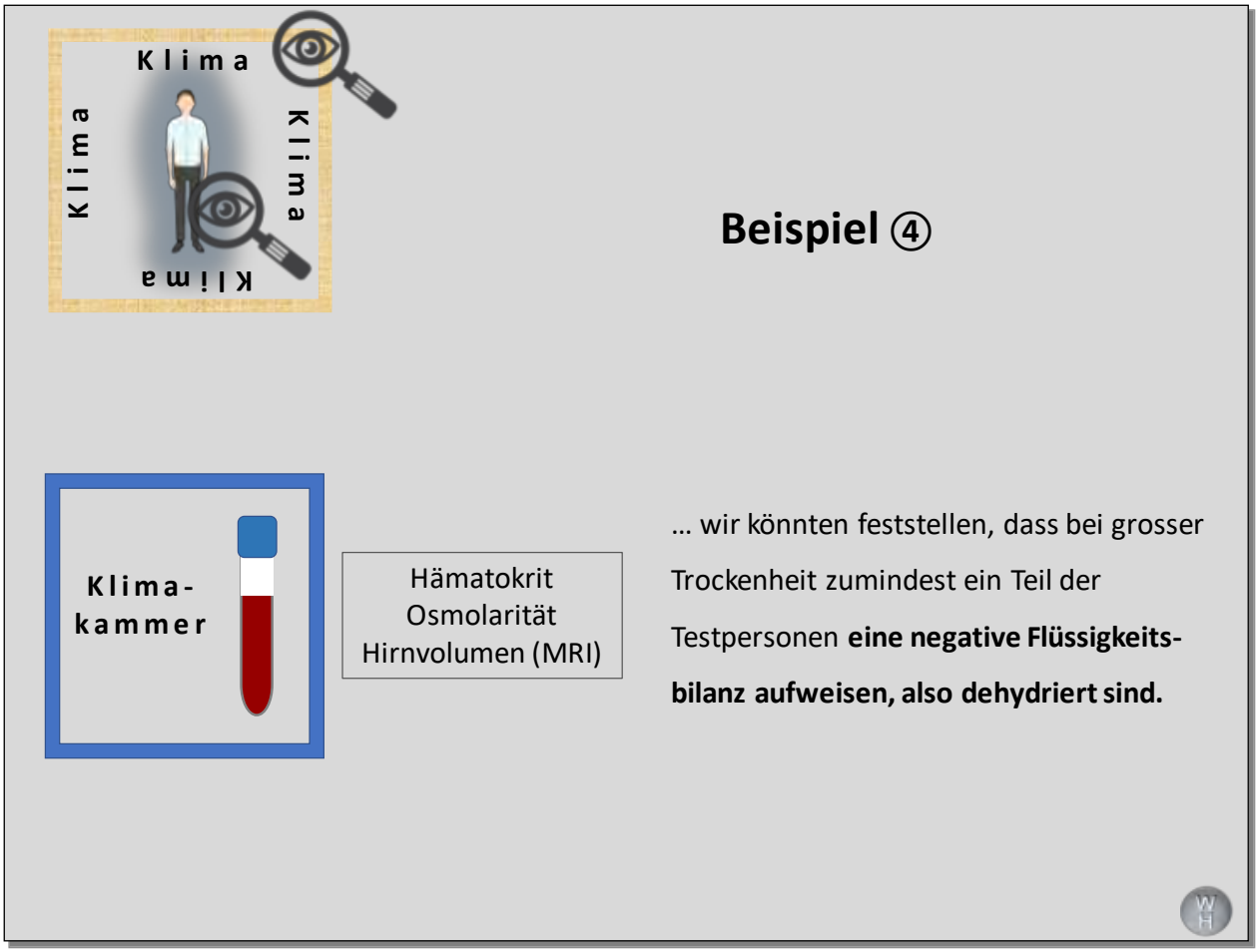


Beispiel ③

Biologen, Ingenieure und Stoffwechsel-Spezialisten schauen genau hin bei Klima-Experimenten. Sie entdecken dabei die schädlichen Auswirkungen unseres Komfortklimas auf Stoffwechsel und Energiebilanz …



Beispiel ④
Möchten Sie hier genau hinsehen … es gibt noch Vieles zu entdecken, z.B. ….



Wenn wir systematisch in Klimakammern den Einfluss von Lufttrockenheit und Konvektion auf Hämatokrit (Verhältnis vom Volumen der Blutzellen zur Blutflüssigkeit), Osmolarität und z.B. des Hirnvolumens (MRI) bestimmen würden, könnten wir mit grosser Wahrscheinlichkeit nachweisen, dass „Komfort-Klima“ zu einer latenten Dehydratation der Gebäudenutzer in der Heizsituation führt!

Ich verweise hier bereits auf die am Schluss vorzustellenden Ergebnisse eines Selbstversuches.

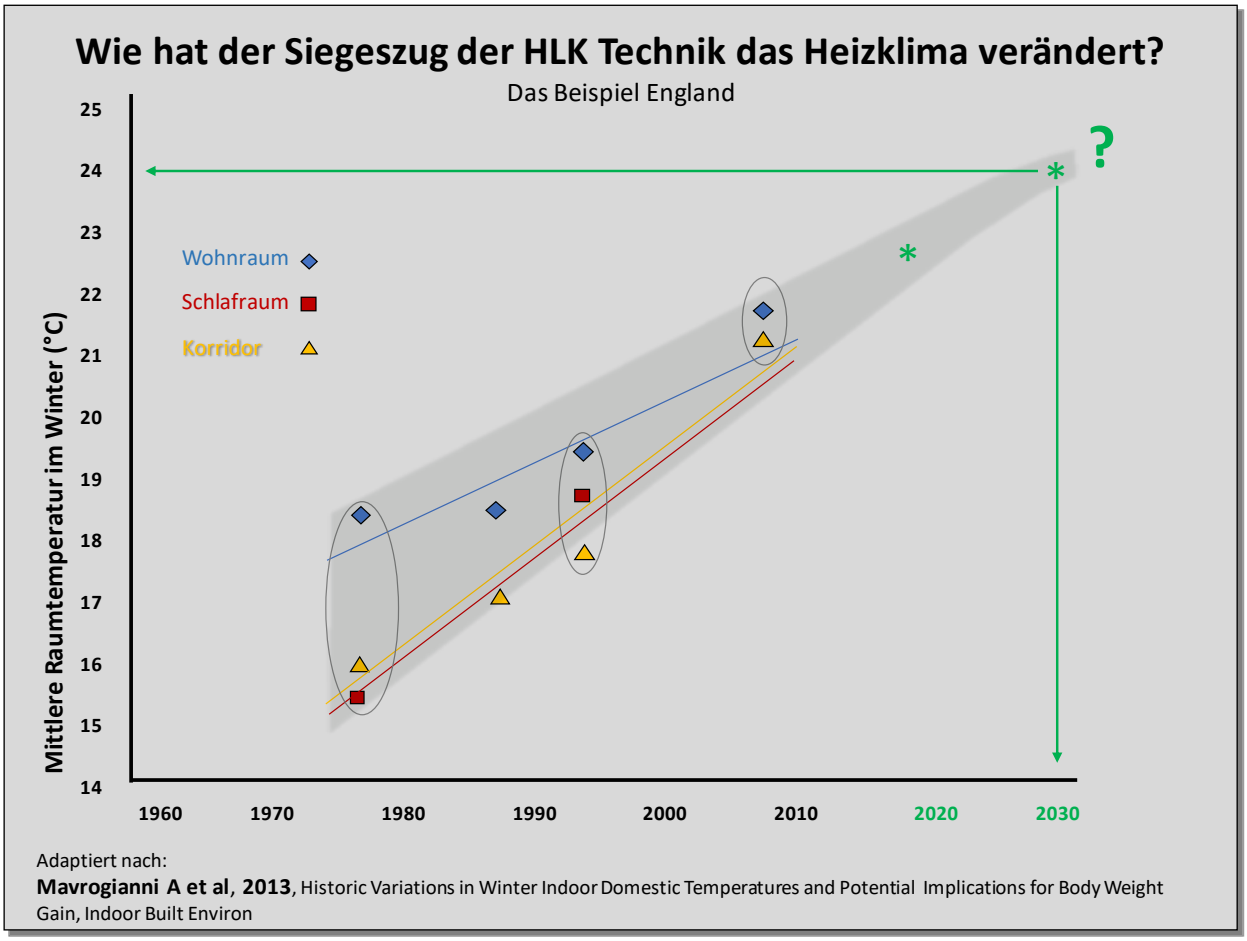
Gebäude-Qualität und Volks-Gesundheit sind eng miteinander verbunden ….
Vorlesen ……

→ Ich stelle eine Verschiebung fest vom «**Gesundheits-Ingenieur**» zum «**Komfort-Klima-Anbieter**». Eine Verschiebung der Schwerpunkte von der «**Gesundheit**» zum «**Komfort**» – **was beileibe nicht dasselbe ist!**

Wo früher kleine Fenster, massive Wände und natürliche Lüftungen das Raumklima bestimmten ….

...sind es heute luftdichte, energieeffiziente Fassaden; leichte, lichtdurchlässige Konstruktionen und mechanische Komfort- Mischlüftungen ... **das kann nicht ohne Konsequenzen bleiben!**

Es sind dies:
«stetiger Anstieg der Heiz-Temperaturen», Monotonie des Gebäudeklimas über Zeit und Raum» sowie «Trockenheit von vorher nie dagewesenem Ausmass mit Kulmination in der Heizperiode»
Offenbar sind all diese Veränderungen für eine Mehrheit der Gebäudenutzer mit Komfort und Wohlbefinden vereinbar - aber sind sie auch gesund?



Zu den Heiztemperaturen.
Sie sehen hier am Beispiel von England, wie der Siegeszug der HKL-Technik das Heizklima in den letzten 35 Jahren verändert hat. Die Heiztemperaturen sind um 4-6 Grad angestiegen und über alle Räume monoton geworden.

→ Wenn wir kein Gegensteuer geben, dann ist aus Sicht des **Komforts**, der **Marschrichtung der Lüftungstechnik** und der **menschlichen Physiologie** bis in 10-20 Jahren eine **mediane Heiztemperatur von über 24 Grad** durchaus möglich … Wollen wir das? Was wären die gesundheitlichen und energetischen Konsequenzen?

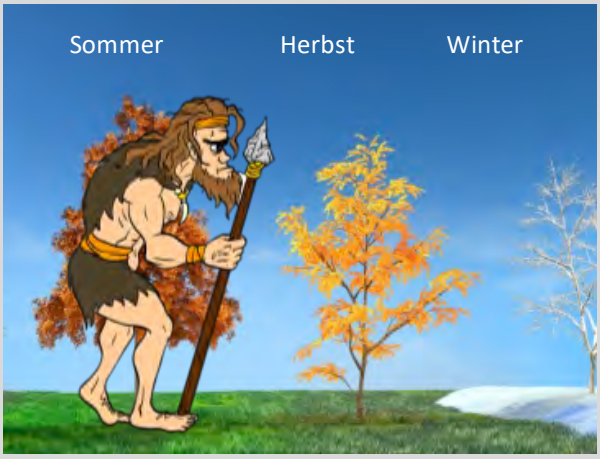
Seit Jahrzehnten bietet die TGA den Gebäudenutzern genau das Klima das sie wünschen, nach dem Motto „**Wie es euch gefällt**»
Sie kennen alle bestens die generellen und individuellen Komfortkriterien, die die TGA für eine Mehrheit zu befriedigen versucht.

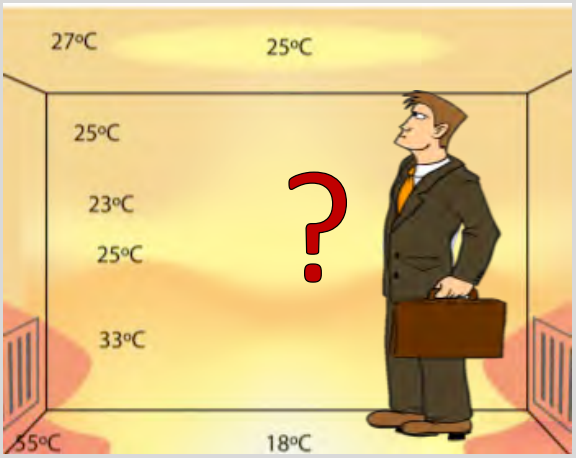
→ Es ging dabei vergessen, nach möglichen gesundheitlichen Konsequenzen zu fragen, in der falschen Annahme, dass **komfortabel** auch **gesund** sei.

Interessanterweise wird eine Komfort-Kritik von den Klimatechnikern standhaft überhört, ignoriert und „schöngeredet“, mit nicht belegten und nicht stichhaltigen Begründungen.
→ Lesen sie selbst wie argumentiert wird.

Dabei sind die die Auswirkungen der Raumluft-Trockenheit auf Haut, Schleimhäute, Atemwege und Flüssigkeitsbilanz sehr schlecht erforscht und können weder von Ärzten noch von Klimafachleuten beziffert werden!

Unsere Regelkreise für Wärme-, Energie- und Flüssigkeitsbilanzierung haben sich über Jahrtausende optimal angepasst an das schwankende, häufig knappe Angebot an Wärme, Wasser und Nahrung … sie können sich nicht in wenigen Generationen wieder zurückbilden…





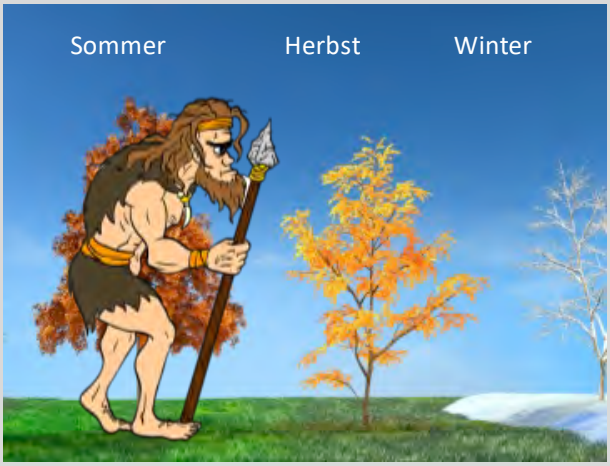
Die Regelung erfolgt streng **hierarchisch** nach **Priorität** der Ressource:

Priorität	Ziel	Regelung
① Wärme-Bilanz	→ Kerntemperatur halten	→ Wärmeaufwand minimieren
② Flüssigkeits-Bilanz	→ Austrocknung vermeiden	→ Wasserverlust minimieren
③ Energie-Bilanz	→ Energie optimal nutzen	→ Überschuss in Fett speichern

Wir können die Auswirkungen des Komfortklimas auf unsere Gesundheit nur verstehen, wenn wie unsere Evolution mitberücksichtigen.

Unsere Regelkreise für Wärme-, Energie- und Flüssigkeitsbilanzierung haben sich **über Jahrtausende** optimal angepasst an das schwankende, häufig knappe Angebot an Wärme, Wasser und Nahrung … sie können sich nicht in wenigen Generationen wieder zurückbilden.
→ Vorlesen 2., 2. 3. Priorität

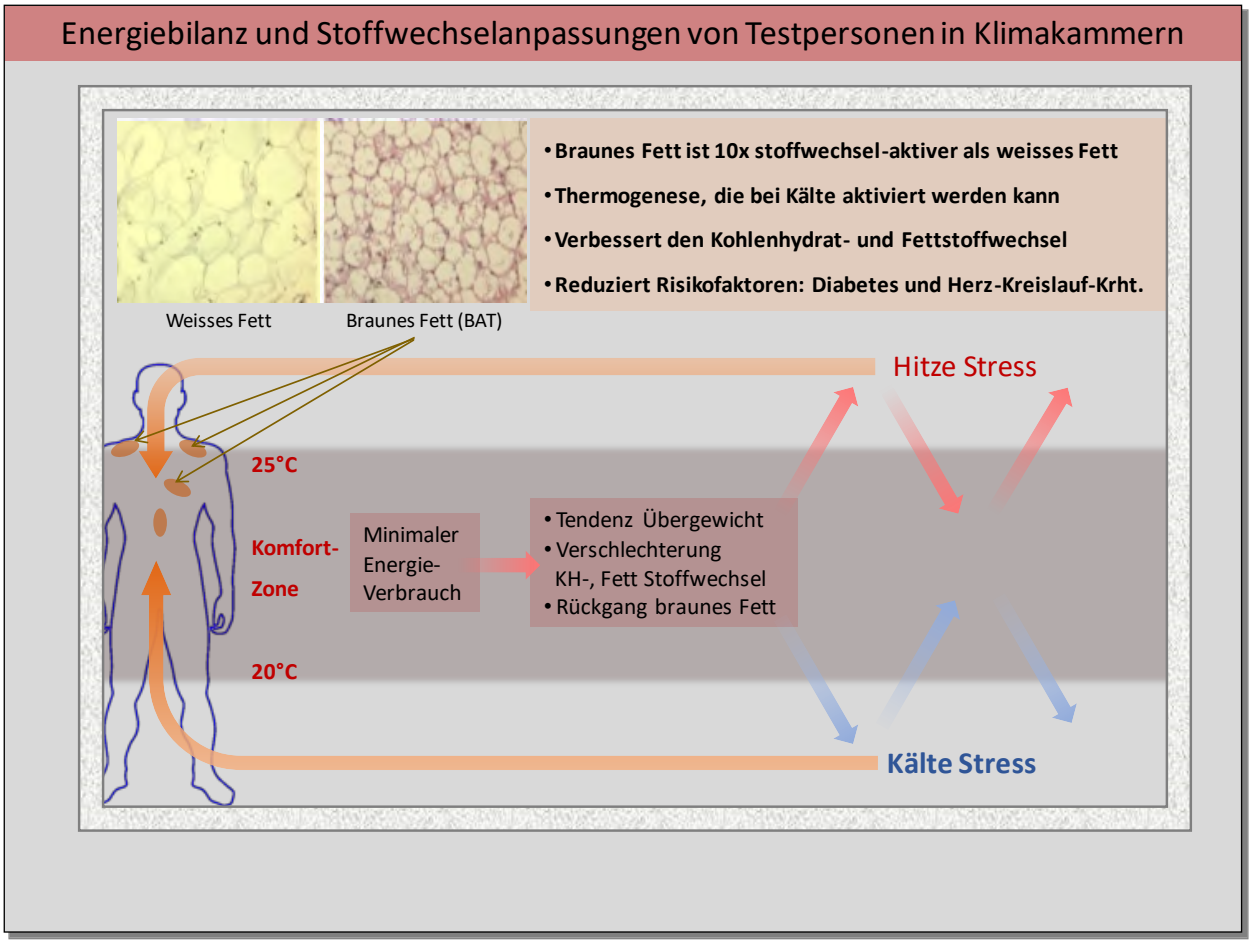
Was geschieht mit dem Bürolisten im **Komfortklima,** wenn sie die eben genannten Prioritäten berücksichtigen**?**



Regelung erfolgt streng **hierarchisch** nach **Priorität** der Ressource:

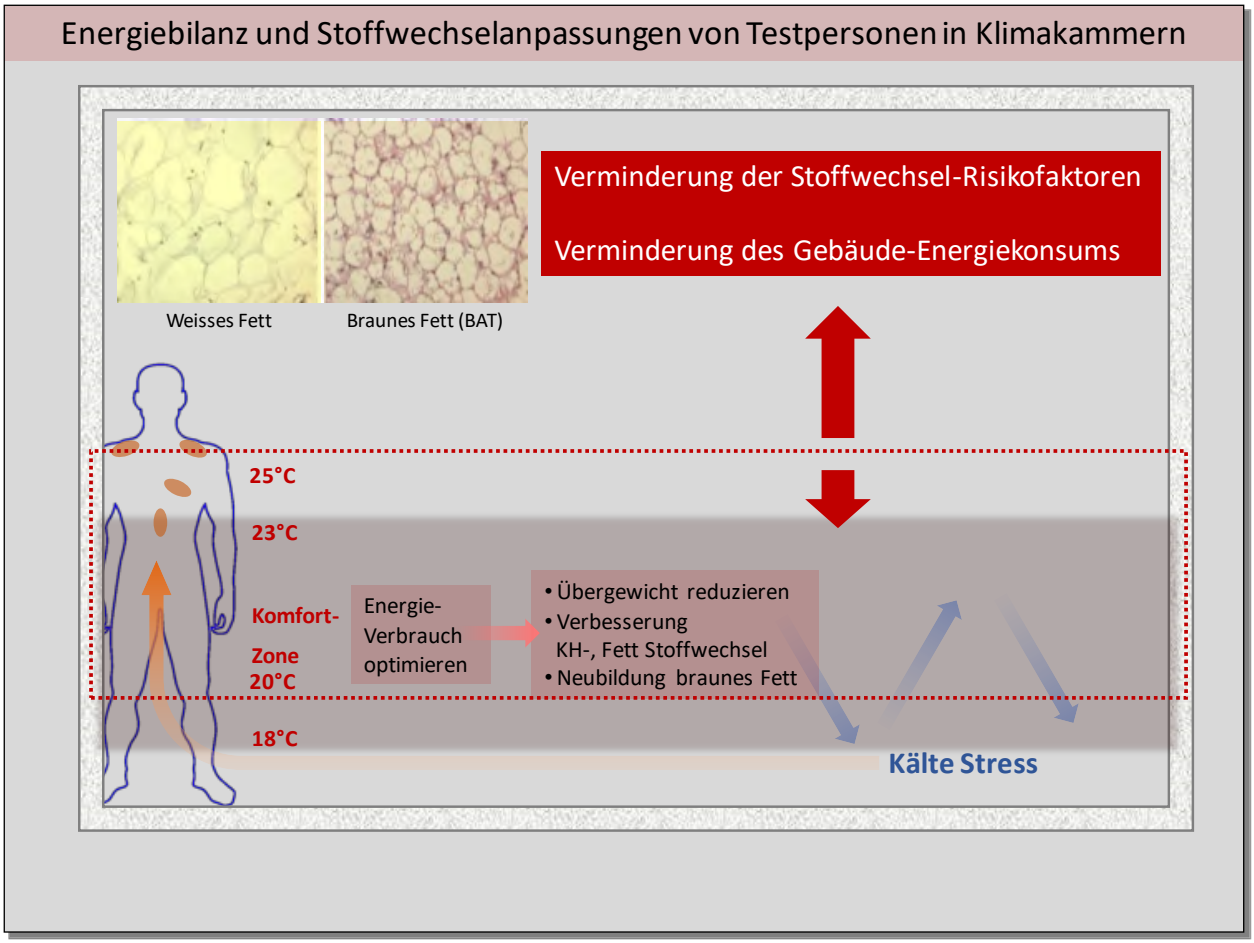
Priorität	**Ziel**	**Regelung**
① Wärme-Bilanz	→ Kerntemperatur halten	→ Energieaufwand minimieren
② Flüssigkeits-Blanz	→ Austrocknung vermeiden	→ Wasserverlust minimieren
③ Energie-Bilanz	→ Energie optimal nutzen	→ Überschuss in Fett speichern

Die Regelkreise, die sich im Überlebenskampf der Eiszeiten bewährt haben, **bergen die Gefahr von**: Bitte lesen!!!

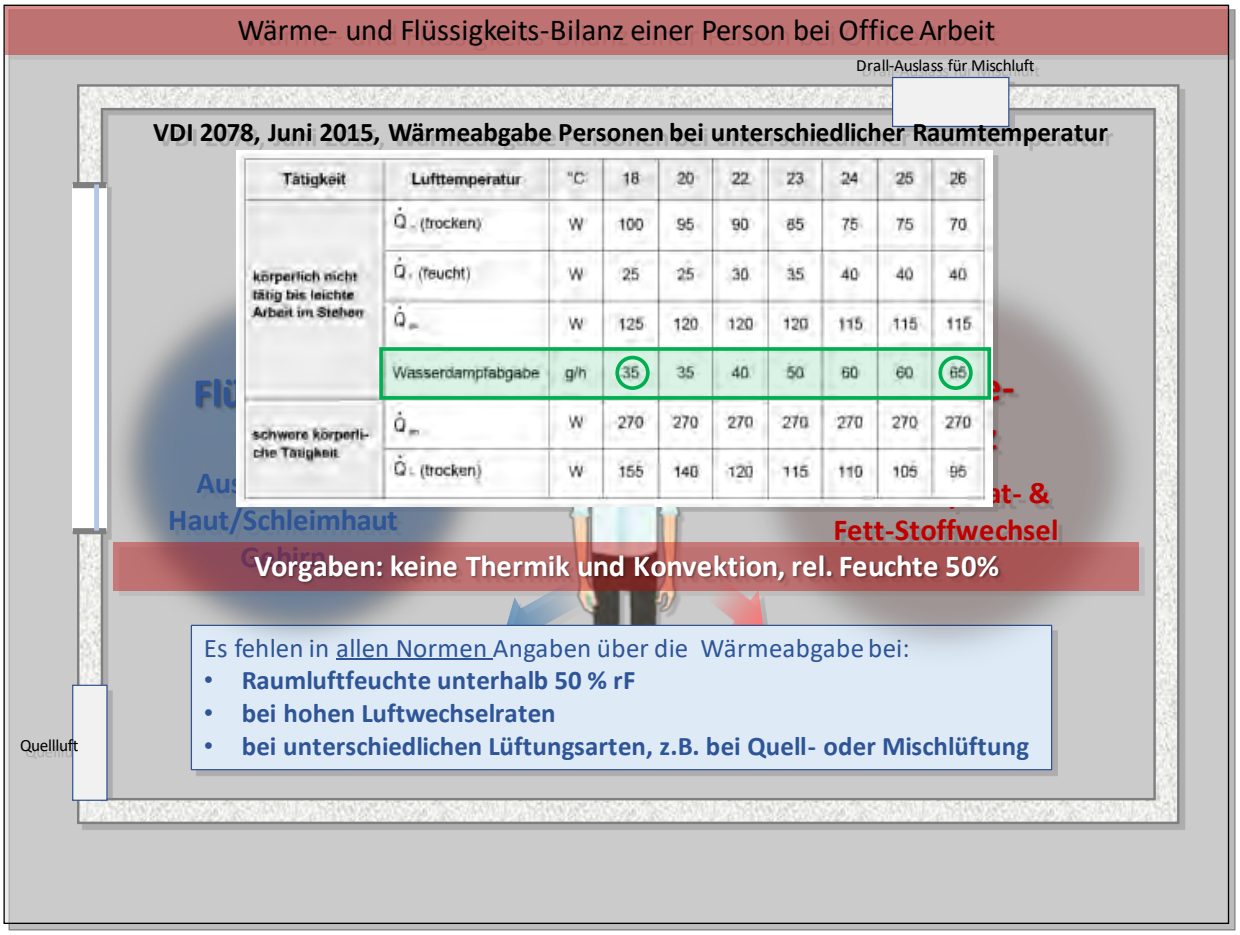


Betrachten wir die **Energiebilanz** und die **Stoffwechsel-Anpassungen** von Testpersonen in Klimakammern.
Die Stoffwechselforschung hat einen neuen Kick bekommen, seit vor gut 10 Jahren entdeckt wurde, dass **braunes Fett** bei vielen Erwachsenen und nicht nur bei Säuglingen vorkommt.
Im Gegensatz zum weissen Fett, das reine Speicherfunktion hat, ist das braune Fett 10x stoffwechselaktiver.
Der Säugling braucht es zur Wärmeproduktion und damit zur Verhinderung der Auskühlung.
Die Aktivität des braunen Fettes verbessert auch den Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel und reduziert damit die Risikofaktoren für Diabetes und Herz-Kreislauf-Erkrankungen.

→ wenn wir uns fast ausschliessliche in der Temperatur-Komfortzone aufhalten, sparen wir Wärmeenergie ein, nehmen aber dafür ein erhöhtes Risiko von Übergewicht und eine Stoffwechselverschlechterung in Kauf.
→ Experimente in Klimakammern zeigen, dass schon wenige Stunden «**Kälte-Stress**» oder «**Hitze-Stress**», wenige Grade ausserhalb der Komfortzone, führen dazu, dass das braune Fett aktiviert wird und vermehrt gebildet wird.

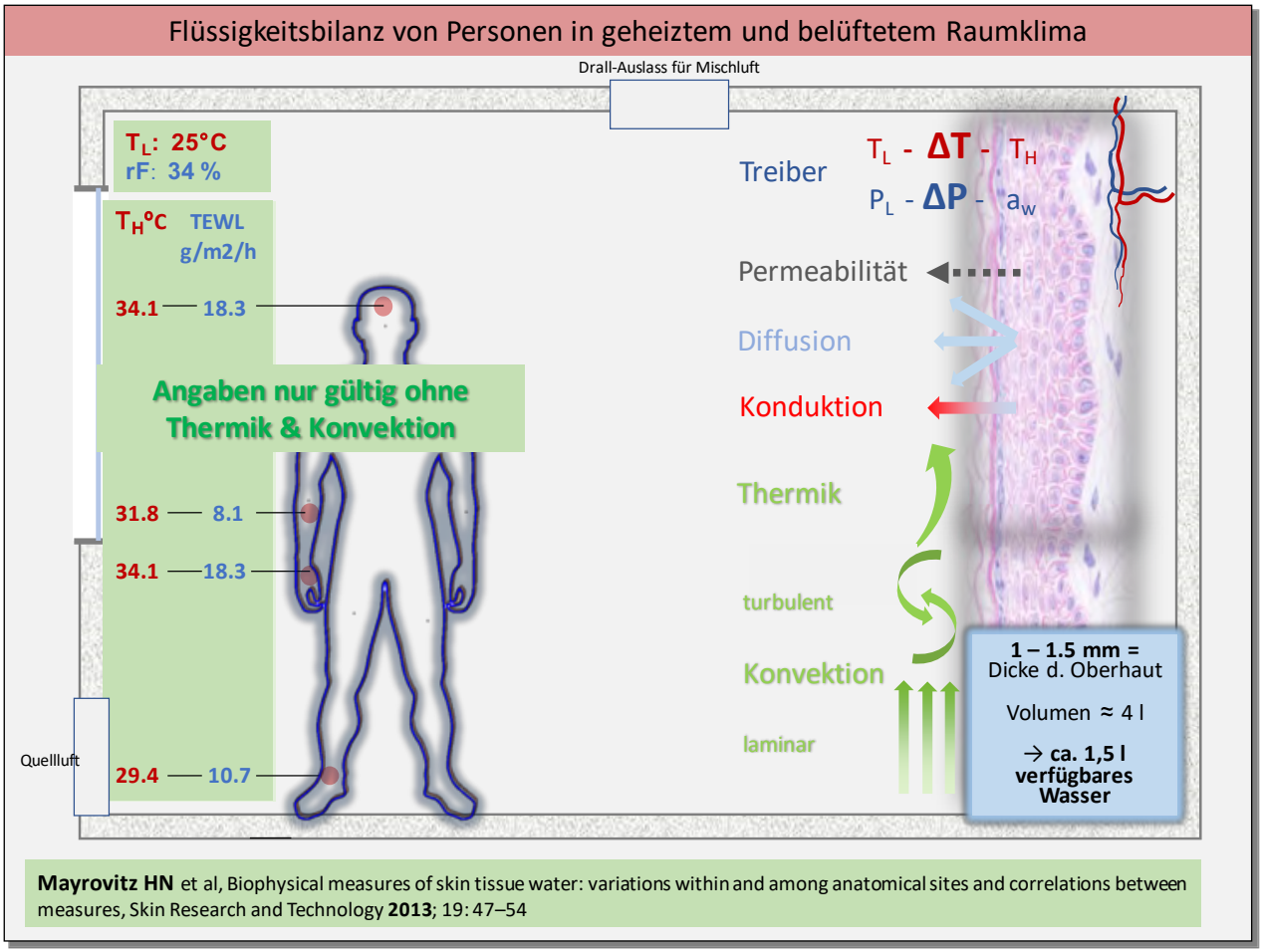


→ wenn es gelingen sollte, die Bevölkerung mit gesundheitlichen Argumenten dahingehend zu motivieren, 2 Grad tiefere Heiztemperaturen zu akzeptieren, wäre ein **wichtiger** und **richtiger** Schritt in Richtung eines **gesünderen Raumklimas getan,** begleitet zusätzlich von einer **erheblichen Energie-Einsparung** im Gebäudesektor.



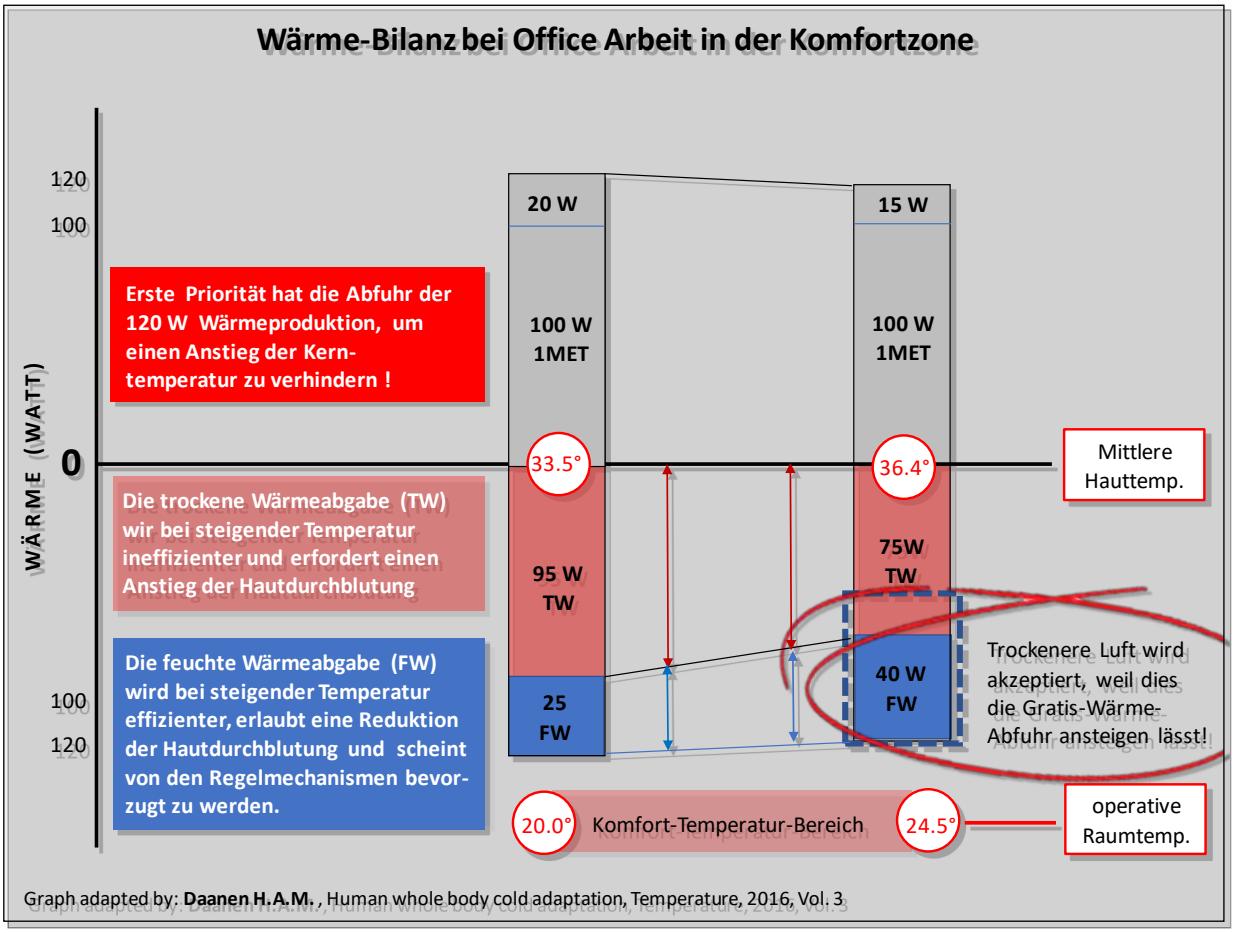
Wie sieht die **Wärme- und Flüssigkeitsbilanz** einer Person bei Office-Arbeit aus.
→ in der neuesten Ausgabe der VDI fehlt die viel diskutierte Tabelle, die hier abgebildet ist. Die dortigen Angaben gehen aber nach wie vor von den unrealistischen Annahmen aus von fehlender Thermik und Konvektion sowie einer rel. Feuchte von 50%.

→ Tatsache ist: Es fehlen in allen Normen Angaben über die Wasserdampfabgabe bei: Raumluftfeuchte unterhalb 50 % rF, bei hohen Luftwechselraten, bei unterschiedlichen Lüftungsarten, z.B. bei Quell- oder Mischlüftung.

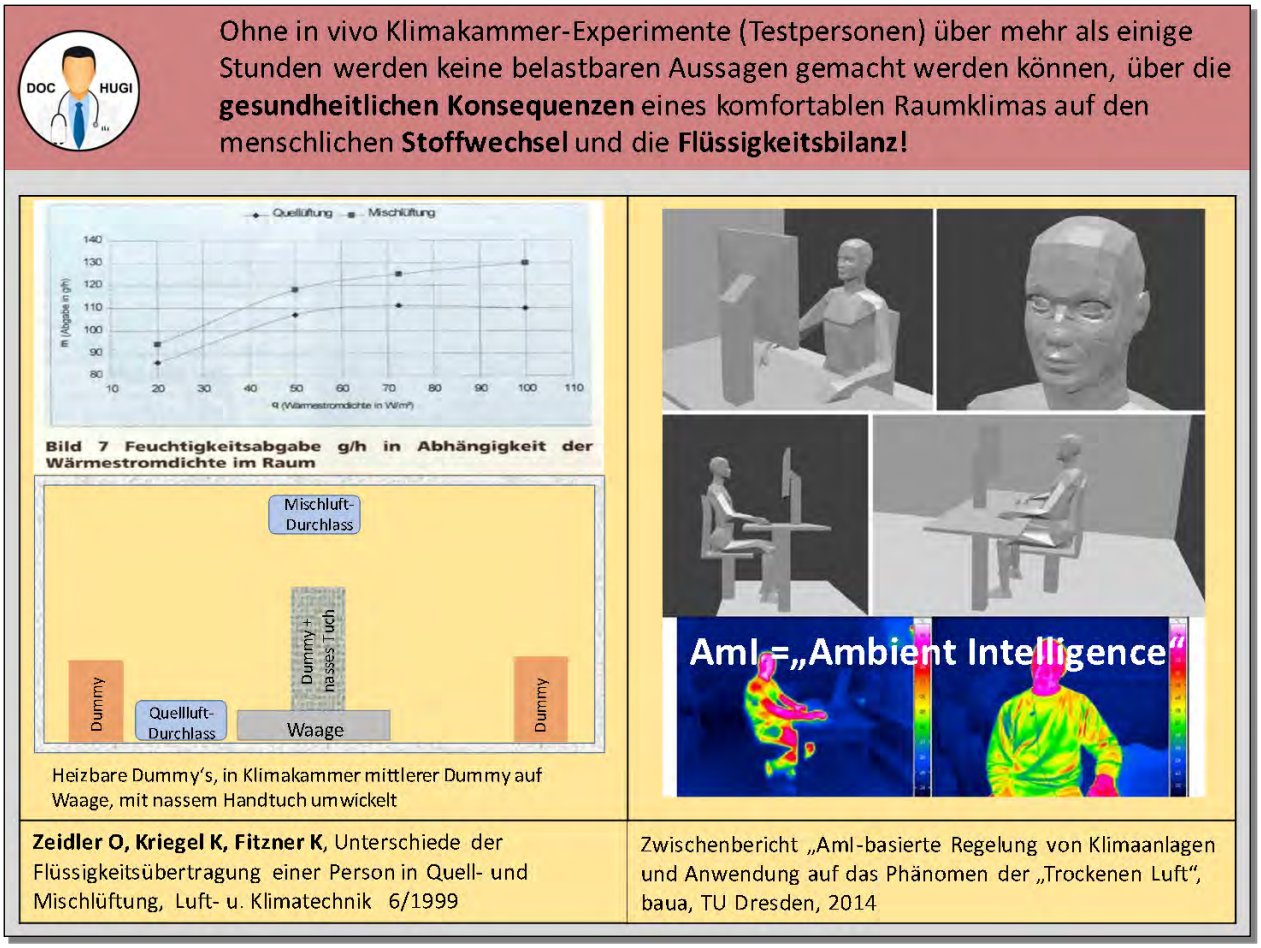


Der Grund dafür ist rasch gefunden: die physikalischen Randbedingungen in der Grenzzone zwischen menschlicher Haut und bewegter Luft sind **hochgradig instabil** und werden von so vielen Parametern mitbestimmt, dass sich weder mathematisch noch messtechnisch zuverlässig erfassbar sind.

Sie sehen auf diesem Diapositiv die Einflussfaktoren, auf die ich aus Zeitgründen nicht eingehen kann.



Kehren wir zurück zur Wärmebilanzierung in eine Office-Situation.
Das Diapositiv veranschaulicht die Wärmebilanz in der sogenannten **funktionellen Thermo-Neutralen–Zone** mit den Watt-Zahlen für die Wärmeproduktion (nach oben) und die **trockene** und **feuchte** Wärmeabgabe nach unten gerichtet. Auf der Null-Achse sind ebenfalls die mittleren Hauttemperaturen bei der entsprechenden operativen Raumtemperatur angegeben.
→ Erste Priorität hat die Abfuhr der 120 Watt Wärmeproduktion, um einen Anstieg der Kerntemperatur zu verhindern!
Bei steigender Raumtemperatur erkennen wir, dass die Effizienz der trockenen Wärmeabgabe (TW) **abnimmt,** weil die mittlere Hauttemperatur ansteige von 28° auf fast 37°. Gleichzeitig ist die Effizienz der Feuchte Wärmeabgabe **zunehmend**.
→ Die trockene Wärmeabgabe (TW) erfordert bei steigender Raumtemperatur trotz zunehmender Ineffizienz einen starken Anstieg der Hautdurchblutung.
→ Die feuchte Wärmeabgabe (FW) ist aus Sicht des Körpers eine **Gratis-Energieabfuhr,** die keine Kreislauf-Anpassung verlangt.
Evolutiv angenommen Regelmechanismen führen dazu, dass die Raumbenutzer jede Offerte für eine höhere Raumtemperatur mit Wohlgefallen aufnehmen werden und sich immer mehr dem Grenzwert von 24.5 Grad annähern werden, ganz nach dem Motto „Wie es euch gefällt“.
→ Aus demselben Grund werden die Raumnutzer tiefere Luftfeuchtigkeit jederzeit (zumindest kurzfristig!) begrüssen, da sie die feuchte Wärmeabgabe erleichtert. Die Wärmebilanz hat, wie bereits erwähnt, Priorität gegenüber der Flüssigkeitsbilanz.
→ die Frage, wie weit in dieser Komfortzone der Wasserverlust gehen kann, beschäftigt nicht nur mich, sondern auch die Klima-Branche.



Schon 1999 haben **Zeidler, Kriegel und Fitzner** mit **geheizten Dummys auf einer Waage und nassen Handtüchern nachgewiesen,** dass Quelllüftung neben vielen anderen Vorteilen auch zu einer um 14% geringeren Austrocknung führte und dass dieser Unterschied mit steigender Wärmestromdichte zunimmt.
Aktuell ist nach meinem Wissenstand immer noch ein Forschungsprojekt der TU Dresden und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin am Laufen, das mit „**Ambient Intelligence**" diese Fragestellungen anzugehen versucht.
→ ich bin der Meinung, dass beide Forschungsansatz keine realistischen und belastbaren Quantifizierungen erlauben werden.
Vorlesen: Ohne in vivo Klimakammer-Experimente (Testpersonen) über **mehr als einige Stunden** werden keine belastbaren Aussagen gemacht werden können, über die Auswirkungen des komfortablen Raumklimas auf die menschliche Flüssigkeits- und Wärme-Bilanz.

Santorius, 1561 - 1636, italienischer Arzt, Entdecker der Perspiratio insensibilis, des unsichtbaren Flüssigkeitsverlustes, nachgewiesen mit Gewichtsbilanzierung im Selbstversuch

Selbstversuch 7./8. Feb. 2010, Gewichts- & Flüssigkeitsbilanzierung über 32 Std. mit geeichter Präzisionswage (KERN, DS 100K1, bis 100 kg, ± 1g)
Raumklima: 18-20% rF und 27-29 °C

Erinnern wir uns doch einfach an das, was Santorius schon vor 400 Jahren gemacht hat, um die Perspiratio insensibilis zu quantifizieren: Gewichts- und Flüssigkeitsbilanzen.

Mit Hilfe von **modernen Präzisionswagen** lassen sich m.E. der transdermale und respiratorische Flüssigkeitsverlust präziser ermitteln als mit jeder anderen Methode! Es lässt sich damit auch sehr schön die **zeitabhängige Dynamik** der TEWL aufzeigen. Der respiratorische Wasserverlust für sich genommen, lässt sich gut berechnen und damit herausrechnen.

Ich habe vor 8 Jahren einen 32 stündigen Selbstversuch gemacht. Sehen sie hier die damaligen Messresultate:

Trotz Trinkmenge von 2100ml ergab sich für mich in 24 Std. ein Flüssigkeits-Defizit von 510 ml
Das Flüssigkeitsdefizit von 0.6% der Körpergewichtes führte zu einem Hämatokrit-Anstieg von ebenfalls präzis 0,6%

Zufuhr
2100 ml Trinken
flüssig Essen

Ausfuhr
800 ml Urin
Stuhl

1810 ml **Flüssigkeits-Verlust total Atmung und transdermal**

Gewichts- und Flüssigkeitsbilanz - Selbstversuch in heiss-trockenem Raumklima
32 Std. bei rel. Feuchte 18 - 20% und Temperatur 27 - 29 °C

Uhrzeit 2 h Intervall	Gewicht (g) Beginn	Zufuhr (ml) Trinken	Ausfuhr (ml) /Stuhl	Gewicht (g) Ende	Gewichts-Verlust (g/h)	Flüssigkeitsverlust Perspiratio insensibilis
07.02.10						
24.00	81860					
02:00				81720	70.0	
04.00				81540	90.0	
06.00				81360	90.0	erste 12 h
08.00				81190	85.0	81,3 g/h
10.00				80830	82.5	
12.00		430		81120	70.0	
14.00		250		81250	60.0	
16.00				80890	77.5	
18.00		320		81070	70.0	tagsüber 12 h
20.00		300		81050	75.0	69.6 g/h
22.00		500	130	81260	80.0	
24.00		300		81350	55.0	
08.02.2010						
24.00	81350					
02.00				81260	45.0	
04.00				81160	50.0	8 Nachtstunden
06.00				81040	60.0	52.5 g/h
08.00				80660	50.0	

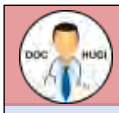
Totaler Flüssigkeitsverlust durch Atmung und insensibles Schwitzen erste 24 Std. = **1810 ml, 75,5 g/h**
Körpergewicht alle 2 Std. mit geeichter Präzisionswaage bestimmt (KERN, DS 100K1, bis 100 kg, ± 1g)
Trinken /Ernährung ausschliesslich flüssig, abgewogen, Urin und Stuhl gewogen

Die Tabelle zeigt meine **Gewichtsbilanzierung** in den ersten 24 Stunden und während 8 Stunden der darauffolgenden Nacht.
Grau hinterlegt die **Gewichtswerte**, violett und gelb hinterlegt **Zufuhr und Ausfuhr** und blau hinterlegt der **Wasserverlust pro Stunde.**

Sie erkennen, dass der Wasserverlust in den ersten 12 Std. **bis maximal 90 g/h** ansteigt, sich in den zweiten 12 Stunden bei **70g/h einpegelt. I**n der Nacht sinkt der Wasserverlust aus naheliegenden Gründen auf minimale Werte von rund **50 g/h** ab. → hier die Zufuhr und Ausfuhr der ersten 24 Std.
→ hier die Zufuhr und Ausfuhr der ersten 24 Std.
→ es ergibt sich in den ersten 24 Std. ein **Flüssigkeitsverlust von 1810 ml.** Dies bei Klimaverhältnissen, wie sie in einem Flugzeug durchaus vorkommen.

→ Faktisch habe ich trotz einer Trinkmenge von 2100 ml in 24 Std. ein Flüssigkeitsdefizit von 510 ml erlitten. Das entspricht 0.6% meines Körpergewichtes. Die Hämatokrit-Messungen ergaben einen Anstieg von ebenfalls exakt 0.6%!

(Wenn wir annehmen, dass ich 24 Std. nicht getrunken und gegessen hätte, hätte ich bei diesen Bedingungen in 24 Std. **mehr als 3% meines Körpergewichtes an Flüssigkeit verloren**, d.h. ich wäre schwer dehydriert und mein Hirn würde nicht mehr ordnungsgemäss funktionieren).



Empfehlungen von DOC HUGI

Würde die Bevölkerung, **um 2 Grad tiefere Heiztemperaturen** aus gesundheitlichen Gründen tolerieren, wäre ein wichtiger und richtiger Schritt in Richtung eines **gesünderen Raumklimas** getan, gepaart mit einer erheblichen **Energieeinsparung** im Gebäudesektor.

Quell-Lüftungen haben aus gesundheitlicher **und** energetische Sicht **nur** Vorteile

- deutlich geringere konvektive Flüssigkeitsverluste → weniger Trockenheitsempfindung
- höhere Effizienz (30% niedrigere Volumenströme) bei vorteilhafter Anreicherung der Schadstoffe oberhalb unserer Atemwege)

Die **positiven Auswirkungen** eines aus gesundheitlicher Sicht **optimierten Raumklimas (T, rF und Lüftung)** auf unser **Risikoprofilefür Herzkreislauferkrankungen** (Wärmebilanz, Luftschadstoffe) und **Lungenerkrankungen** (Luftschadstoffe) lassen sich heute noch nicht beziffern, sind aber unbestritten.

Die **Auswirkungen moderner Klimatechnik** (turbulente Mischlüftung, hohe Luftaustauschraten, steigende Heiztemperaturen) werden unterschätzt, sind weitgehend unbekannt und sollten dringend **mit Klimakammer-Experimenten untersucht werden**.
Ich biete gerne meine diesbezügliche medizinische Expertise denjenigen an, die diesen Fragen nachgehen möchten (walter.hugentobler@uzh.ch)

Diese Unterlagen wurden dem SVLW zur Veröffentlichung zugestellt. Herzlichen Dank.