

## Ventilation – en nødvendig forudsætning !

Per Heiselberg  
Institut for Byggeri og Anlæg  
Aalborg Universitet

## EU's klima- og energiplan

- 20% reduktion af CO<sub>2</sub> udslip i 2020
- 20 % vedvarende energi i 2020 (I Danmark dog 30%)
- 20% reduktion i energiforbruget i 2020

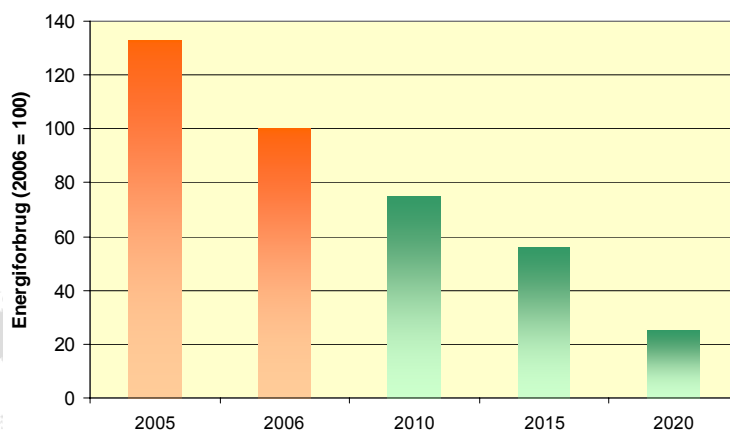


## Energipolitisk aftale 21. februar 2008

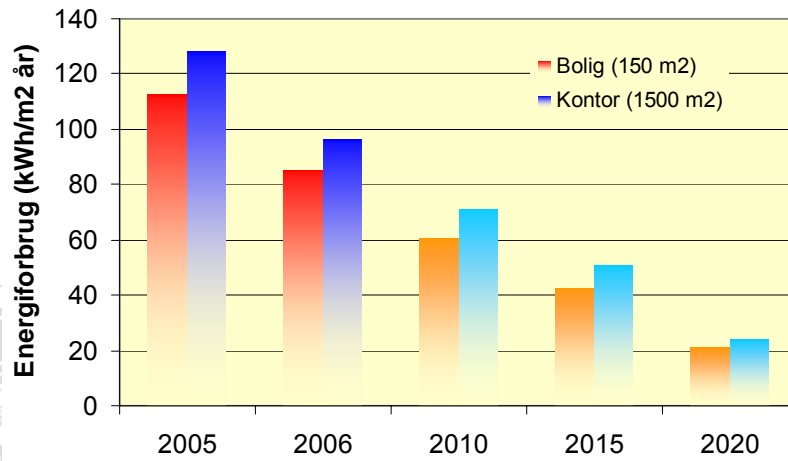


- 20% vedvarende energi i 2011
  - Kampagne til fremme af varmepumper (30 mio. kr. over to år)
  - 25 mio. kr. årligt i fire år til forsøg med solceller, bølgekraft m.m.
- Energibesparelser på gennemsnitligt 1,5% i 2010-2020 (i alt ca. 16%)
  - Kampagner og videntcenter om energibesparelser i bygninger (20 mio. årligt i 2008 til 2011. Derefter 5-10 mio. årligt)
  - Krav til energiforbrug i nye bygninger skærpes med mindst 25 pct. i tre omgange –til mindst 75 pct. mindre i 2020.
  - Energiselskaberne skal levere en stigende andel af de øgede besparelser
  - Kommunale fjernvarmeselskaber kan gå ind i fjernkølingsaktiviteter

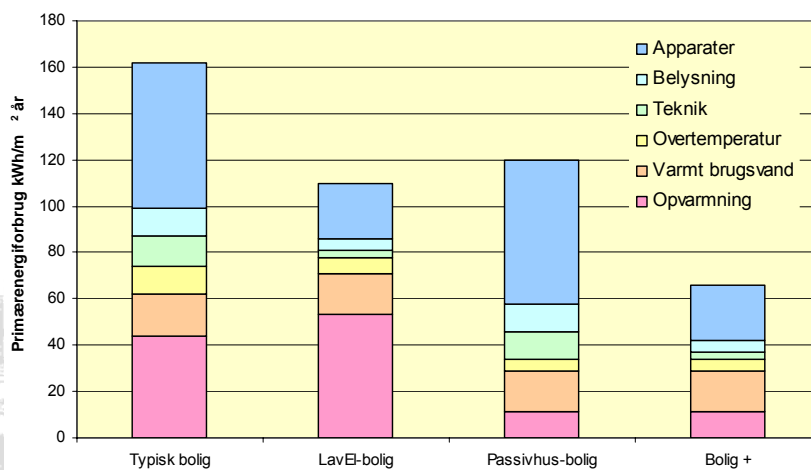
## Udvikling i maksimalt energiforbrug i nye bygninger



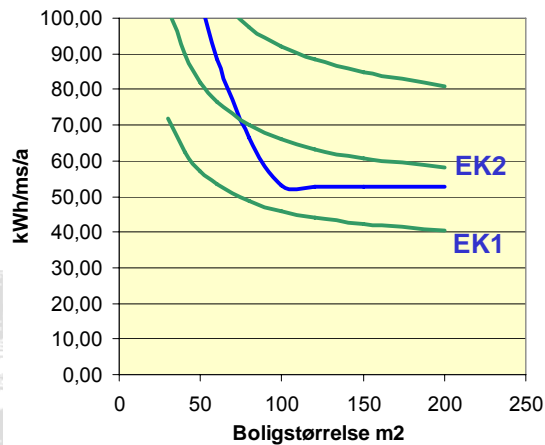
## Udvikling i maksimalt energiforbrug i nye bygninger



## Primærenergiforbrug



## Energitab Boligventilation – Gårdagens teknologi



— Opvarmning

Forudsætninger

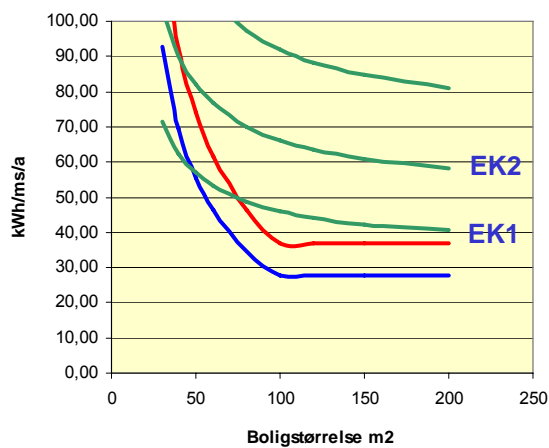
Indetemperatur:  $t_i = 22 \text{ }^\circ\text{C}$

Varmegenvinding: 0 %

Lufttransport: 0 J/m<sup>3</sup>

Luftmængde:  
 $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ , min 0,035 l/s

## Energitab Boligventilation – Dagens teknologi



— Opvarmning

— Opvarmning og transport

Forudsætninger

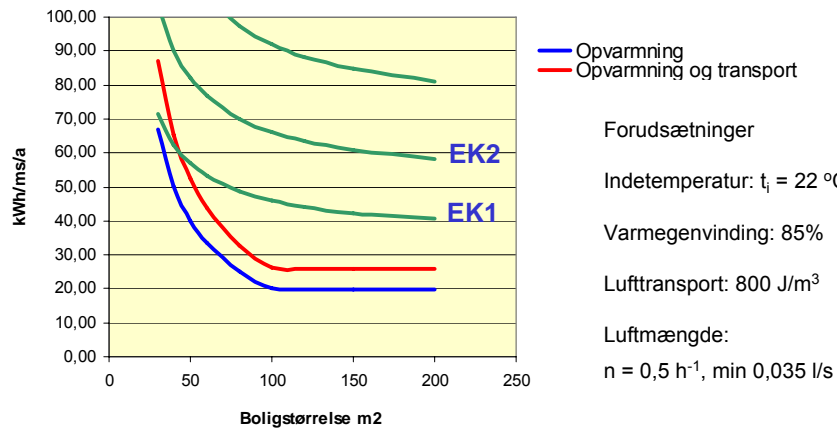
Indetemperatur:  $t_i = 22 \text{ }^\circ\text{C}$

Varmegenvinding: 65%

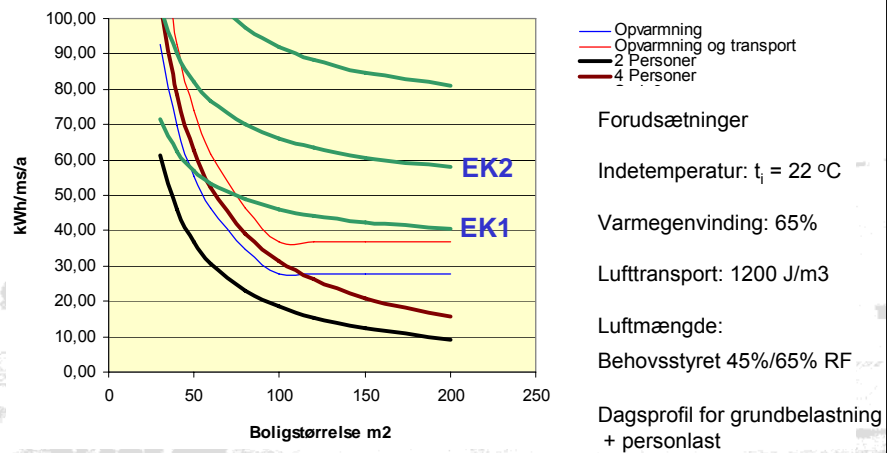
Lufttransport: 1200 J/m<sup>3</sup>

Luftmængde:  
 $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ , min 0,035 l/s

## Energitab Boligventilation – Forbedret teknologi



## Energitab Boligventilation - Behovsstyring



## Karakteristika og udfordringer

### – opvarmning, køling og ventilation i nye boliger

- Opvarmning kun nødvendigt midvinter (kun sydvendte vinduer bidrager til passiv solvarme)
- Opvarmning har et lavt kapacitetsbehov (10-15 W/m<sup>2</sup>)
  - Kan den være luftbåren ?
  - Individuel regulering af temperatur ?
- Ventilation (infiltration) relativ stor betydning for energiforbrug til opvarmning
  - Balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding/forvarmning i vinterperioden
  - Behovsstyring (brugbare kriterier for komfort og sundhed)
  - Lavt tryktab (varmegenvinding, korte føringsveje)
  - God effektivitet
- Varmelaster kan være store i forhold til varmetab
  - Giver et meget dynamisk system
  - Resulterer i kølebehov i boliger om sommeren
  - Udjævning og omfordeling ved aktivering af termisk kapacitet / termisk lagring
- Udnyttelse af vedvarende energikilder (low exergy systems)

## Karakteristika og udfordringer

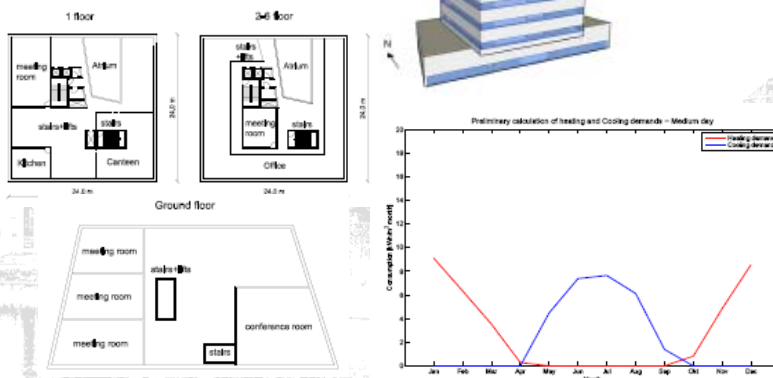
### – opvarmning, køling og ventilation i nye kontorer

- Opvarmning kun nødvendigt midvinter udenfor brugstiden
- Opvarmning har et lavt kapacitetsbehov (10-15 W/m<sup>2</sup>)
  - Kan den være luftbåren ?
- Ventilation (infiltration) relativ stor betydning for energiforbrug til opvarmning
  - Varmegenvinding/forvarmning i vinterperioden
  - Behovsstyring (brugbare kriterier for komfort og sundhed)
  - Lavt tryktab (varmegenvinding, korte føringsveje)
  - Bedre effektivitet (lokal eller personlig ventilation)
- Interne varmelaster vil være store i forhold til tab
  - Køling i brugstiden og om natten om sommeren (natkøling)
  - Udjævning ved forvarmning af ventilationsluft
  - Dynamisk system – intelligent styring
- Udnyttelse af vedvarende energikilder (low exergy systems)

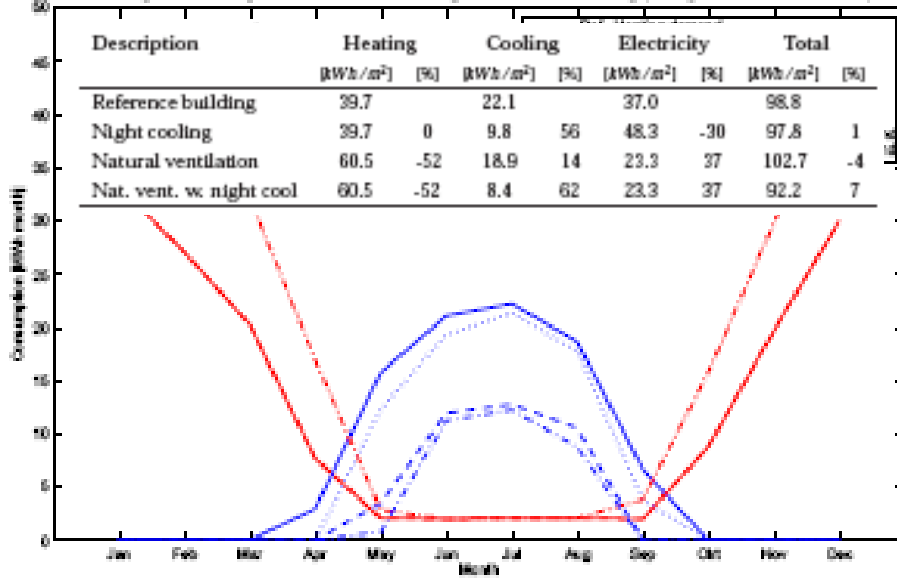
## Example: Office Building

Energy use 98,8 kWh/m<sup>2</sup> y

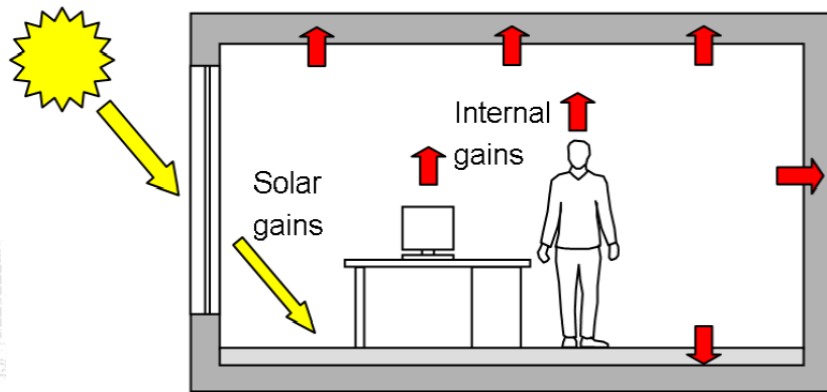
Heating 39,7 kWh/m<sup>2</sup> y  
 Cooling 22,1 kWh/m<sup>2</sup> y  
 Electricity 37 kWh/m<sup>2</sup> y



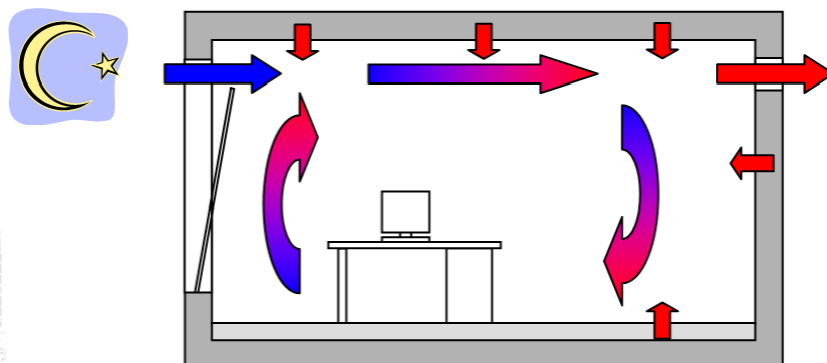
Heating and cooling demand for the building - Reference building (Design case 12, 15 and 16)



### Day-time Heat Absorption

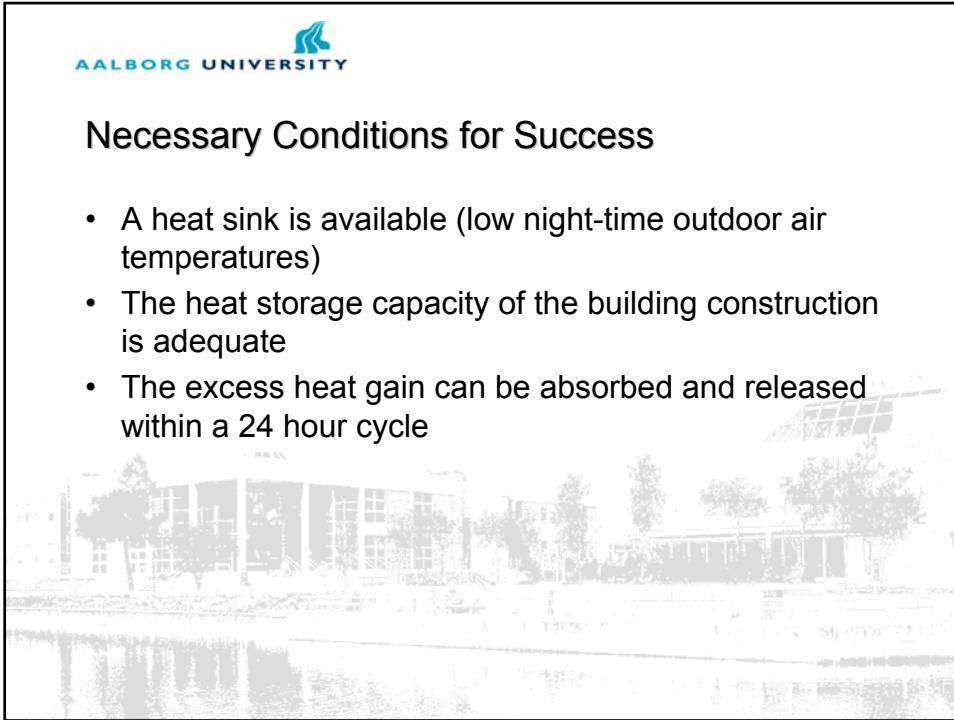


### Night-time Heat Release

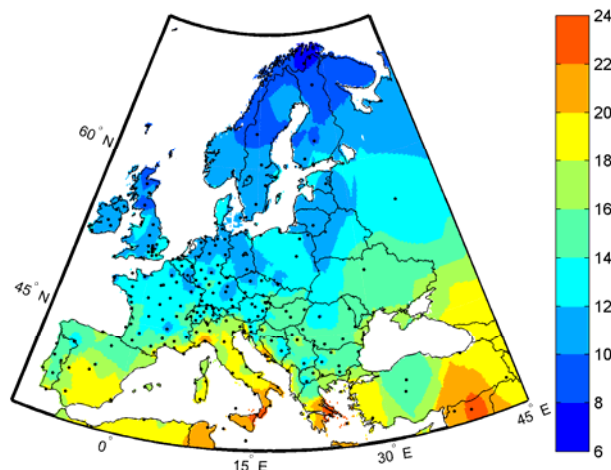


## Necessary Conditions for Success

- A heat sink is available (low night-time outdoor air temperatures)
- The heat storage capacity of the building construction is adequate
- The excess heat gain can be absorbed and released within a 24 hour cycle

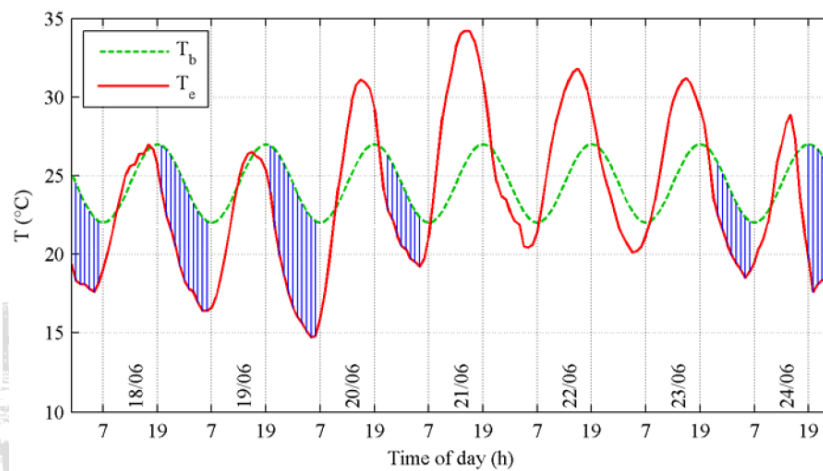


## Daily Minimum Temperature July



Meteonorm Data

## Climatic Cooling Potential



## Climatic Cooling Potential

- The mean climatic potential for ventilative cooling during a time period of  $N$  nights, CCP, is defined as a summation of products between building/external air temperature difference and time interval:

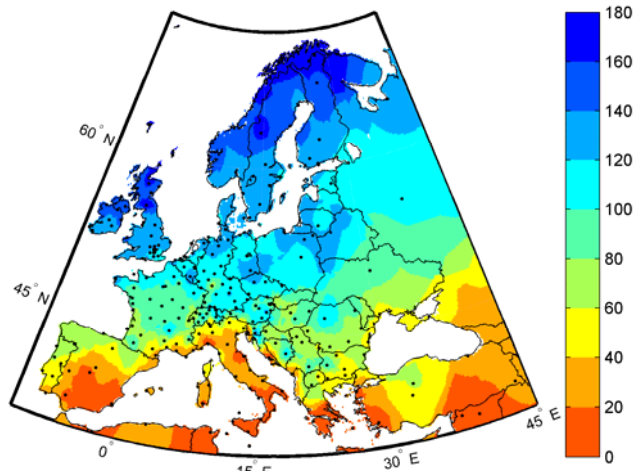
$$CCP = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{h=h_i}^{h_f} m_{n,h} (T_{b,n,h} - T_{e,n,h}) \quad \begin{cases} m = 1 \text{ h} & \text{if } T_b - T_e \geq \Delta T_{crit} \\ m = 0 & \text{if } T_b - T_e < \Delta T_{crit} \end{cases}$$

$h$  time of day, where  $h_i=19$  and  $h_f=7$  denote the initial and the final time of night-time ventilation

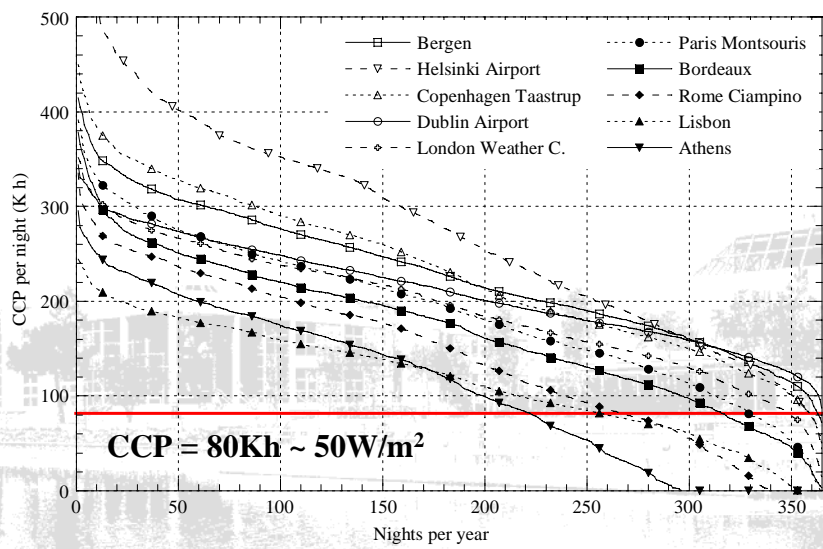
$\Delta T_{crit}$  the threshold value of the temperature difference, when night-time ventilation is applied,  $\Delta T_{crit} = 3 \text{ C}$

Building temperature is defined as  $T_{b,h} = 24.5 + 2.5 \cos\left(2\pi \frac{h - h_i}{24}\right)$

### Mean Climatic Cooling Potential (Kh/night) in July

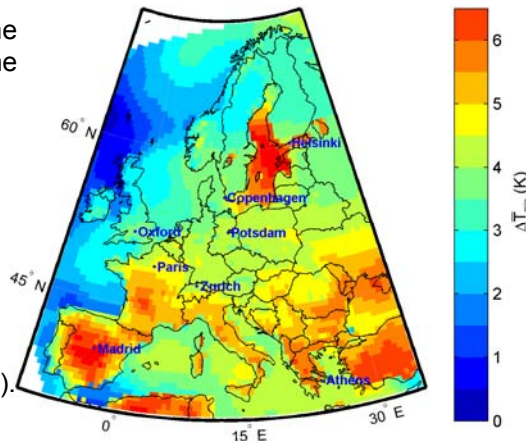


### Cumulative frequency distribution of CCP



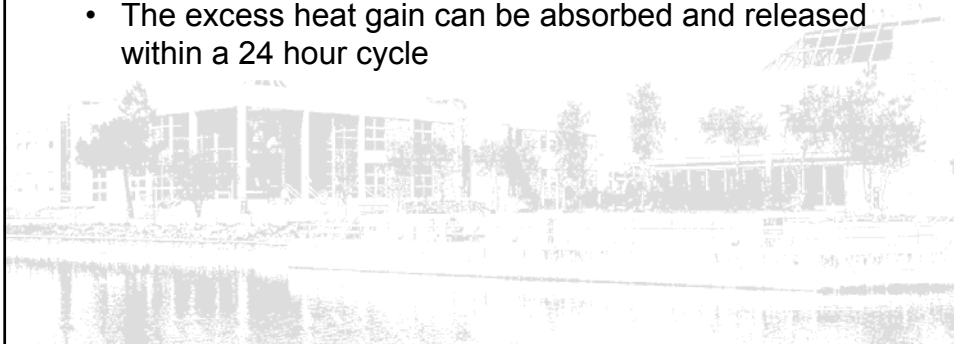
## Change in long-term mean daily minimum temperature in summer (JJA)

- “A2” emissions scenario for the years 2071-2100 relative to the baseline 1961-1990, as simulated by the Danish Meteorological Institute regional climate model. Simulations were based on boundary conditions from the HadAM3H atmospheric general circulation model (Table A1: Scenario No S1). Data from PRUDENCE (2006).

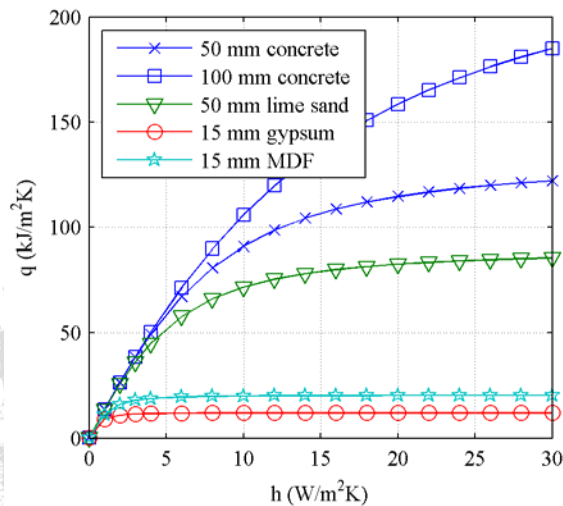


## Necessary Conditions for Success

- A heat sink is available (low night-time outdoor air temperatures)
- **The heat storage capacity of the building construction is adequate**
- The excess heat gain can be absorbed and released within a 24 hour cycle



## Diurnal heat storage capacity



## A parametric study on the performance of building cooling by night-time ventilation

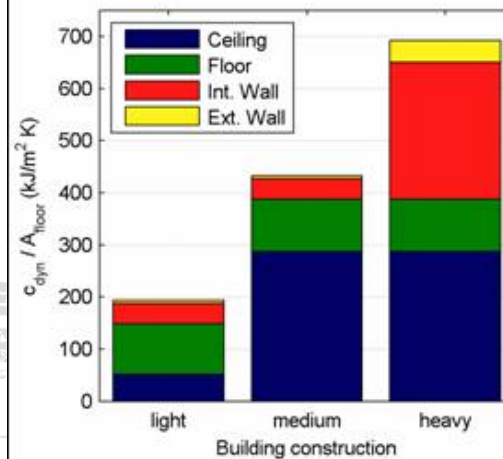
- Main characteristics of the modelled office room.

Room size (4 m x 5 m)	20 m <sup>2</sup>
Room height	2.6 m
Volume	52 m <sup>3</sup>
External surface	10.4 m <sup>2</sup>
Cubature (A/V)	0.2 m <sup>-1</sup>
Internal surface	86.8 m <sup>2</sup>
Ceiling	20 m <sup>2</sup>
Floor	20 m <sup>2</sup>
Internal wall	36.4 m <sup>2</sup>
External wall	4.8 m <sup>2</sup>
Windows	5.6 m <sup>2</sup>
Glass	4.05 m <sup>2</sup>
Glazing ratio	38.9 %

- Windows ( $U_{\text{Glazing}} = 1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_{\text{Wooden frame}} = 1.45 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g = 0,66$ )
- Sunscreen ( $\tau_{\text{solar}} = 0,192$ ) was used for solar irradiation above  $300 \text{ W/m}^2\text{K}$  and internal air temperature was above  $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Night-time ventilation: 7 pm to 7am at  $6 \text{ h}^{-1}$  if outdoor temperature was at least  $3^\circ\text{C}$  below average room surface temperature.
- Night-time ventilation was only applied if the 24 hours running average ambient temperature was above a certain cooling set point temperature, and terminated as soon as the average room surface temperature fell below  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Day-time ventilation: 7 am – 7 pm at  $2 \text{ h}^{-1}$

## Thermal Mass

- Three different levels of thermal mass
  - light (suspended ceiling, gypsum board walls),
  - medium (exposed concrete ceiling, gypsum board walls)
  - heavy (exposed concrete ceiling, lime sand brick walls)

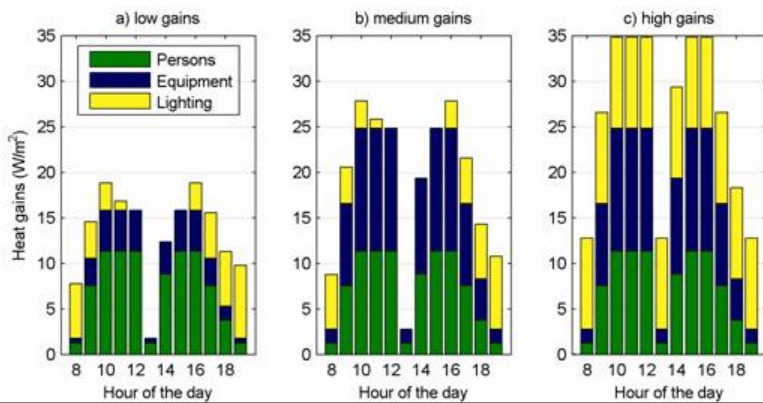


## Composition of building elements and thermal properties of building materials

		d (m)	$\lambda$ (W/mK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	c (kJ/kgK)	$c_{dyn}$ (kJ/m <sup>2</sup> K)
<b>Ceiling</b> (light, medium, heavy)	Carpet	0.005	0.050	80	930	99.9
	Plaster Floor	0.080	1.500	2200	1080	
	Sound insulation	0.040	0.040	30	1404	
	Concrete	0.180	1.800	2400	1080	287.1
<b>Suspended ceiling</b> (light)	Air gap	0.250	R = 0.160 m <sup>2</sup> K/W			
	Acoustic panel	0.020	0.210	800	900	51.1
<b>Internal wall</b> (light, medium)	Gypsum board	0.025	0.400	1000	792	21.7
	Mineral wool	0.070	0.036	90	612	
	Gypsum board	0.025	0.400	1000	792	21.7
<b>Internal wall</b> (heavy)	Plaster	0.015	0.700	1400	936	144.7
	Lime sand	0.150	1.100	2000	936	
	Plaster	0.015	0.700	1400	936	144.7
<b>External wall</b> (light, medium)	Concrete	0.180	1.800	2400	1080	
	Insulation	0.120	0.035	40	1200	
	Gypsum board	0.025	0.400	1000	792	24.0
<b>External wall</b> (heavy)	Plaster ext.	0.020	0.870	1600	1000	
	Insulation	0.120	0.035	40	1200	
	Lime sand	0.150	1.100	2000	936	
	Plaster	0.015	0.700	1400	936	172.8

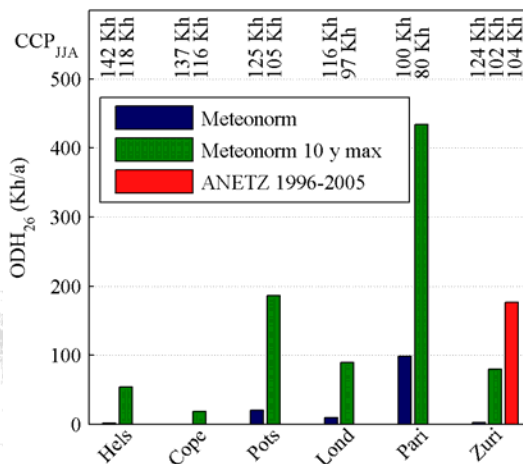
## Internal heat gains in the course of a day.

- Low (159.2 Wh/m<sup>2</sup>d, 13 W/m<sup>2</sup>)
- medium (229.2 Wh/m<sup>2</sup>d, 19 W/m<sup>2</sup>)
- high (313.2 Wh/m<sup>2</sup>d, 26 W/m<sup>2</sup>)



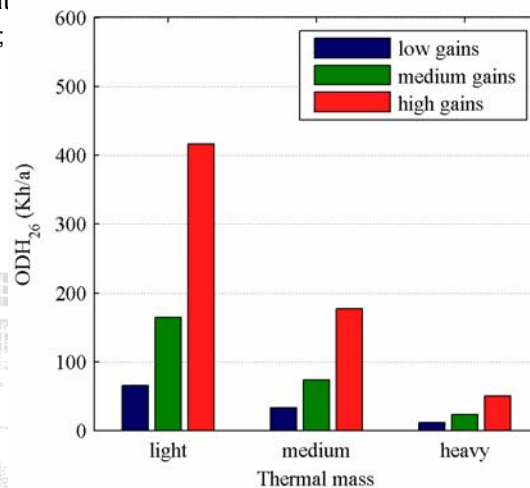
## Overheating degree hours above 26 °C

- For different locations
- For different climatic data
  - Meteonorm standard
  - Meteonorm 10 years max. data
  - For Zurich also ANETZ 1996-2005);
- medium thermal mass
- high internal heat gains



## Overheating degree hours above 26 °C

- For Zurich climatic data  
– ANETZ 1996-2005);

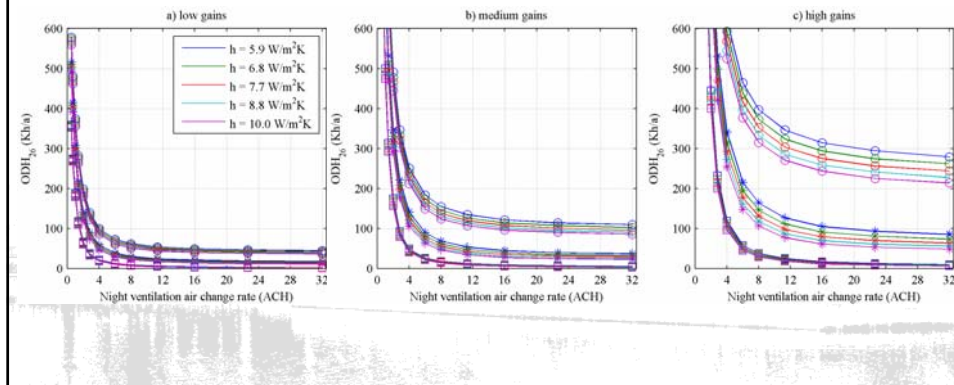


## Necessary Conditions for Success

- A heat sink is available (low night-time outdoor air temperatures)
- The heat storage capacity of the building construction is adequate
- The excess heat gain can be absorbed and released within a 24 hour cycle

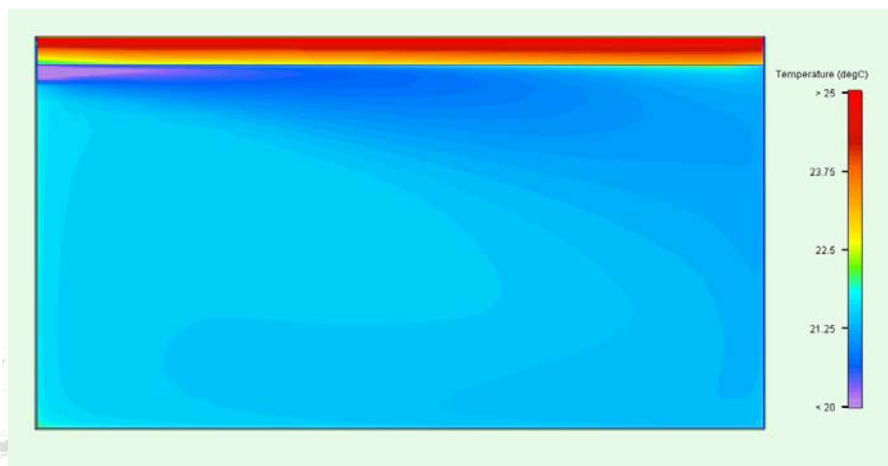
## Overheating degree hours above 26 °C

- For Zurich climatic data
  - ANETZ 1996-2005);
- for a light (o), medium (\*) and heavy (□) mass construction



Hilfe9

10 ACH;  $\Delta T = 5$  K

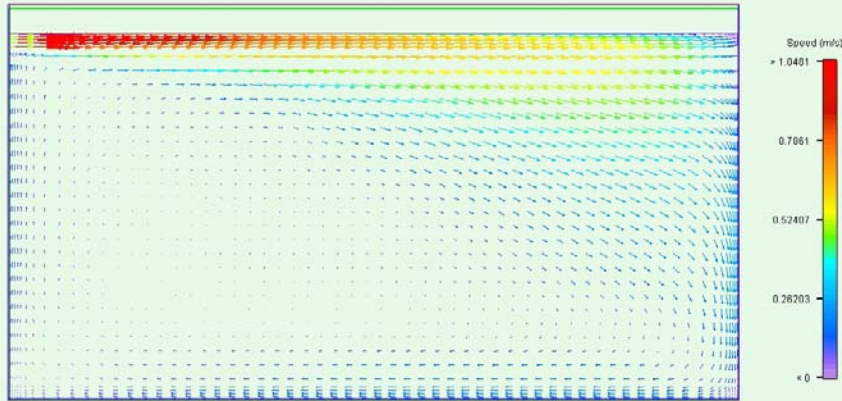


**Hilfe9** Diese Folie enthält zwei Mastergruppen (Master und Titelmaster), welche den Corporate-Design-konformen Auftritt definieren. Der jetzt zugewiesene Empa-Master 1 sieht für die Titelfolie das Empa-Logo vor. Den weiteren Folien ist kein Logo zugewiesen. Für längere Vorträge mit Zwischentiteln empfehlen wir, den Folien mit Zwischentiteln den Empa-Master 2 (mit Logo unten rechts) zuzuweisen. Dazu öffnen Sie via Ansicht > Aufgabenbereich > Foliendesign-Entwurfsvorlage rechts die Masterauswahl. Nun markieren Sie im linken Ansichtsfenster die Folien, denen Empa-Master 2 zugewiesen werden soll (mindestens zwei, ansonsten für den ganzen Satz Empa-Master 1 verwendet wird). Weitere Hilfe erhalten Sie bei Monika Ernst, 4995 (Empa, Dübendorf)

M. Ernst; 04-02-2005

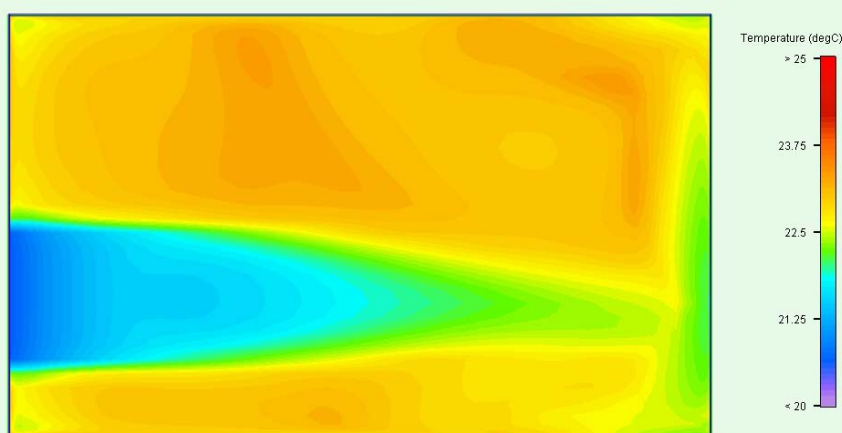
Hilfe10

10 ACH;  $\Delta T = 5$  K



Hilfe11

10 ACH;  $\Delta T = 5$  K



## Dias nummer 35

---

**Hilfe10** Diese Folie enthält zwei Mastergruppen (Master und Titelmaster), welche den Corporate-Design-konformen Auftritt definieren. Der jetzt zugewiesene Empa-Master 1 sieht für die Titelfolie das Empa-Logo vor. Den weiteren Folien ist kein Logo zugewiesen. Für längere Vorträge mit Zwischentiteln empfehlen wir, den Folien mit Zwischentiteln den Empa-Master 2 (mit Logo unten rechts) zuzuweisen. Dazu öffnen Sie via Ansicht > Aufgabenbereich > Foliendesign-Entwurfsvorlage rechts die Masterauswahl. Nun markieren Sie im linken Ansichtsfenster die Folien, denen Empa-Master 2 zugewiesen werden soll (mindestens zwei, ansonsten für den ganzen Satz Empa-Master 1 verwendet wird). Weitere Hilfe erhalten Sie bei Monika Ernst, 4995 (Empa, Dübendorf)

M. Ernst; 04-02-2005

## Dias nummer 36

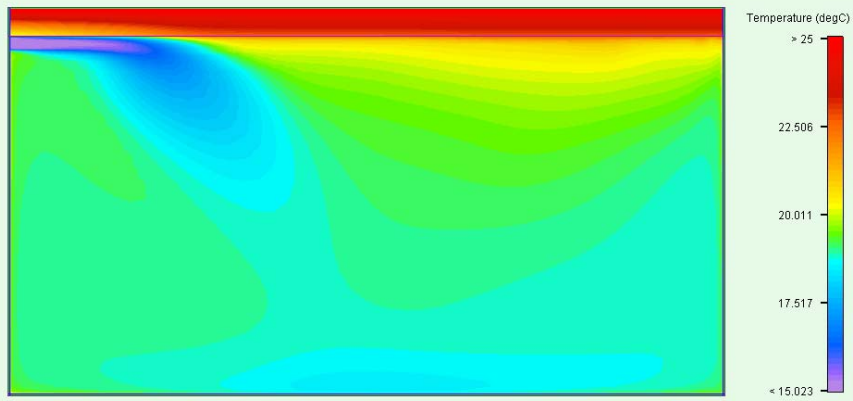
---

**Hilfe11** Diese Folie enthält zwei Mastergruppen (Master und Titelmaster), welche den Corporate-Design-konformen Auftritt definieren. Der jetzt zugewiesene Empa-Master 1 sieht für die Titelfolie das Empa-Logo vor. Den weiteren Folien ist kein Logo zugewiesen. Für längere Vorträge mit Zwischentiteln empfehlen wir, den Folien mit Zwischentiteln den Empa-Master 2 (mit Logo unten rechts) zuzuweisen. Dazu öffnen Sie via Ansicht > Aufgabenbereich > Foliendesign-Entwurfsvorlage rechts die Masterauswahl. Nun markieren Sie im linken Ansichtsfenster die Folien, denen Empa-Master 2 zugewiesen werden soll (mindestens zwei, ansonsten für den ganzen Satz Empa-Master 1 verwendet wird). Weitere Hilfe erhalten Sie bei Monika Ernst, 4995 (Empa, Dübendorf)

M. Ernst; 04-02-2005

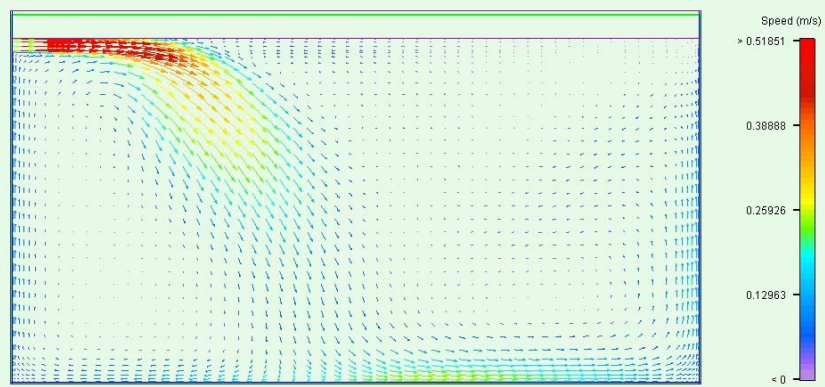
Hilfe12

5 ACH;  $\Delta T = 10$  K



Hilfe13

5 ACH;  $\Delta T = 10$  K



## Dias nummer 37

---

**Hilfe12** Diese Folie enthält zwei Mastergruppen (Master und Titelmaster), welche den Corporate-Design-konformen Auftritt definieren. Der jetzt zugewiesene Empa-Master 1 sieht für die Titelfolie das Empa-Logo vor. Den weiteren Folien ist kein Logo zugewiesen. Für längere Vorträge mit Zwischentiteln empfehlen wir, den Folien mit Zwischentiteln den Empa-Master 2 (mit Logo unten rechts) zuzuweisen. Dazu öffnen Sie via Ansicht > Aufgabenbereich > Foliendesign-Entwurfsvorlage rechts die Masterauswahl. Nun markieren Sie im linken Ansichtsfenster die Folien, denen Empa-Master 2 zugewiesen werden soll (mindestens zwei, ansonsten für den ganzen Satz Empa-Master 1 verwendet wird). Weitere Hilfe erhalten Sie bei Monika Ernst, 4995 (Empa, Dübendorf)

M. Ernst; 04-02-2005

## Dias nummer 38

---

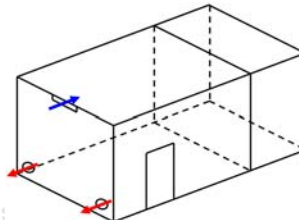
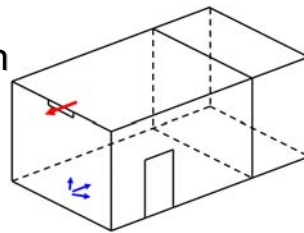
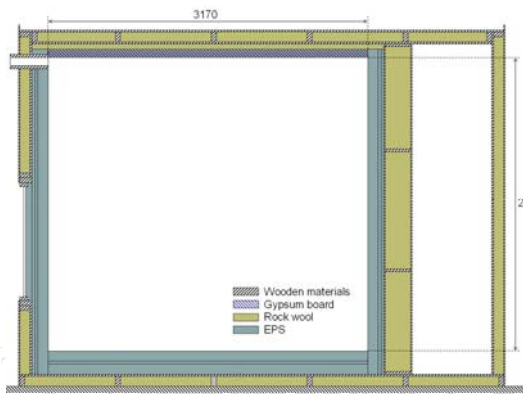
**Hilfe13** Diese Folie enthält zwei Mastergruppen (Master und Titelmaster), welche den Corporate-Design-konformen Auftritt definieren. Der jetzt zugewiesene Empa-Master 1 sieht für die Titelfolie das Empa-Logo vor. Den weiteren Folien ist kein Logo zugewiesen. Für längere Vorträge mit Zwischentiteln empfehlen wir, den Folien mit Zwischentiteln den Empa-Master 2 (mit Logo unten rechts) zuzuweisen. Dazu öffnen Sie via Ansicht > Aufgabenbereich > Foliendesign-Entwurfsvorlage rechts die Masterauswahl. Nun markieren Sie im linken Ansichtsfenster die Folien, denen Empa-Master 2 zugewiesen werden soll (mindestens zwei, ansonsten für den ganzen Satz Empa-Master 1 verwendet wird). Weitere Hilfe erhalten Sie bei Monika Ernst, 4995 (Empa, Dübendorf)

M. Ernst; 04-02-2005

5 ACH;  $\Delta T = 10 \text{ K}$



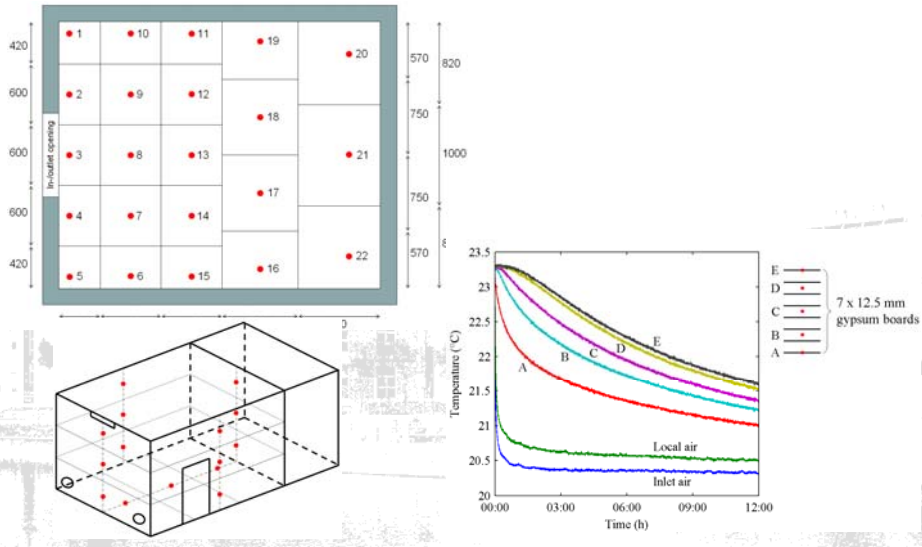
### Investigation of Air Distribution



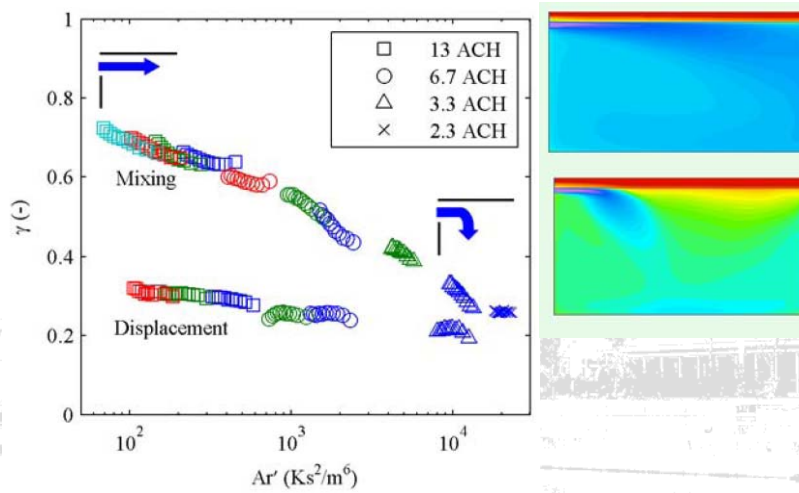
**Hilfe14** Diese Folie enthält zwei Mastergruppen (Master und Titelmaster), welche den Corporate-Design-konformen Auftritt definieren. Der jetzt zugewiesene Empa-Master 1 sieht für die Titelfolie das Empa-Logo vor. Den weiteren Folien ist kein Logo zugewiesen. Für längere Vorträge mit Zwischentiteln empfehlen wir, den Folien mit Zwischentiteln den Empa-Master 2 (mit Logo unten rechts) zuzuweisen. Dazu öffnen Sie via Ansicht > Aufgabenbereich > Foliendesign-Entwurfsvorlage rechts die Masterauswahl. Nun markieren Sie im linken Ansichtsfenster die Folien, denen Empa-Master 2 zugewiesen werden soll (mindestens zwei, ansonsten für den ganzen Satz Empa-Master 1 verwendet wird). Weitere Hilfe erhalten Sie bei Monika Ernst, 4995 (Empa, Dübendorf)

M. Ernst; 04-02-2005

## Heat Transfer (temperature) Measurements

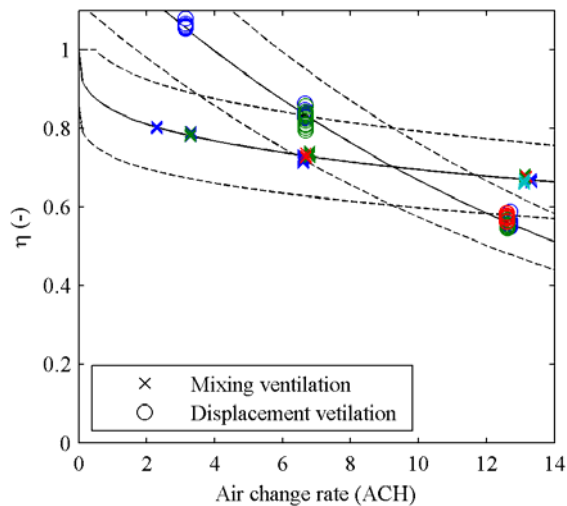


## Relation between Heat Release by Convection and Radiation



## Temperature Efficiency

$$\eta = \frac{T_{\text{Outlet}} - T_{\text{Inlet}}}{\overline{T}_{\text{Surface}} - T_{\text{Inlet}}}$$



## Karakteristika og udfordringer

### – opvarmning, køling og ventilation i nye kontorer

- Opvarmning kun nødvendigt midvinter udenfor brugstiden
- Opvarmning har et lavt kapacitetsbehov (10-15 W/m<sup>2</sup>)
  - Kan den være luftbåren ?
- Ventilation (infiltration) relativt stor betydning for energiforbrug til opvarmning
  - Varmegenvinding/forvarmning i vinterperioden
  - Behovsstyring (brugbare kriterier for komfort og sundhed)
  - Lavt tryktab (varmegenvinding, korte føringsveje)
  - Bedre effektivitet (lokal eller personlig ventilation)
- Interne varmelaster vil være store i forhold til tab
  - Køling i brugstiden og om natten om sommeren (natkøling)
  - Udjævning ved forvarmning af ventilationsluft
  - Dynamisk system – intelligent styring
- Udnyttelse af vedvarende energikilder (low exergy systems)

## Ventilationens formål



Skabe god luftkvalitet ( $n \sim 1-2 \text{ h}^{-1}$ )

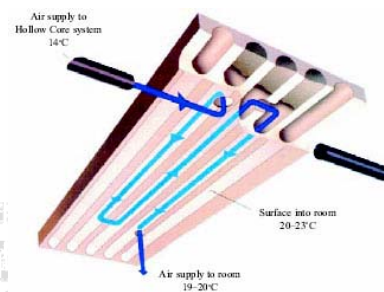
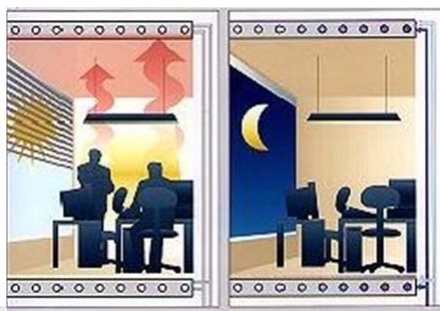
- Udfordringer
  - minimer luftbehovet
  - effektiv varmegenvinding
  - undgå træk



Holde temperaturen nede ( $n \sim 4-6 \text{ h}^{-1}$ )

- Udfordringer
  - minimer kølebehovet (undgå mekanisk køling)
  - effektiv køling med udeluft (natkøling)
  - Optimer tilførsel af udeluft

## Thermal Mass Activation: Air Based System



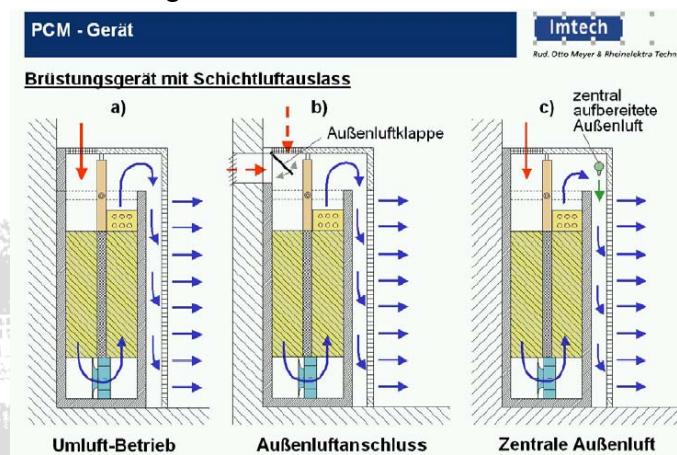
TermoDeck® system

## Loftsindblæsning med trykkammer

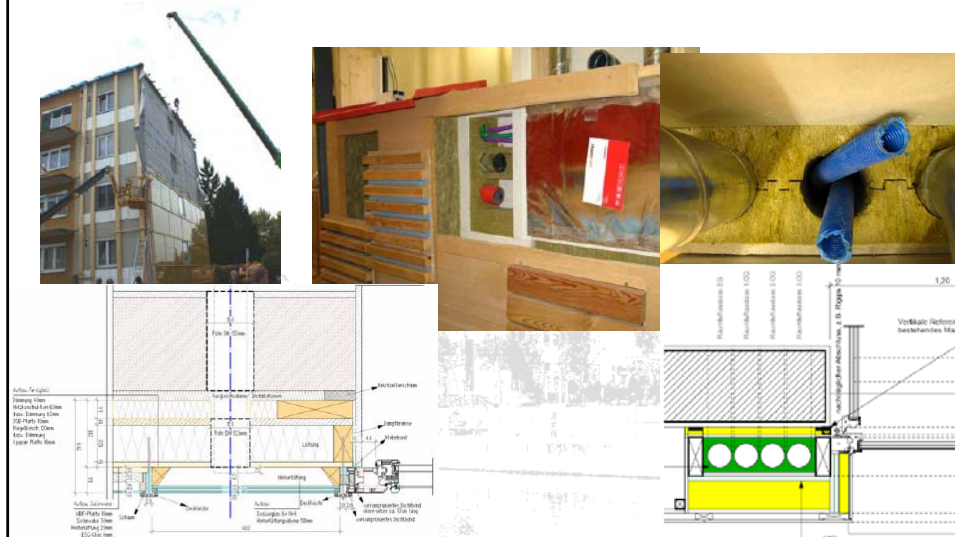


## Nye teknologier – nye muligheder

- Phase Change Materials PCM



## Renovering af Etageboliger



## Udvikling af effektive ventilationsanlæg



- Helhedsløsninger, hvor arkitektur, bygningsteknik, installationsteknik, energiteknik og deres indbyrdes påvirkninger integreres og betragtes som et system.
- Behovet for opvarmning, ventilation og køling reduceres mest muligt gennem integration af klimaskærm, bygningskonstruktioner og klimatekniske systemer
- Effektiv behovsstyring
- Lavt tryktab i komponenter og kanaler, effektive lavtryksventilatorer med integreret regulering
- Intelligent og integreret styring med andre tekniske systemer (solafskærmning, naturlig ventilation udluftning, ...)
- Energiforbruget reduceres gennem omfordeling og lagring og tilføres i udstrakt grad via vedvarende energikilder

Bygningsintegrerede opvarmnings-