

Energieeffizienz: statisches versus dynamisches Modell

Werner Waldhauser

dipl. HLK-Ing. HTL/SIA

Waldhauser Haustechnik, Basel

Energiebedarfsprognosen

Prognose \neq Verbrauch ?

kleiner U-Wert = kleiner Verbrauch?

Energiebedarfsberechnungen

Vor 20 Jahren

Statische Berechnung multipliziert mit einem empirischen Faktor zur Korrektur der dynamischen Einflüsse („Hottinger-Formel“)

SIA 380/1

Vereinfachte, „dynamische“ Berechnung für Standardnutzungen

HEIZLASTBERECHNUNG

STATISCH

SIA 384.201



- U-Werte
- min. Aussentemperatur
Diese berücksichtigt einen „empirischen“ Wärmegewinn und Speichereffekt (z.B. -8°C anstelle von -15°C)
- min. Aussenluftwechsel
(0.3 LW/h)

ENERGIEBEDARF



„DYNAMISCH“

SIA 380/1

RECHNET

- monatl. Verluste und Gewinne basierend auf stationären Energieflüssen

BERÜCKSICHTIGT

- interne + solare Wärmegewinne
- thermisch aktive Gebäudemasse

SIA 380/1

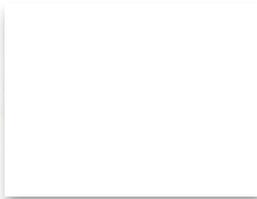
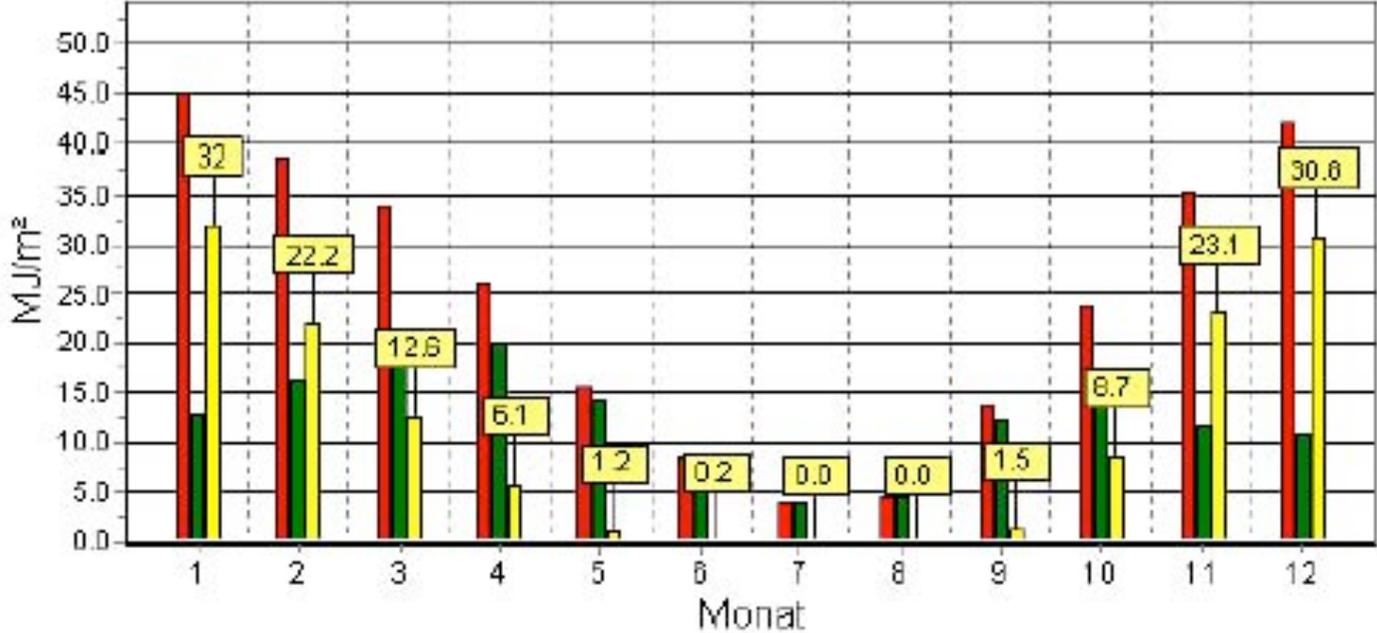
Monatliche Rechenwerte

Verluste

genutzte Gewinne

Heizwärmebedarf

Monatliche Energiebilanz (MJ/m²)



SIA 380/1

Interne Wärmegewinne

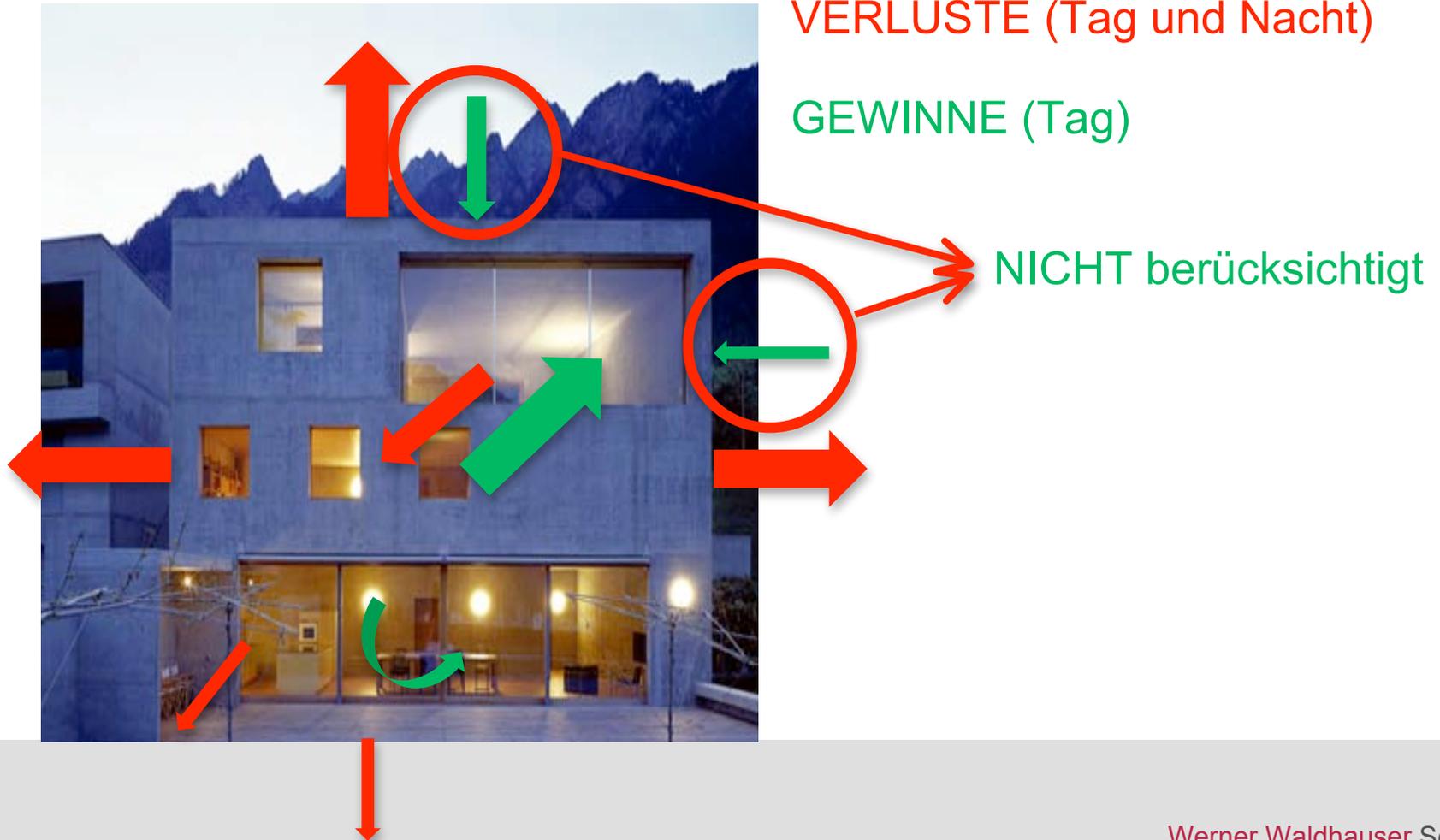
- **Personen**
Personendichte, Präsenz und Wärmeabgabe für 12 Kategorien „standardisiert“
- **Elektrizitätsverbrauch**
thermisch wirksamer Anteil der Abwärme, für 12 Kategorien „standardisiert“

SIA 380/1

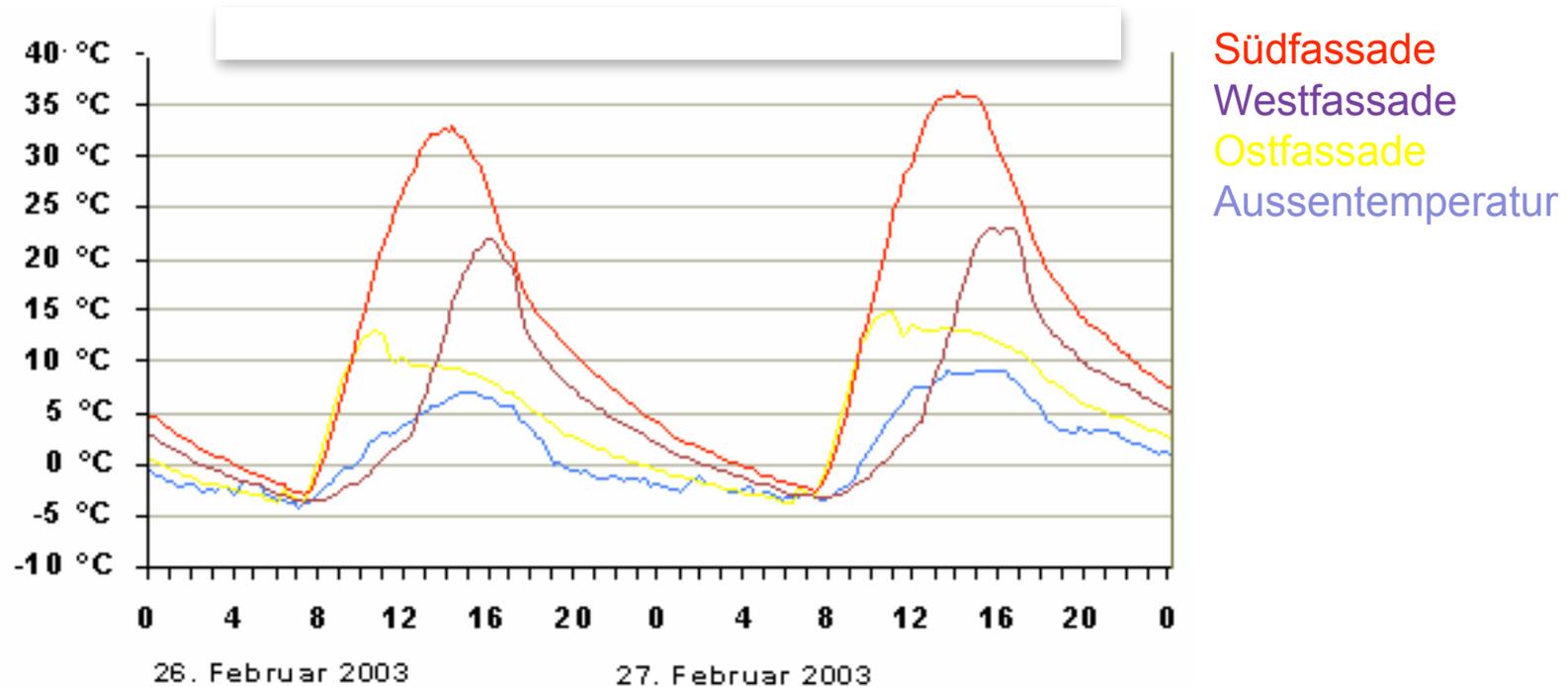
Solare Wärmegewinne

- Fenster
mit Berücksichtigung allfälliger Verschattungsfaktoren
(Horizont, Überhang, Seitenblende)
- opake Bauteile
keine Berücksichtigung

Energieflüsse Winter



Oberflächentemperaturen Aussen an einem sonnigen Tag



Konrad Fischer „Schwindel mit Dämmung...“
 Messergebnis der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft

Energieflüsse Sommer



ABKÜHLUNG (Nacht)

ERWÄRMUNG (Tag)

ungenügend berücksichtigt

SIA 380/1

Thermisch aktive Gebäudemasse

Für 4 Bauweisen wird die Speicherfähigkeit pro EBF angegeben:

- **schwer** (0.5 MJ/m²K)
mind. 2 von 3 aktivierbaren Elemente (Decke, Boden, alle Wände) müssen massiv und ohne Abdeckung sein
- **mittel** (0.3 MJ/m²K)
mind. 1 von 3 / Holzbau: Blockbauweise
- **leicht** (0.1 MJ/m²K)
Holzbau: Ständerbauweise
- **sehr leicht** (0.05 MJ/m²K)
Industrie-Stahlbau

Verluste im Detail

am Beispiel eines EFH

Transmissionsverluste

opake Gebäudehülle	56 GJ/a U-Wert=0.50	34 GJ/a U-Wert=0.3
Fenster	35 GJ/a	
gegen Erdreich	23 GJ/a	

Wärmebedarf Lüftung 32 GJ/a

Wärmegewinne

Elektroanlagen	11 GJ/a
Personen	5 GJ/a
Sonne durch Fenster	36 GJ/a

Total	94 GJ/a (100%)	72 GJ/a (77%)
-------	----------------	---------------

Vergleich

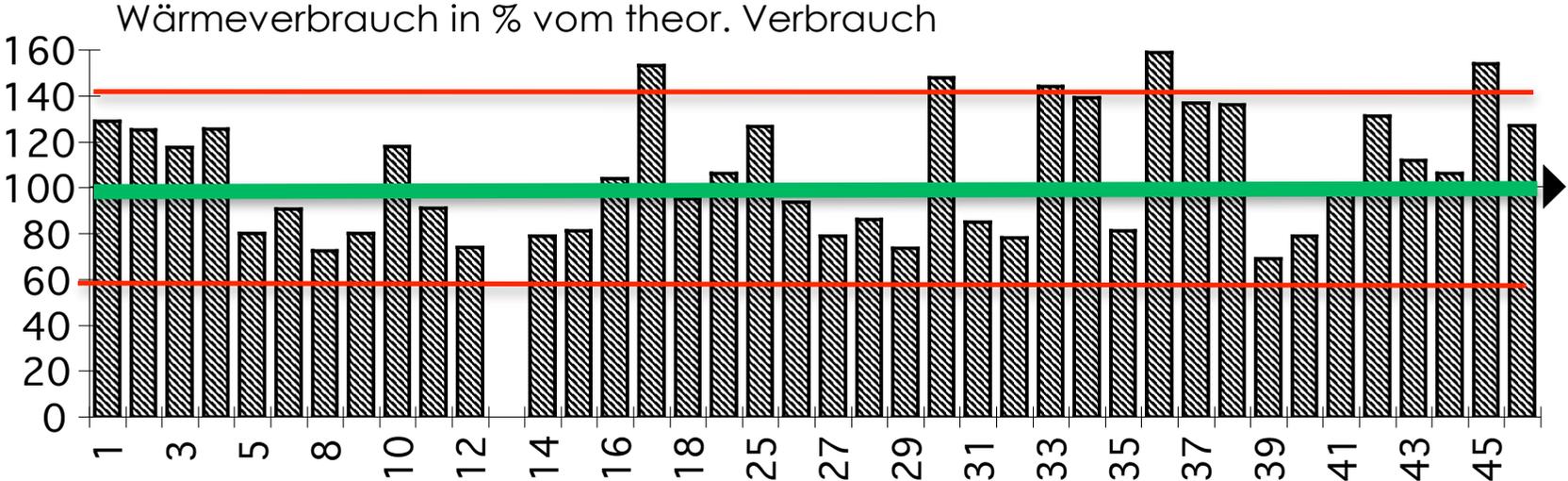
der Rechenergebnisse mit dem Verbrauch

SIA 380/1	94 GJ/a =	26'000 kWh/a (100%)
gemessen	70 GJ/a =	19'500 kWh/a (75%)

Gründe für Abweichungen

- Benutzerverhalten (Abweichungen +/- 40%)
- Komfortansprüche
- Ausseneinflüsse

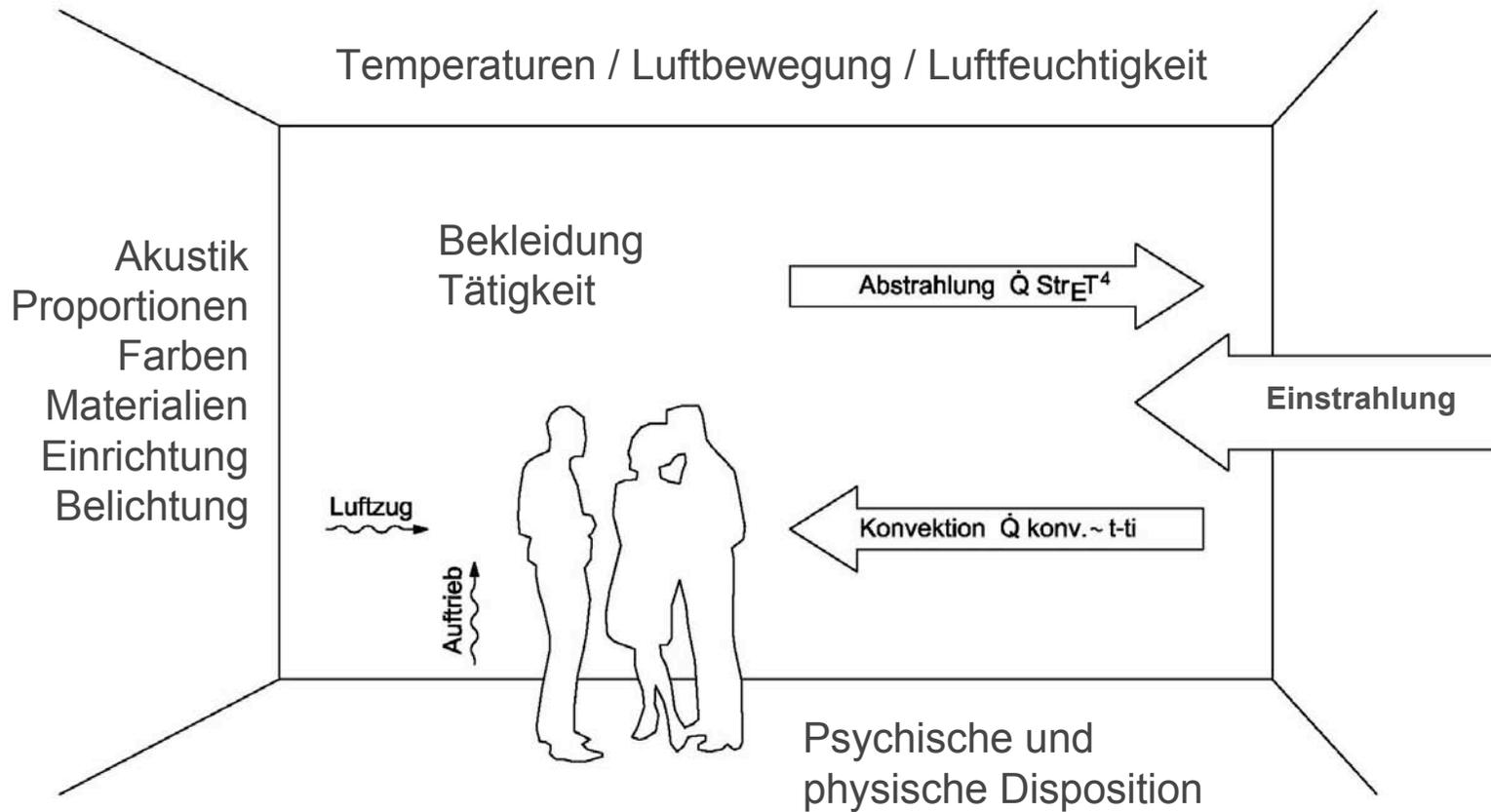
Benutzerverhalten



Wohnüberbauung in Bern

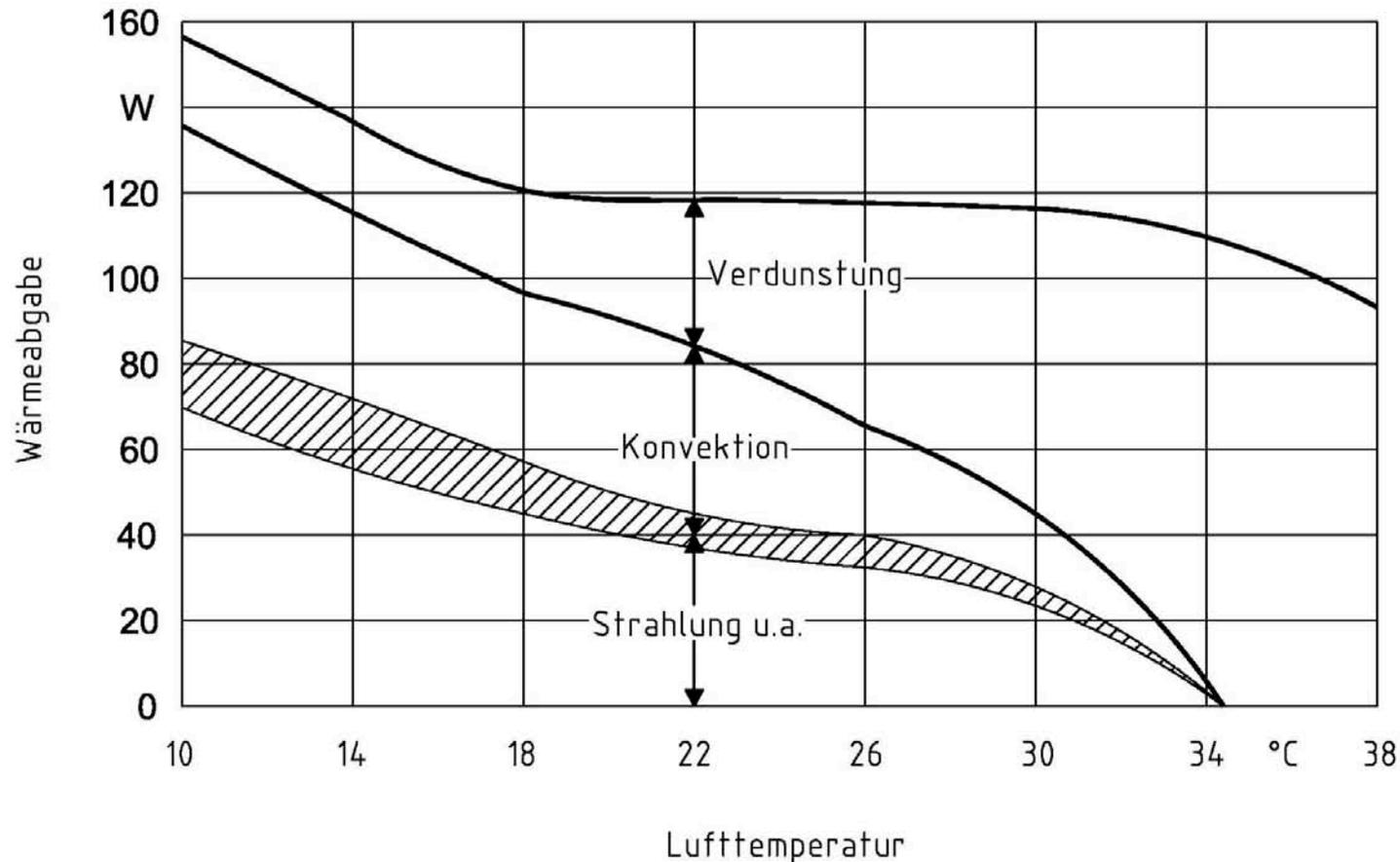
Komfortansprüche

Behaglichkeit



Komfortansprüche

Wärmeabgabe des Menschen



Ausseneinflüsse

- **Aussentemperaturen**

Die Berechnung erfolgt aufgrund regionaler, durchschnittlicher Heizgradtage
(muss im Vergleich zum Verbrauch angepasst werden)

- **Sonne**

Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung durch die Verglasung aufgrund regionaler, durchschnittlicher Sonnenscheinstunden

- **Wind**

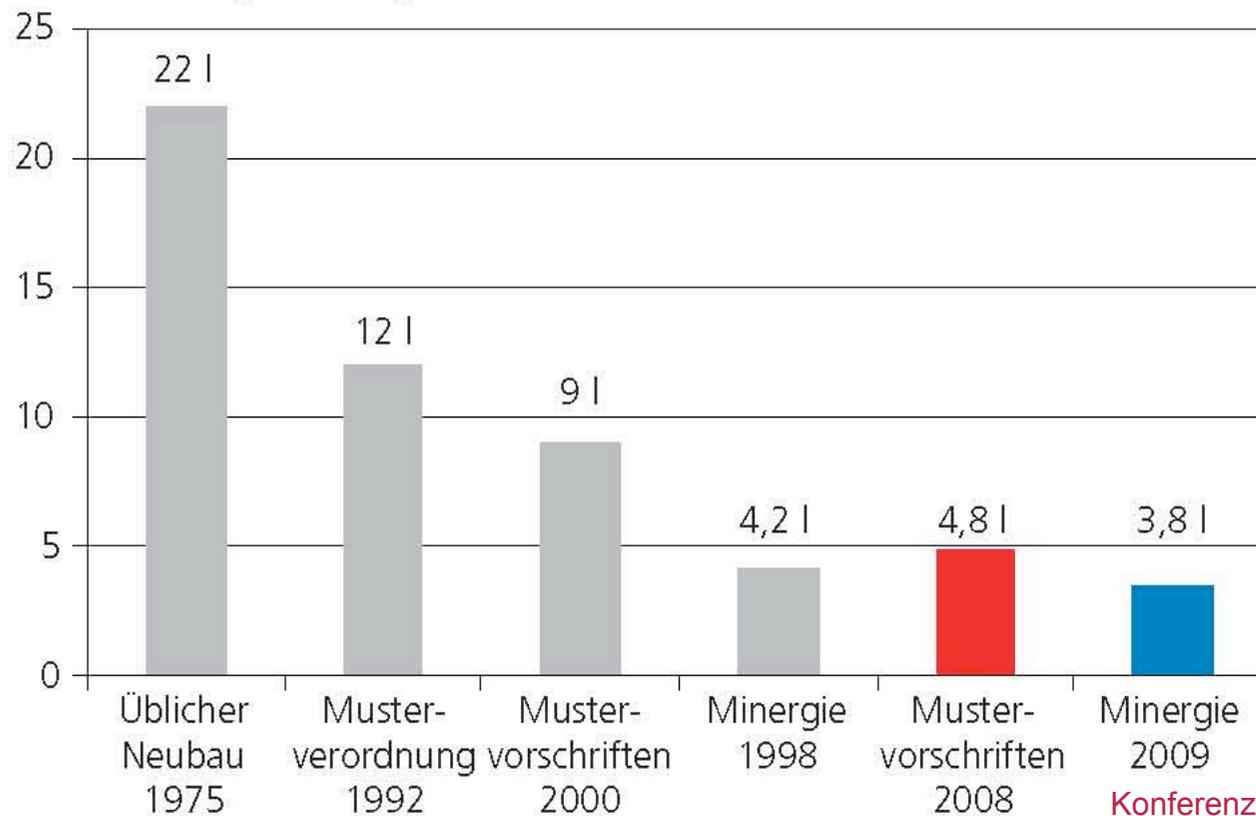
keine Berücksichtigung (hat Einfluss auf den Wärmeübergang und als Folge auf den U-Wert)

Normen und Standards

Wohnen EFH		SIA		Bund	Minergie	Minergie-P
		Grenz- wert	Ziel- wert	Musterver- ordnung		
U-Wert	W/m ² K	0.2	0.11	0.2	0.15	0.15
Heizwärmebedarf	MJ/m ²	65	-	65	<59	<39
Jahresbedarf	kWh/m ²	-	-	-	38	30

Wärmebedarf von Neubauten

Liter Heizöl-Äquivalente pro m²



Konferenz Kantonalener Energiefachstellen

Dämmbeton

Vorteile

- homogener Baustoff => leicht zu entsorgen
- Feuchteregulierung der Innenraumluft
- angenehme Haptik und Oberflächentemperatur (Wärmeleitfähigkeit 0.3 / Beton 2 W/m·K)
- grosse Wärmespeicherfähigkeit

Nachteile

- „schlechter“ U-Wert (> 0.5 gegenüber < 0.2 W/m²·K)
- reduzierte Bauteilstärke (z.B. Fensteranschlüsse) => Wärmebrücken beachten

U-Werte

„Die effizienteste Massnahme zur Energieeinsparung ist eine erhöhte Wärmedämmung“ **Verband Schweizer Kalksandstein Produzenten**

NICHT berücksichtigt bei dieser Aussage sind:

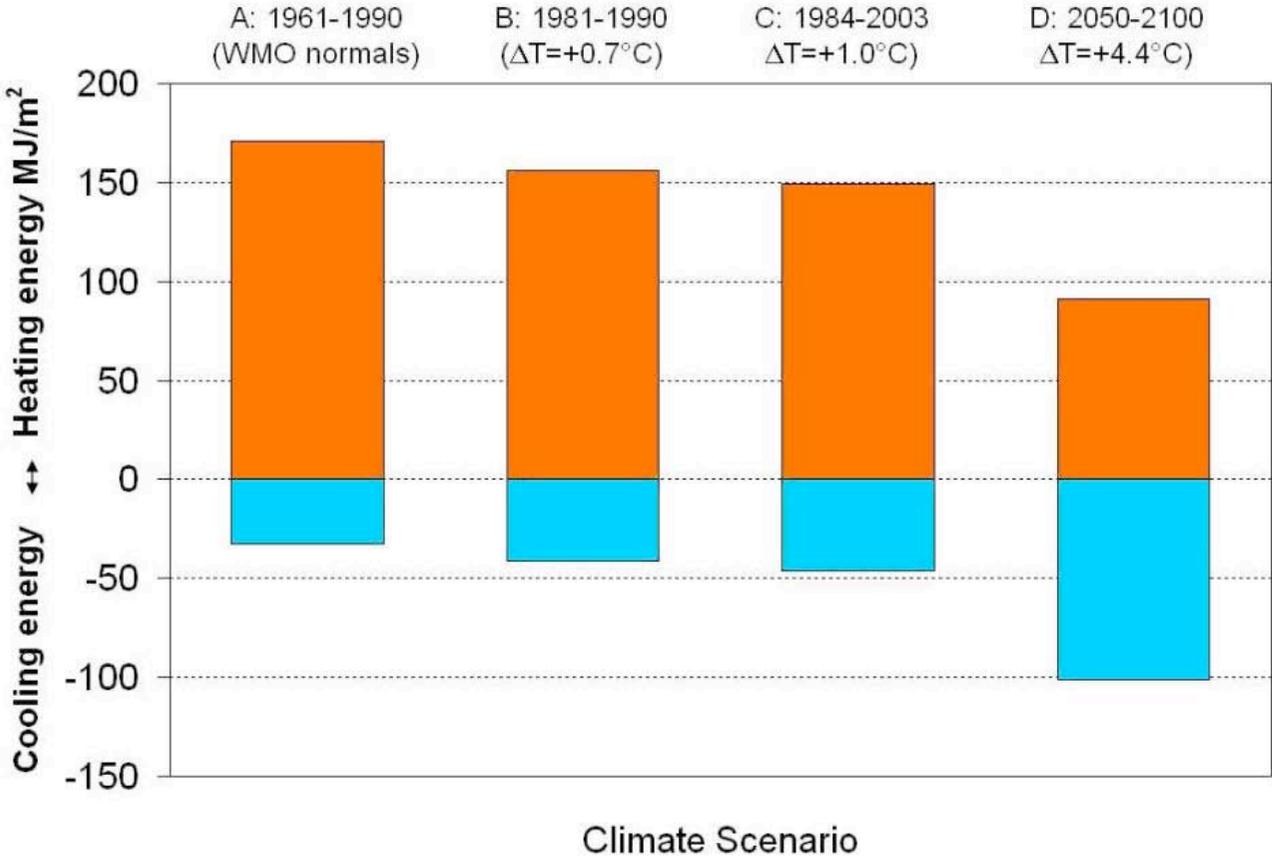
- Nutzungspotential der Sonnenenergie
- Wärmespeichervermögen der Wandkonstruktion
- Energie / Umweltbelastung zur Erstellung und Entsorgung
- Gebäudenutzung (z.B. innere Abwärmen)

Weitere Themen

- Klimawandel
- Sommerbetrieb
- Mechanische Lüftung
- Effizienzpfad Energie
- Standardlösungen

Klimawandel

Entwicklung Wärme- und Kältebedarf



EMPA, Abt. Bautechnologien

Sommerbetrieb

- Heizbetrieb ist „nur“ während ca. 220 Tagen im Jahr (Basel)
- die mittlere Aussentemperatur während der Heizperiode beträgt +4,5°C
- Behaglichkeitsprobleme im Sommer nehmen zu

⇒ thermoaktive Gebäudemasse ist vorteilhaft

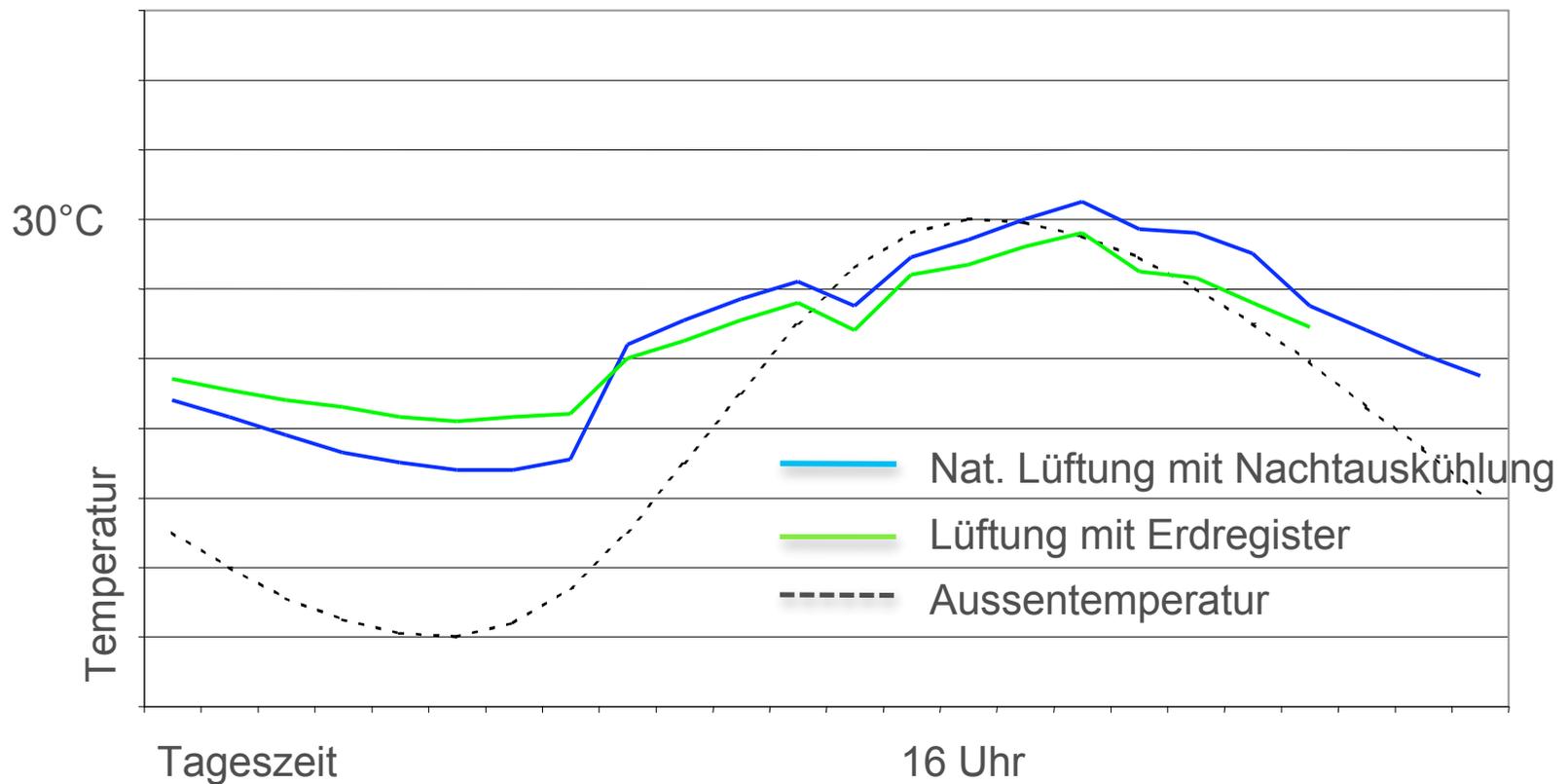
⇒ dynamische Gebäudesimulation empfiehlt sich

⇒ guter Sonnenschutz und „Nachtauskühlung“ sind oft genügend

⇒ „Komfortlüftung“ trägt wenig zur Raumkühlung bei

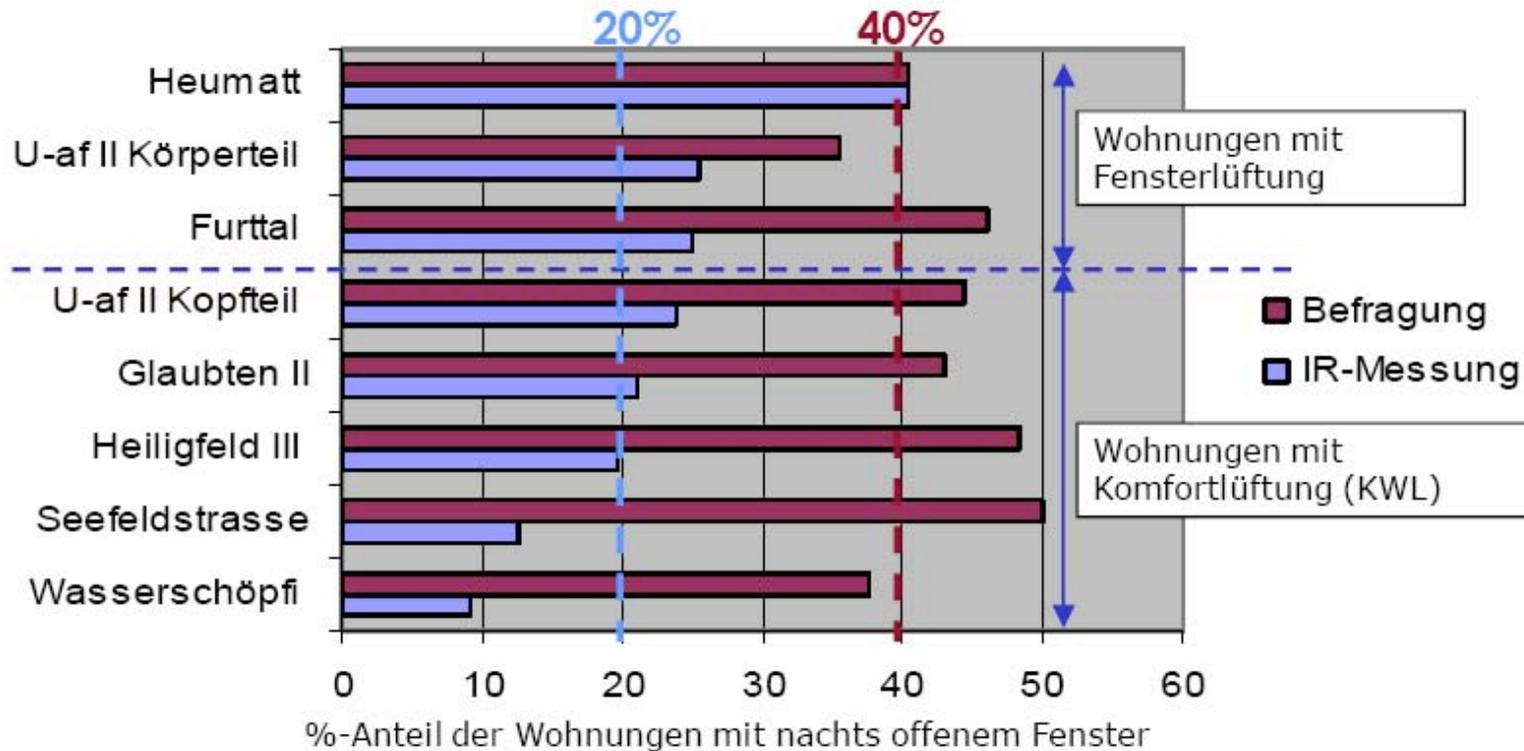
Konferenz Kantonaler Energiefachstellen

Beispiel Dynamische Gebäudesimulation



Mechanische Lüftung

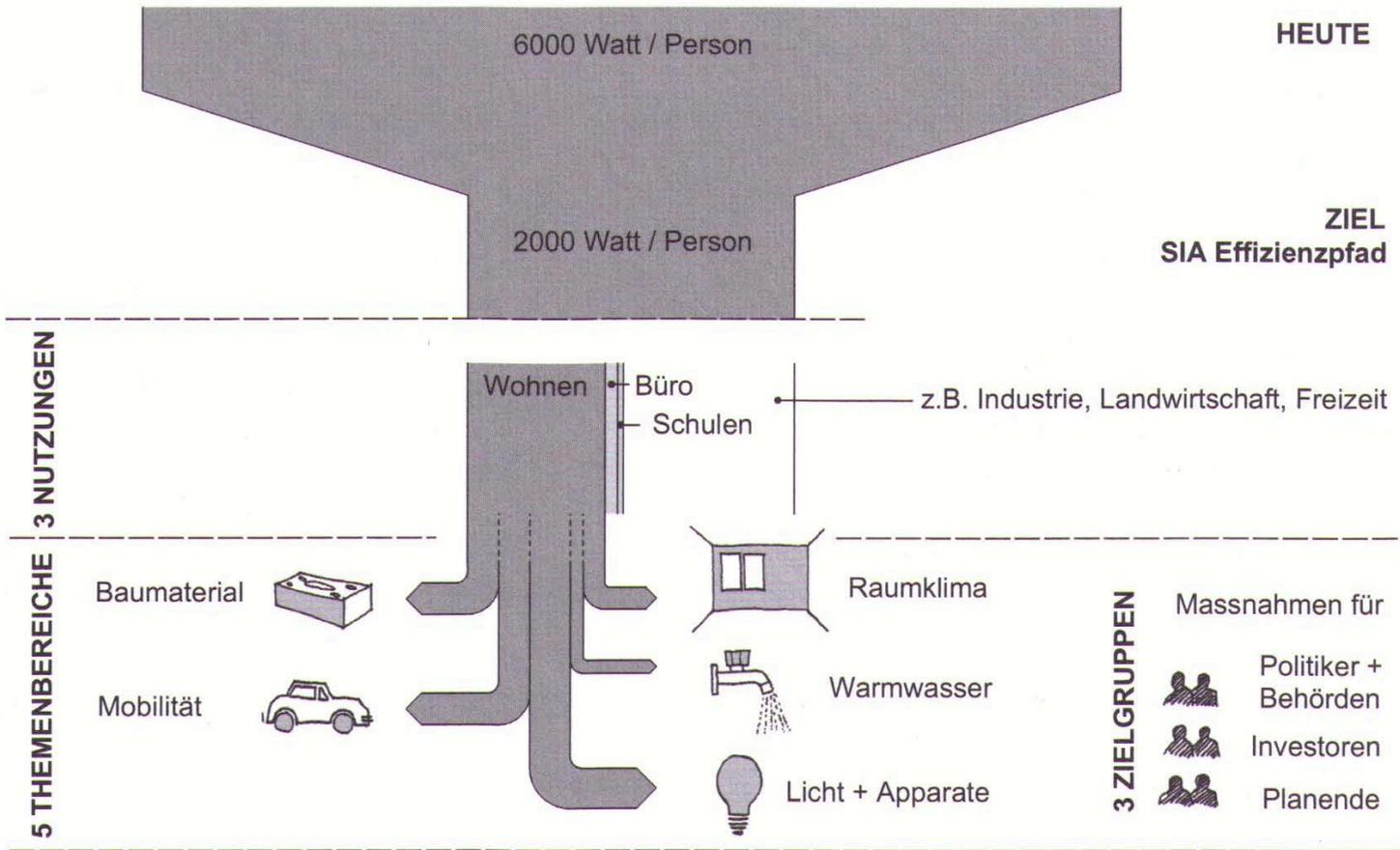
Fensteröffnungsverhalten



Konferenz Kantonalen Energiefachstellen

Effizienzpfad Energie

Sia D 0216



Standardlösungen

MuKE n 2008

1. Wärmedämmung (W/D/B: 0,12 W/m²K, F: 1,0 W/m²K)
2. Wärmedämmung (0,15 / 1,0) + Komfortlüftung mit WRG
3. Wärmedämmung (0,15 / 1,0) + Solaranlage (2% EBF)
4. Holzfeuerung für Heizung + Solaranlage (2% EBF)
5. Automatische Holzfeuerung
6. Wärmepumpe mit Erdsonde oder Wasser
7. Wärmepumpe mit Aussenluft
8. Komfortlüftung mit WRG + Solaranlage (5% EBF)
9. Solaranlage (7% EBF)
10. Abwärme (aus KVA, ARA oder Industrie)
11. Wärme-Kraft-Kopplung (für ≥ 70 Wärmebedarf, $\eta_{el} \geq 30\%$)

Konferenz Kantonaler Energiefachstellen

Mut und Freude für nicht standardisierte Lösungen



Herzlichen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit

Novartis Campus, Basel
Architekt: Vittorio Lampugnani, Mailand