



12.11.2025 BMLEH/ JKI: 15. Fachsymposium Stadtgrün

## „Kosten der Kühlung und Isolierung von Gebäuden: Energieeffiziente Gebäudekühlung“

**Marco Schmidt**

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung  
TU Berlin Institut für Architektur



Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung







Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



## Weißbuch Stadtgrün

Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft



## Leitfaden Nachhaltiges Bauen

Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden



Bundesministerium  
für Wohnen, Stadtentwicklung  
und Bauwesen



## Hochwasserschutzfibel

Objektschutz und bauliche Vorsorge

# Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)

div. Veröffentlichungen kostenlos  
zu bestellen sowie Download  
unter [www.bbsr.bund.de](http://www.bbsr.bund.de)

[www.nachhaltigesbauen.de](http://www.nachhaltigesbauen.de)  
[www.gruen-in-der-stadt.de](http://www.gruen-in-der-stadt.de)

Ökologisches  
Baustoffinformationssystem:

[www.wecobis.de](http://www.wecobis.de)



Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung









- **oben: Bunker St. Pauli Hamburg, Bauphase 10.5.23**
- **rechts oben: Nullemissionsbürogebäude HafenCity GmbH**
- **rechts unten: DESY Halle 36, Hamburg**







# Plusenergiegebäude Umweltbundesamt (UBA) Dessau



Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung





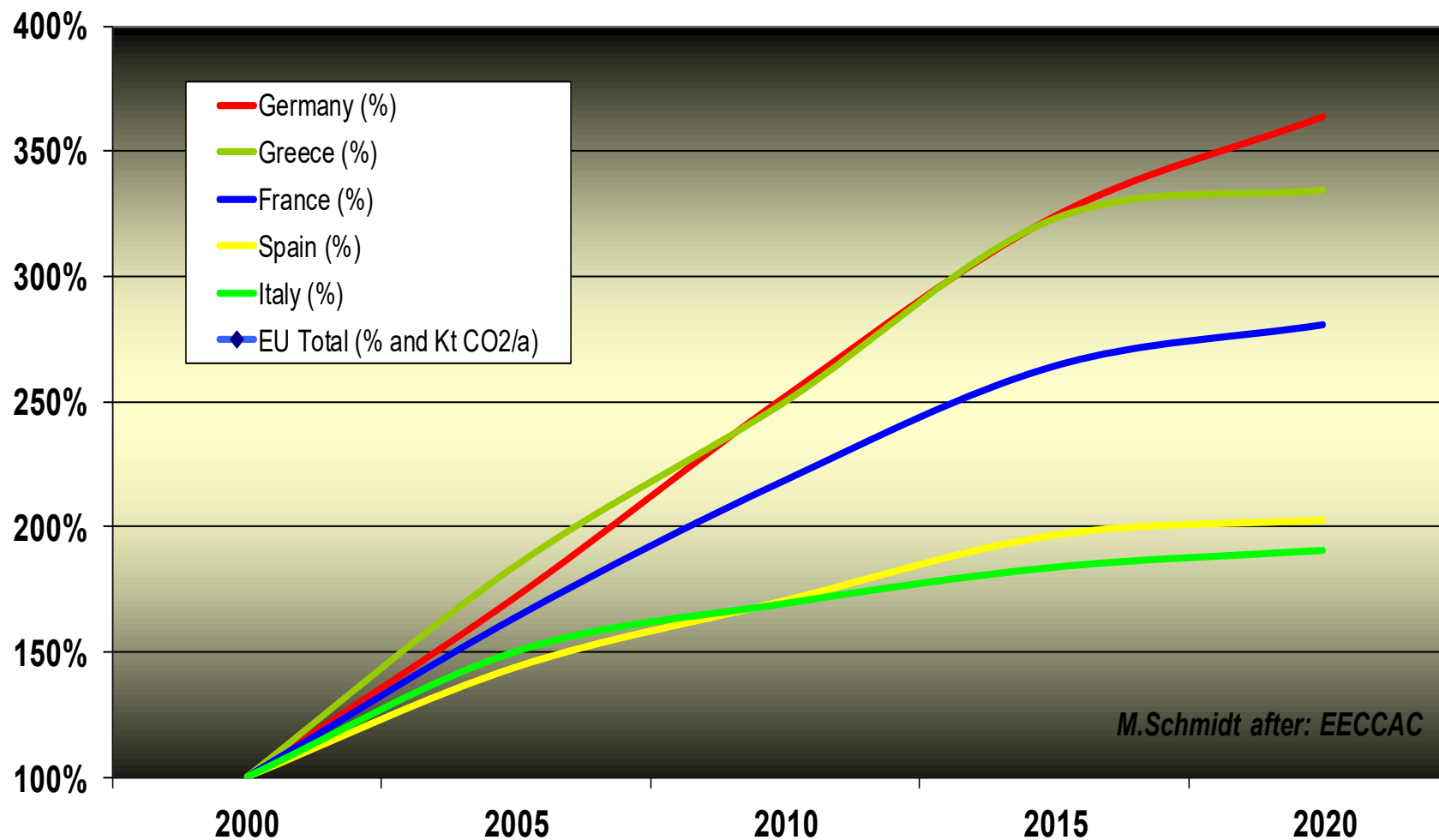


# BMW Forschungsjprojekt „Energieeffiziente Gebäudekühlung“ Förderkennzeichen: 03ETW020



- taz Verlagsgesellschaft AP1 (TAZ)
- Heinrich Böll Stiftung (HBS)
- INTEWA, Aachen (INT)
- Universitätsklinikum Frankfurt am Main (KGU)
- Freilacke, Döggingen (Schwarzwald) (FL)
- Bürogebäude Mittenwalde (MW)
- Landtag Brandenburg, Potsdam (LB)
- Institut für Physik, HU Berlin Adlershof (AP)
- ufaFabrik Berlin-Tempelhof (UFA)
- Potsdamer Platz (PP)
- DESY, Hamburg (DSY)





**Ziel Deutschland 2020:**  
Reduzierung des  
Energieverbrauchs von  
Gebäuden im Zeitraum  
1990-2020: **50%**

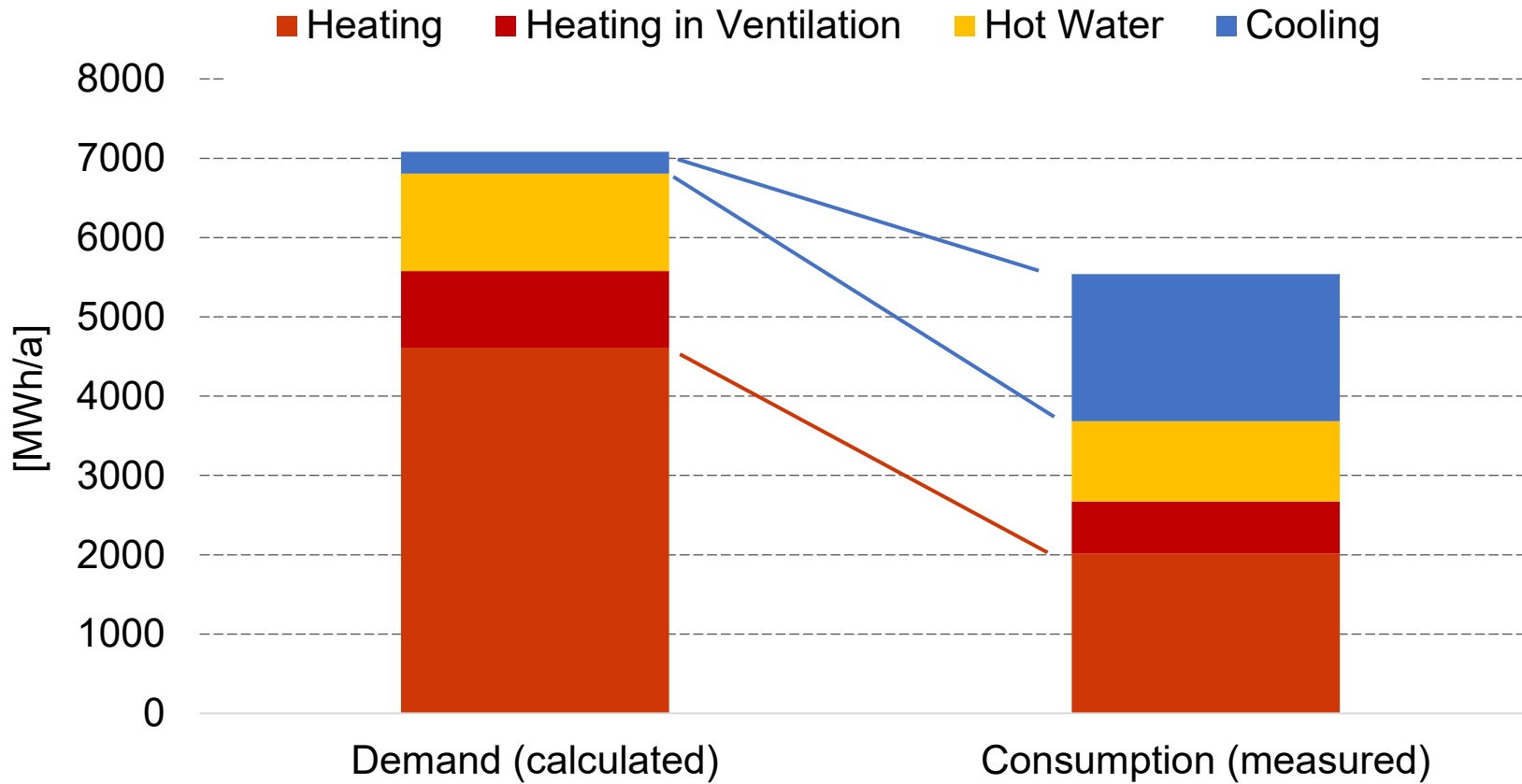
**Zielkonflikt:**  
Erhöhung des  
Energieverbrauchs zur  
Gebäudekühlung im Zeitraum  
2000-2020: + **260%**

*Source: Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC)  
Study for the D.G. Transportation-Energy (DGTREN) of the Commission of the E.U.*



# Krankenhaus Agatharied (Bayern)

## Vergleich Bedarf nach DIN V 18599 und real gemessener Verbrauch

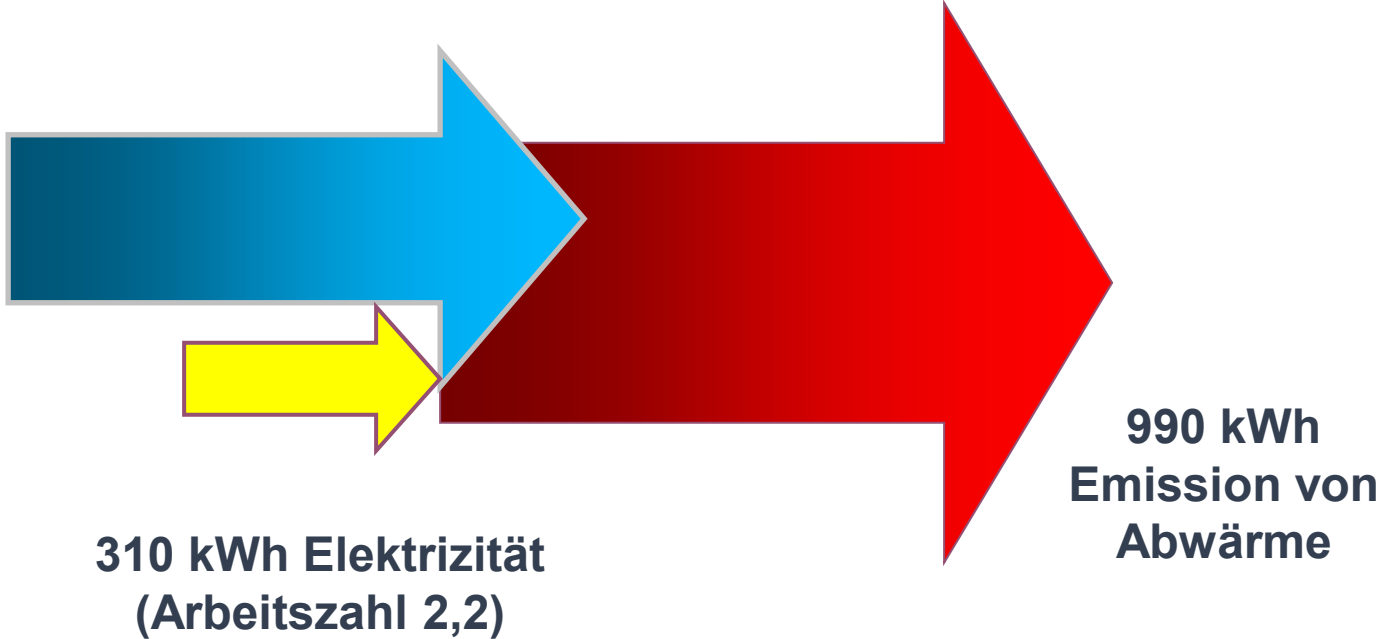


\*) incl. Absorption Chiller



# Nie Strom verwenden für die Gebäudekühlung ! ineffizient / nicht nachhaltig / ungesund !

680 kWh Kälte



**H-FKW's phase down: Viele der konventionellen Kältemittel in den nächsten Jahren nicht mehr verfügbar.  
Austausch der alten Kältesysteme erforderlich ! (Montrealer Protokoll, Kigali Änderungen ab 1.1.2019)**











**Verdunstung von Wasser: die einzig reale Kühlung!**

**680 kWh/ m<sup>3</sup>**

**Wassererwärmung von 30 auf 90°=> 68 kWh/m<sup>3</sup>**

**Phasenwechselmaterial (Paraffin) (PCM) => 61 kWh/m<sup>3</sup>**



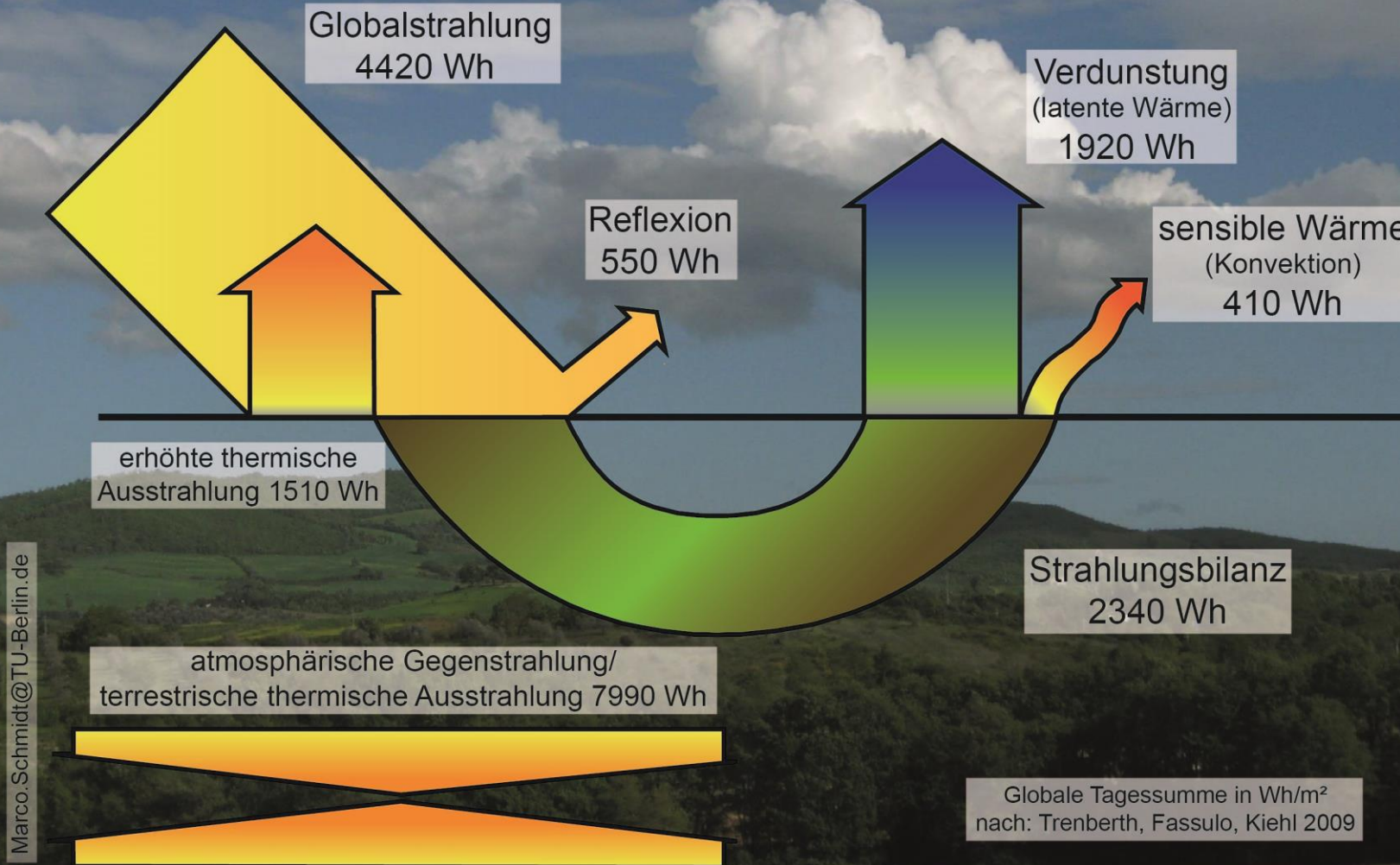


# Globale Strahlungsbilanz an der Erdoberfläche

Durchschnitt eines Quadratmeters weltweit

Die globale Energiebilanz an der Erdoberfläche wird zu 45% dominiert von Verdunstung und Kondensation !

Daten nach  
Trenberth, Fassulo, Kiehl 2009



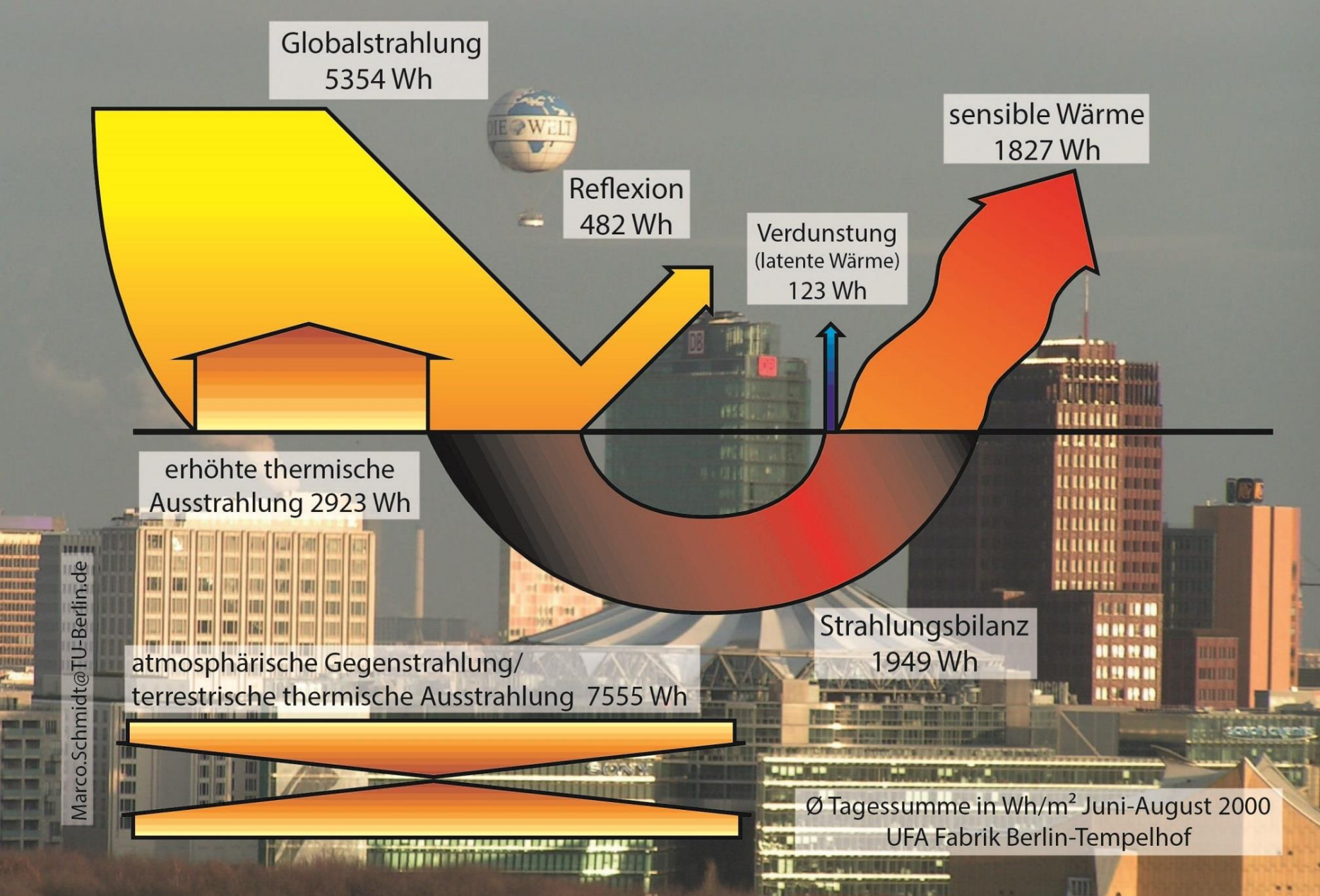


# Urbane Strahlungsbilanz

Beispiel: Bitumendach

„Urban Heat Island Effect“

Regenwasser wird in die Kanalisation abgeleitet, Reduzierung der Verdunstung

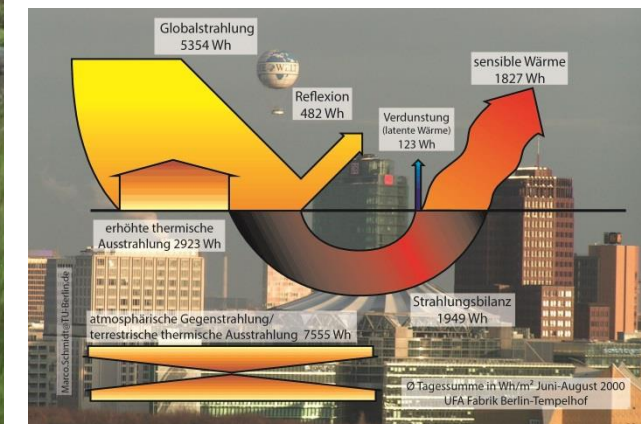
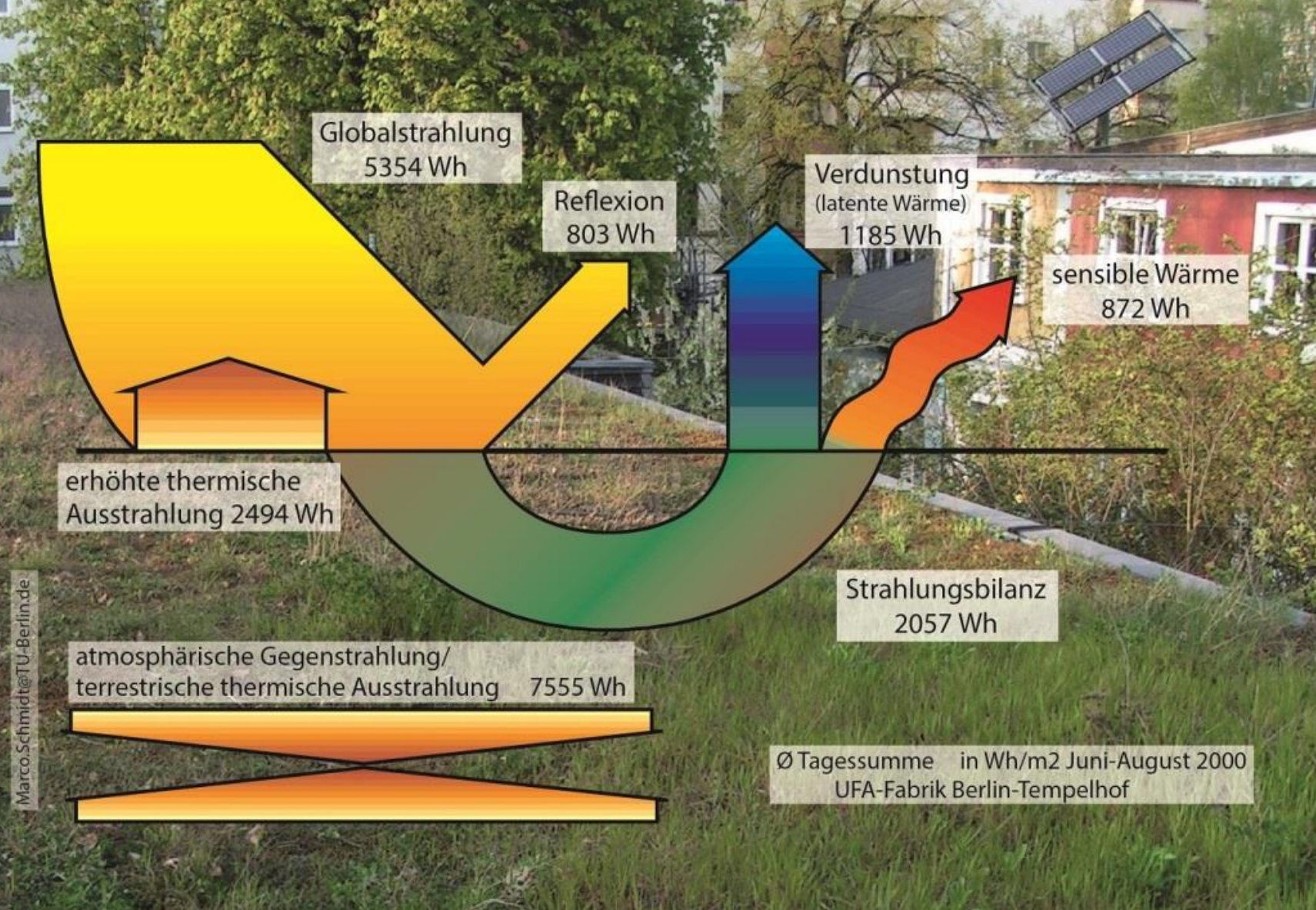




# Strahlungsbilanz Gründach

Ein extensiv begrüntes Dach wandelt bereits 58% der Nettostrahlung in die Verdunstung von Wasser in den Sommermonaten; 302 kWh/a (Berlin)

Verdunstung der natürlichen Niederschläge ohne zusätzliche Bewässerung





# Dramatische Reduzierung der Verdunstung an Land

## *Verlust von 800 km<sup>2</sup> Vegetation **täglich** weltweit !*

Abholzung von Wäldern\*: **343 km<sup>2</sup>**

Urbanisierung: **150 km<sup>2</sup>**

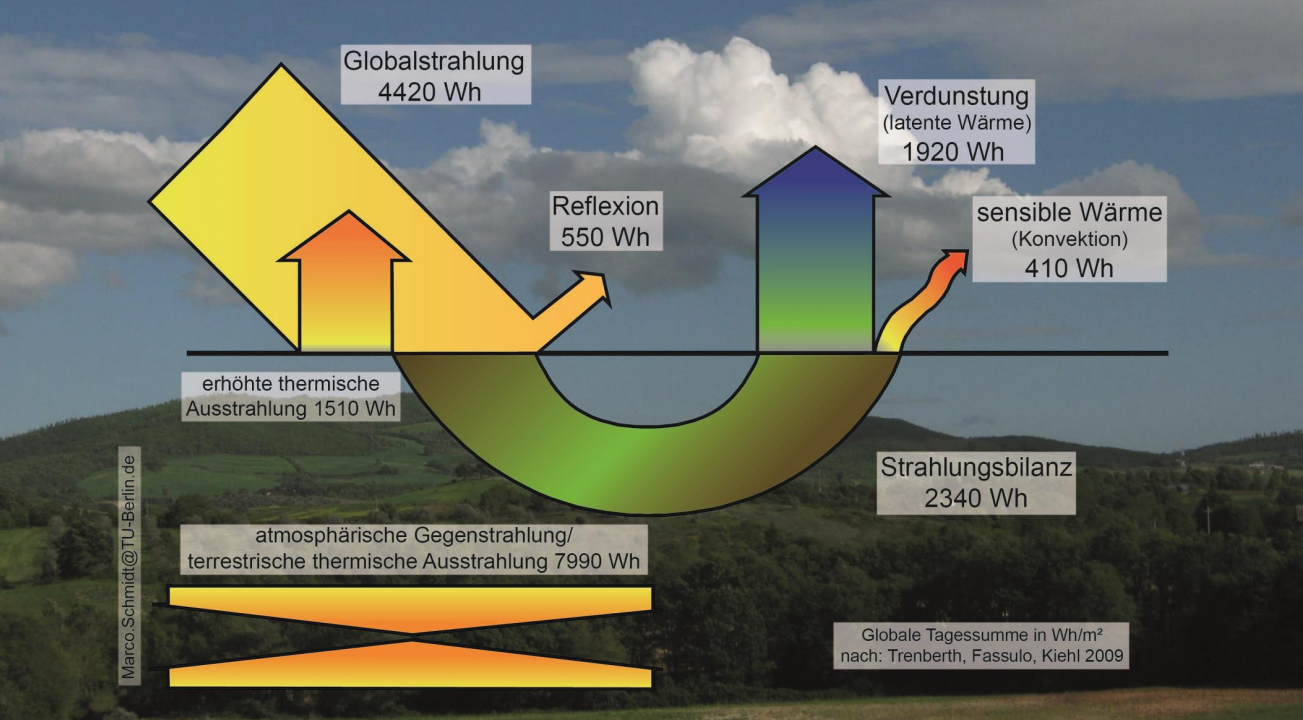
Versteppung und Wüstenbildung: **300 km<sup>2</sup>**

*Zum Vergleich Fläche Berlin:* **890 km<sup>2</sup>**

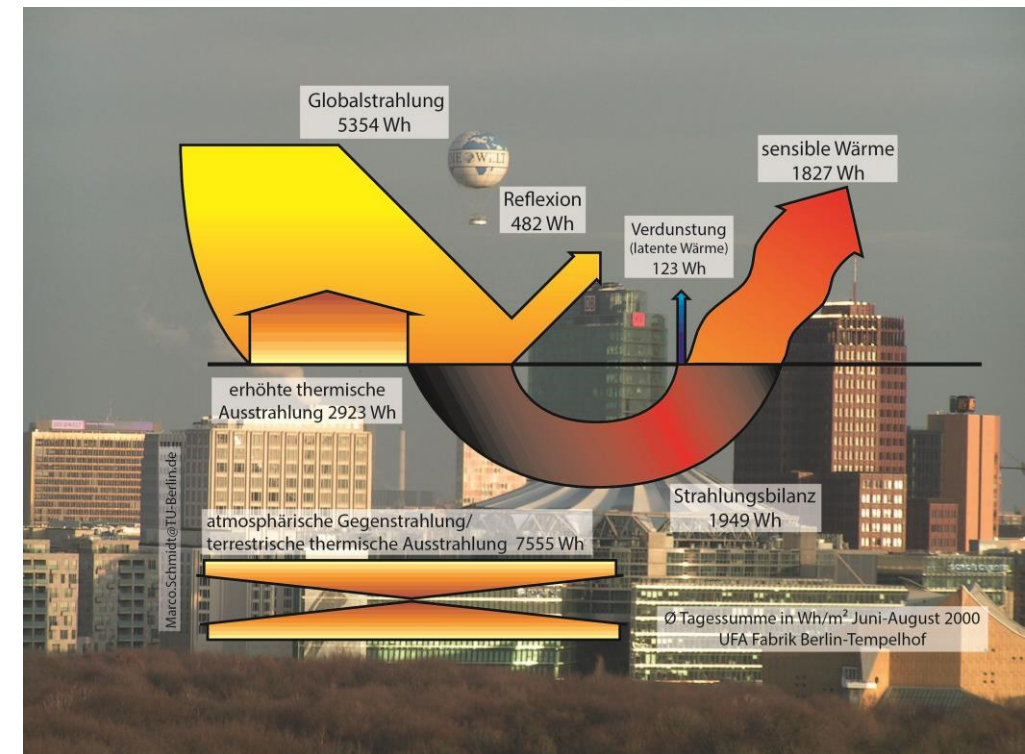


**Urbanisierungsrate Deutschland:  
1.000.000 m<sup>2</sup> täglich !**

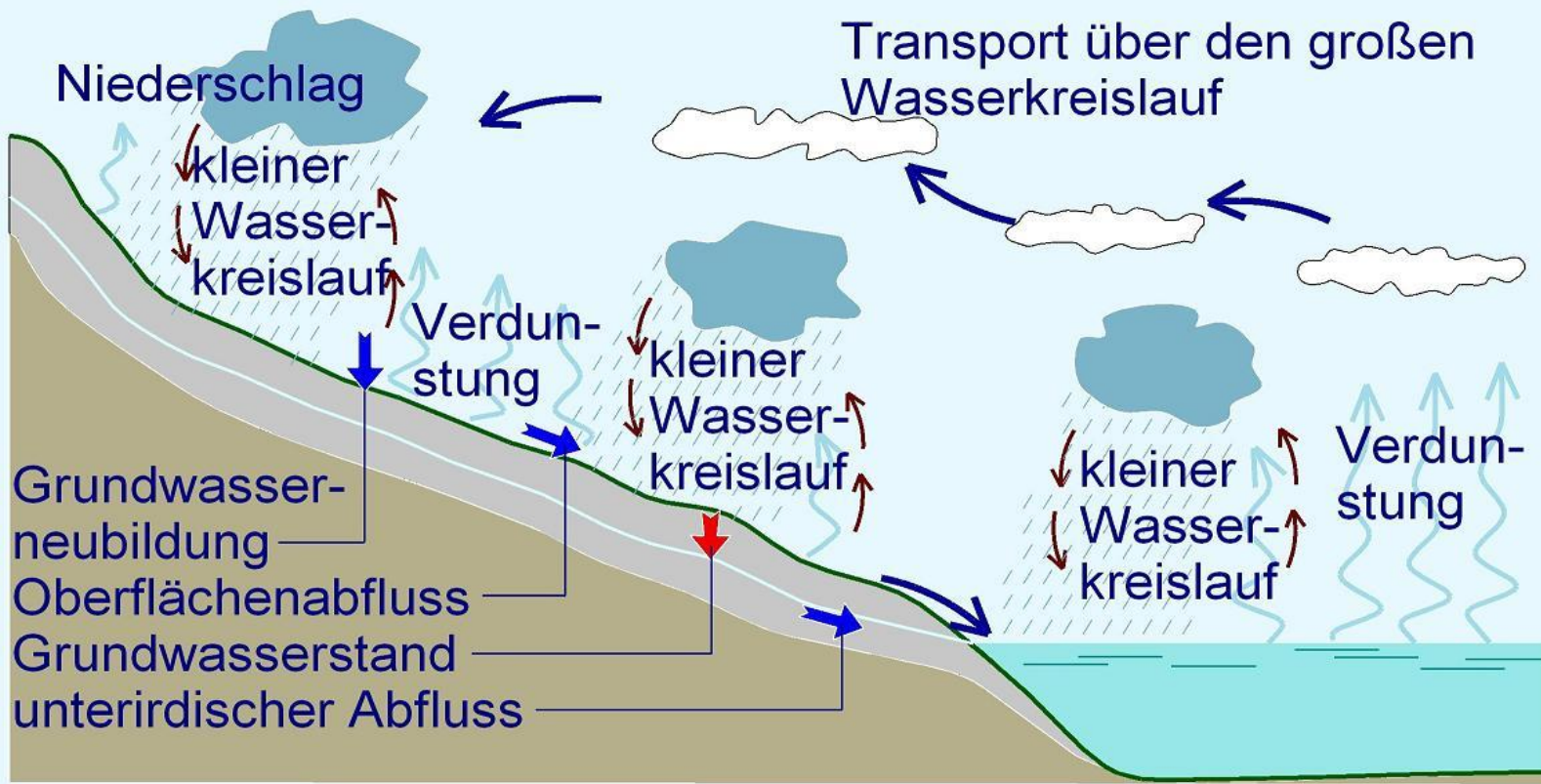




800 km<sup>2</sup>  
täglich !







→ großer Wasserkreislauf    Land  
 ↓ ↑ kleiner Wasserkreislauf    Ozean

## Zielsetzung Klimaanpassung

Verdunstung ist die Quelle für lokale und globale Niederschläge

Einzigste Form der realen Kühlung

Reduzierung der Verdunstung verursacht Trockenheit und Hitze !

Quelle: Kravcik 2007 et.al.  
[www.waterparadigm.org](http://www.waterparadigm.org)





# Bunker St. Pauli, Hamburg

Bauherr: **Matzen Immobilien KG**

Architekten: **phase10, Freiberg**

Landschaftsarchitektur: **L-Plus, Hamburg**

Baukosten: **ca. 100 Mio. Euro**

davon Dachgarten/ Begrünung: **ca. 8 Mio. Euro**

Lieferant Gehölze: **Lorenz von Ehren GmbH**

Ausführung: **Klaus Hildebrandt AG**

**frei zugänglicher Dachgarten in 58 m Höhe**

- 7600 m<sup>2</sup> Grün- / Gemeinschaftsfläche
- 1700 m<sup>2</sup> begrünte Fassadenfläche
- Bepflanzung mit 4.700 Bäumen, Sträuchern und Hecken, 23.000 Stauden

**„Bergpfad“**

- 300 m lang
- 422 Tonnen schwer
- fünf Meter breit



BMUV DAS Förderkennzeichen: 67DAS292





# Bunker St. Pauli, Hamburg

## Aufstockung 5 Level

- Hotel mit 136 Zimmern, div. Gastronomieflächen, mehrstöckige Bar
- Räume für Stadtteilkultur
- Ausstellungsflächen
- Urban-Gardening
- Unterkünfte für Stipendiaten und Künstler
- moderne Dreifeldhalle für Schulsport und Kulturveranstaltungen
- Gedenk- und Informationsort zum NS-Regime und des Zweiten Weltkriegs

**Eröffnung:** 3.7.2024

**Besucherzahlen:** > 1,5 Mio !

**Projektpartner:** **Hildegarden e.V.**

**BMUV DAS Förderkennzeichen:** 67DAS292



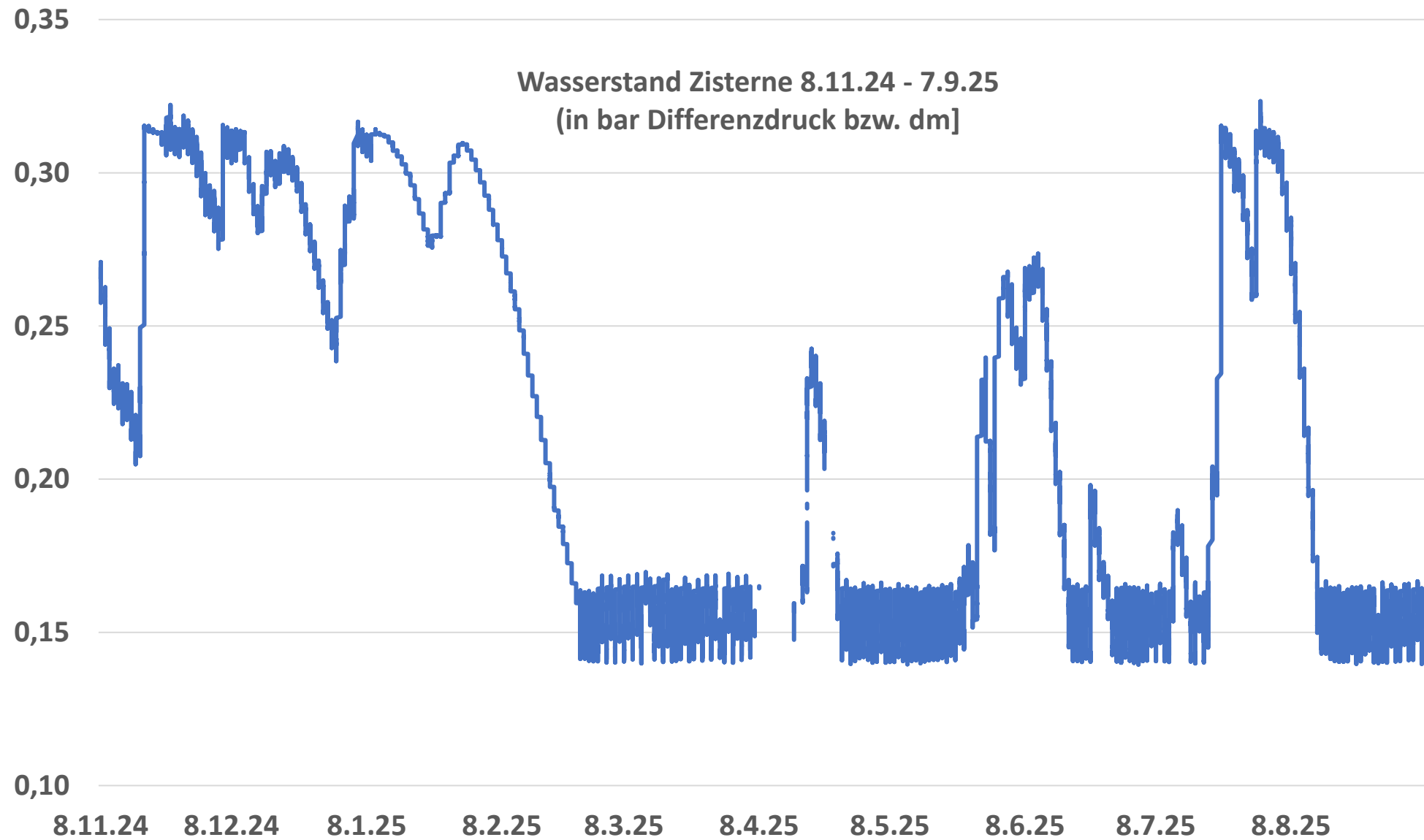














## **Bilanz 6.6.- 20.7.2025, 45 Tage**

**393,1 m<sup>3</sup> Trinkwassernachspeisung in Zisterne**

**3479 m<sup>2</sup> Pflanzfläche**

**113,0 mm Bewässerung aus TWN in Zisterne**

**90,7 mm Niederschlag**

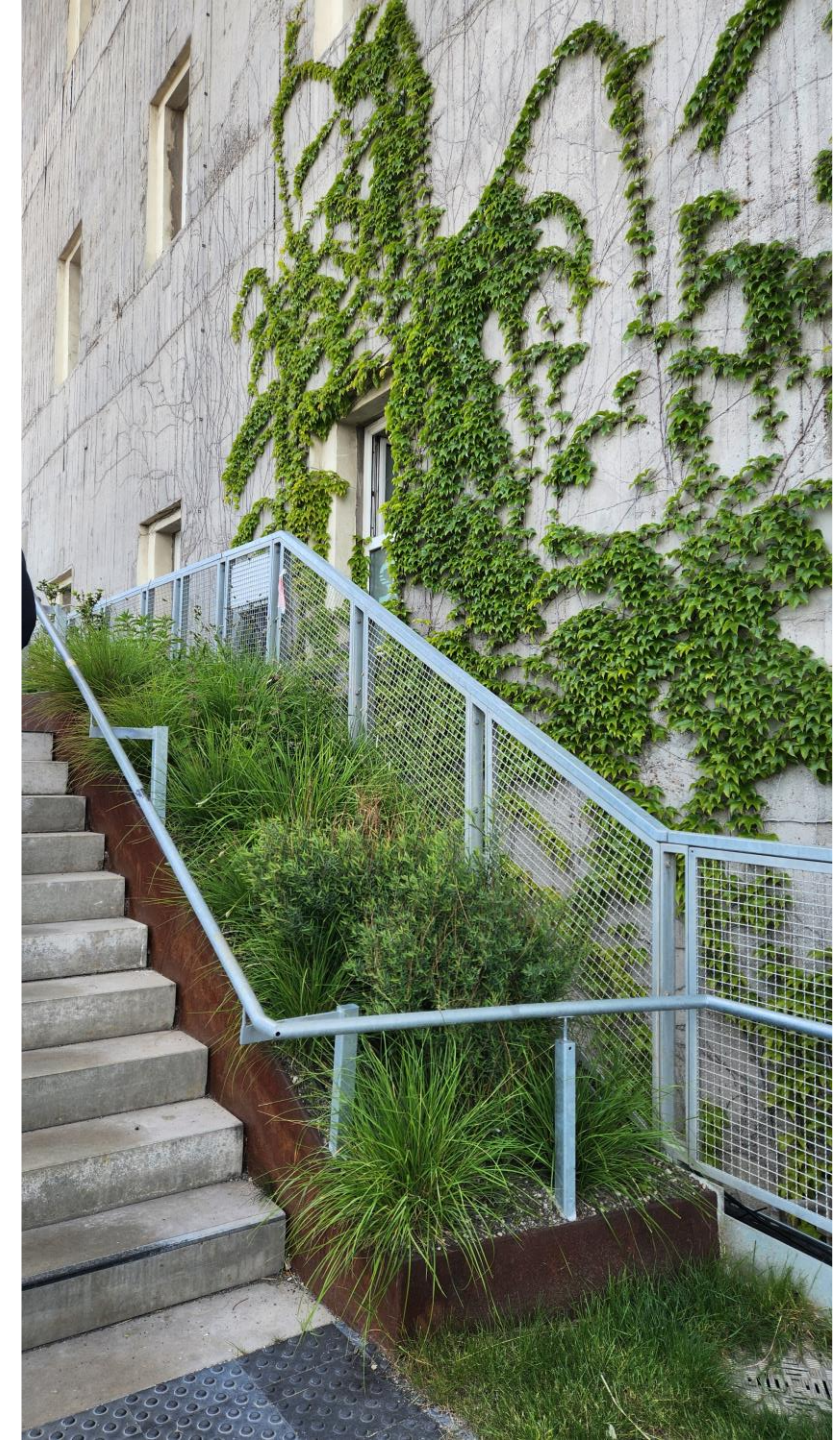
**203,7 mm Bewässerung und Niederschlag**

**139 kWh Verdunstungskälte pro m<sup>2</sup> im Zeitraum**

**5402 Wh solare Einstrahlung pro Tag**

**3089 Wh Verdunstungskälte pro m<sup>2</sup> und Tag**

**57,2% der solaren Einstrahlung**





# Bewässerungsbilanz

	BWBmm	BWKmm	BW1mm	BW2mm	BW3mm	BW4mm	BW5mm	BW6mm
	Bergpfad	Kragen	Level 1	Level 2	Level 3	Level4	Level 5	Level 6
	460,6 m <sup>2</sup>	494,9 m <sup>2</sup>	309,6 m <sup>2</sup>	386,7 m <sup>2</sup>	368,6 m <sup>2</sup>	331,0 m <sup>2</sup>	283,9 m <sup>2</sup>	843,3 m <sup>2</sup>
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
<b>Total</b>	17,0	13,8	26,0	9,0	9,2	9,8	7,6	3,9
<b>Verlust</b>	0	5,5	14,7	0	0	0	0	-0,9
<b>Real</b>	17,0	8,3	11,3	9,0	9,2	9,8	7,6	4,8
<b>Ziel</b>	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	12,0
<b>Faktor</b>	0,6	1,2	0,9	1,1	1,1	1,0	1,3	2,5

**Trinkwassernachspeisung Sep. 24 – Sep. 25: 2220 m<sup>3</sup> = 638 mm = 434 kWh/m<sup>2</sup>**

**Gesamtbilanz stimmt, aber erhebliche Unterschiede in den einzelnen Ebenen**

- **Stromverbrauch der Anlage: 1,09 kWh/m<sup>3</sup> Bewässerung**



## Handlungsempfehlungen zur Vermeidung der Umweltbelastung durch die Freisetzung des Herbizids Mecoprop aus wurzelfesten Bitumenbahnen

### 1. Veranlassung und Zielsetzung

Mit dem vorliegenden Hinweisblatt soll über die Umweltgefährdung für Gewässer und Böden infolge der Freisetzung des Herbizids Mecoprop aus wurzelfesten Bitumenbahnen informiert werden. Es werden Empfehlungen zur Vermeidung der Umweltbelastung gegeben.

Die Hinweise richten sich an die bei der Planung und Ausführung öffentlicher und öffentlich geförderter Bauvorhaben Beteiligten, an die öffentliche Hand als Gebäudeeigentümer und Liegenschaftsverwalter, an die Ordnungsbehörden sowie an die Betreiber von Regenwasserbewirtschaftungsanlagen.

Die Empfehlungen sollten bei Neubauten des öffentlichen und öffentlich geförderten Bauens sowie bei umfassenden Sanierungen von Gebäuden berücksichtigt werden.

Das Hinweisblatt wurde von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm) und dem Landesamt für Gesundheit und Soziales (LAGeSo) unter Einbeziehung von Expertinnen und Experten des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), des Umweltbundesamtes (UBA) der Berliner Wasserbetriebe (BWB), des Landeslabors Berlin-Brandenburg (LLBB) sowie der Technischen Universität Berlin (TUB) erstellt.

### 2. Ausgangssituation

Zur Dichtung von Dächern und Fundamenten werden häufig Bitumenbahnen eingesetzt. Produkte, die als „wurzelfest“ gekennzeichnet sind, enthalten chemische Durchwurzelungsschutzmittel, die eine Beschädigung der Bitumenbahnen durch einwachsende Pflanzenwurzeln vermeiden sollen. Als Wirkstoff wird das Herbizid Mecoprop eingesetzt.

Untersuchungen an der Schweizer Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Umwelt (BAFU) haben gezeigt, dass Mecoprop unter den natürlichen Witterungseinflüssen aus den Bitumenbahnen freigesetzt und mit dem Niederschlag ausgewaschen wird [1], [2], [3].

Über die Regenentwässerung mittels Trenn- bzw. Mischkanalisation kann es zu einer Belastung der Oberflächengewässer mit Mecoprop kommen. Aufgrund der geringen Eliminationsrate in Kläranlagen ergibt sich ein besonders hohes Gefährdungspotenzial. Bei einer dezentralen Regenwasserversickerung besteht die Gefahr einer Boden- und Grundwasserkontamination. Mit den in Berlin angewandten naturnahen Trinkwasseraufbereitungsverfahren kann Mecoprop nicht aus dem Rohwasser entfernt werden. Für Grund- und Oberflächengewässer sowie Trinkwasser gilt für den Wirkstoff eine gesetzlich festgelegte Qualitätsnorm bzw. ein Grenzwert von 0,1 µg/l [4], [5], [6].

Darüber hinaus kann die Auswaschung von Mecoprop aus Bitumenbahnen bei der Regenwassernutzung im Rahmen dezentraler Regenwasserbewirtschaftungskonzepte zu Beeinträchtigungen führen. Untersuchungen in Berlin haben gezeigt, dass erhöhte Mecoprop-Konzentrationen im zur Bewässerung genutzten Dachablaufwasser das Wachstum einer Fassadenbegrünung erheblich verringert bzw. verhindert haben.

Für Bitumenbahnen gibt es harmonisierte europäische Normen. In Deutschland ist zusätzlich die Anwendungsnorm DIN V 20000-201 zu berücksichtigen. Diese enthält jedoch keine konkreten Anforderungen hinsichtlich der Freisetzung von potenziell gefährlichen Stoffen. Es gibt derzeit für diese Produkte auch keine weiterführenden technischen Regeln, die die Problematik berücksichtigen.

## Merkblatt zu Herbiziden aus bituminösen Dachbahnen

### Download:

[https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches\\_bauen/download/broschueren/handlungsempfehlungen.pdf](https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/download/broschueren/handlungsempfehlungen.pdf)



# Wasserqualitätsuntersuchung Landesamt für Hygiene und Umwelt Hamburg

Grenzwert der Umweltqualitätsnorm für Oberflächengewässer [OGewV 2016] für Mecoprop: 0,1 µg/l

Proben-Nr.	Probenahme	ID 104	ID 105	ID 31853
		pH-Wert	Leitfähigkeit	Mecoprop
			µS/cm	µg/l
2024HX00320	27.6.24			0,419
2024HX00322	26.7.24			0,120
2024HX00323	1.8.24		504	0,113
2024HX00324	22.8.24	8,1	530	0,158
2024HX00325	11.9.24	8,4	597	0,445
2024HX00355	7.10.24	8,1	718	0,170
2024HX00360	25.10.24	7,9	724	0,097
2024HX00378	18.11.24	7,9	738	0,185
2024HX00379	13.12.24	7,3	740	0,105
2024HX00444	16.1.25	6,8	607	0,055
2024HX00445	27.2.25	7,5	533	0,143
2025HX00071	15.4.25	7,8	523	0,080
2025HX00072	26.5.25	7,7	499	0,168
2025HX00073	24.7.25	7,8	522	0,288



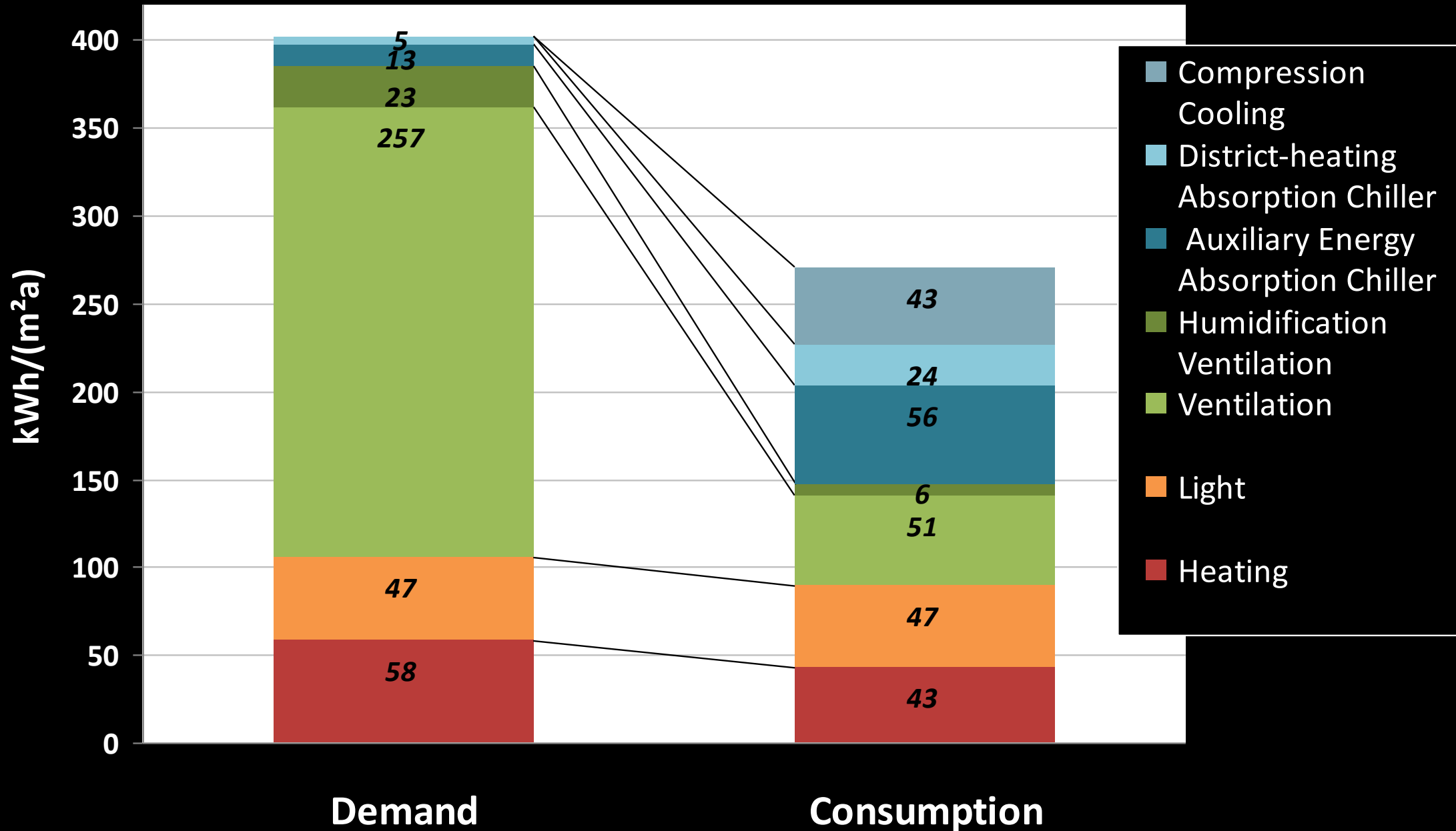
# Institut für Physik der Humboldt- Universität zu Berlin

5 Innenhöfe, Südfassade, 9 von 24 Fassaden begrünt

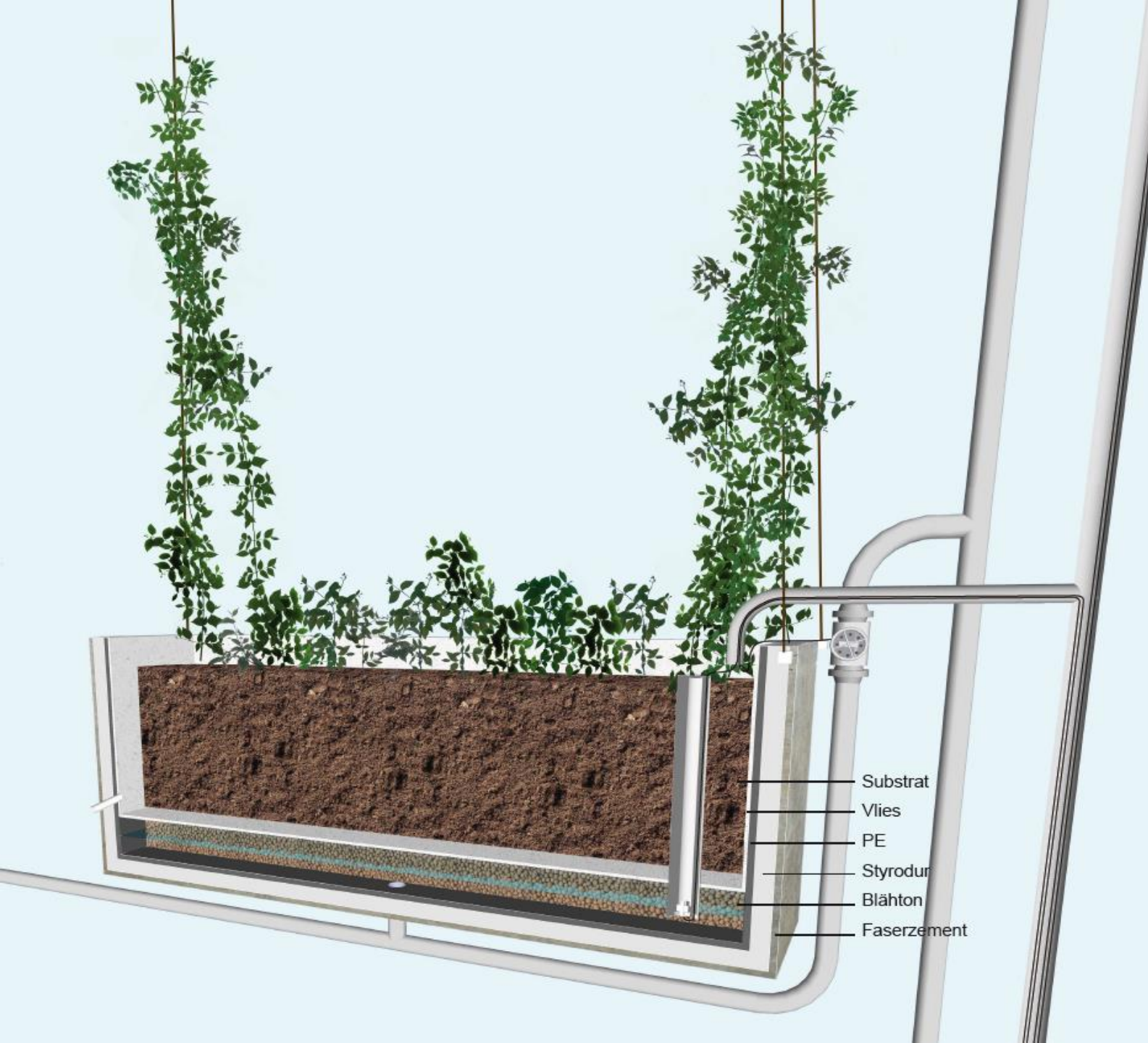




# Primary Energy Demand according DIN V 18599 (calculated) compared to consumption (measured)

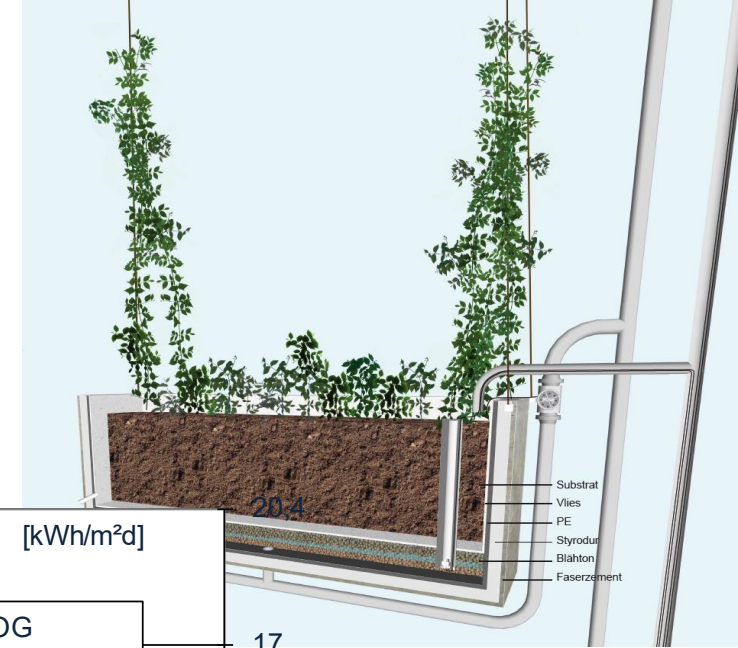
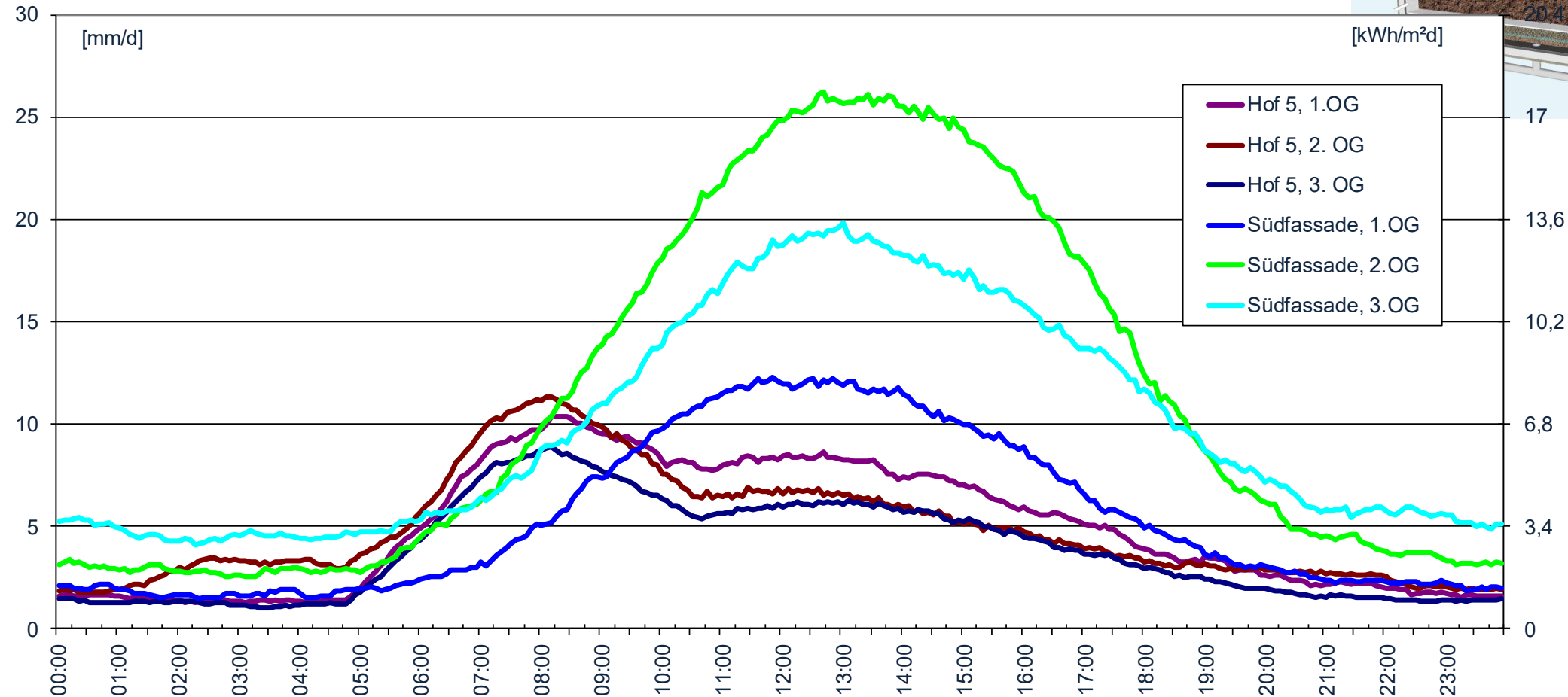








# Durchschnittliche Verdunstung der Fassadenbegrünung Adlershof Physik 15.7.05-14.9.05 erzeugte Verdunstungskälte: 280 kWh pro Tag

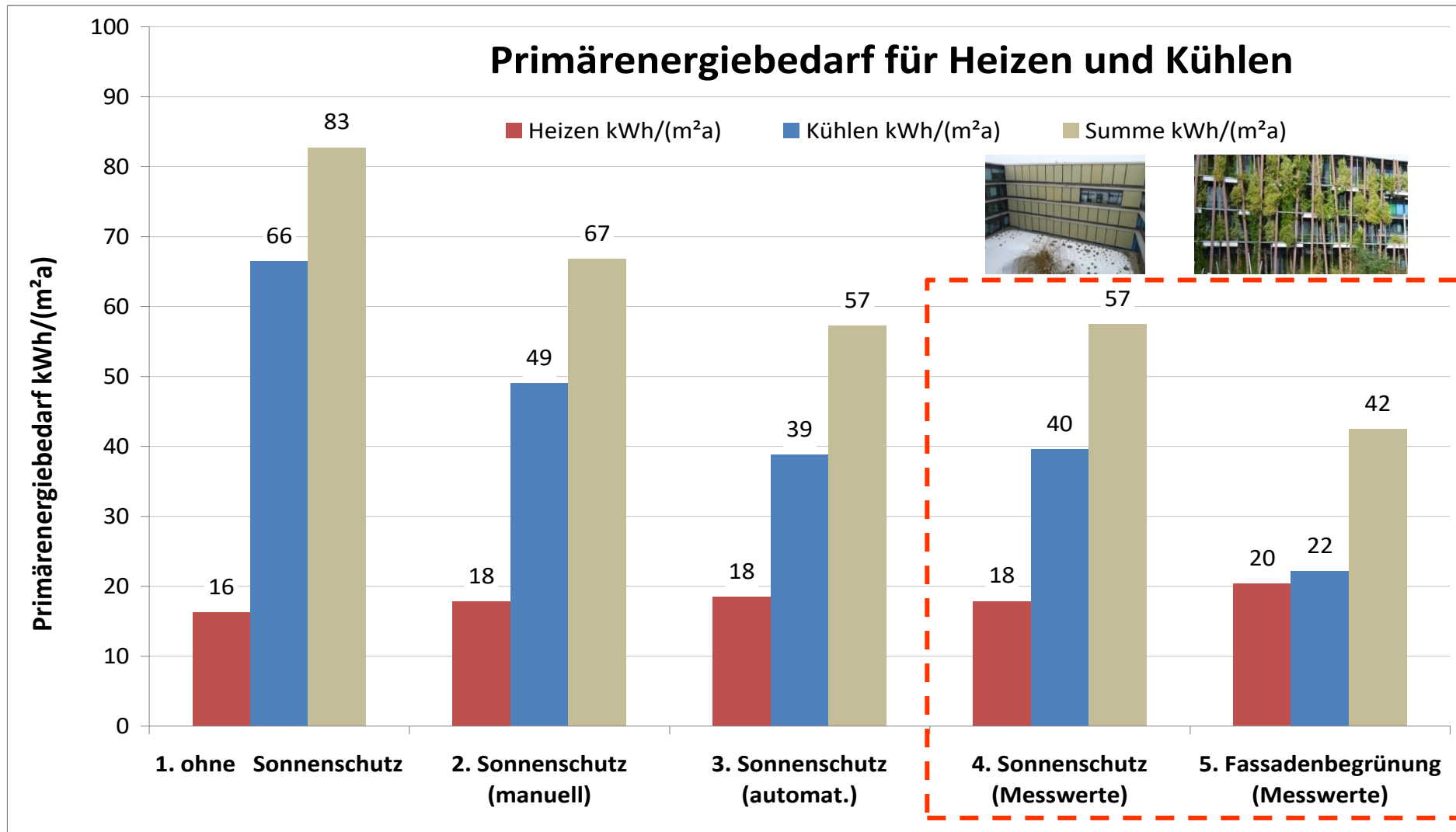




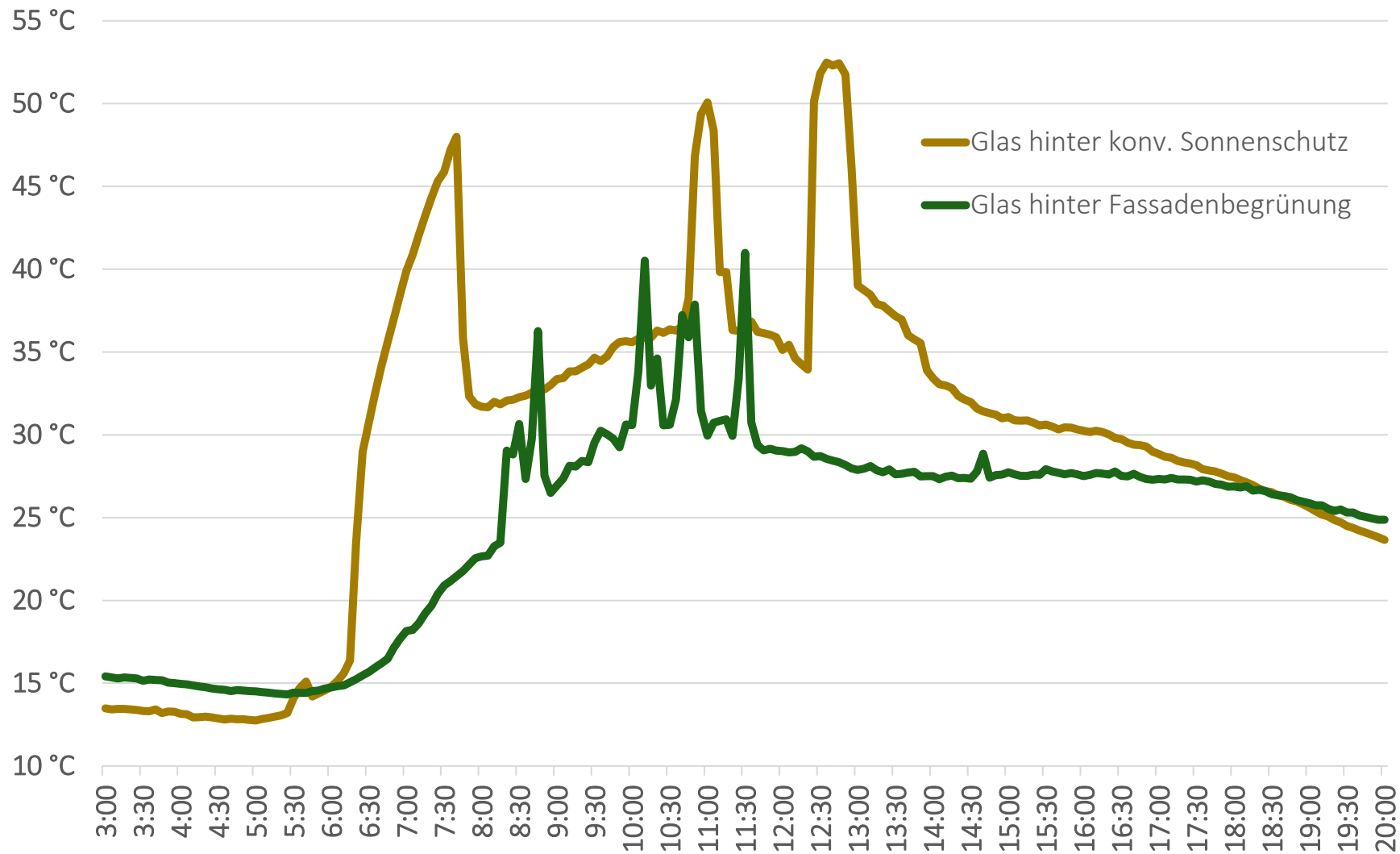
**Primärenergiebedarf zum Heizen und Kühlen für eine südorientierte Büroraumgruppe, konventioneller Sonnenschutz im Vergleich zur Grünfassade (nach DIN V 18599)**

(TU Berlin, IBUS Architekten 2014)

**Gebäude Institut für Physik,  
Humboldt-Universität  
Berlin-Adlershof**







**Oberflächentemperatur  
Glasfassade hinter  
konventionellem Sonnenschutz  
im Vergleich hinter  
Fassadenbegrünung**

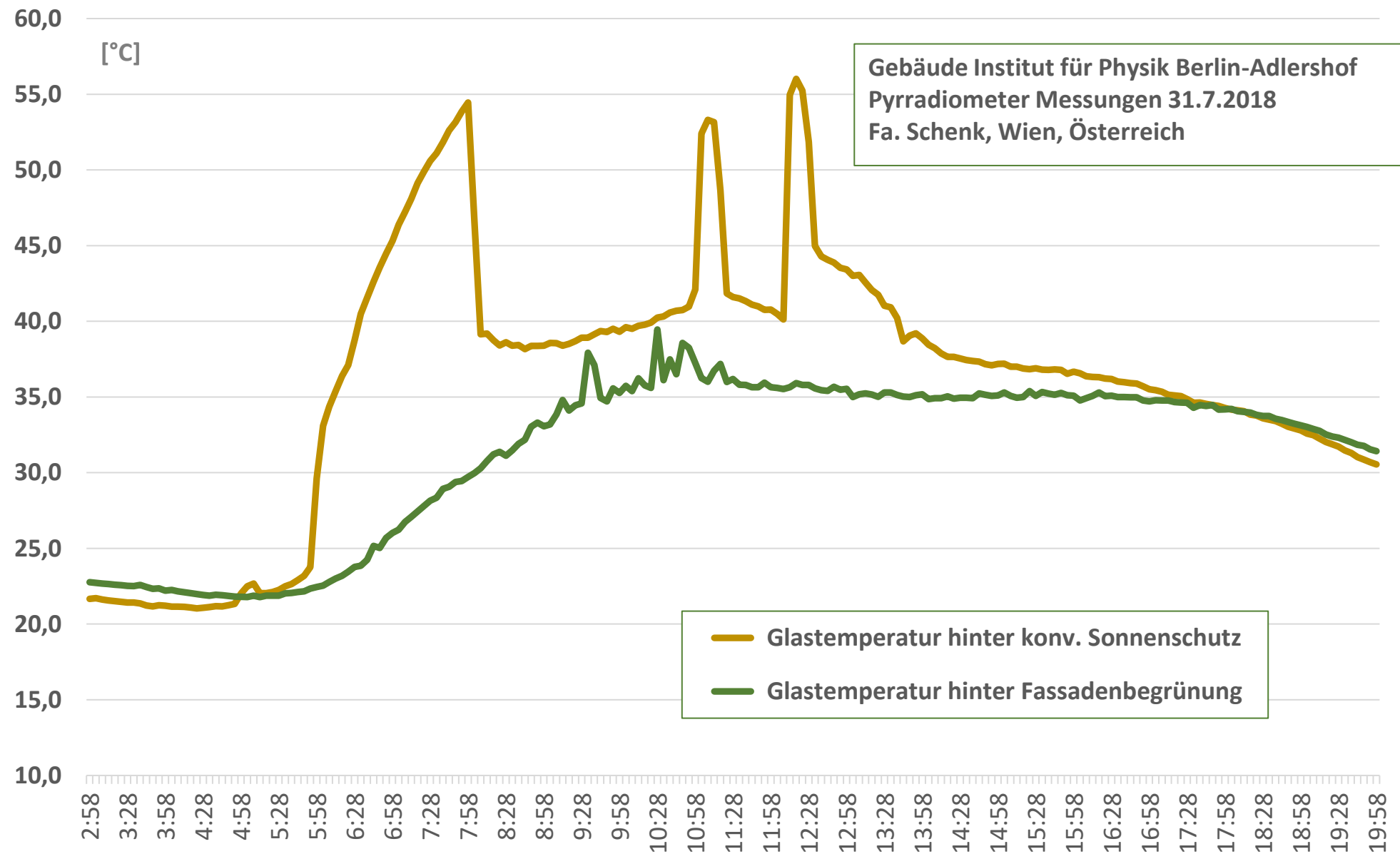
**06:00 - 18:00 h**

**Konv. Sonnenschutz: 34,5 °  
Fassadenbegrünung: 27,0 °**

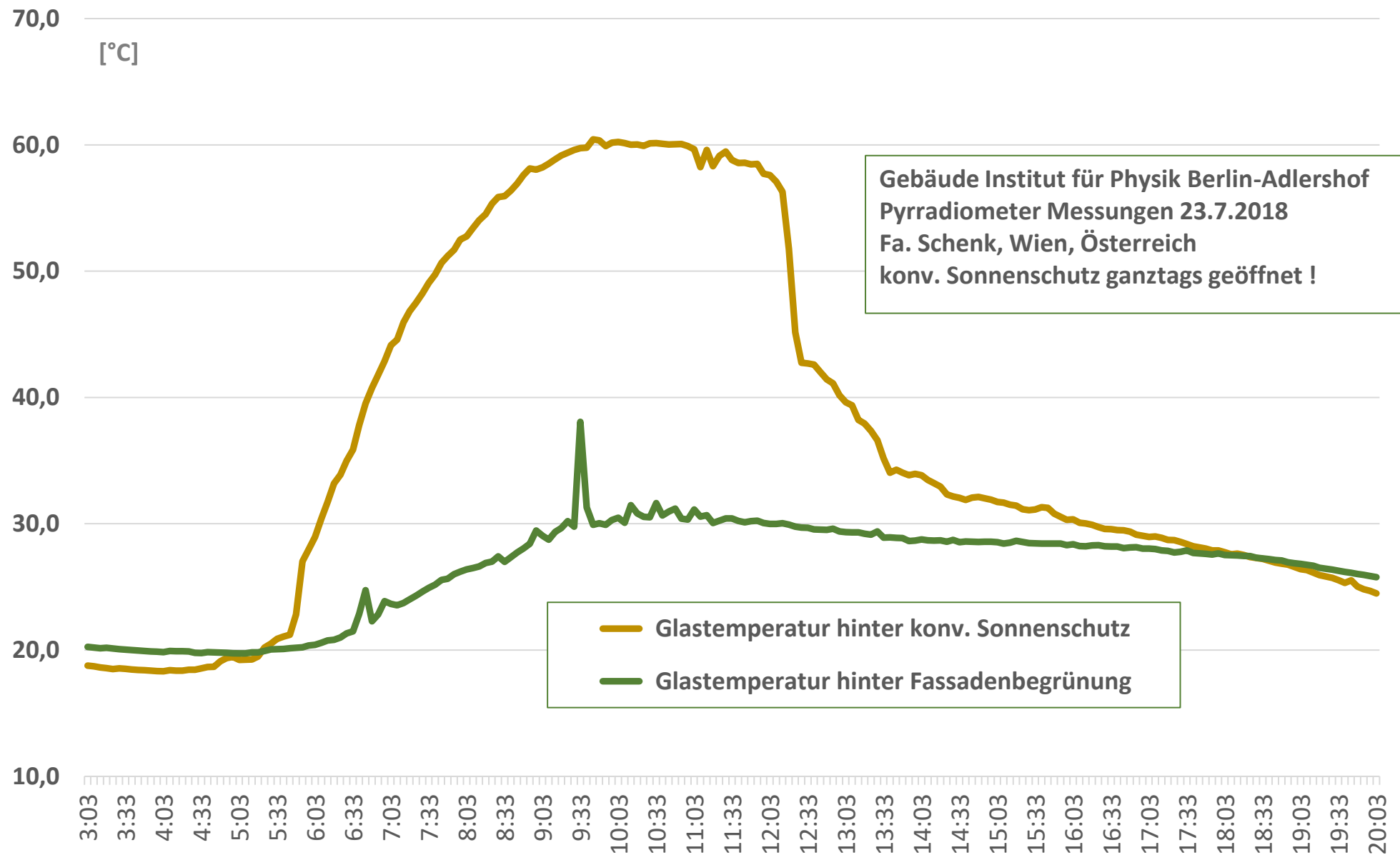
**Ziel: 26,0 °nach DIN 4108**

**Konv. Sonnenschutz: + 8,5 K  
Fassadenbegrünung: + 1,0 K**











**Betriebskosten: 1.300 €/a**

**Betriebskosten: 16.525 €/a**

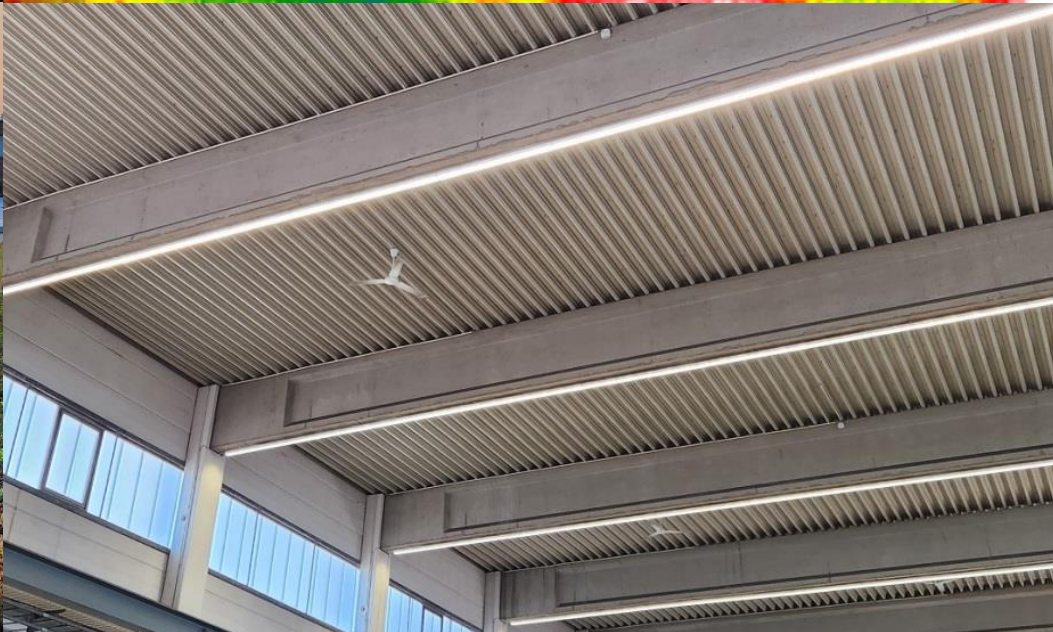
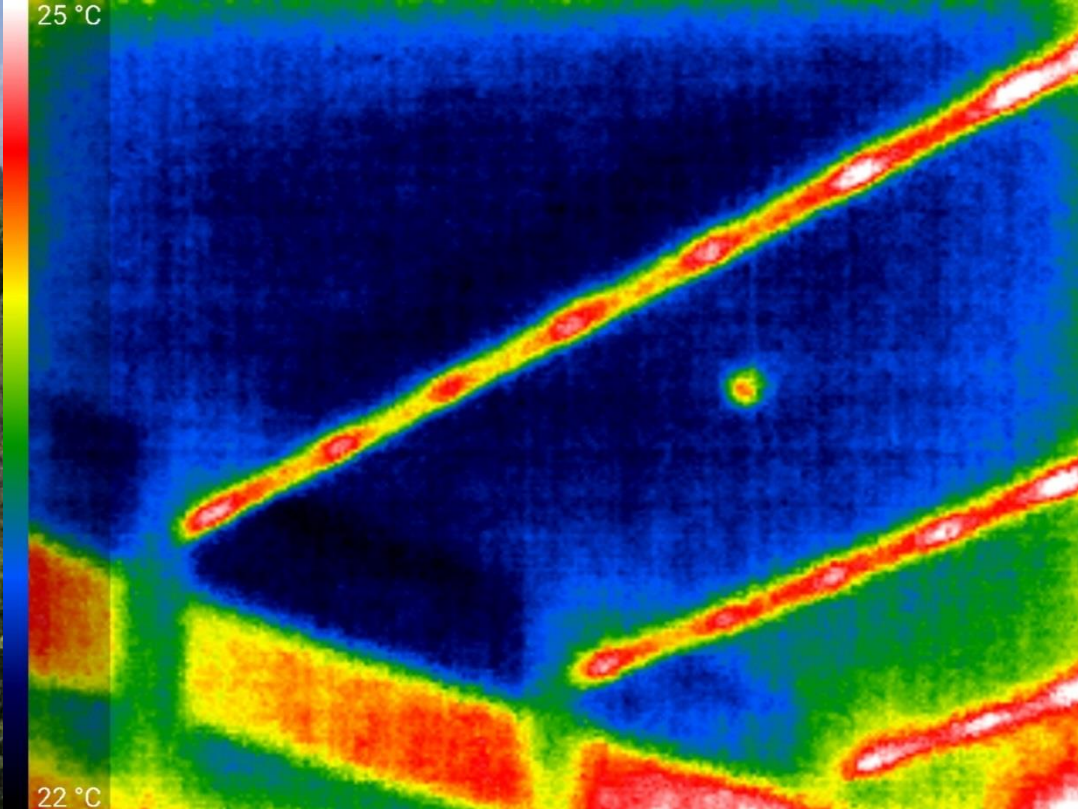
## Kostenvergleich

**Konventioneller  
Sonnenschutz mit  
Fassadenbegrünung**

**Gebäude Institut für Physik,  
Humboldt-Universität  
Berlin-Adlershof**

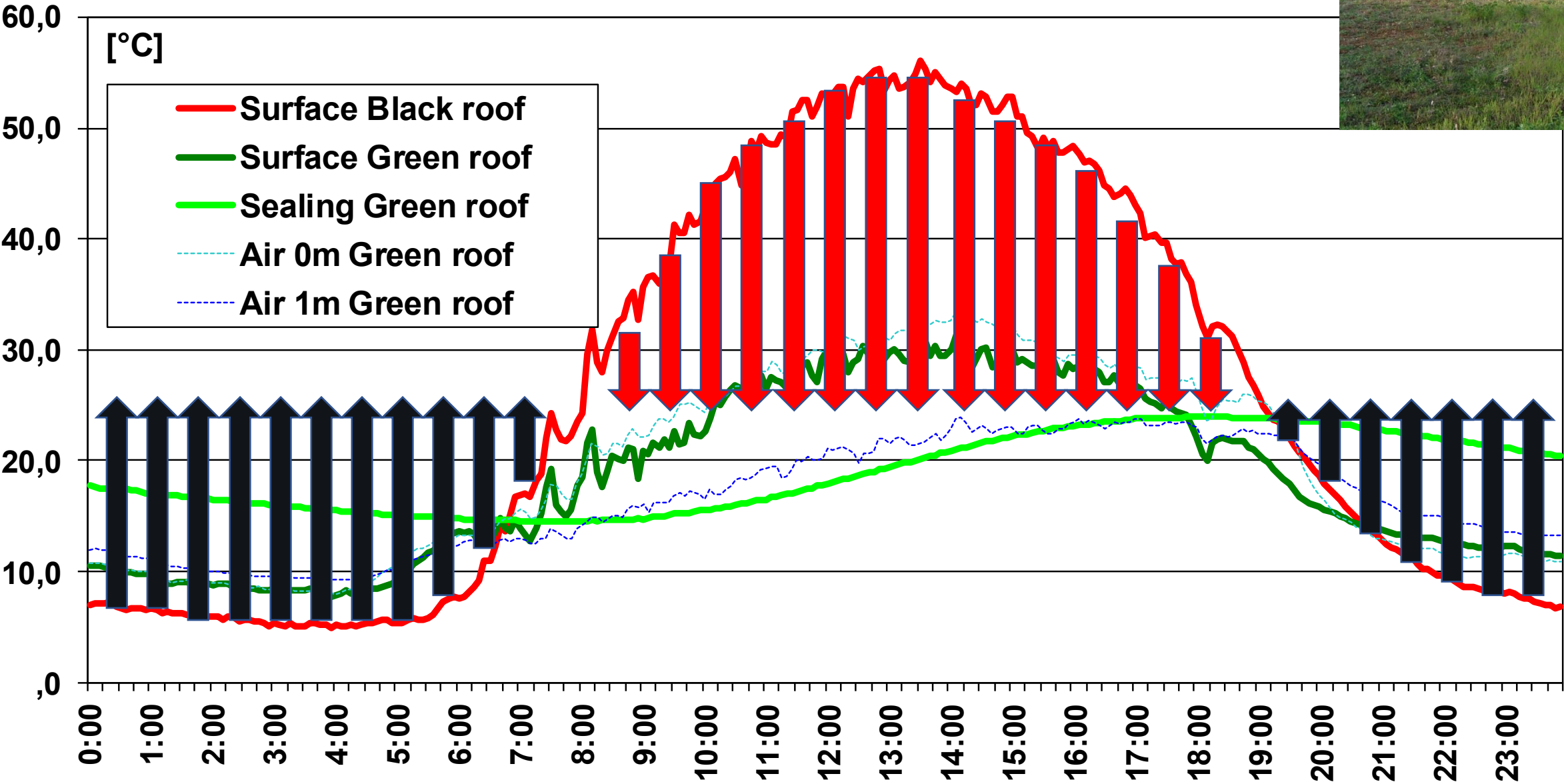


**DESY Halle 36 Hamburg  
Deutsches Elektronen-Synchrotron  
Sanierung Projekt EnEff:Kühl; RIESA**



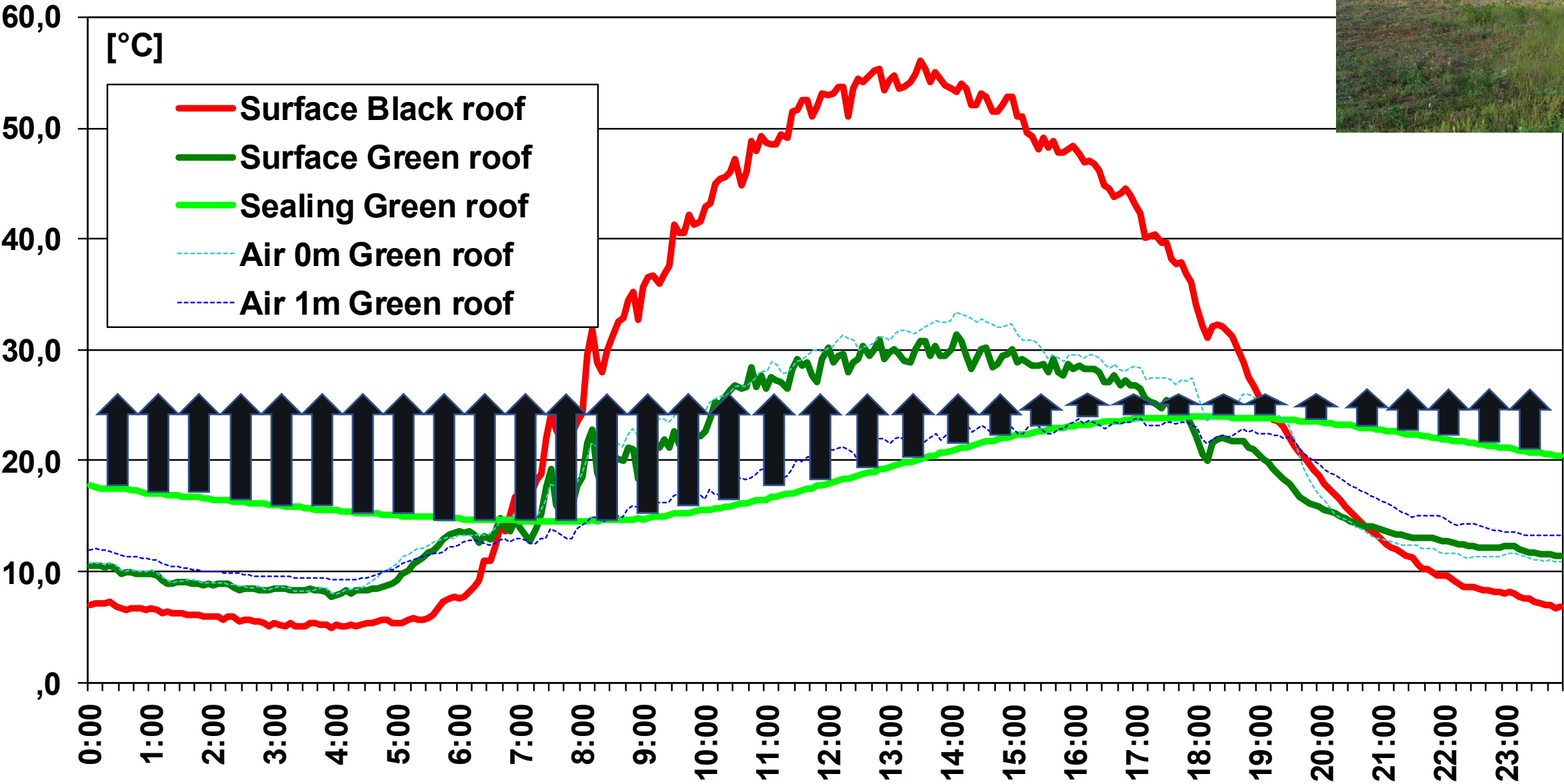


# Oberflächentemperaturen: Bitumendach <=> Gründach





# Oberflächentemperaturen: Bitumendach <=> Gründach







## Null Energie Gebäude

Umwelt-  
bundesamt (UBA)  
Dessau

Erweiterungsbau  
57,4 kWp Dach  
198 Module als  
Schmetterlingsaufbau



Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung



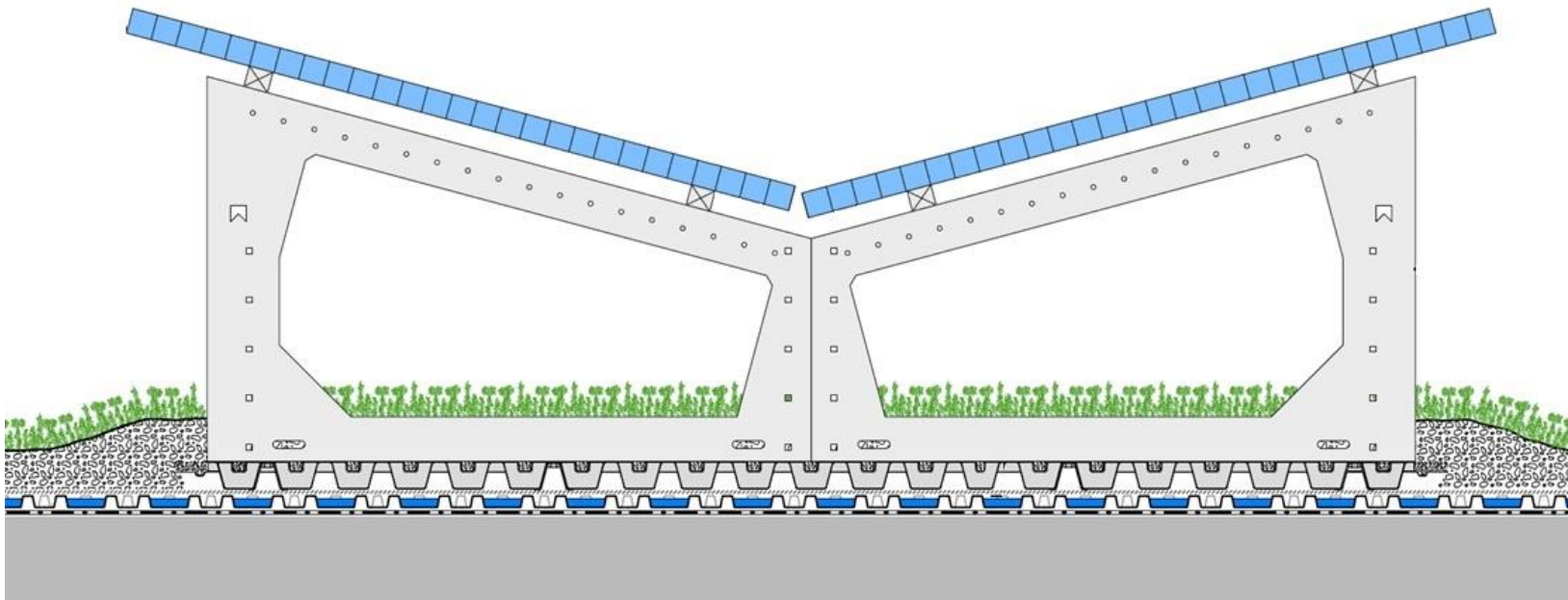


**„Schmetterlings-Aufbau“: Regenwasser verteilt sich unter der Grundplatte**

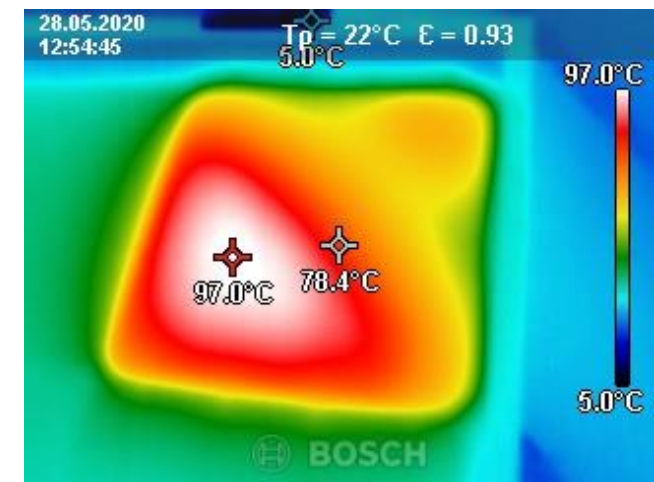
**Pro Zelle: 0,4 V, 1000 Zellen in Reihe: 400 Volt**

**Wichtig: Vermeidung der Teilverschattung der Solarmodule !**

**Bildung von „Hot Spots“ durch die Reihenschaltung der Solarzellen,  
Bypass Dioden für ca. 20 Zellen => 19 Zellen produzieren weiterhin**



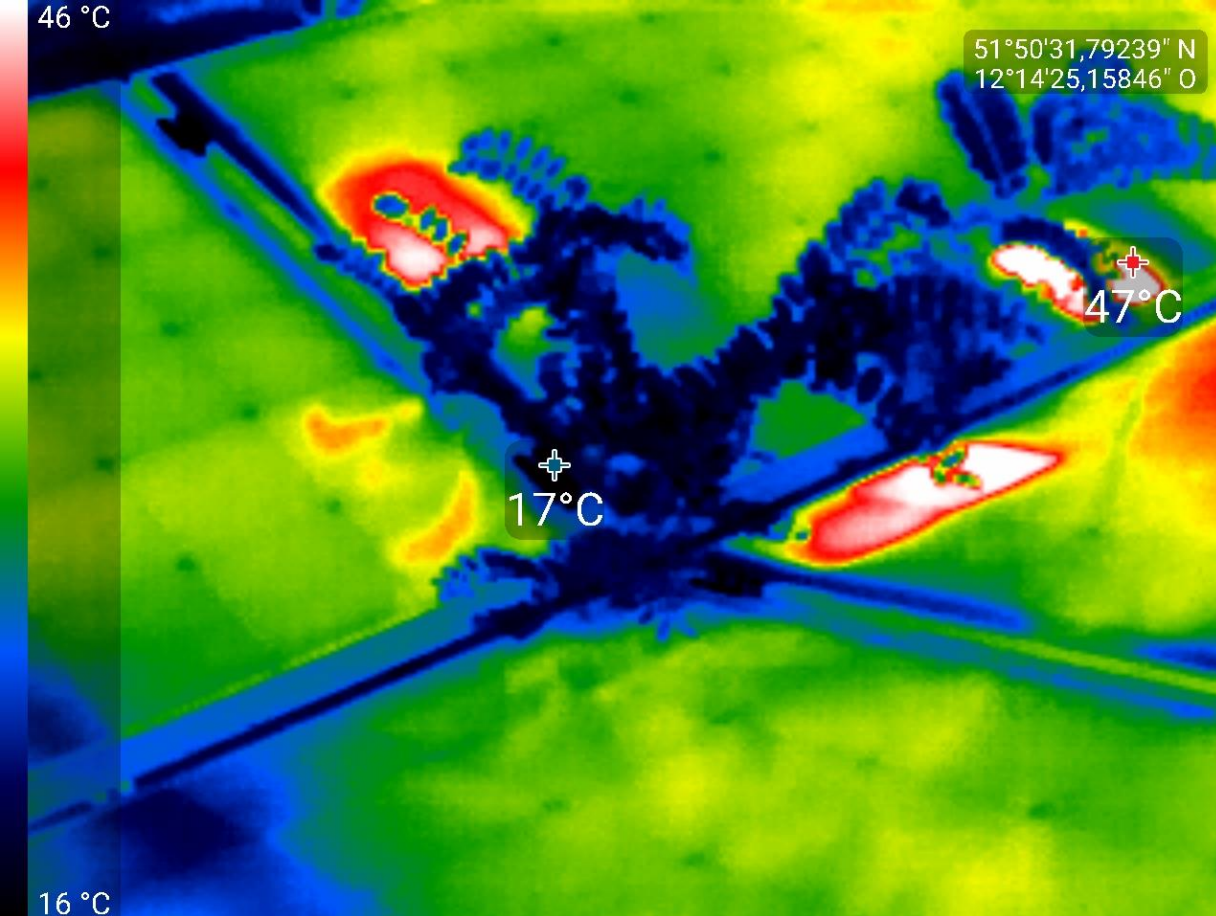
**Skizze modifiziert nach Fa. Zinco**











## ***Vermeidung von Teilverschattung der Solarmodule durch Dachaufbauten und Vegetation !***



### ***Effekt:***

***Bildung von „Hot Spots“ auf den  
beschatteten Zellen, da die in Reihe  
geschalteten anderen Zellen  
weiterhin produzieren***

***=> Ertragseinbruch bis Moduldefekt***



# Betriebskosten

## Adiabate Kühlung im Vergleich

Verdunstung: 0,7 ct/kWh

Bei Regenwassernutzung: 0,1 ct/kWh

Kompressor: 9,4 ct/kWh

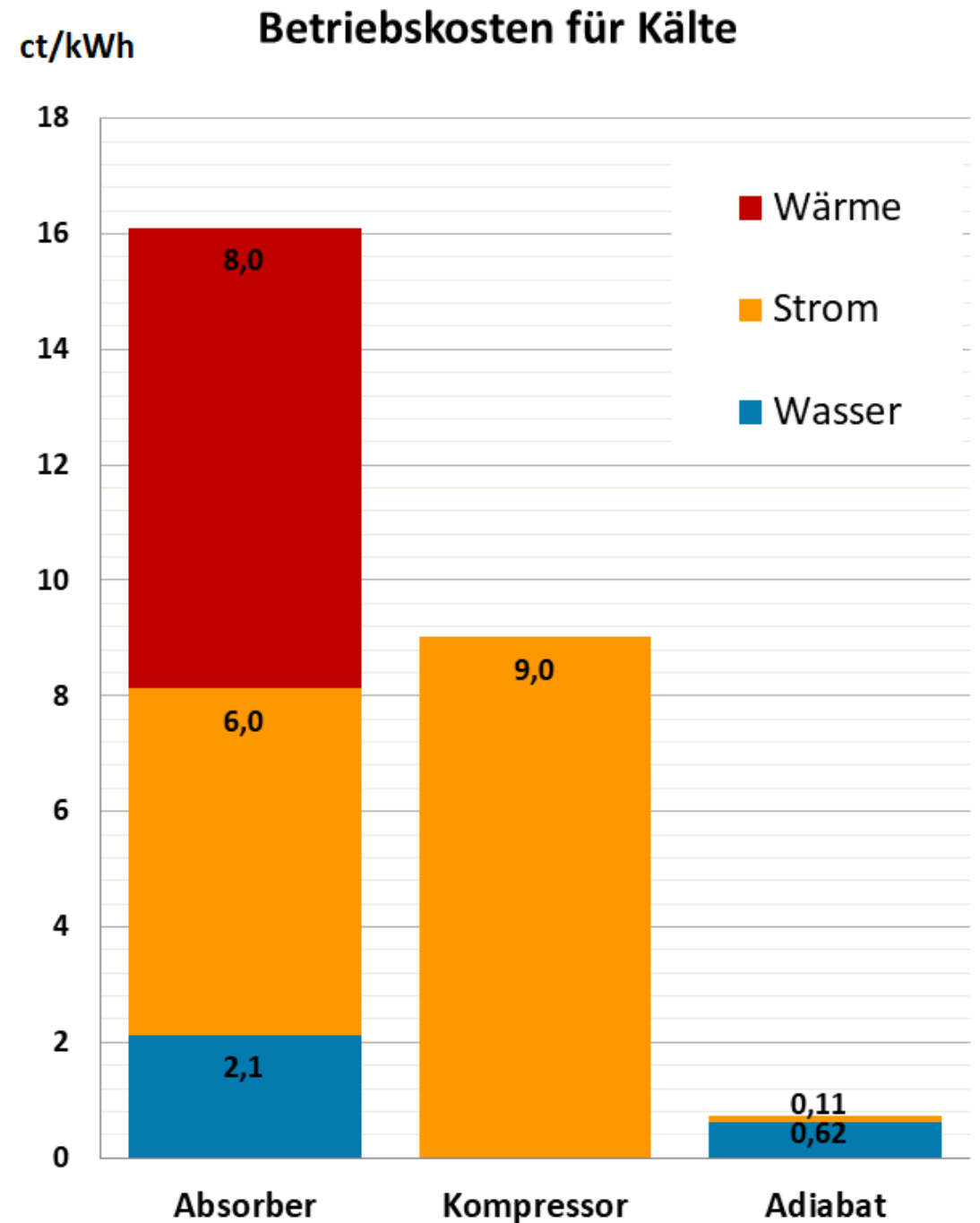
Absorber: 16,1 ct/kWh

Wärme: 0,0376 €/kWh JAZ 0,47

Strom: 0,1850 €/kWh JAZ 2,05

Wasser: 2,22 €/m<sup>3</sup>

Abwasser: 2,57 €/m<sup>3</sup>







**TAZ Verlagsgesellschaft  
Berlin**

- **Low Exergy**
- **Fernwärmenutzung**
- **Verdunstungskälte**
- **Abwärmenutzung  
Server**

**[www.erichkeller.com](http://www.erichkeller.com)**

**Gemessene Leistungs-  
zahl Kühlung: 80,2 !!**

**Incl. Pumpen: 10,5**

**Incl. Backup: 8,3**

**Incl. Verluste: 4,8**

**Wärme- und Kälte-  
verteilung über 322  
Konvektoren**

**Passive Kühlung über  
Dachbegrünung**



# Low Tech: Blau-Grüne Infrastruktur

## 4x Win: Win + Win + Win + Win

- Günstiger in den Investitionskosten
- Günstiger in den Betriebskosten
- Bessere Performance für das Gebäude
- Besser für die Umwelt

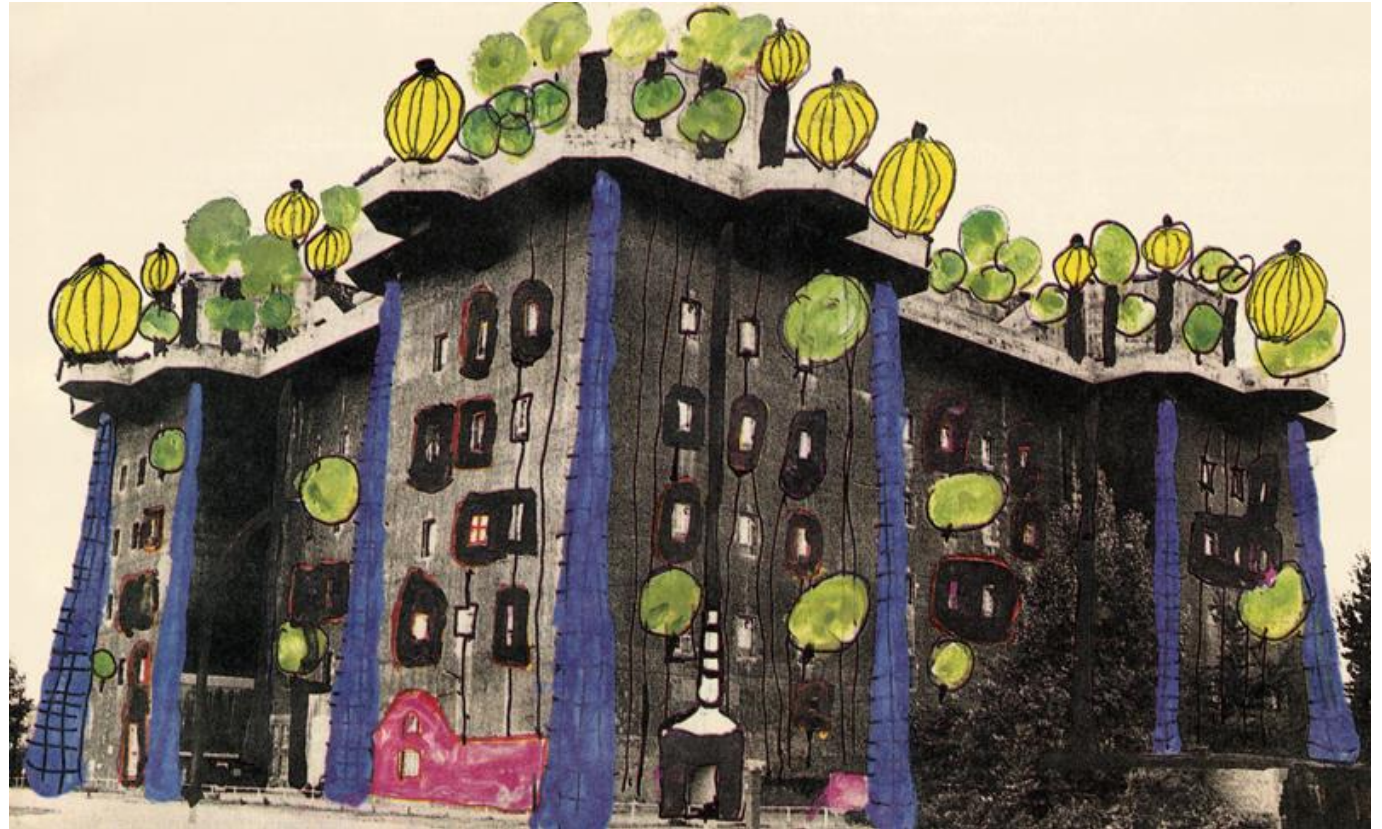
BBSR Fachsymposien  
“LowTech im Gebäudebereich”  
[www.zukunftbau.de](http://www.zukunftbau.de)





# Vielen Dank

[www.gebaudekuehlung.de](http://www.gebaudekuehlung.de)  
[www.bimoka.de/termine](http://www.bimoka.de/termine)  
[www.bbsr.bund.de](http://www.bbsr.bund.de)



Bunker St. Pauli: Erste Begrünungsskizze Friedensreich Hundertwasser, Hamburger Abendblatt 1992  
Visualisierung DESY Halle 36 Hamburg: „luminousfields“  
Visualisierung Bunker St.Pauli Hamburg: „Planungsbüro Bunker/Matzen Immobilien“