



**DI Dr.techn. Daniela Trauninger**

Department für Bauen und Umwelt  
Zentrum für Bauklimatik und Gebäudetechnik

**Dipl.-Ing. Albert Treytl**

Department für Integrierte Sensorsysteme  
Zentrum für Verteilte Systeme und Sensornetzwerke



# Kühlpotential durch natürliche Nachtlüftung am Gebäudebestand

Erste Forschungsergebnisse an der Donau-Universität Krems

# Problemstellung

- Anstieg der Außentemperaturen v.a. in Kombination mit urbanen Hitzeinseln → Anstieg der äußeren Wärmelasten
  - 1961-1990: 9,6 Hitzetage (Tage über 30°) in Wien<sup>1)</sup>
  - 1981-2010: 15,2 Hitzetage pro Jahr in Wien
- Erhöhung der inneren Wärmelasten
- Steigende Komfortansprüche



Bild aus [www.vienna.at](http://www.vienna.at)



**Gebäudekühlung nimmt auch im Altbau einen immer höheren Stellenwert ein!!!**

1) lt. ZAMG (2012): Hitzetage werden immer häufiger. Online unter: [www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at)

Büro im Altbau des Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau aus: <http://www.wsa-kiel.wsv.de>

# CoolAIR - Problemstellung

---



DT12

pixabay.com

**Es müssen Lösungen für nachhaltige  
energieeffiziente und denkmalconforme  
Kühlkonzepte gefunden werden!**



# Kühlung durch Nachtlüftung - Fakten

---

Durch eine natürliche Nachtlüftung kann die Raumtemperatur bis zu 6K abgesenkt werden<sup>2</sup> was dazu führt, dass



- bei den derzeitigen Klimarandbedingungen der Einsatz von Klimaanlage in fast 2/3 der Bürogebäude und über 80% der Wohngebäude vermieden werden könnte.<sup>1</sup>
- unter Berücksichtigung der Klimaerwärmung und extremer Wetterbedingungen das Potential immer noch bei der Hälfte der Büro- und 3/4 der Wohngebäude ausgeschöpft werden kann.<sup>1</sup>

1) Ecker (2015): Lüftungs-Kühlpotential von Niedrigstenergiegebäuden in Österreich

2) Eicker/Schulze (2012): Kontrollierte natürliche Lüftung für energieeffiziente Gebäude. In: Pöschk, Jürgen (Hrsg.): Energieeffizienz in Gebäuden - Jahrbuch 2012, WME Verlag, S.235-250.

# Kühlung durch Nachtlüftung - Voraussetzungen

Gemäßigte Klimazonen mit einer großen Tag/Nacht-Schwankung sind gut für Nachtlüftungskonzepte geeignet.

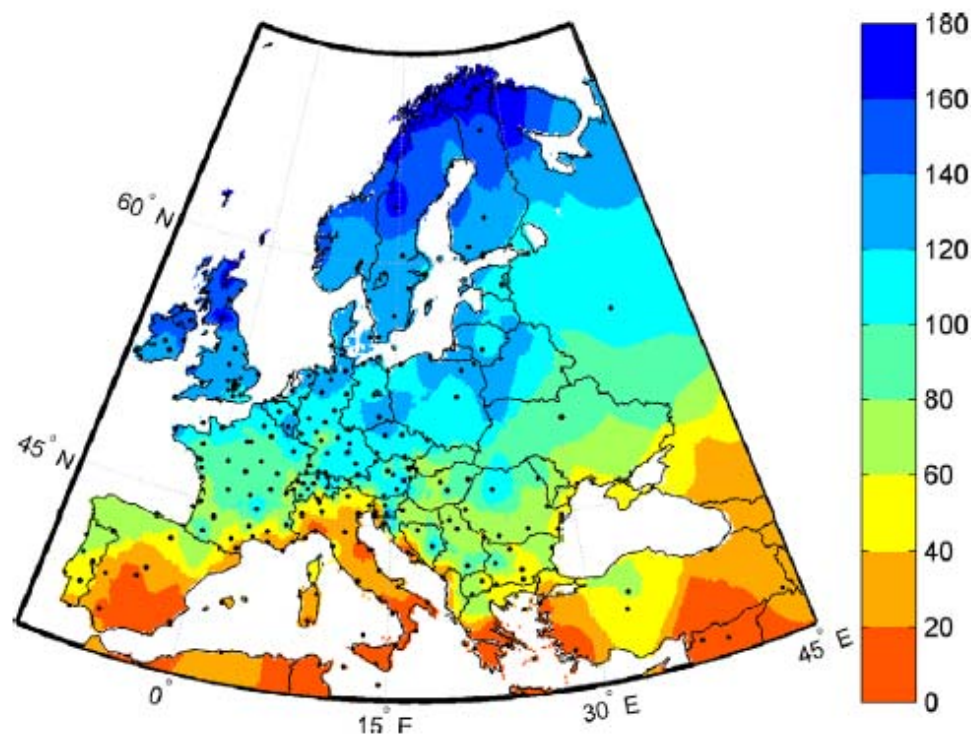


Fig. 8. Map of mean climatic cooling potential (Kh/night) in July based on Meteonom data [9].

Bild: Artmann/Manz/Heiselberg (2006): Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe. In: Applied Energy, 2007, vol. 84, issue 2, S.187-201

DT3

## Folie 5

---

DT3

mikroklimatische Temperaturunterschiede bis zu 12° sind möglich!!!!

DTrauninger; 29.03.2018

# Kühlung durch Nachtlüftung - Voraussetzungen

Im städtischen Bereich ist die Wirksamkeit einer Nachtlüftung durch die Problematik urbaner Wärmeinseleffekte beeinträchtigt.



Der Heldenplatz als Parkplatz  
© Alfred Havlicek  
aus: [www.austria-forum.org](http://www.austria-forum.org)

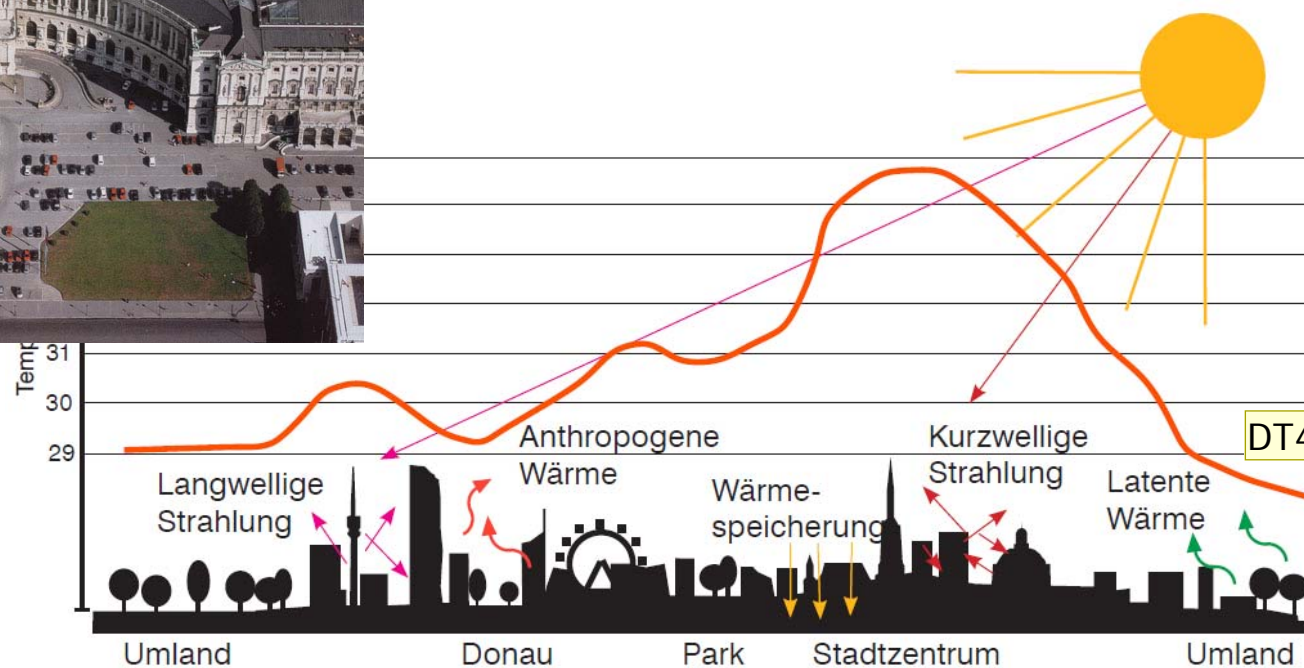


Bild: Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung-MA22 (2015):Urban Heat Islands – Strategieplan Wien. S.7

## Folie 6

---

DT4

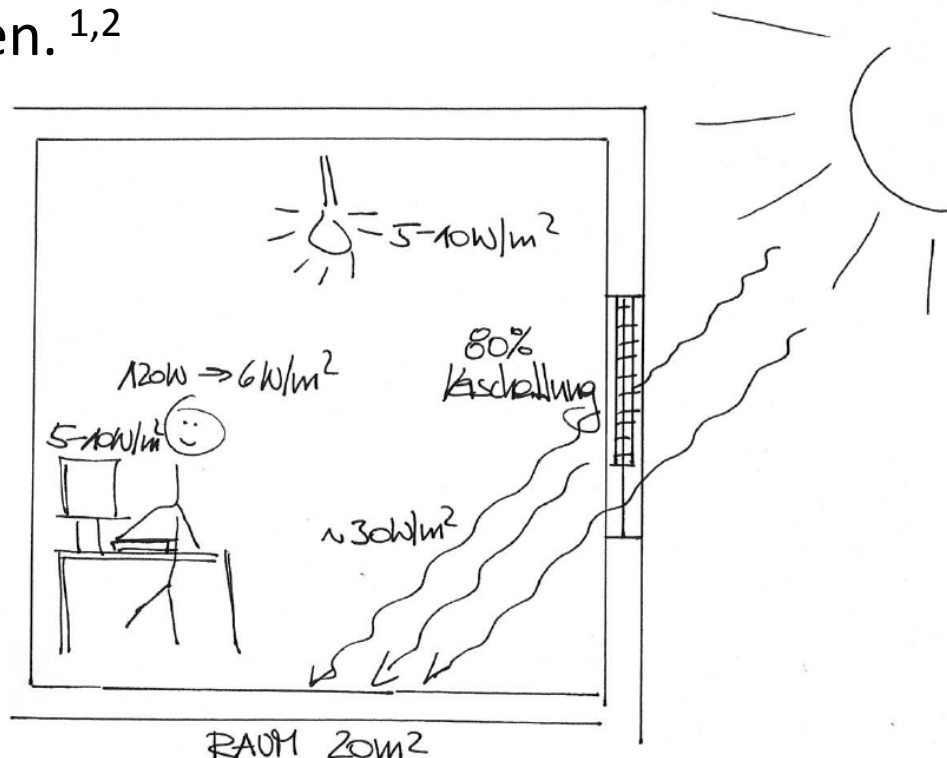
mikroklimatische Temperaturunterschiede bis zu 12° sind möglich!!!!

DTrauninger; 29.03.2018

# Kühlung durch Nachtlüftung - Voraussetzungen

für die Funktionsfähigkeit der Kühlung werden in mitteleuropäischen Breitengraden Kühllasten von maximal 30-50 W/m<sup>2</sup> empfohlen. <sup>1,2</sup>

$$\begin{aligned} \Sigma q_i &\approx 20 \text{ W/m}^2 \\ \Sigma q_s &\approx 30 \text{ W/m}^2 \\ \hline \Sigma q &\approx 50 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$



DT5

- 1) Eicker/Schulze (2012): Kontrollierte natürliche Lüftung für energieeffiziente Gebäude. In: Pöschk, Jürgen (Hrsg.): Energieeffizienz in Gebäuden – Jahrbuch 2012, WME Verlag, S.235-250.
- 2) Parys et al. (2012): Feasibility assessment of passive cooling für office buildings in a temperate climate through uncertainty analysis. Building and Environment, Volume 56, S. 95-107.

## Folie 7

---

DT5

mikroklimatische Temperaturunterschiede bis zu 12° sind möglich!!!!

DTrauninger; 29.03.2018

# Kühlung durch Nachtlüftung - Voraussetzungen

Zur Be- und Entladung müssen ausreichend thermische Massen vorhanden sein.

## Vier thermodynamische Prozesse:

- 1. Ladung**  
durch konvektiven u. radiativen Wärmetransport in den Bauteil
- 2. Speicherung**  
im Bauteil
- 3. Entladung**  
durch konvektiven Wärmetransp. aus dem Bauteil
- 4. Wärmeabfuhr**  
durch Außenluftwechsel

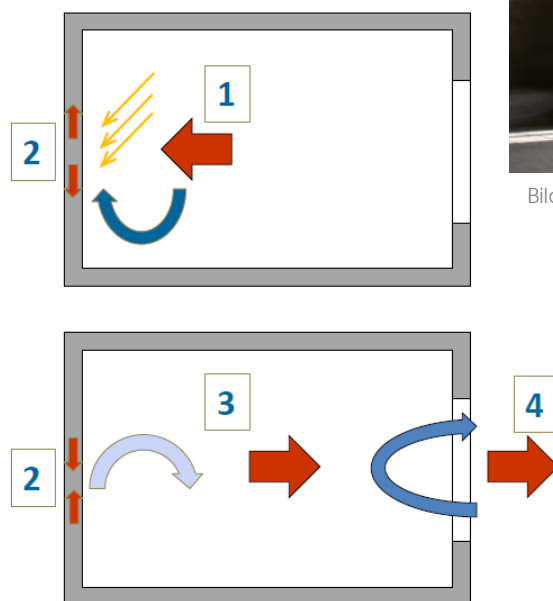


Bild aus: [www.ekospeed.de](http://www.ekospeed.de)

die abgegebene Energie muss unbedingt abgeführt werden!!!!

Grafik: Holzer/Hackl (2016): Sommertauglichkeit in Klimawandel und urban heat islands Antworten (...) statt Klimaanlage sowie Holzer (2014): Heizen und Kühlen mit Beton – Potenziale eines Baustoffs. In: Energiespeicher Beton. Visionäres Energiemanagement - von der Forschung zur Umsetzung. Expertenforum 2014. S.8

# Kühlung durch Nachtlüftung - Voraussetzungen

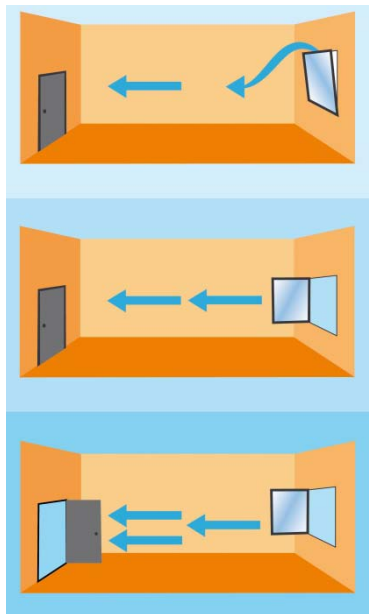
Eine relevante temperaturabsenkende Wirkung der Speichermassen ist nur unter der Voraussetzung einer kühlungswirksamen Lüftung gegeben.<sup>1</sup>

$$\dot{q} * A * t = \dot{m} * c_p * CCP$$



Um bei einem nächtlichen Kühlpotential von 80Kh die tagsüber (gespeicherten) 50W/m<sup>2</sup> abzuführen ist ein **Luftwechsel von zumindest 6 h<sup>-1</sup> notwendig!**

Berechnet mit Sommluft (PHPP): ΔT = 8K, v=1,5m/s, Fenster 1,03/1,23, Rauminhalt = 60m<sup>3</sup>



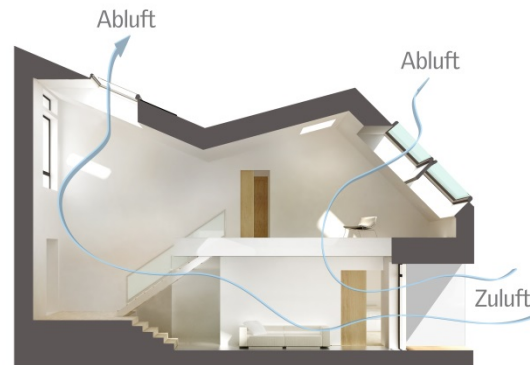
1-2 h<sup>-1</sup>



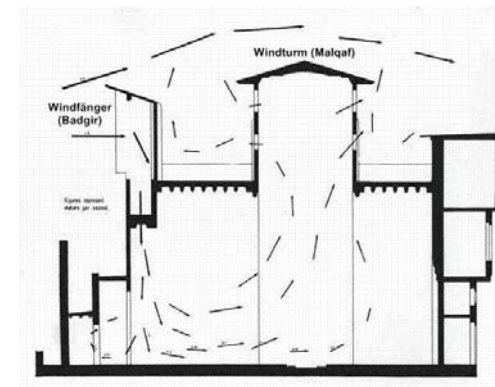
v.a. bei kleinen Öffnungsweiten Kamineffekte nutzen!

10 h<sup>-1</sup>

15 h<sup>-1</sup>



© VELUX Österreich



Quelle: lrz-muenchen.de

10-20 h<sup>-1</sup>

1) Ferk et al. (2015): Risiko-optimierte Gebäudeentwicklung im Holzbau aufgrund des Klimawandels.

# Kühlung durch Nachtlüftung - Voraussetzungen

**Der Mensch ist anpassungsfähiger als ihm die Norm zutraut!**

Lt. einschlägigen Regelwerken ist thermischer Komfort nahezu unabhängig vom Außenklima definiert...

Tabelle A.5 — Beispiele für Gestaltungskriterien für Räume in unterschiedlichen Gebäudetypen

Gebäude-/Raumtyp	Aktivität Wm <sup>2</sup>	Kategorie	Operative Temperatur °C		Maximale mittlere Luftgeschwindigkeit <sup>a</sup> m/s	
			Sommer (Kühlungs- periode)	Winter (Heizperiode)	Sommer (Kühlungs- periode)	Winter (Heizperiode)
Einzelbüro Bürolandschaft Konferenzraum Auditorium Cafeteria/ Restaurant Klassenraum	70	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,12	0,10
B		24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,19	0,16	
C		24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,24	0,21 <sup>b</sup>	
Kindergarten	81	A	23,5 ± 1,0	20,0 ± 1,0	0,11	0,10 <sup>b</sup>
		B	23,5 ± 2,0	20,0 ± 2,5	0,18	0,15 <sup>b</sup>
		C	23,5 ± 2,5	22,0 ± 3,5	0,23	0,19 <sup>b</sup>
Kaufhaus	93	A	23,0 ± 1,0	19,0 ± 1,5	0,16	0,13 <sup>b</sup>
		B	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	0,20	0,15 <sup>b</sup>
		C	23,0 ± 3,0	19,0 ± 4,0	0,23	0,18 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Die maximale mittlere Luftgeschwindigkeit beruht auf einem Turbulenzgrad von 40 % und einer Lufttemperatur, die gleich der operativen Temperatur nach 6.2 und Bild A.2 ist. Für den Sommer und Winter wird eine relative Luftfeuchte von 60 % bzw. 40 % angewendet. Zur Bestimmung der maximalen mittleren Luftgeschwindigkeit wird sowohl im Sommer als auch im Winter die niedrigere Temperatur des Bereichs gewählt.

<sup>b</sup> Unter einem Grenzwert von 20 °C (Bild A.2).



Abbildung aus ISO 7730 (Komfortmodell nach Fanger)

# Kühlung durch Nachtlüftung - Voraussetzungen

## Adaptive Comfort:

- die Komforttemperatur steht in direkter Abhängigkeit zur Außentemperatur
- Im free running mode ist diese Abhängigkeit am höchsten
- Je höher die eigene Beeinflussung des Klimas desto größer die Bandbreite

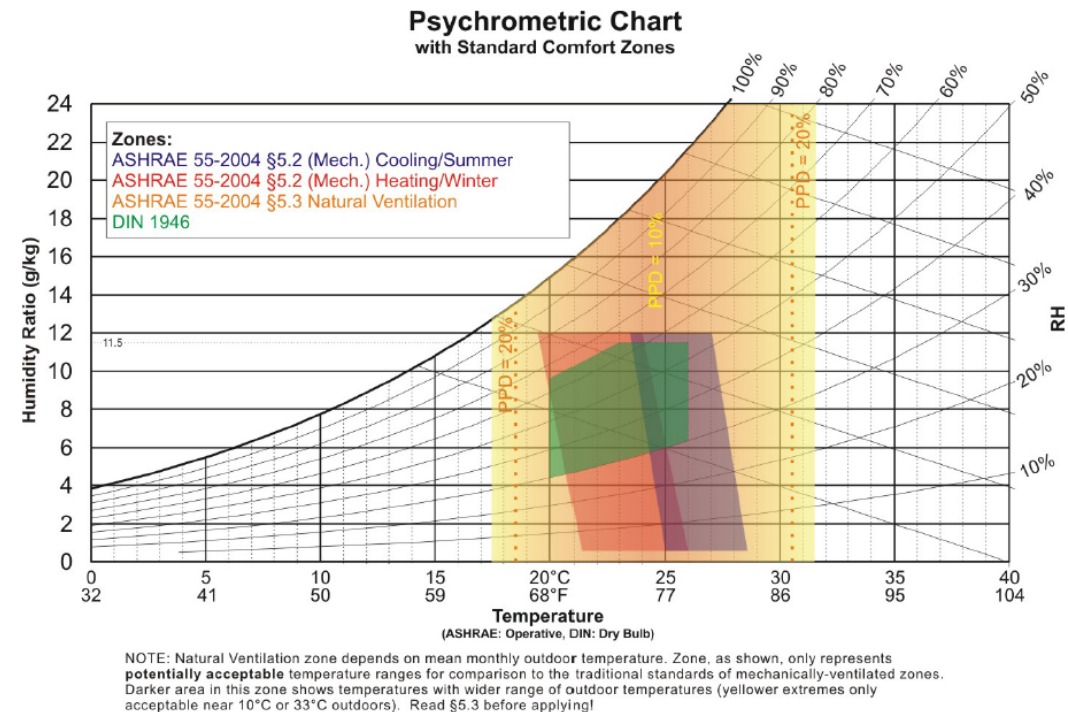


Abbildung aus Vorlesungsunterlagen Univ.-Prof. Dipl. Arch. S. Robert Hastings

# Kühlung durch Nachtlüftung - Zusammenfassung

**Ventilative Cooling ist ein vielversprechender Ansatz zur passiven Gebäudekühlung vorausgesetzt:**

- Es ist eine ausreichende Nachtabsenkung der Außentemperaturen vorhanden
- die inneren Lasten werden minimiert (LED, energieeffiziente Geräte, ...)
- die äußeren Wärmelasten werden minimiert (optimierte Verschattung, keine Lüftung wenn  $T_a > T_i$ )
- die speicherwirksamen Massen sind vorhanden und können genutzt werden (Be- und Entladung).
- Man verabschiedet sich von starren Temperaturgrenzen (Adaptive Comfort Model)



# CoolDUK

Analyse und Möglichkeiten zur Reduktion des sommerlichen Überwärmungsrisikos am Altbau der Donau-Universität Krems



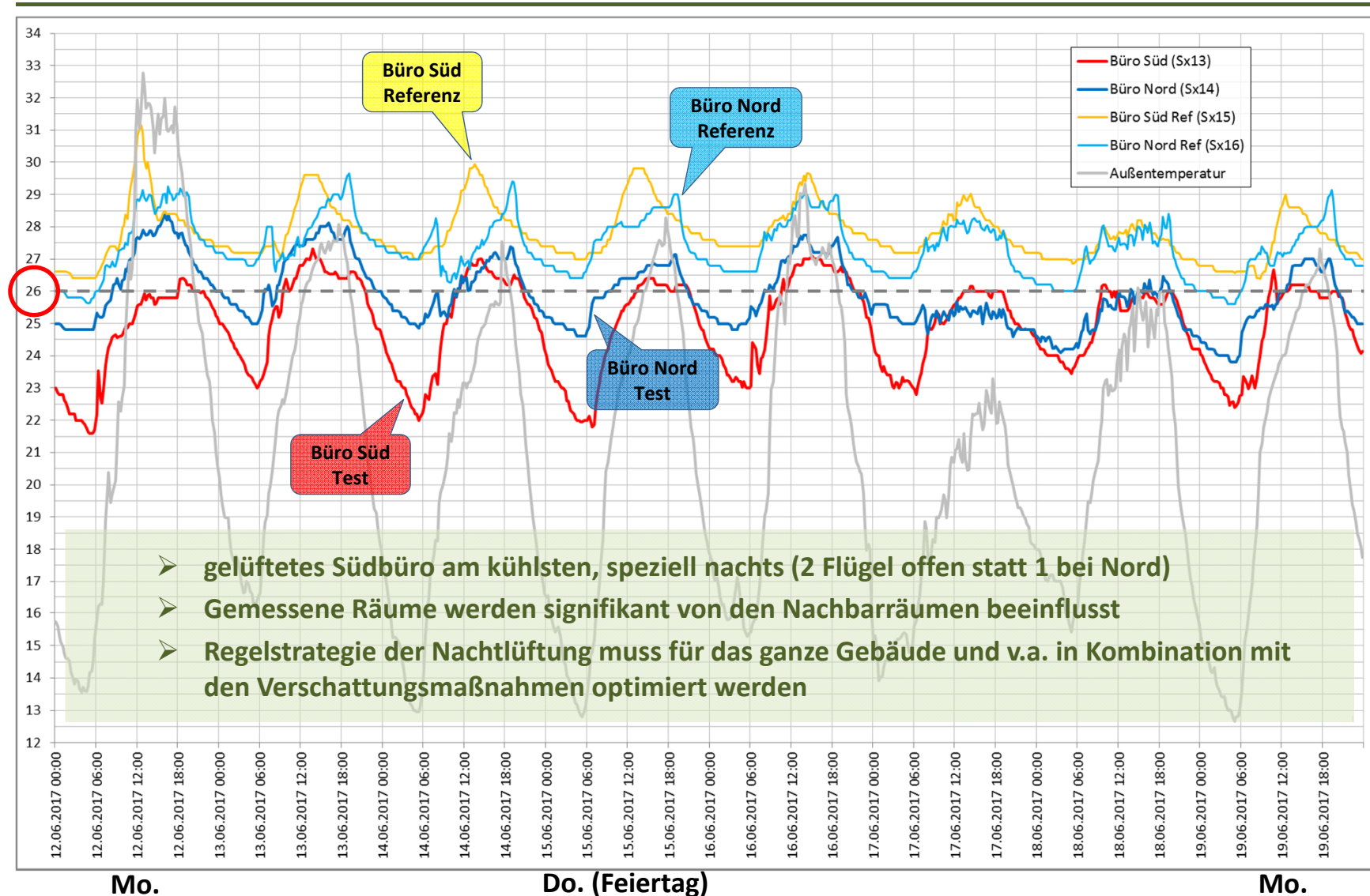
## **Ausgangslage:**

Sommerliche Überwärmung der Räumlichkeiten an Ost-, Süd- und Westfassade, Temperaturen  $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , teilweise auch nordseitig Probleme mit Überhitzung v.a. am frühen Vormittag

## **Zielsetzung:**

(Daten-)Grundlage für zukünftige Kühlstrategien in den Büroräumlichkeiten des Altbaus der Donau-Universität Krems

# Juniwoche 2017 – Nachtlüftung – Gegenüberstellung 4 Büros



# CoolAIR

Analyse und Möglichkeiten zur  
Reduktion des sommerlichen  
Überwärmungsrisikos am Altbau  
der Donau-Universität Krems



## Ausgangslage:

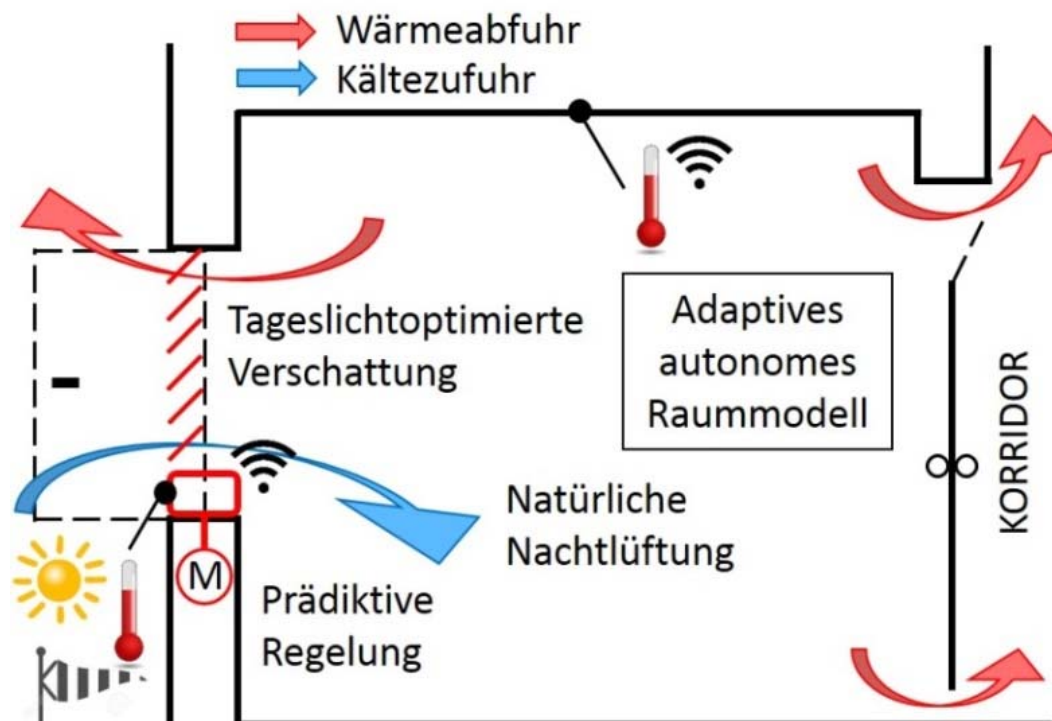
Durch CoolDUK wurde das hohe Potential der ventilativen Kühlung bestätigt

## Zielsetzung:

Optimierte Regelstrategie der passiven Maßnahmen (natürliche Nachtlüftung und tageslichtoptimierte Verschattung) zur vollen Ausschöpfung des Kühlpotentials

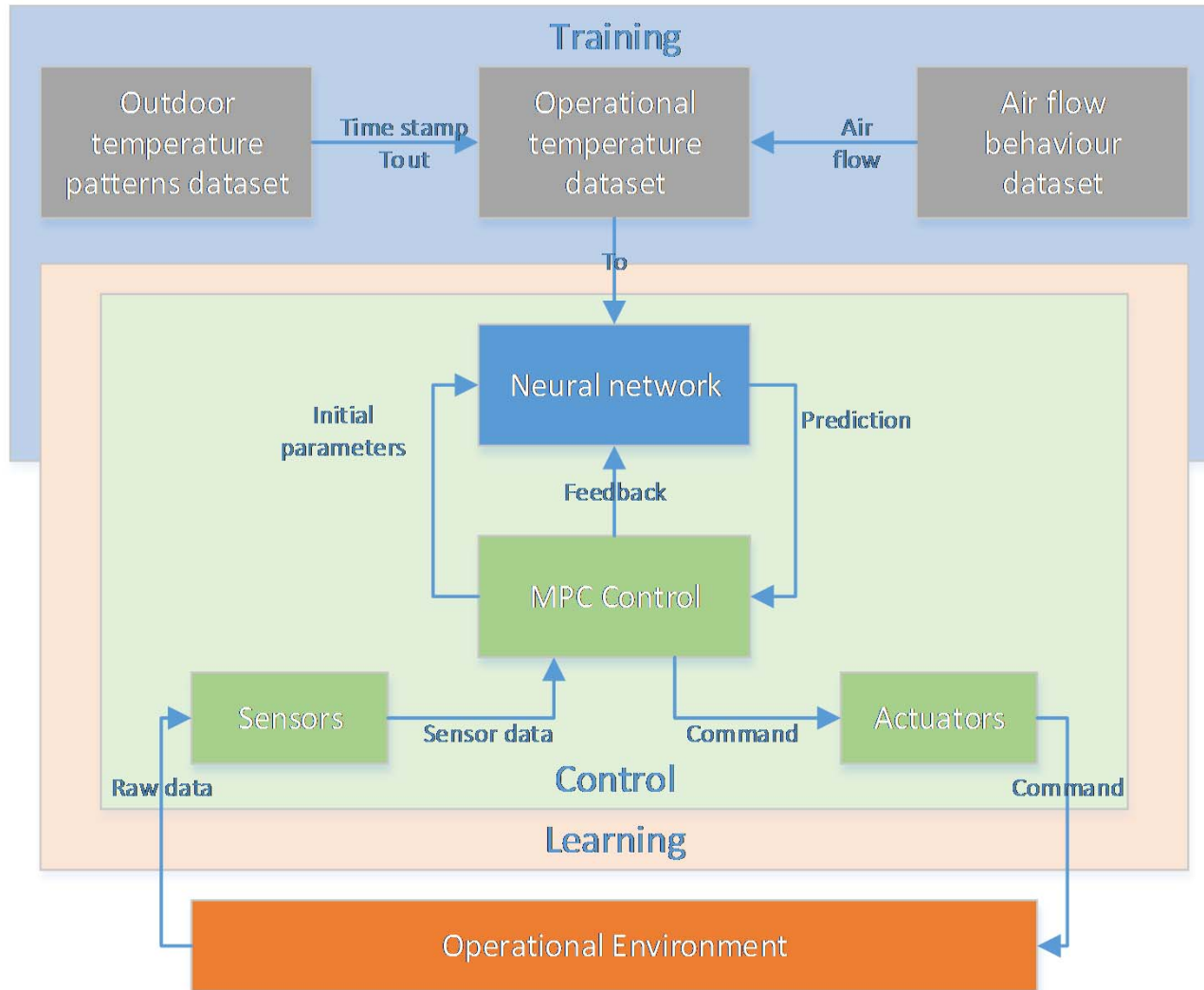
# Zielstellung und Rahmenbedingungen

---



- Effiziente Entladung von Speichermassen (Prädiktive Regelung)
- Optimierter Nutzerkomfort (Kombinierte Steuerung)
- Minimaler Einsatz von Sensorik (ohne Gebäudeleittechnik)
- Autonome Anpassung an Einzelraum (Machine Learning)

# CoolAir Systemarchitektur



- Training während Entwicklung
- Modellbasierte, vorausschauende Regelung
- Autonome Anpassung während des Betriebs

# Modellprädiktive Regelung

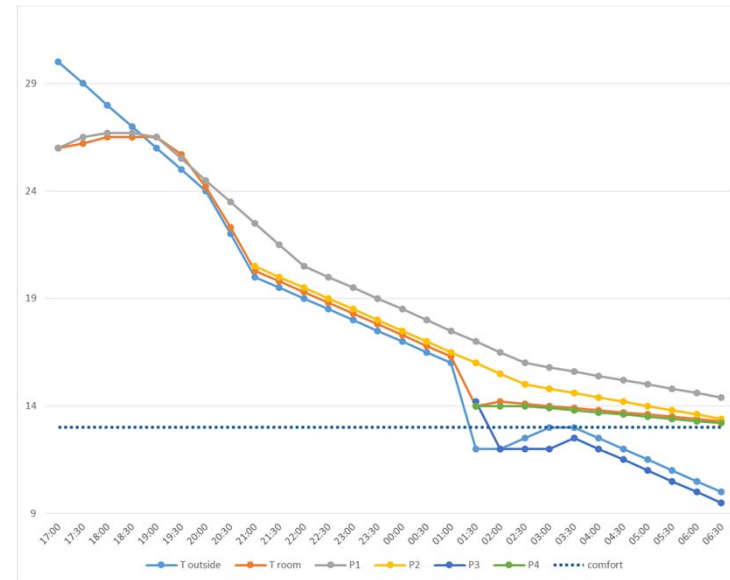
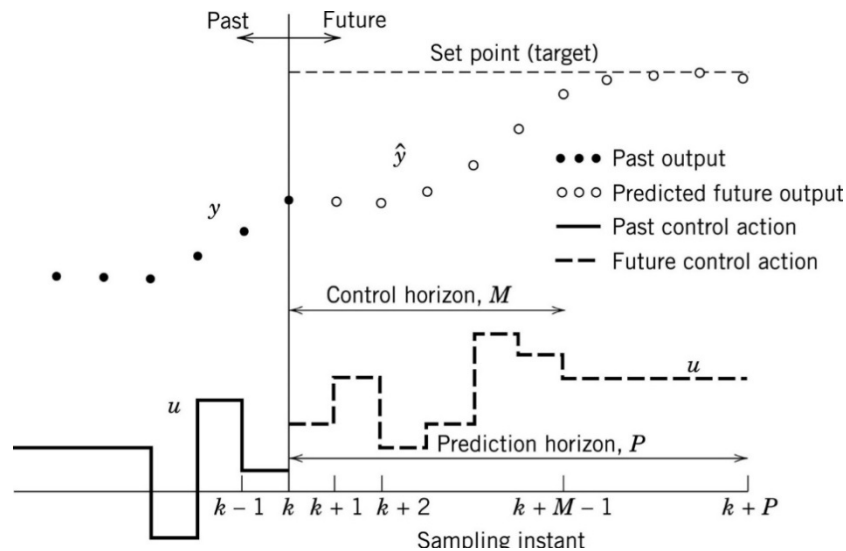
## 3 rekursive Hauptschritte

1. Voraussage bis zum Vorhersagehorizont
2. Optimierung der Ergebnisse
3. Zurücksetzen des Zeithorizonts

## 2 Hauptphasen

1. Kühlungsphase  
 $T_{\text{inside}} > T_{\text{outside}}$
2. Erhaltungsphase  
 $T_{\text{inside}} < T_{\text{outside}}$

TA17  
TA18

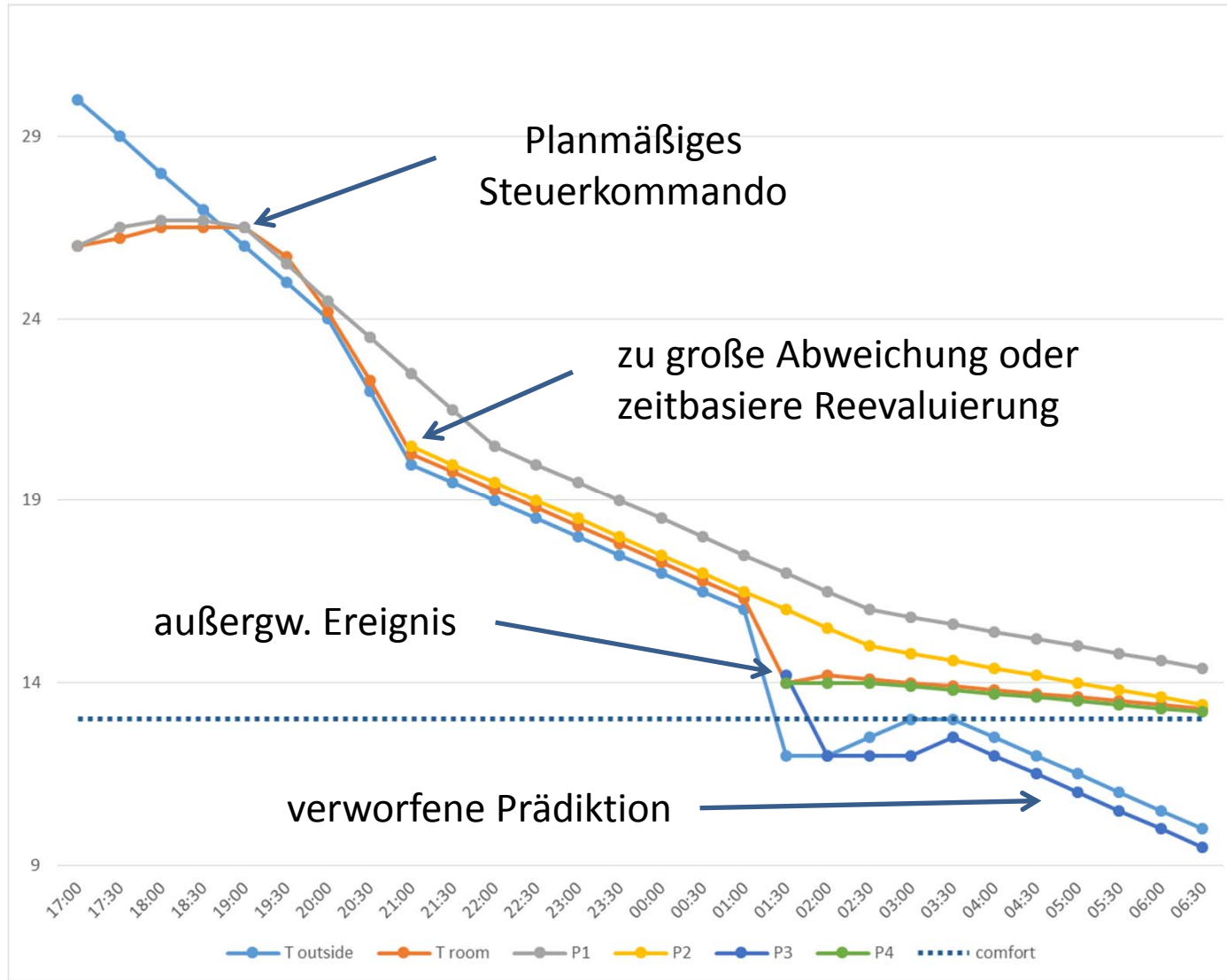


## Folie 18

---

- TA17** Da ist das falsche Zeichen gestanden. Bitte in der anderen Präsentation vom Transferworkshop auch ausbessern.  
Treytl, Albert; 23.04.2018
- TA18** Wahnsinn, wie man das Einfachste übersieht, aber aufgefallen ist es auch keinem der Besucher ;-)  
Treytl, Albert; 23.04.2018

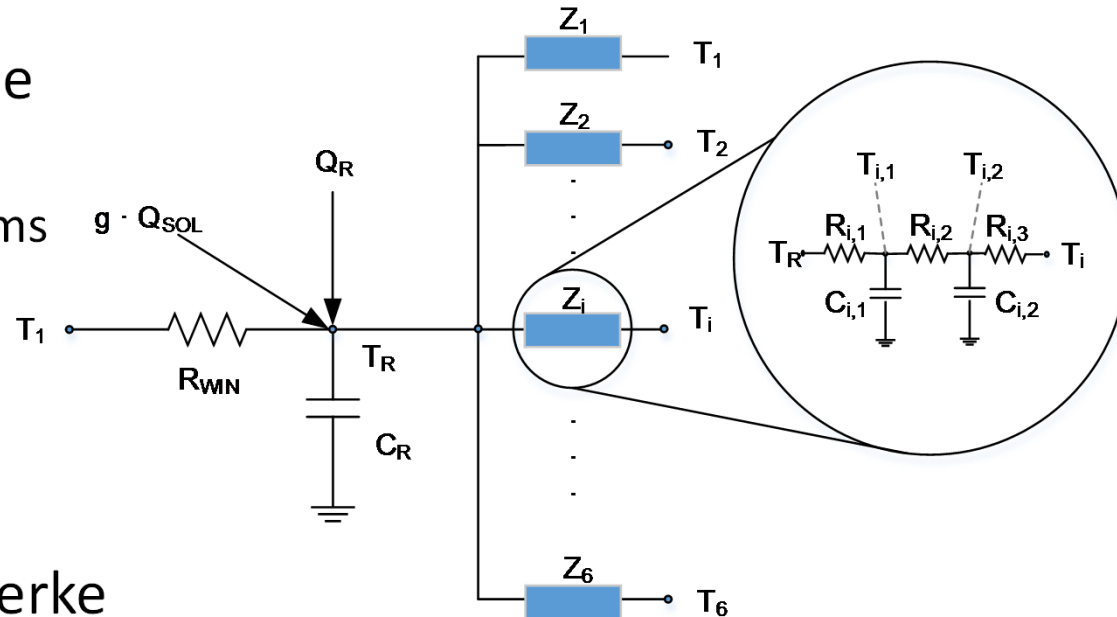
# Modellprädiktive Regelung Zoom-Out



# Raummodelle

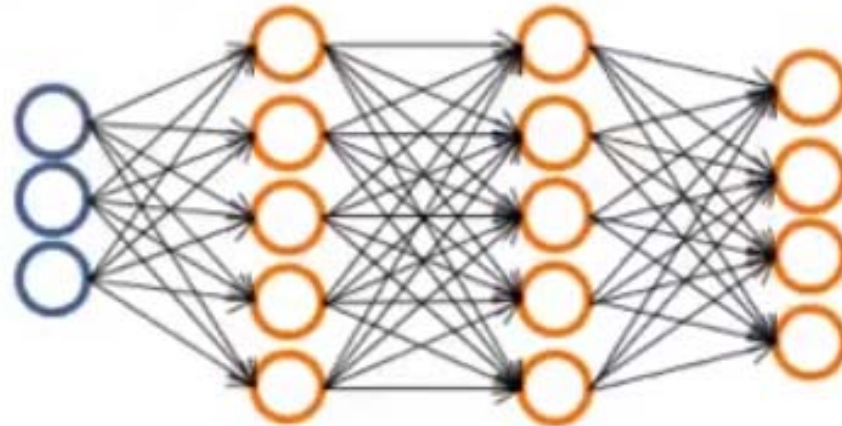
- Klassische Modelle

- Anpassung an Embedded Systems
- Vorhersagegenauigkeit
- Querlüftung nur empirisch



- Neuronale Netzwerke

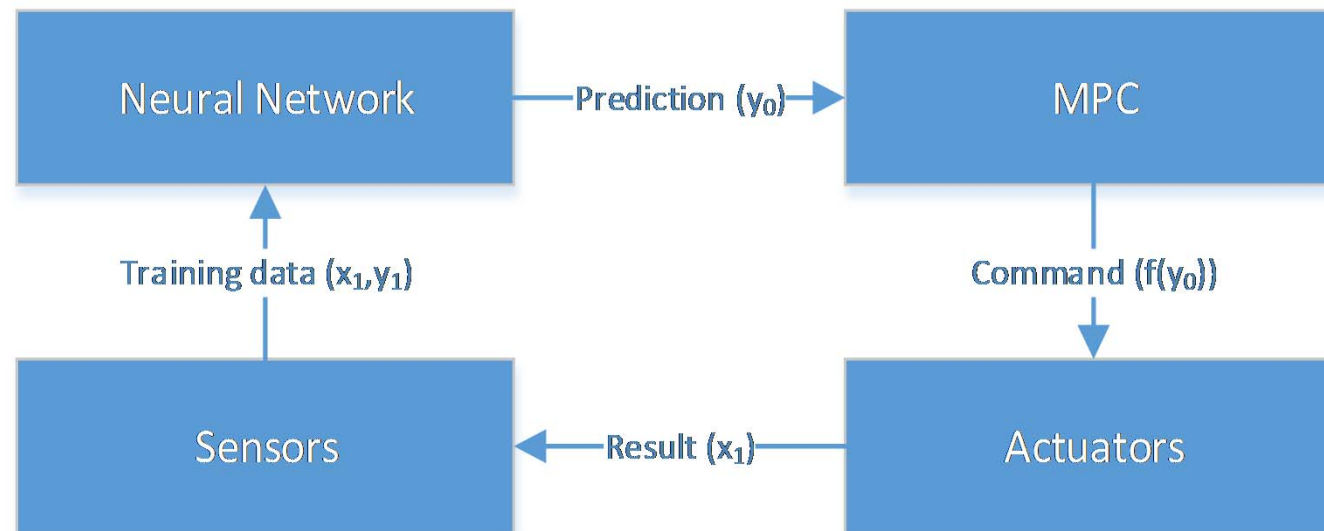
- Implizites Informationsmodell
- Optimiert für maschinelles Lernen
- Primärer Ansatz im Projekt



# Adaptives neuronales Modell

---

- Training bei der Produktentwicklung
  - Klima- und Wetterdatensätze
  - CFD-Simulationen von prototypischen Räumen
  - Klimazonenspezifische Initialkonfiguration TA19
- Lernen während des Betriebs
  - Adaption von Modellparametern
  - Adaptierung der Gewichte im neuronalen Netzwerk
  - Optimierung auf Einzelraum
  - Berücksichtigung von lokalen Effekten (Wärmeinseln, Bäume, ...)





# Maschinelle Lernmethoden

---

- Definition einer Kostenfunktion  $J(\theta_0, \theta_1)$ 
  - Abweichung Modell von Messwert

- Minimierung der Kostenfunktion

$$\min_{\theta_0, \theta_1} J(\theta_0, \theta_1)$$

- Gradientenmethode

$$\theta_j := \theta_j - \alpha \frac{\partial}{\partial \theta_j} J(\theta_0, \theta_1)$$

- Back Propagation Algorithm

$$\delta_j^{(4)} = a_j^{(4)} - y_j$$

$$\delta^{(3)} = (\Theta^{(3)})^T \delta^{(4)} \cdot * g'(z^{(3)})$$

$$\delta^{(2)} = (\Theta^{(2)})^T \delta^{(3)} \cdot * g'(z^{(2)})$$

