

**Universität Stuttgart**

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE)



# Intelligente Gebäudetechnik als Baustein für einen klimaneutralen Campus Vaihingen

Prof. Stergiaropoulos  
Dr. Harald Drück

Kick-Off Treffen  
Reallabor CampUS hoch i  
Online, 21.04.21



Wasser

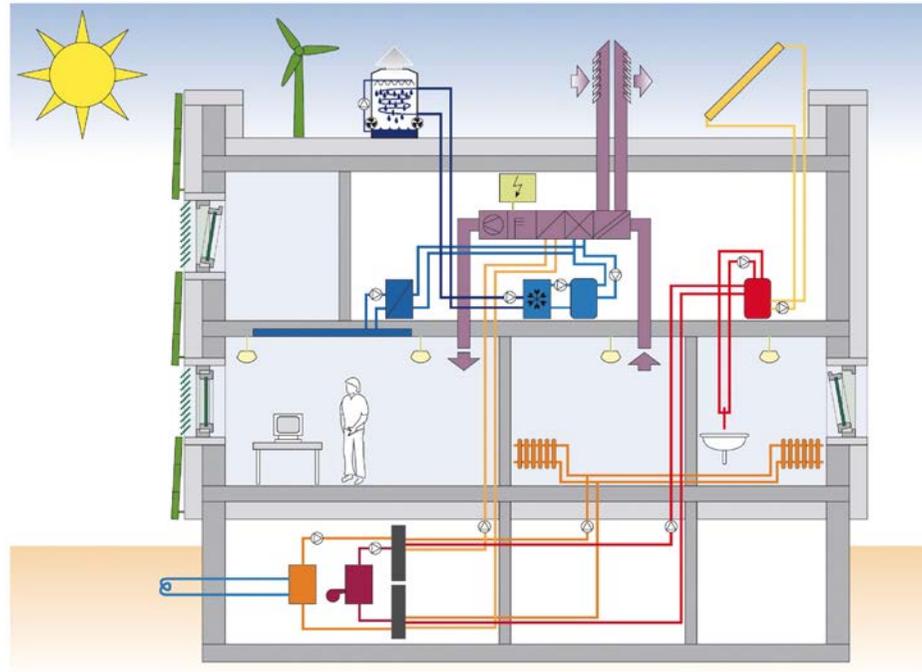
Luft

Kältemittel

Nutzen: Behaglichkeit, Raumluftqualität

Systemeinbindung  
Gebäude/Anlagensysteme/Speicher

Verständnis und  
Modelle für  
Strömungsvorgänge,  
Wärme- und  
Stoffübertragung,  
Speicher



Quelle: DIN V 18599

# Forschungsfelder IGTE

## Energiekonzepte und Gebäudeautomation

Energieerfassung

Energieanalysen /  
Energiebedarf

BIM  
Energiemanagement

Smart Grids

MSR-Technik

### Nutzenübergabe und Vorgänge im Raum

Behaglichkeit (thermisch und hygienisch)

Raumflächen

Luftströmung im Raum

Stofffreisetzung und -erfassung

Arbeitsplatzluftreinhaltung

Regler im Raum

Nutzenübergabe von TWW

### Verteilung

Hydraulik

Lufttransport

Fernheizung

Pumpen

Ventilatoren

### Speicherung

Thermische Speicher

Trinkwarmwasserspeicher

### Erzeugung (Thermodynamik der Prozesse)

Verbrennungstechnik

Solaranlagen

Wärmepumpen

Kältemaschinen

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Dezentrale Wärmeerzeuger zur Raumbeheizung

Fernwärmeübergabestationen

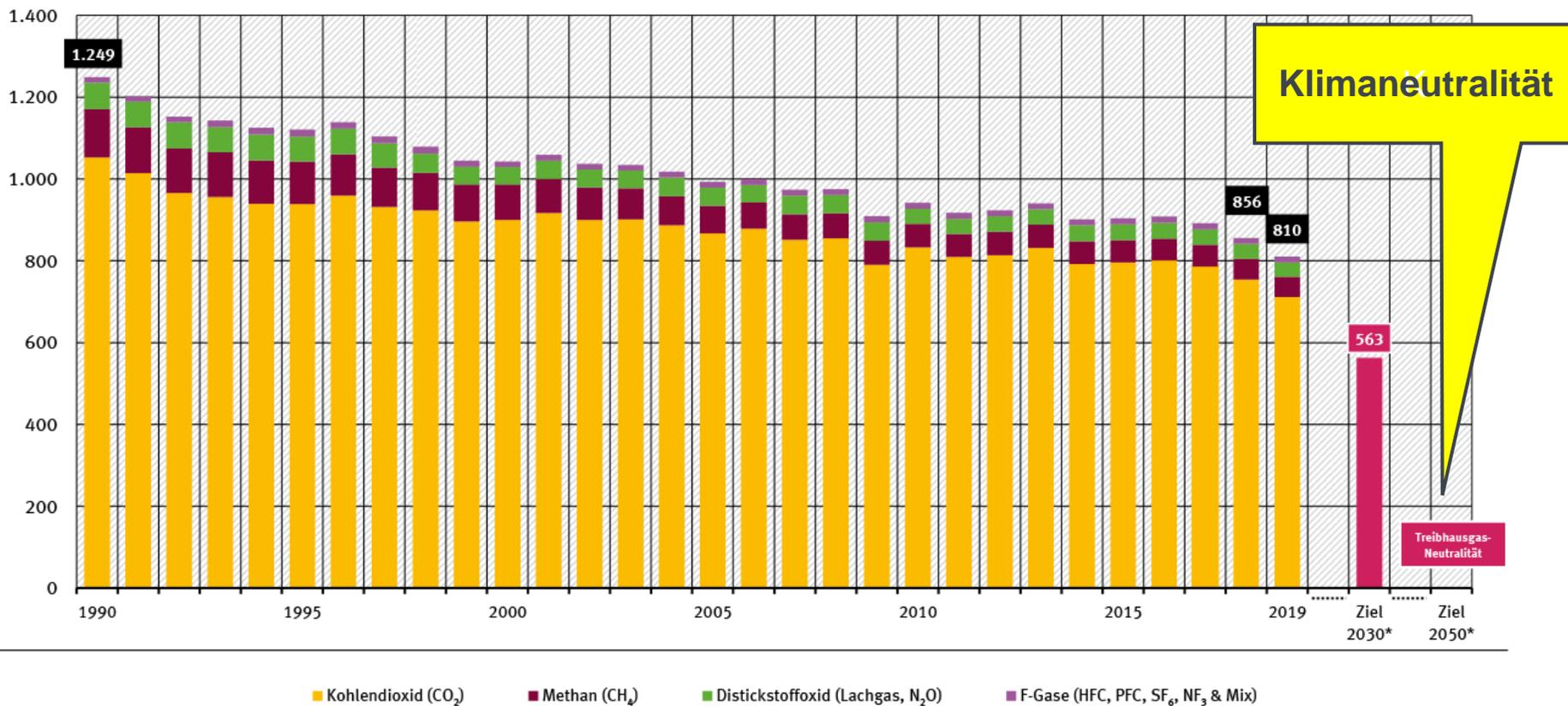
## Übersicht

- Motivation
- CO<sub>2</sub>-Emissionen und Klimaneutralität
- Definition intelligenter Gebäudesysteme
- Projektbeispiele
  - Regelung thermoaktiver Bauteilsysteme (TABS) unter Einsatz maschinellen Lernens
  - Neubau Exzellenzcluster „IntCDC“
  - Gebäudebetriebsoptimierung durch Nutzeridentifikation in Räumen unter Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Aspekte und der Datensicherheit (GeopNu)
- Zusammenfassung

# **CO<sub>2</sub>-Emissionen und Klimaneutralität**

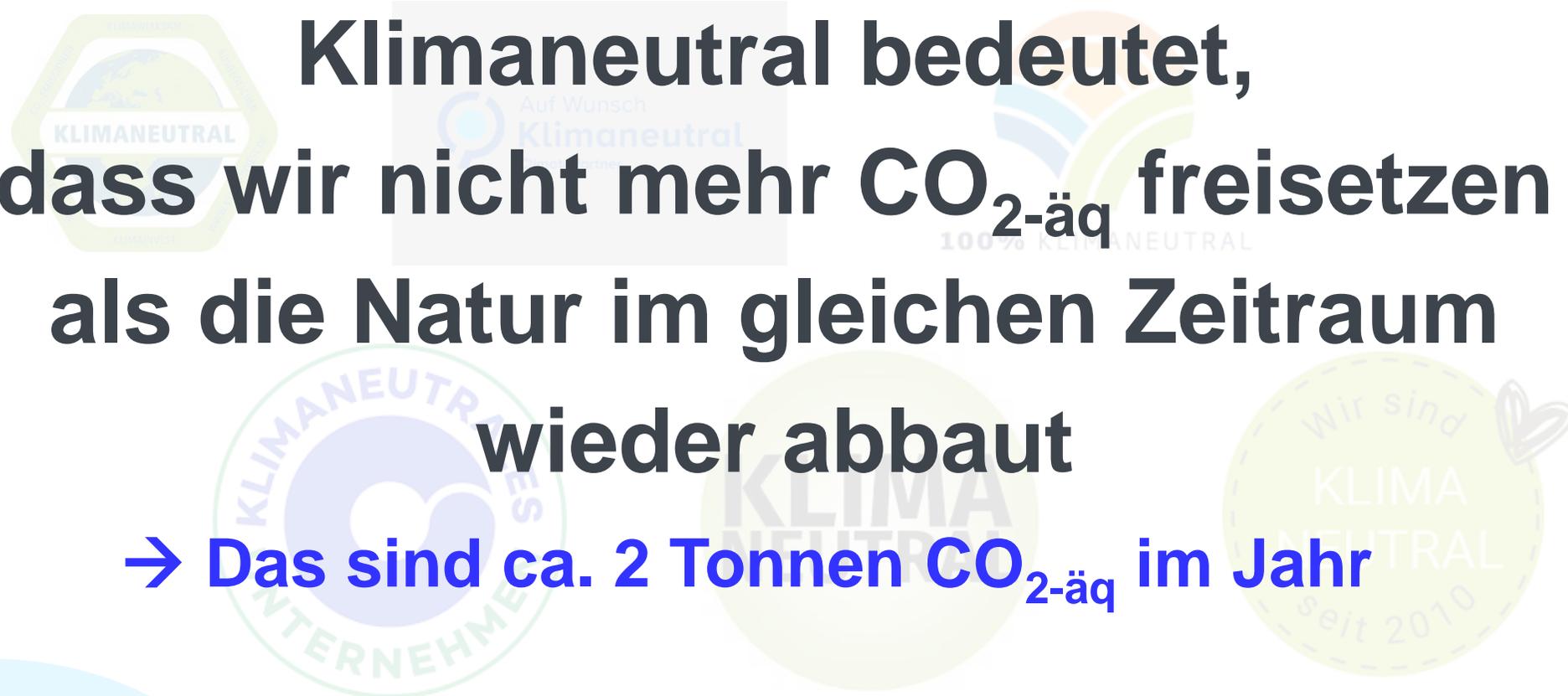
# Deutsche CO<sub>2</sub>-Äq Emissionen und Klimaschutzziele

Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente



# Klimaneutralität – Kriterium CO<sub>2</sub>-Äquivalent

- **Alle Emissionen** der eingesetzten Stoffe eines Prozesses oder eines Produktes werden auf ihr **Treibhausgaspotenzial (GWP** – engl. für global warming potential) untersucht.
  - Dabei werden die Ergebnisse zueinander **ins Verhältnis** gesetzt und aufaddiert. Das GWP von CO<sub>2</sub> entspricht dabei 1
  - Beispiele (Bezugszeitraum 100 Jahre):
    - $\text{GWP}_{\text{CO}_2} = 1$ ,
    - $\text{GWP}_{\text{CH}_4}$  (Methan) = 28
    - $\text{GWP}_{\text{H}_2}$  (Wasserstoff) = 6
    - $\text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}$  (Lachgas) = 265
    - $\text{GWP}_{\text{NF}_3}$  (Stickstofftrifluorid) = 16.100
- Wenn z. B. mit einem Produkt oder einer Dienstleistung 135 kg CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden sind, dann haben **alle Stoffe und Prozesse** des Produkts bzw. der Dienstleistung **zusammen** ein GWP, das dem von 135 kg CO<sub>2</sub> entspricht

The background features several faint, semi-transparent logos and graphics. On the left is a green hexagonal logo with a globe and the text 'KLIMANEUTRAL'. In the center is a grey rectangular logo with the text 'Auf Wunsch Klimaneutral'. On the right is a green circular logo with a leaf and the text 'Wir sind KLIMA NEUTRAL seit 2010'. There are also other circular logos with 'KLIMANEUTRAL' and '100% KLIMANEUTRAL' text.

**Klimaneutral bedeutet,  
dass wir nicht mehr CO<sub>2</sub>-äq freisetzen  
als die Natur im gleichen Zeitraum  
wieder abbaut**

**→ Das sind ca. 2 Tonnen CO<sub>2</sub>-äq im Jahr**

# Klimaneutralität – Vergleich der Ansätze

## ▪ Ansatz 1: **Virtuell** „Bronze“

- Kompensation der CO<sub>2-äq</sub> - Emissionen über Zertifikate oder andere Maßnahmen  
+ anfangs kostengünstig - globale Klimaneutralität damit nicht erreichbar

## ▪ Ansatz 2: **Bilanziell** „Silber“

- Über das Jahr gesehen gleichen sich emittierte CO<sub>2-äq</sub> - Emissionen aufgrund von Energieverbräuchen und -importen mit CO<sub>2-äq</sub> - Emissionen freien Energieexporten aus  
+ relativ kostengünstig - funktioniert nur, wenn auch im Winter ausreichend „grüne Energie“ verfügbar ist

## ▪ Ansatz 3: **Reell** „Gold“

- Zu jeder Zeit im Jahr sind die energiebedingten CO<sub>2-äq</sub> Emissionen nahezu Null  
+ ermöglicht ganzheitliche Klimaneutralität - saisonale Energiespeicher erforderlich  
- kostenintensiv

Intelligente Gebäudesysteme

**Definition  
und  
Ansatzpunkte**

## Definition

Das Smart Building befasst sich mit **der Digitalisierung eines gesamten Gebäudes**. Im Gegensatz zum Smart Home, das sich ausschließlich mit einer Wohneinheit beschäftigt.

Das Smart Building fasst die **Automatisierung und Kontrolle der technischen Ausstattung** innerhalb eines Gebäudes zusammen.

Die Basis von intelligenten Gebäuden bilden vernetzte und fernsteuerbare Geräte, sowie automatisierte Abläufe. Sie haben das Ziel, **eine komfortable Bedienung** auch von außerhalb zu gewährleisten, sowie **eine effiziente Energienutzung für Kosteneinsparungen und eine geringere CO<sub>2</sub>-Bilanz**.

Quelle: PropTech-Lexikon: Digitalisierung der Wohnungswirtschaft  
<https://kiwi.ki/lexikon/smart-building/> (Text etwas modifiziert by HD)

## Ansatzpunkte (allgemein)

- Steigerung Wohlbefinden der Nutzer/innen → erhöhte Produktivität
- Senkung Betriebskosten (Reinigung, Energie, Wartung, Reparaturen)
- Erhöhung Sicherheit (Brände, Überfälle, Diebstahl, Einbrüche ..)
- Reduktion des (fossilen) Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Projektbeispiel

**Regelung thermoaktiver  
Bauteilsysteme (TABS) unter  
Einsatz maschinellen  
Lernens**

# „Intelligente“ Regelstrategie für Thermoaktive Bauteile

## Thermoaktive Bauteilsysteme (TABS)



- Zu **Heiz- und Kühlzwecken** verbaute Rohrsysteme, welche in Beton oder anderen Massivbauteilen integriert sind
- **Träges** thermisches System mit Vorlauftemperaturen zwischen 18 – 28°C
  - Niederexergie-Konzept
- Die Bauteile fungieren als Speichermasse und geben aufgenommene Wärme-/Kälteleistung **verzögert** an den Raum ab

Auftretende Probleme von konventionellen **Regelstrategien** von TABS:

- Hoher personeller Aufwand
  - Erfahrung im Umgang mit der Regelung von TABS ist vorausgesetzt
- Änderungen am Nutzerverhalten führt zu stetiger Nachjustierung der Steuer- und Regelparameter

Zielsetzung für die Regelung basierend auf **maschinellern Lernen**

- Selbständiges Einlernen des Reglers
  - Kein Fachwissen notwendig um die Regelung einzustellen
- Dynamische Anpassung der Regelung an Nutzung und Betrieb
- **Gewährleistung eines optimierten Betriebs der TABs**

**Umsetzung: Durch eine *modellprädiktive* Regelung in Verbindung mit maschinellem Lernen**

1 Simulationsmodell

2 Vorhersagemodell

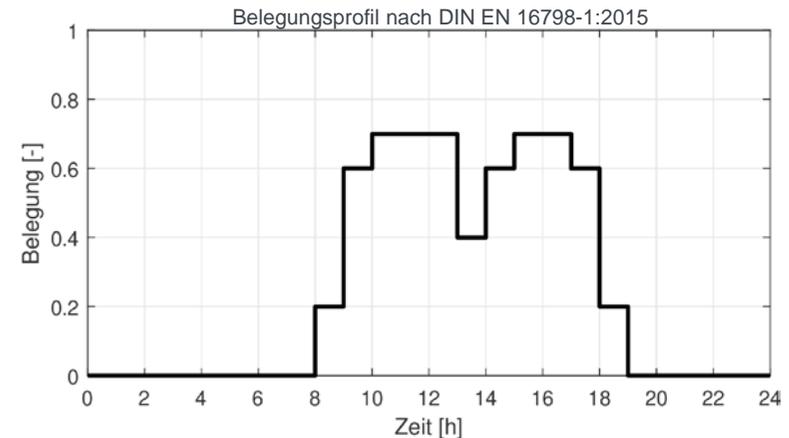
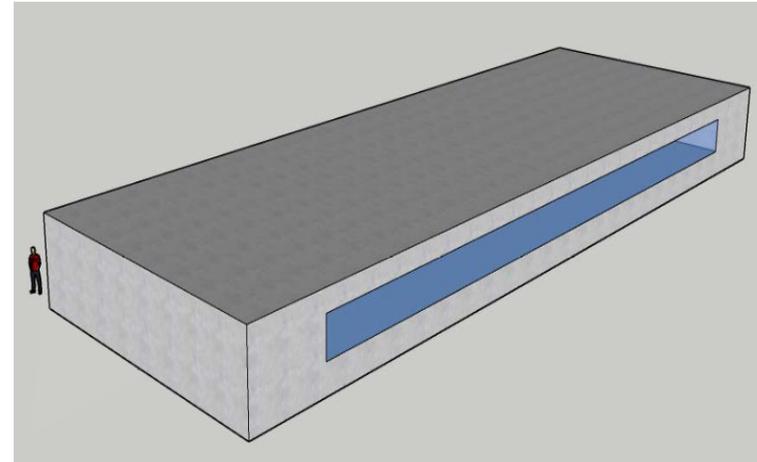
3 Optimierung

4 Ergebnisse

# Simulationsmodell

## TRNSYS-Gebäudemodell

Gebäudeeigenschaften	
Bürofläche:	400m <sup>2</sup>
Zonenhöhe	3.5m
Fensterflächenanteil (Nord + Süd)	60%
Sonnenschutz	Aktiv (Faktor 0.8)
Infiltration	0.1 /h
Maschinelle Lüftung	1.5 /h 21°C Mo-Fr, 07:00 – 20:00 Uhr
Fenster U-Wert	0.7 W/ m <sup>2</sup> K
Wand U-Wert	0.2 W/m <sup>2</sup> K
Boden und Decke	Nach außen adiabat
<b>TABS-Anteil Decke</b>	80%



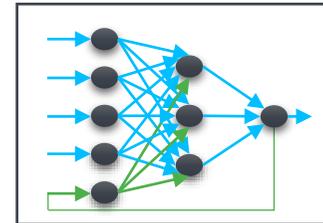
White-Box

Grey-Box

Vorteile:

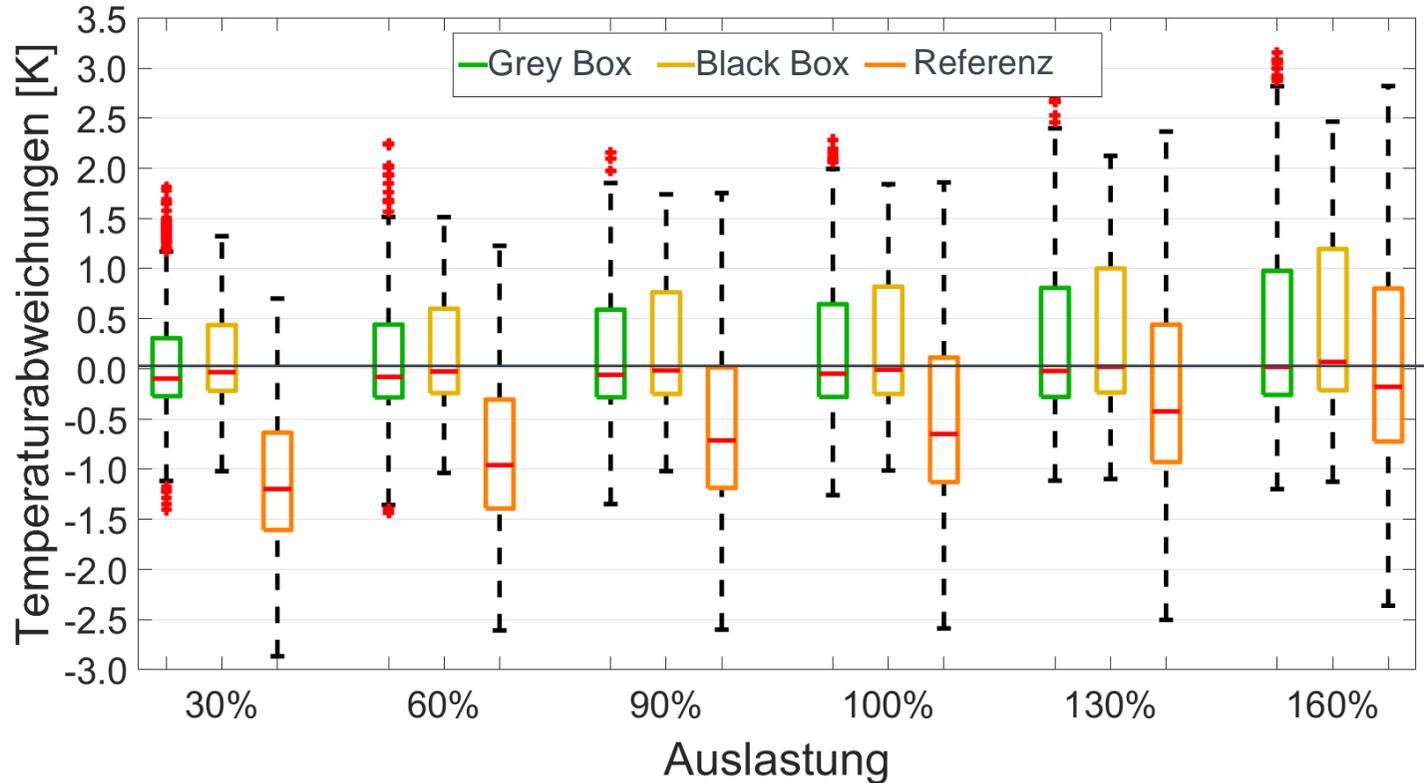
- Nur messwertbasiert  
→ Keine Kenntnisse über den Gebäudeaufbau notwendig
  - Darstellung komplexer nicht-linearer Systeme möglich
  - Dynamisch
- Basiert auf physikalischen Gesetzen
  - Starr
- physikalische Grundlagen
- Bestimmung der Konstanten über Datengrundlage

Black-Box



- Datenbasiert
- Keine Interpretation der Modelle möglich
- Dynamisch

# Häufigkeitsverteilung der Abweichung der Rauminnentemperatur



- Neuronale Netze in Verbindung mit einer modellprädiktiven Regelung sind in der Lage den Betrieb von TABS zu optimieren.
- Einsatz von **Grey Box** und **Black Box** Vorhersagemodellen
  - führt zu einer verbesserten Regelung, d. h. geringere Temperaturabweichungen
  - damit
    - erhöhter Komfort
    - geringerer Energieverbrauch
    - Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen

# **Neubau Exzellenzcluster IntCDC**

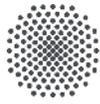
- Leichtbau mit sehr geringen thermischen Kapazitäten



- Einsatz von
  - „Boostern“
  - Adaptive modellprädiktive Regelung
  - .....

Projektbeispiel

**Gebäudebetrieboptimierung  
durch Nutzeridentifikation  
(GeopNu)**



**Universität Stuttgart**

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE)

In Zusammenarbeit mit:



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Gebäudebetrieboptimierung durch Nutzeridentifikation in Räumen unter Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Aspekte und der Datensicherheit

Dr.-Ing.  
Tobias Henzler



## Hintergrund

- Deutliche Abweichung des Energieverbrauchs (im Betrieb) gegenüber dem Energiebedarf (aus Planungsprozess)
- Annahme von Standardprofilen im Planungsprozess
  - Normen oder Erfahrungswerte
- Im Betrieb oftmals unterschiedliche Raumbelastung und Nutzungsänderungen
- Wesentlicher Einfluss der Nutzung auf den Energieverbrauch

## Möglichkeiten zur Nutzererfassung

- Mobile Endgeräte (Smartphones, Tablets) und Smart Home Technologie weit verbreitet
- Herausforderung: Positionserfassung der Geräte (Nutzer) in Gebäuden

## Projektziele GeopNu

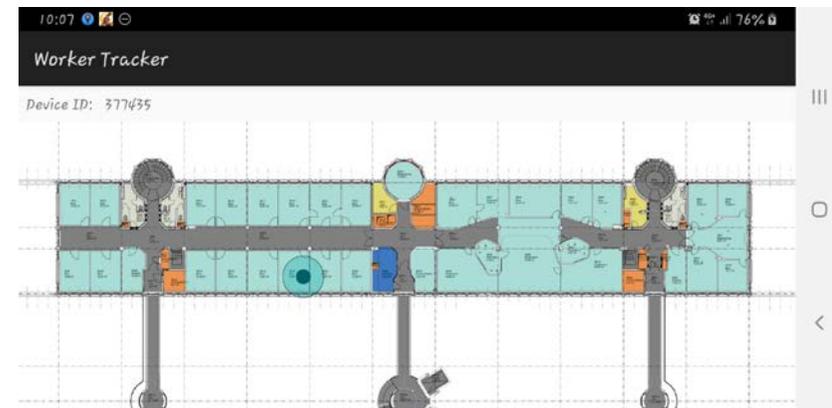
- Entwicklung eines einfach anwendbaren Systems zur raumweisen Nutzeridentifikation mit mobilen Endgeräten
- Datenschutzkonforme Lösungen für Büroräume aufzeigen
- Ermittlung von Belegungsprofilen (Bürogebäude) in einem Praxistest
- Auswirkungen von abweichenden Belegungsprofilen und einer bedarfsgerechten Regelung von Anlagen auf den Energiebedarf (numerische Untersuchungen)
- Ableitung von erfolgsversprechenden zukünftigen Einsatzbereichen

# Beschreibung der Nutzeridentifikation

- Beacons werden im Gebäude installiert
  - Kommunikation über Bluetooth
  - Triangulation zur Positionsermittlung
- Mobile Endgeräte
  - Applikation läuft im Hintergrund
  - Kommunikation mit Beacons und Berechnung der Position
  - Regelmäßige Positionsübertragung an Server
- Datenserver
  - Hinterlegter Grundriss des Gebäudes
  - Definierte Raumbereiche (Koordinatensystem)



**Beacon**



**Applikation**

# Praxistest (1/3)

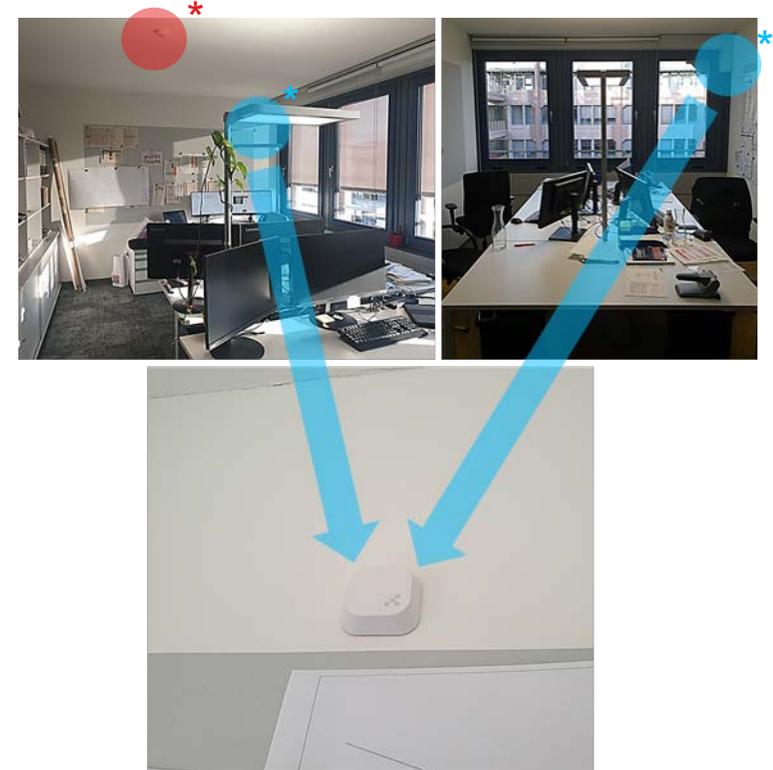
## Bürogebäude, Stuttgart

### Inbetriebnahme

- Installation von Beacons in mehreren Büroräumen\*
- Vorhandene optische Präsenzmelder\*

### Fragestellungen

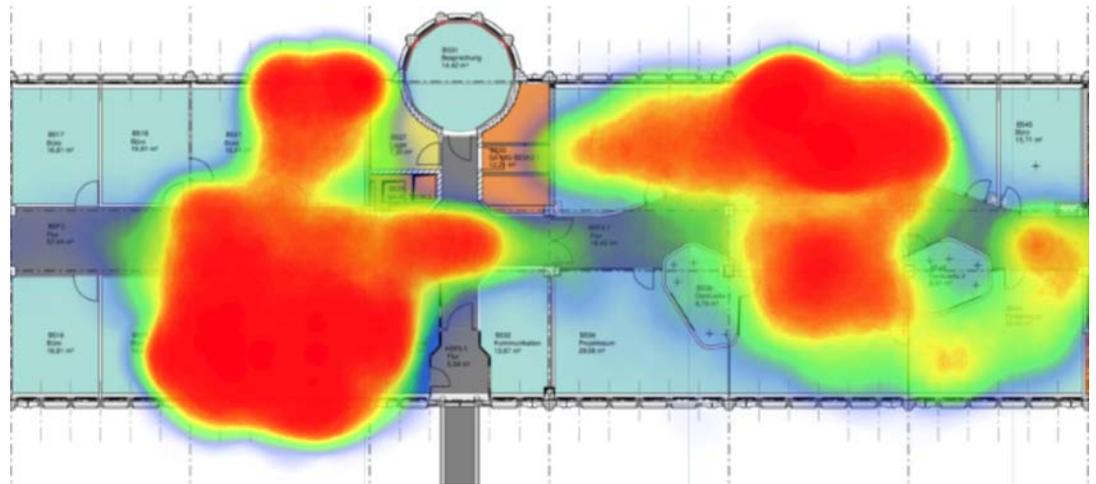
- Zuverlässigkeit des Systems
  - Vergleich mit bestehender Präsenzerkennung
- Optimierung der Parameter für die Applikation
  - Geeignete Zeitintervalle sowie räumliche Auflösung
- Häufigkeit des Aufenthalts in den Räumen



Installierte Beacons in Büroräumen

### Heat Map

- Auslastung der Räume ersichtlich
  - Gebäudebetrieb
    - Zonen ohne Nutzung identifizieren
    - ggf. Anpassung der Raumsollvorgaben
- Anwendungsmöglichkeiten
  - Gebäudebesitzer bzw. -vermieter
    - Raumauslastung erhöhen
  - Facility Management
    - Zonen mit erhöhtem Reinigungsbedarf identifizieren
    - Bereinigung von Energieverbrauchsdaten



**Heat Map**  
**(22. März bis 08. Oktober)**

## Zusammenfassung und Ausblick

- Das entwickelte System ermöglicht eine detailliertere Feststellung der individuellen Raumbelugung in Gebäuden als derzeit übliche optische Präsenzmelder
- Anforderungen aus dem Datenschutz, dem Betriebsrecht und der Datensicherheit müssen beachtet werden
- Abstrakte rechtliche Vorgaben sind in technische Gestaltungsziele zu übersetzen
- Anwendungen im Bereich des Facility Management
  - Reinigung von Räumen nur nach Bedarf
  - Nutzung variabler Arbeitsplätze (Klimatisierung von Teilbereichen im Gebäude)
  - Nutzungsbereinigte Verbrauchsdaten
- Generierung von Trainingsdaten hinsichtlich der Gebäudenutzung als Basis für maschinelles Lernen
  - Steuerung von trägen Nutzenübergabesysteme zum Heizen und Kühlen

# Zusammenfassung

# Klimaneutralität und Intelligente Gebäudesysteme

## Klimaneutralität

- Klimaneutralität bei CO<sub>2</sub>-Äq-Emissionen von ca. 2 t pro Person und Jahr
- Eine reelle bzw. ganzheitliche Klimaneutralität ist nur durch Kombination von erneuerbaren Energien und saisonaler Energiespeicherung möglich

## Intelligente Gebäudesysteme ermöglichen

- Steigerung Wohlbefinden der Nutzer/innen → erhöhte Produktivität
  - Senkung Betriebskosten (Reinigung, Energie, Wartung, Reparaturen)
  - Erhöhung Sicherheit (Brände, Überfälle, Diebstahl, Einbrüche ..)
  - Reduktion des (fossilen) Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- mittels intelligenter Mess- und Regelungstechniken, künstliche Intelligenz**



**Universität Stuttgart**

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE)



**Dr. Harald Drück**

Koordinator Forschung und Leiter "Quartierskonzepte und Gebäudeautomation,,

Leiter Prüfbereich Solar

Adjunct Professor Rajagiri School of Engineering & Technology (RSET), Rajagiri, Kochi, India

E-Mail [harald.drueck@igte.uni-stuttgart.de](mailto:harald.drueck@igte.uni-stuttgart.de)

Telefon +49 (0) 711 685 - 63553

[www.igte.uni-stuttgart.de](http://www.igte.uni-stuttgart.de)

Universität Stuttgart

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung

70550 Stuttgart

