



© TU Dresden, Institut für Kartographie

CAMPER – CAMPus EnergieverbrauchsReduktion an der TU Dresden

(gefördert vom BMWi, FKZ 03ET1319A)

Stuttgart, 14./15. Nov. 2017

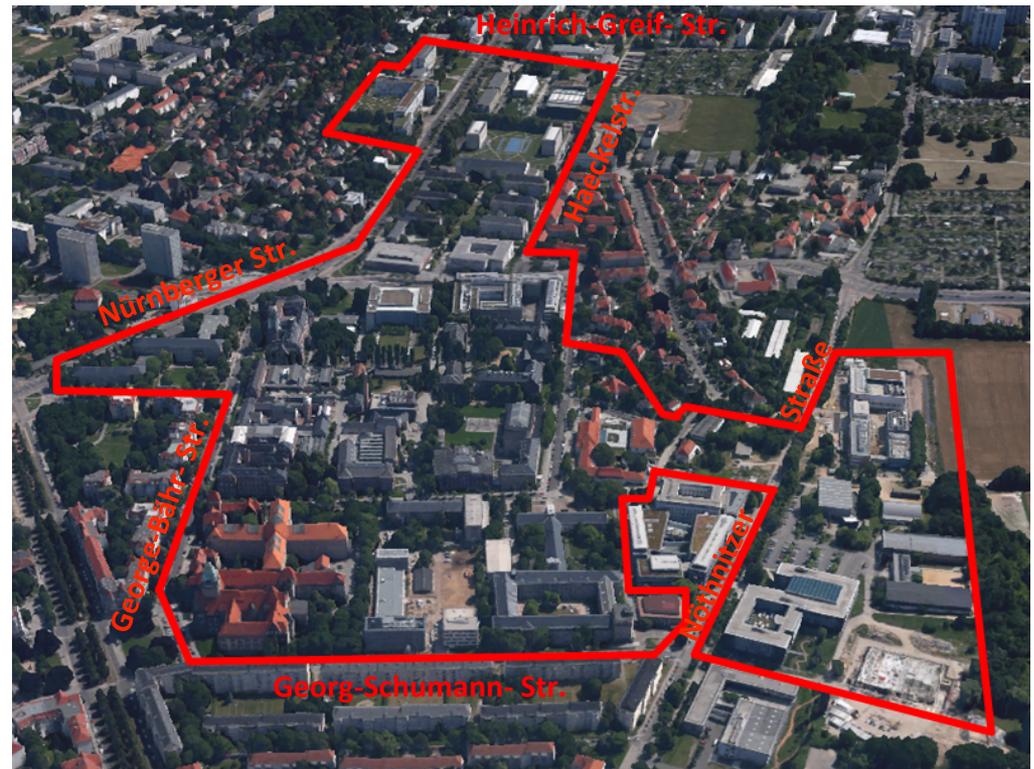
5. Kongress Zukunftsraum Schule



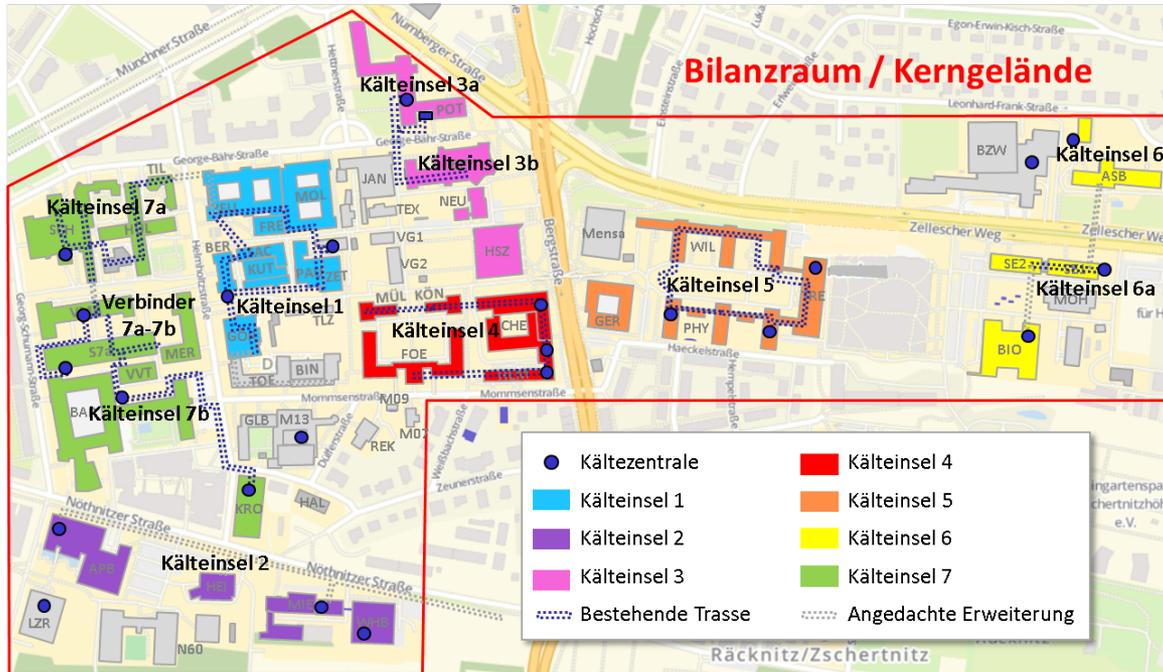
DRESDEN
concept
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

Bilanzraum Kerncampus

- 50 Gebäudekomplexe,
ca. 150 Gebäude(teile),
ca. 390.000 m² NGF
- Überwiegend älterer Bestand,
viele Denkmale
- Energieverbrauch (2015):
Fernwärme:
ca. 38.000 MWh/a → 4,3 Mio. €/a
(davon ca. 15% für Kälteerzeugung)
Elektroenergie:
ca. 38.000 MWh/a → 6,7 Mio. €/a
(davon 22% für Rechenzentren,
ca. 15% für Kälteerzeugung)
Erdgas:
Ca. 6.500 MWh → 0,3 Mio. €/a
(überwiegend für Versuchsanlagen)

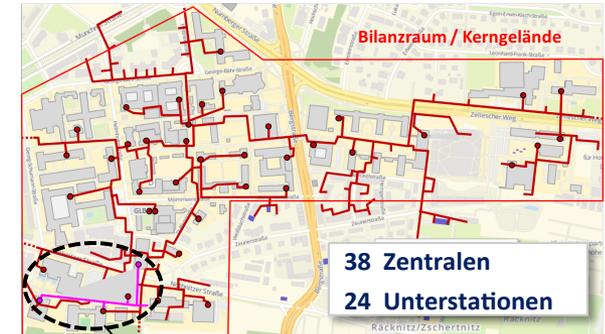


Nahkälte



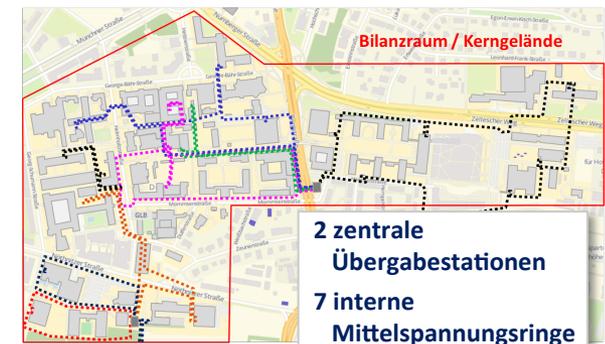
- 7 Nahkältenetze (Kälteinseln) mit jeweils mehreren Kältezentralen
- Unterschiedlicher Vernetzungsgrad
- Zusätzlich ca. 250 kleinere Kälteerzeuger / Splitgeräte
- Ca. 22 MW installierte Kälteleistung insgesamt

Fern- und Nahwärme



Kleines Nahwärmenetz
(Wärmeauskopplung Rechenzentrum)

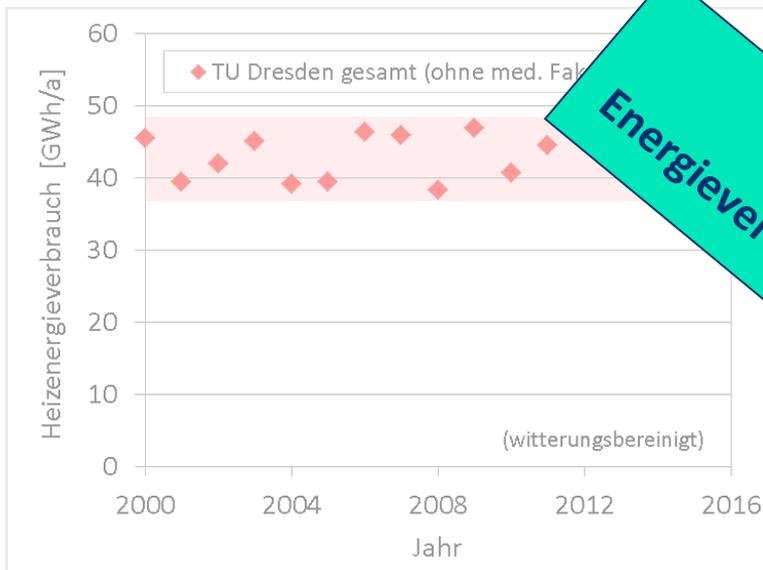
Elektro



Endenergieverbrauch – Entwicklung für die TU Dresden gesamt

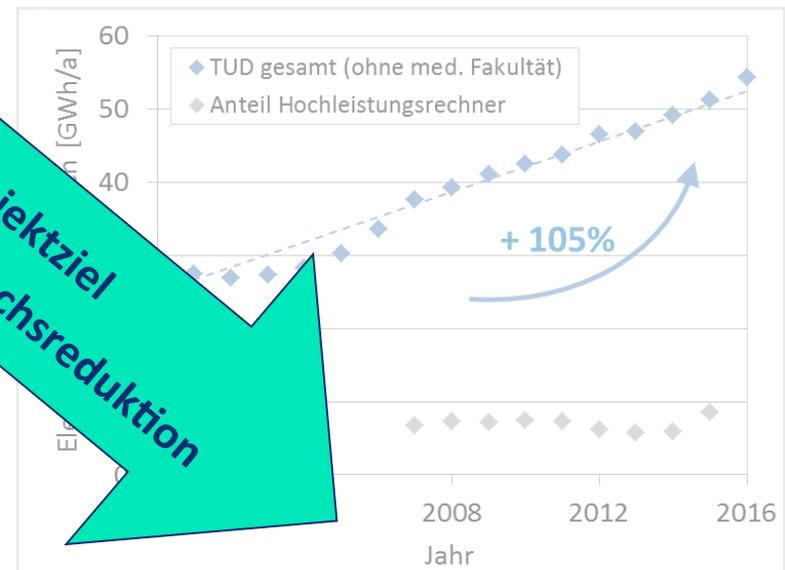
Fernwärme

(witterungsbereinigt, ohne FW für Kälte)



Elektroenergie

(inkl. Kälteerzeugung)



Energieverbrauchsreduktion
Projektziel

Konsolidierung trotz Flächenzuwachs

↔ Effizienzmaßnahmen

↔ Neubauten mit hohem Wärmeschutz

→ Nahezu lineare Zunahme um ca. 5% p.a.

→ Verdoppelung in 15 Jahren

CAMPER – CAMPus EnergieverbrauchsReduktion

Projektlaufzeit: 10/2015 – 09/2018

FKZ: 03ET1319A

Energetische Campus-Analyse

- Vorgehensweise
- Werkzeuge
- Ergebnisse

Schlussfolgerungen & Maßnahmen

Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann

Dr.-Ing. Annina Gritzki

Dipl.-Ing. Dirk Weiß

Prof. Dr.-Ing. John Grunewald

Projektpartner:

**Institut für Energietechnik (+ Koordination)
Institut für Baukonstruktion**

**Institut für Bauklimatik
Lehrstuhl für Betriebliche Umweltökonomie**

Vorgehensweise

- Beschränkter Zugang zu Betriebs- und Verbrauchsdaten der GLT, von Gebäude zu Gebäude sehr verschieden (Umfang, Zeitraum und Auflösung der Messdaten)
- Energetische Grob-Analyse auf Grundlage leicht zugänglicher Informationen (Abrechnungen der EVU, rudimentäre Gebäudeinformationen, TUD-Statistiken)
→ Übertragbarkeit auf andere Liegenschaften
- Ergänzende Detailanalysen für ausgewählte Gebäude / Anlagen auf der Grundlage von Monitoring, numerischer Simulation und ggf. vorhandenen GLT-Daten
 - Identifikation von Ursachen für hohe / niedrige Energieverbräuche
 - Abschätzung von Einsparpotentialen
 - Ansätze zur Betriebsoptimierung
 - Erarbeitung von Sanierungsplänen / Energiekonzepten auf Grundlage von Szenarienbetrachtungen mit ökonomisch-ökologischer Bewertung
 - Ableitung von Handlungsempfehlungen
- Betrachtung des Nutzerverhaltens
 - Online-Befragung der TUD-Mitarbeiter mit 1020 Teilnehmern (ca. 15%)
 - Monitoring am Arbeitsplatz



Betrachtung von Verbrauchsindikatoren

- Gebäudegröße und Nutzung
- Laborflächenanteil
- Baualter und Sanierungsgrad
- Denkmalstatus
- Solare Einstrahlung

Ermittlung und Einordnung von Verbrauchskennwerten

- Endenergieverbrauch (Wärme, Strom)
- Primärenergieverbrauch
- CO₂-Emissionen

Ergänzende Detailbetrachtungen (GLT-Daten, Monitoring, Simulation)

- Grundlasten und saisonale Lasten
- Vollbenutzungsstunden
- Lastverläufe, Lastspitzen.
- Nutzereinfluss ...

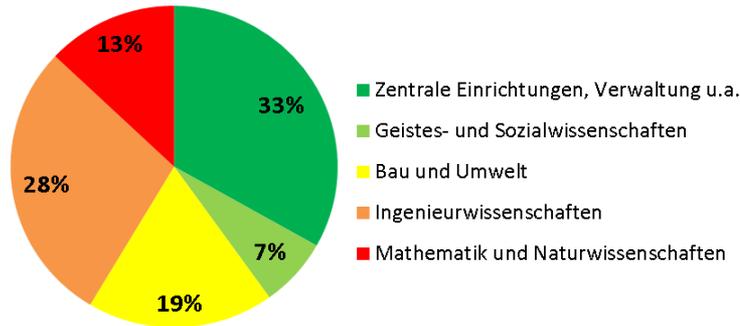
Identifikation von Optimierungsansätzen



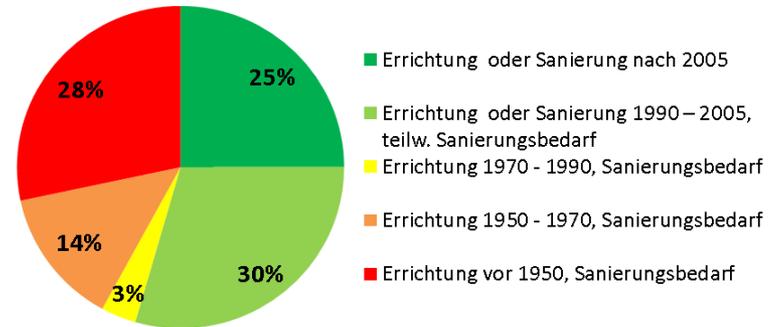
- MINT- Fachrichtungen dominieren → viele Labore und Werkstätten
- Großteil der Gebäude sanierungsbedürftig, v. a. Denkmale
- Hohes solares Nutzungspotential der Dächer

Übersicht Verbrauchsindikatoren

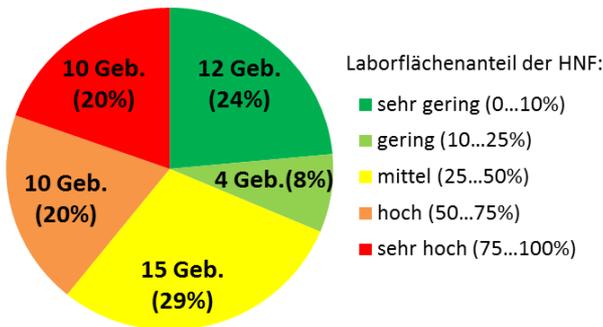
Hauptflächennutzung nach Wissenschaftsbereichen



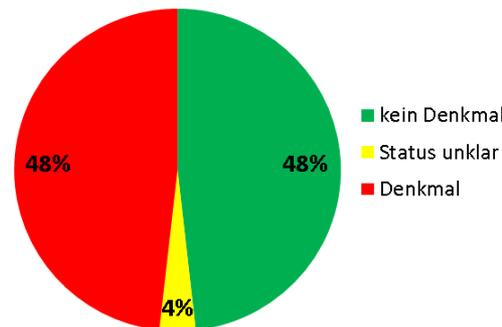
Flächenbestand (NGF) nach Altersstruktur und Sanierungsgrad



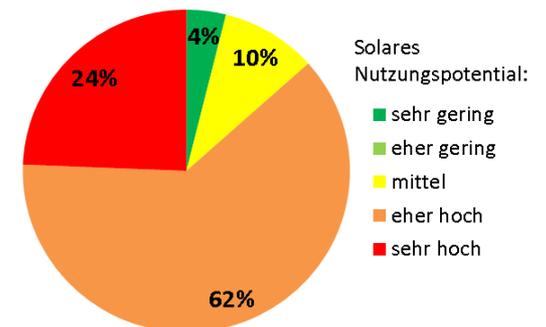
Flächennutzung der Gebäude für Labore, Werkstätten, Serverräume



Denkmalschutzstatus der Gebäude



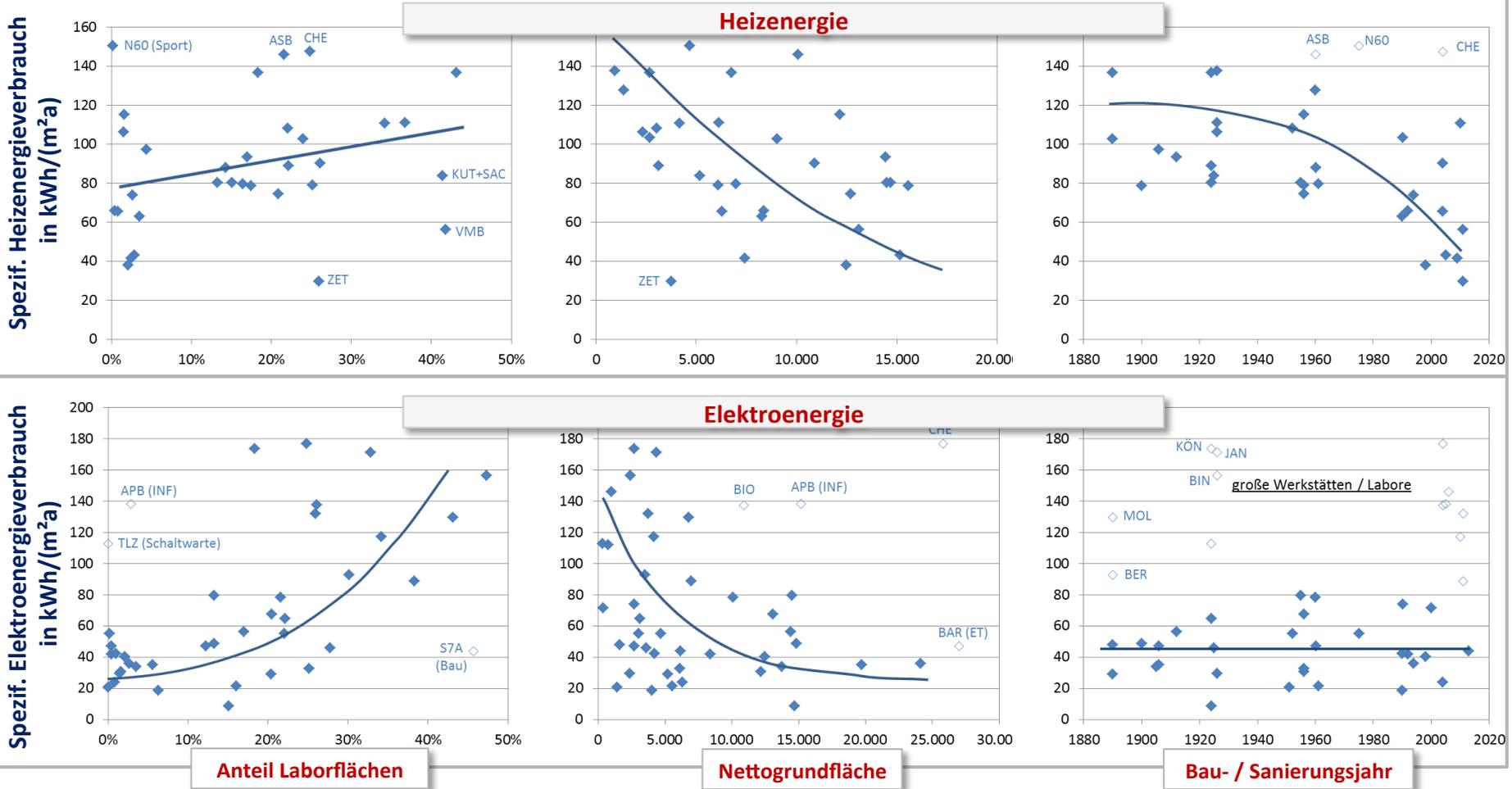
Solares Nutzungspotential der Dachflächen





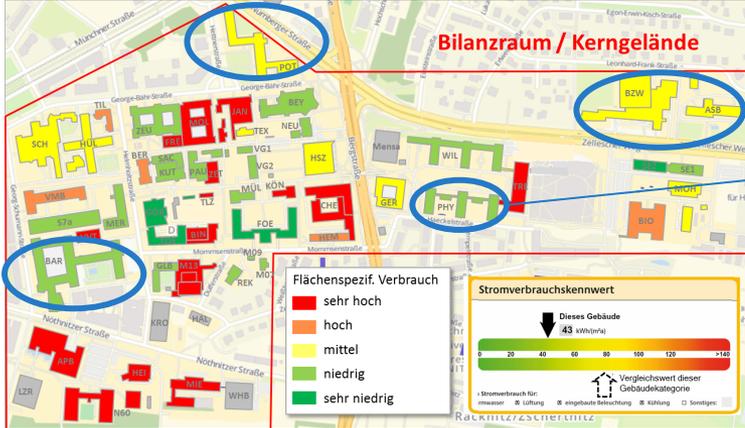
- Nutzung (Labore) beeinflusst v. a. den Stromverbrauch stark
- Größere Gebäude tendenziell sparsamer, auch beim Strom
- Baualter beeinflusst nur den Wärmeverbrauch

Einflussgrößen auf den Gebäudeenergieverbrauch

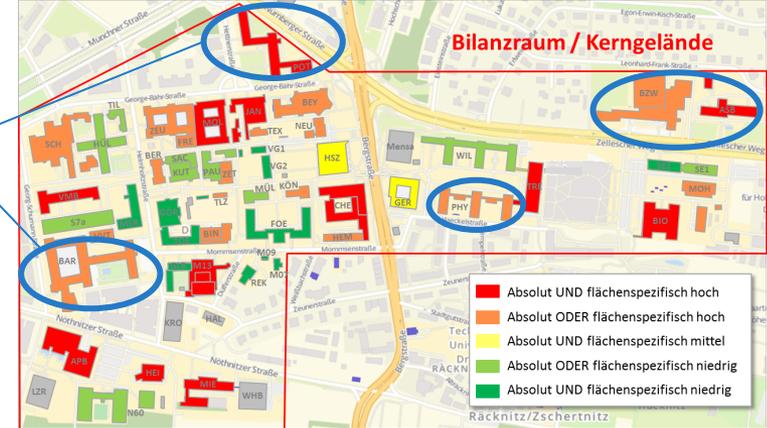


Bsp. Flächenspezifischer Elektroenergieverbrauch (in kWh/(m²a))

Klassifikation nach BMWi / BMU 2015 → Energieausweis



Erweiterte Klassifikation nach Verbrauchssektoren

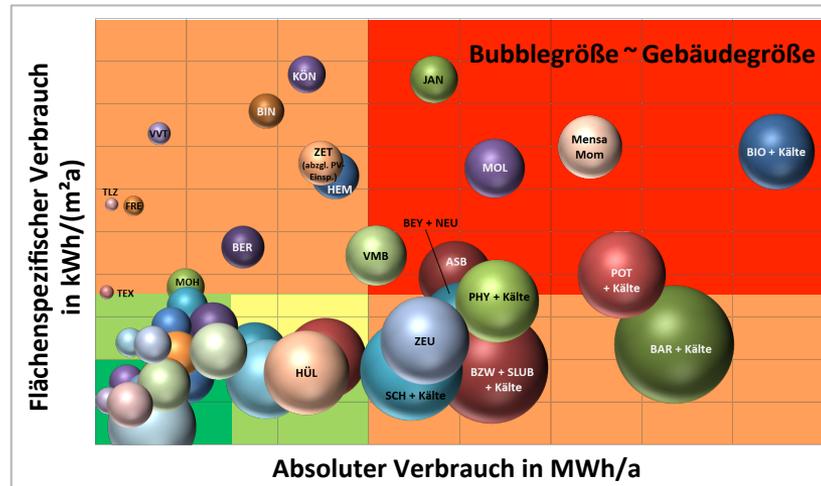


Großverbraucher

Großverbraucher erhalten z. T. mittlere bis gute Bewertung



Gebäudegröße und absoluten Verbrauch berücksichtigen



Ansatzpunkte für Detailbetrachtungen



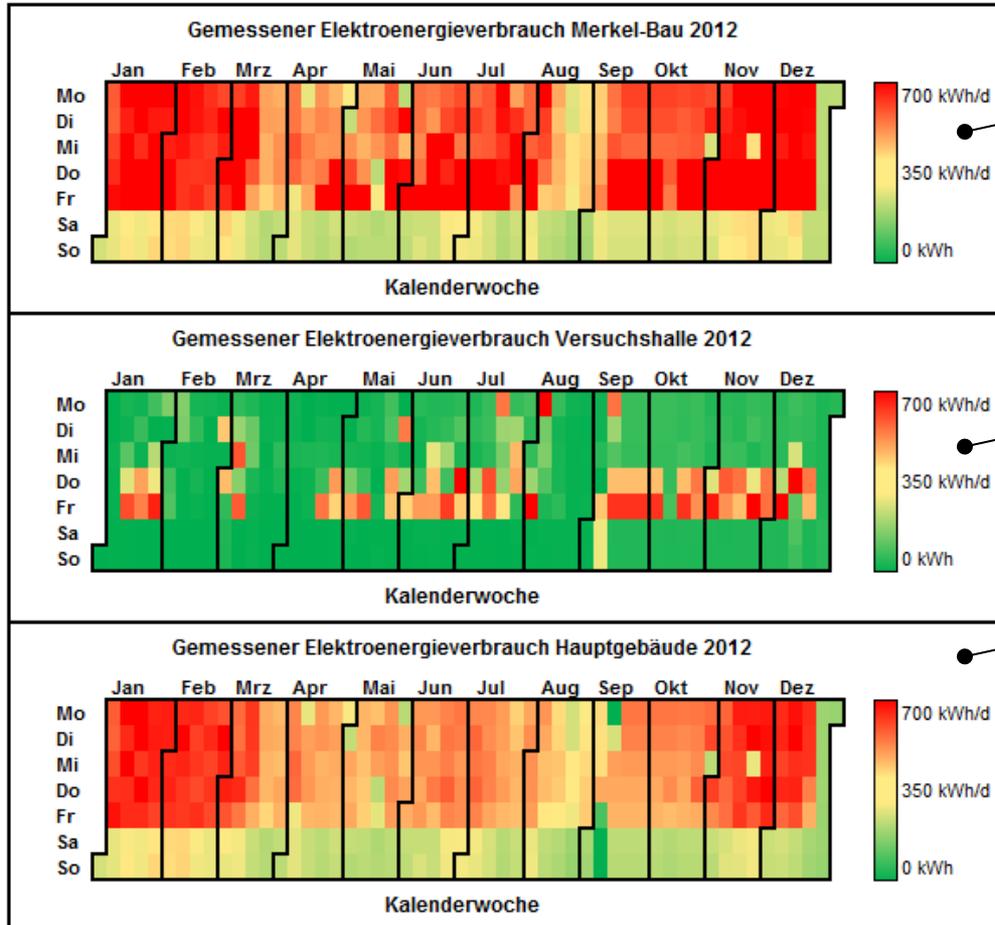
Großverbraucher erkennbar



Identifikation von Optimierungsansätzen

Elektroenergie – Tagesverbräuche / Calendar-Plot

Bsp. Institutsgebäude FR Maschinenwesen



Gesamtes Gebäude

Hohe Grundlast an Nicht-Arbeitstagen (WE, Feiertag)

Versuchshalle

Minimale Grundlast, wenige Werkstage mit hohen Lasten

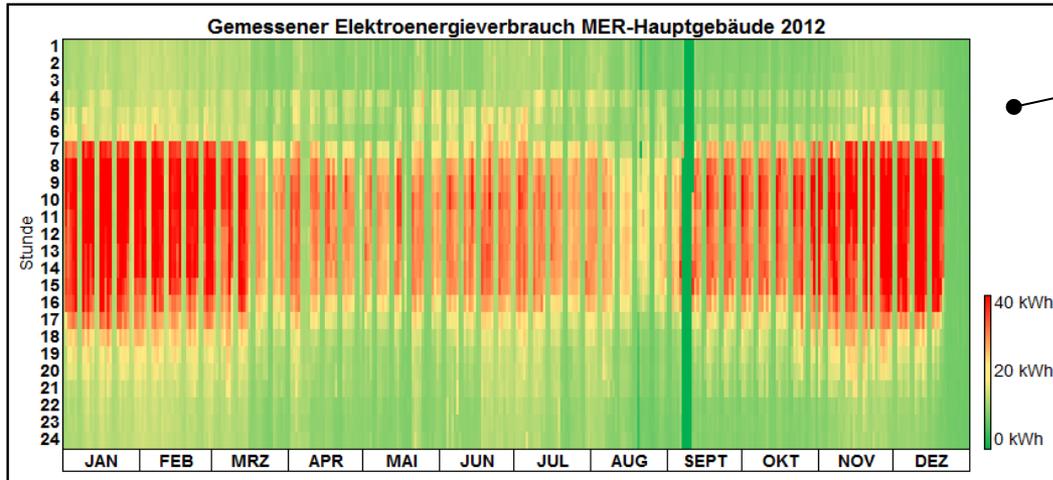
Hauptgebäude

- Hohe Grundlast an Nicht-Arbeitstagen
→ Rechentechnik, Serverkühlung
- Ausgeprägte saisonale Unterschiede
→ Übergangszeit: v.a. Arbeitsplatz-PCs
- Winter: zusätzl. Beleuchtung, Hilfsenergie Heizung
- Sommer: RLT, Splitgeräte

Identifikation von Optimierungsansätzen

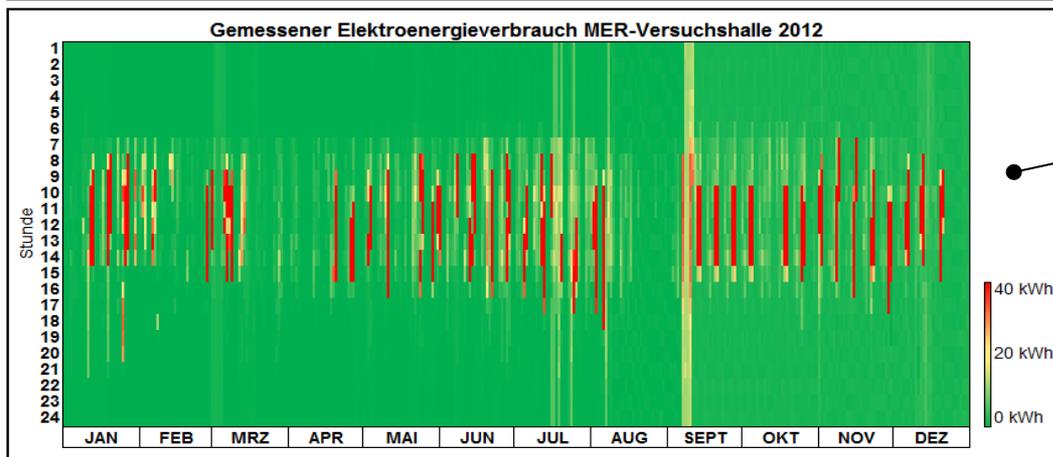
Elektroenergie – Stündliche Verbräuche / Carpet-Plot

Bsp. Institutsgebäude FR Maschinenwesen



Hauptgebäude

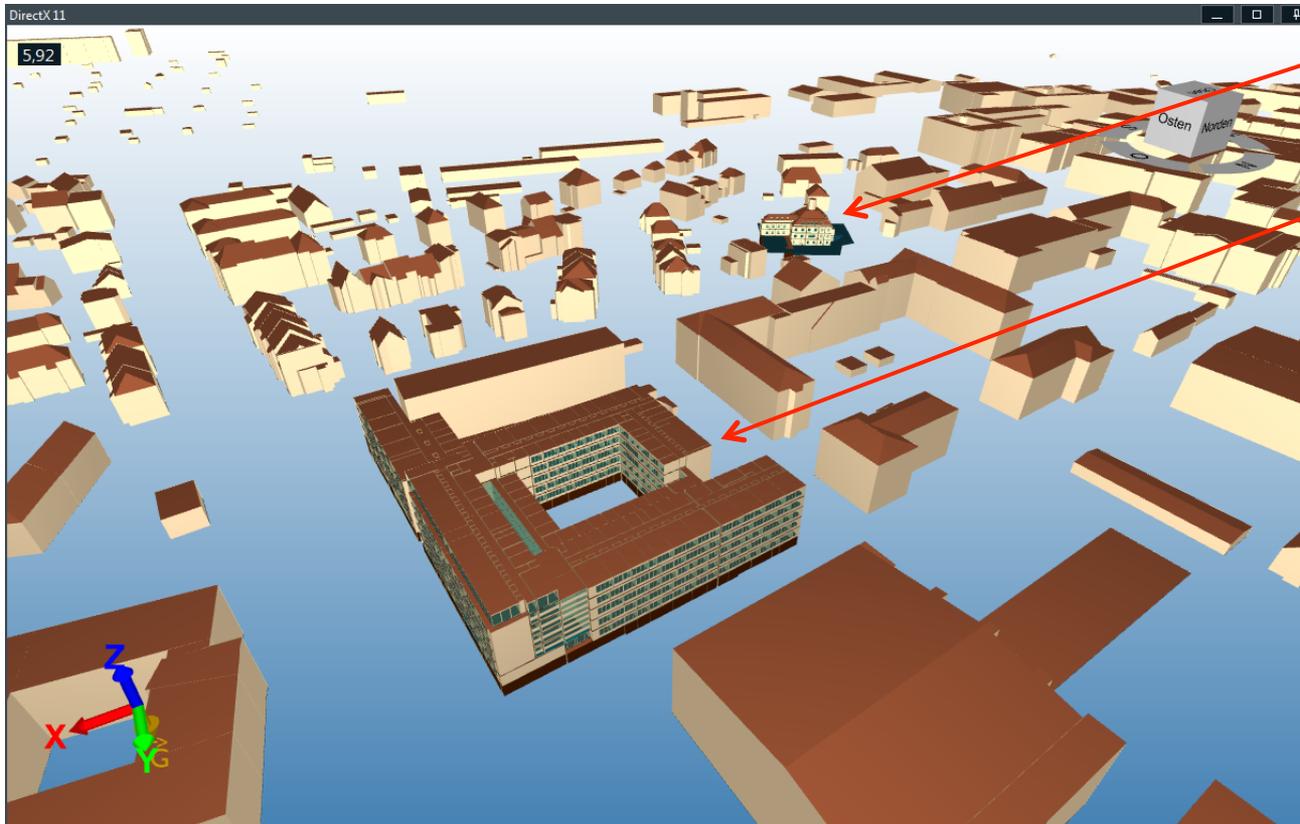
- Außerhalb der Arbeitszeit ganzjährig hohe Grundlast
- Hauptursache Arbeitsplatz-PCs und Server inkl. Kühlung
- Leichte Erhöhung der Grundlast im Winter und Sommer durch Hilfsenergie Heizung und Außenlicht



Versuchshalle

Wenige Tage mit kurzzeitig sehr hohen Lastspitzen (Heißluft-Windkanal)

Dynamische Gebäudesimulation – Modelle



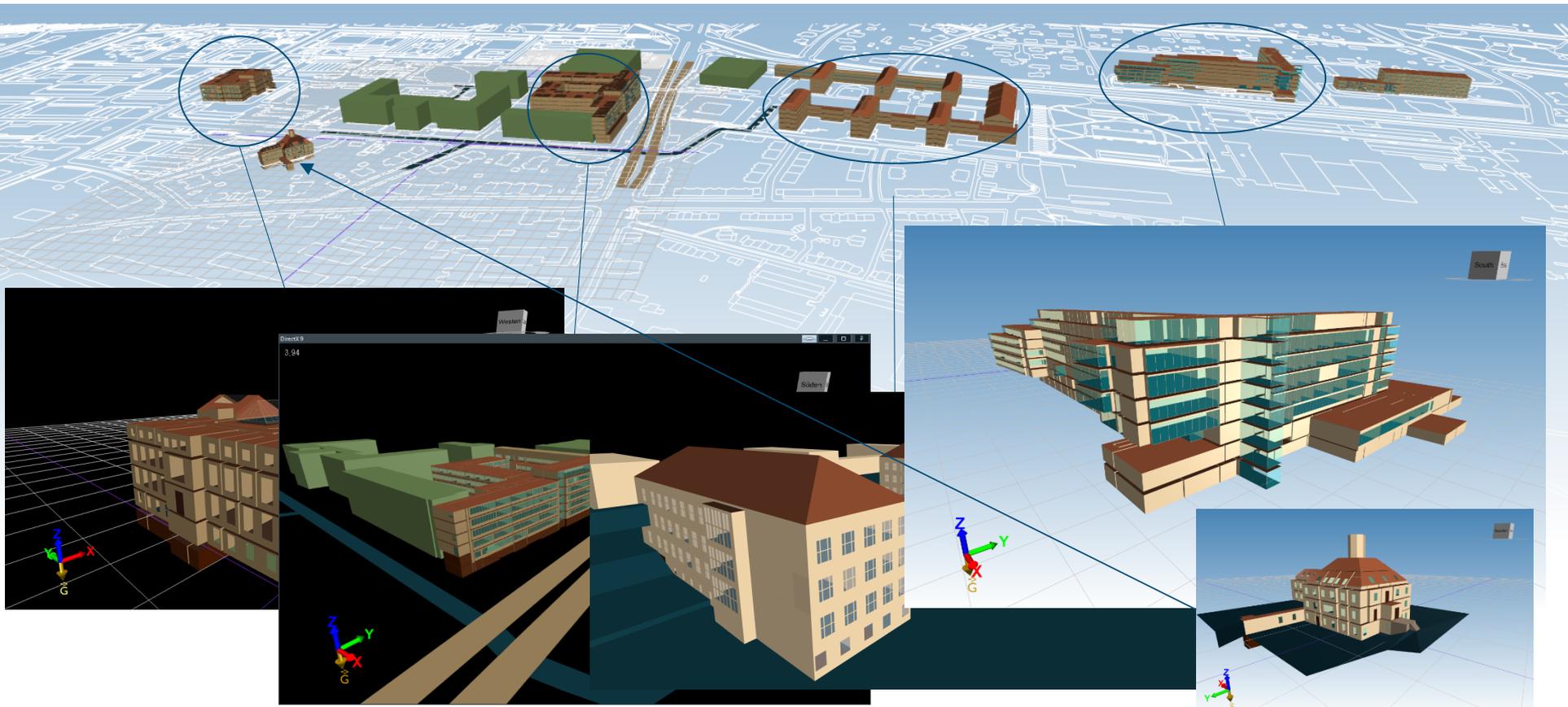
Rektorat

Chemische
Institute

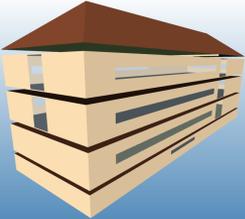
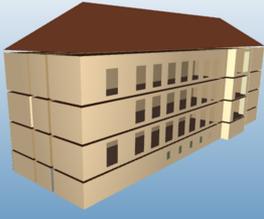
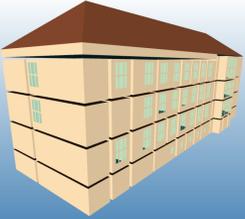
- **Detaillierung einzelner Campusgebäude verschiedener Baualtersklassen**
- **Berücksichtigung der Verschattung durch umliegende Bebauung**
- **Betrachtung von Sanierungsszenarien**

CityGML-Modell: Quelle GeoSN (Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen)

Dynamische Gebäudesimulation – Modelle

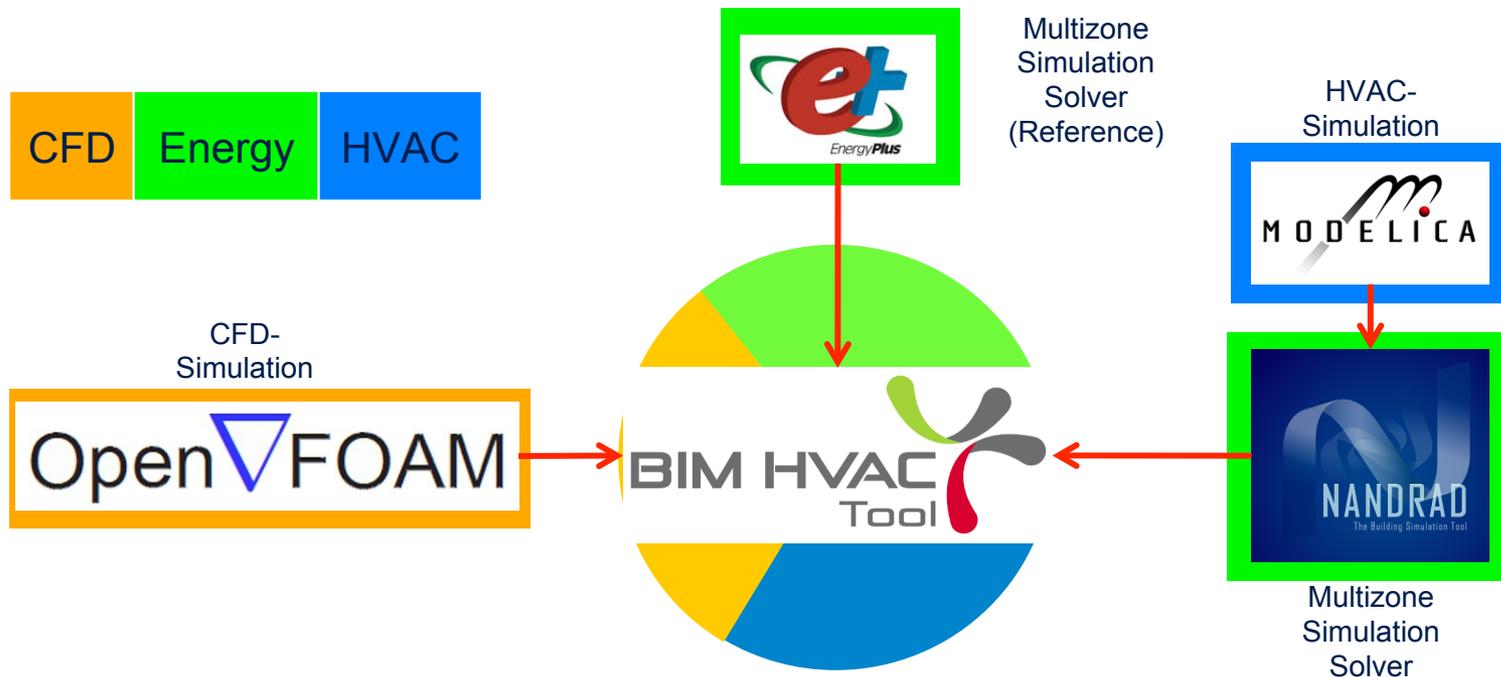


Dynamische Gebäudesimulation – Variation des Detaillierungsgrades

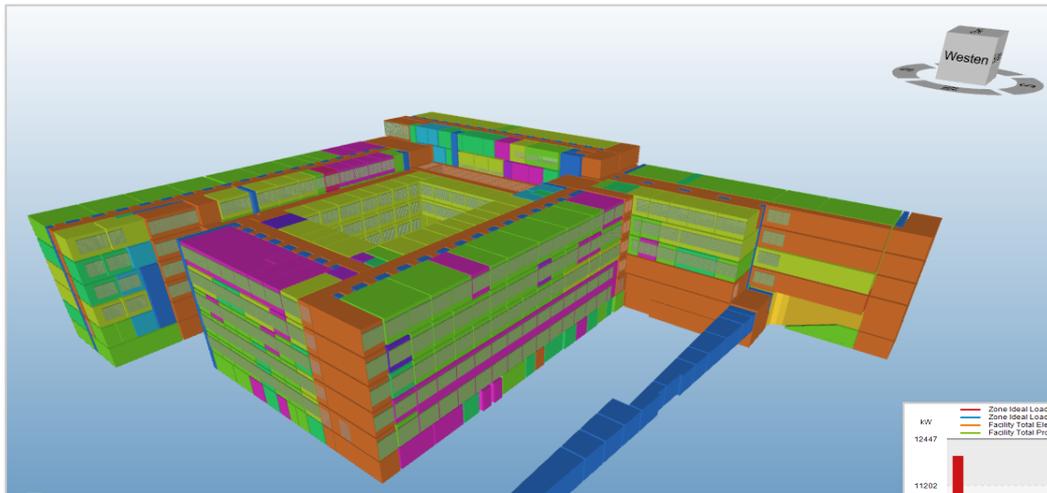
Detaillierungsgrad	1	2	3	4
Gebäudedarstellung				
Anzahl thermische Zonen	15	107	163	417
Anzahl Profile DIN 18599	2	3	12	12
Bearbeitungszeit in h	≈ 1.5 h	≈ 12 h	≈ 45 h	≈ 80 h
Simulationszeit in h (Energy +)	≈ 2 min	≈ 8 min	≈ 17 min	≈ 36 min
Heizenergiebedarf	1676 MWh/a	2525 MWh/a	2244 MWh/a	2298 MWh/a
Elektr. Strombedarf	1342 MWh/a	252 MWh/a	232 MWh/a	229 MWh/a

Dynamische Gebäudesimulation – Werkzeuge

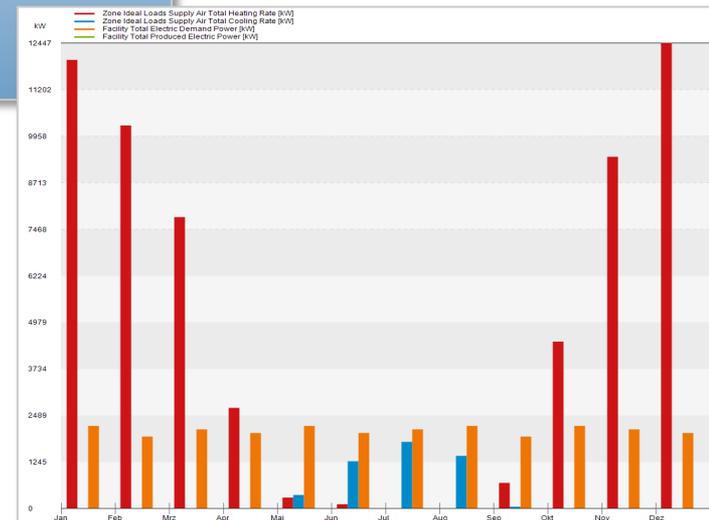
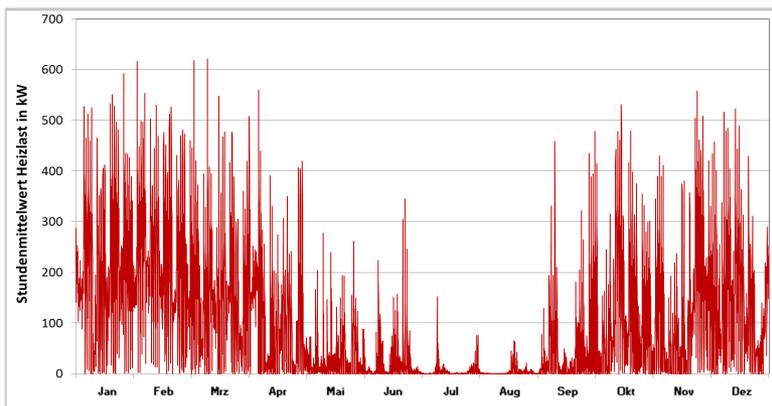
- BIM HVACTool als Aufsatzmaske
- Export zum thermischen Gebäudeenergiesimulationsolver → EnergyPlus, NANDRAD (entwickelt am IBK)
- Weitere Modellnutzungen in CFD, Daylight, Shading Simulation möglich



Dynamische Gebäudesimulation – Ergebnisse

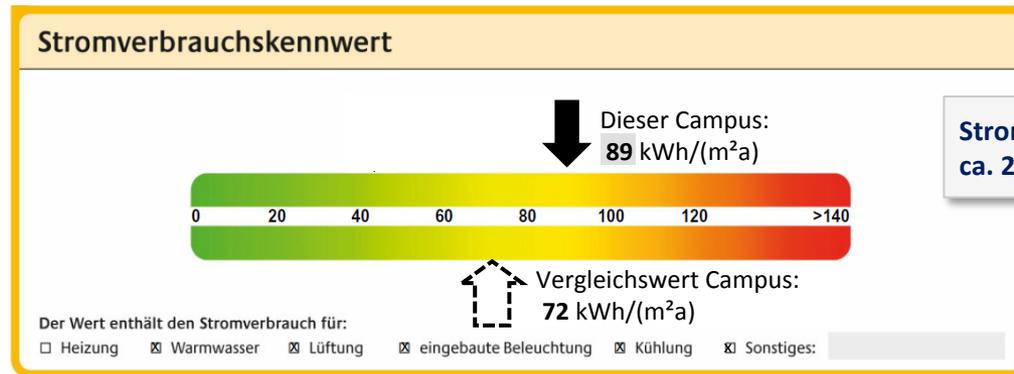


**Quantifizierung von
Einsparpotentialen
(FW / Strom, CO₂, Kosten)**

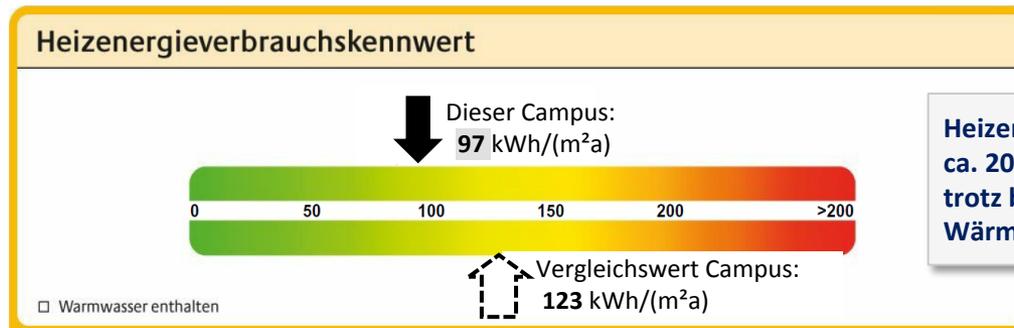


Campus-Bewertung

→ Wichtung der Einzelgebäudekenndaten nach BMWi / BMU (2015)



**Stromverbrauch des Campus
ca. 25% über dem Vergleichswert**



**Heizenergieverbrauch des Campus
ca. 20% unter dem Vergleichswert,
trotz begrenztem baulichem
Wärmeschutz (hohe interne Lasten)**

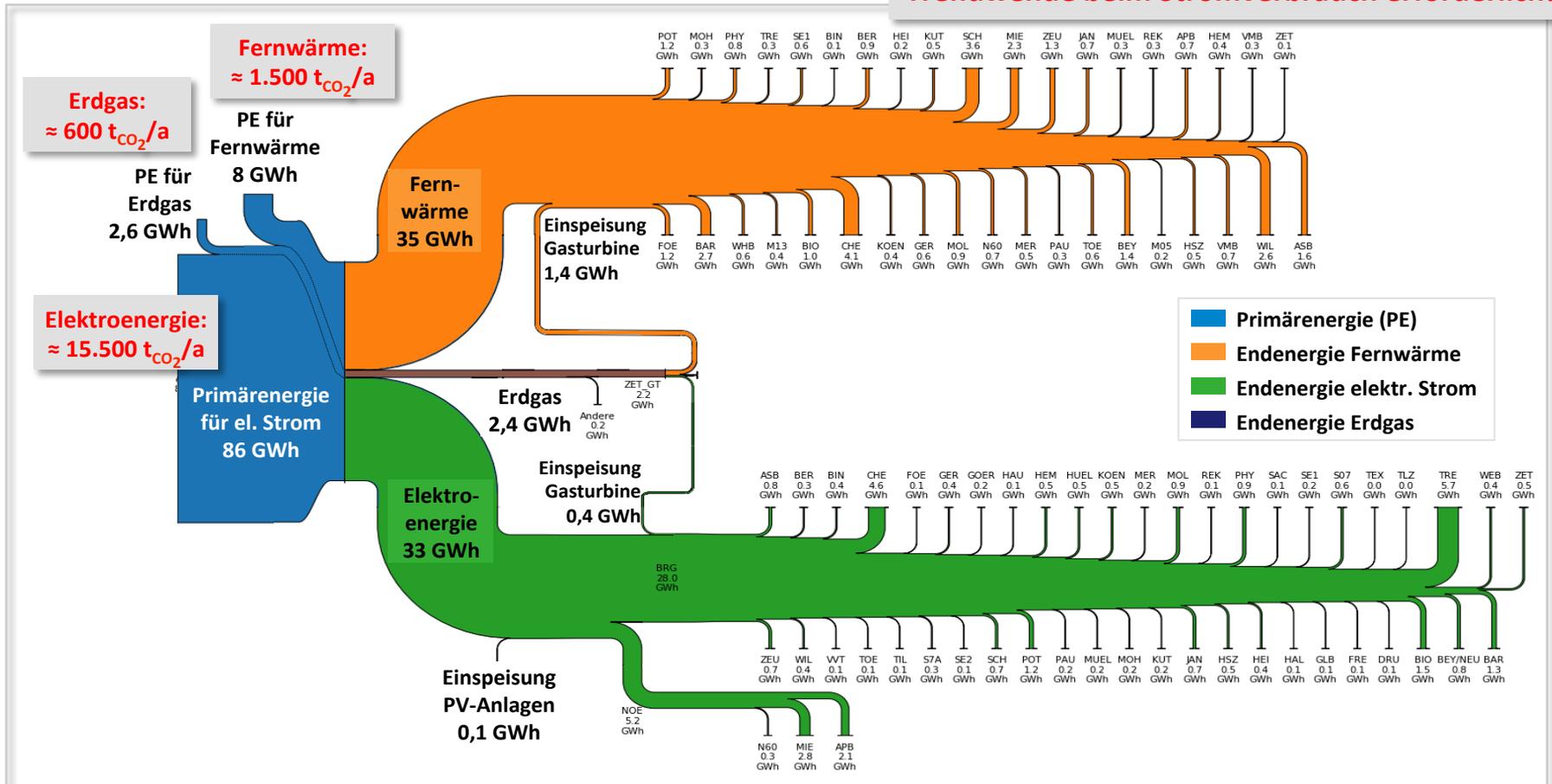


Stromverbrauch steigt kontinuierlich und verursacht heute ca. 90% der CO₂-Emissionen

Größte Emissionen durch Gebäude mit Kältezentralen und RLT zur Versorgung von Laboren, Serverräumen, Mensen

Trendwende beim Stromverbrauch erforderlich!

Darstellung der Energieströme (2013)



Schlussfolgerungen

Priorität kurz- und mittelfristig bei Maßnahmen zur Reduktion der durch den **Stromverbrauch** hervorgerufenen CO₂-Emissionen

- Effiziente Kälteerzeugung und sommerlicher Wärmeschutz
- Energiesparende Rechentechnik und stärkere Nutzung der Abwärme
- Modernisierung der Beleuchtung
- Unterstützung eines sparsamen Nutzerverhaltens
- Nutzung geeigneter Dachflächen zur regenerativen Stromgewinnung (PV)



Verschiedene Maßnahmenpakete erarbeitet / in Arbeit
(gemeinsam mit Dezernat 4 und SIB)
Umsetzung ab 2018

Seitens der **Fernwärme** mittel- bis langfristig Fokussierung auf

- Verringerung der Leitungswärmeverluste (Temperaturabsenkung)
- Nutzung der Netzstrukturen zur Weiterleitung von Abwärme
- Verstärkte Ausnutzung des Rücklauf Temperaturniveaus von Gebäuden und FW-Netz

Erhöhung des regenerativen Anteils am Stromverbrauch

Nachrüstung von Photovoltaik mit ca. 1,2 MWp auf verfügbaren Dachflächen

Modellierung und dyn. Simulation mit PV-SOL

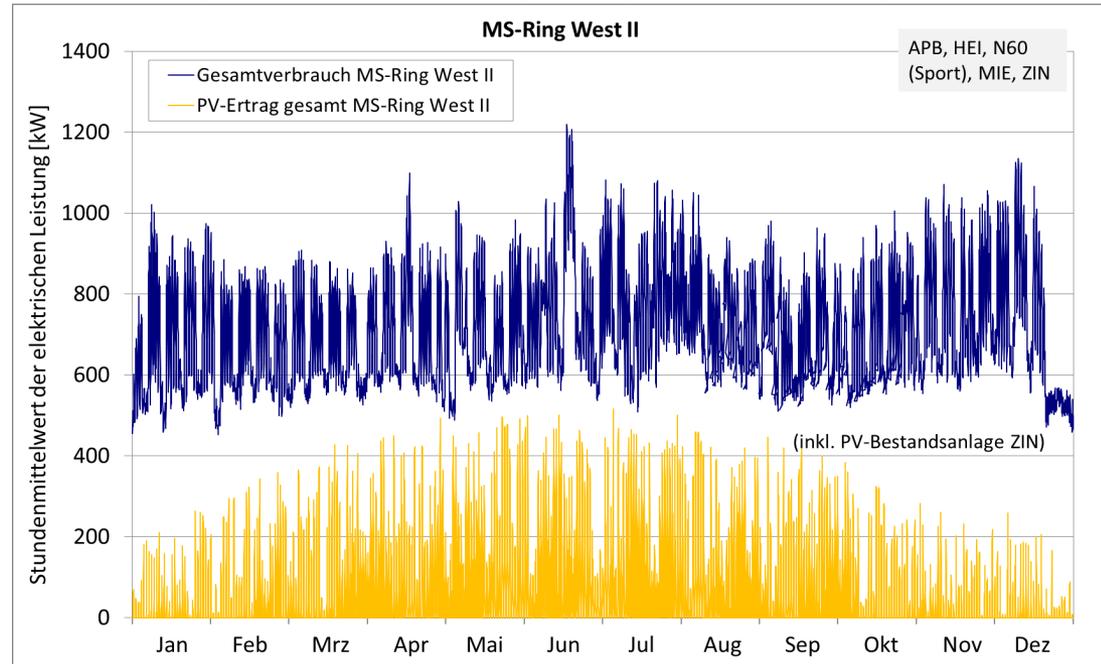


(Ausgewählte Beispiele)

Investkosten: ca. 1,4 Mio. Euro

CO₂-Reduktion: ca. 440 t_{CO2}/a

Lastganganalyse zur Bewertung der Eigenverbrauchsmöglichkeiten

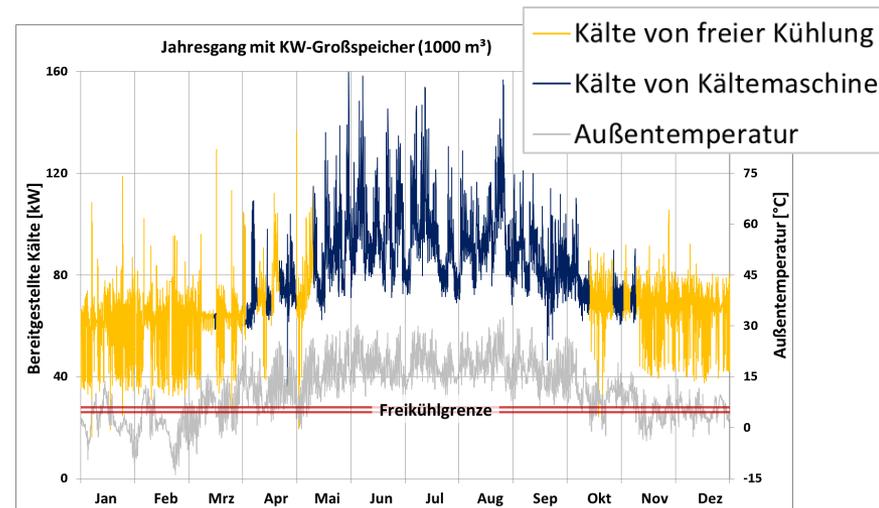


**Vollständiger Eigenverbrauch des Solarstromes
zu jeder Jahresstunde möglich!**

Energieeffiziente Kältebereitstellung

Integration eines 1000 m³ großen Kaltwasser-Speichers im Bereich der Kälteinsel 1

- Erhöhung der Flexibilität und Effizienz bei veränderlichem Kältebedarf
- Verstärkte Ausnutzung der freien Kühlung (v. a. in der Übergangszeit)
- Grundstein für einen späteren Zusammenschluss benachbarter Kälteverbünde



CO₂-Reduktion: mind. 30 %.

- Verdoppelung der Betriebsstunden mit freier Kühlung
- Verbesserung des Betriebsverhaltens der Kältemaschinen

Unterstützung eines energiesparenden Nutzerverhaltens

Ausgangspunkt: Ergebnisse der Nutzerbefragung (1.020 Teilnehmer) und Monitoring

- Kenntnisse und grundsätzliche Bereitschaft der Nutzer meistens vorhanden
- Zahlreiche Eingriffsmöglichkeiten (v.a. beim Strom, z. B. Einsparpotential PC-Nutzung 40...70%)
- Nutzerbezogenes Feedback zum Energieverbrauch fehlt
- Bewirtschaftungssituation begünstigt verschwenderisches Verhalten



Zahlreiche Handlungsempfehlungen

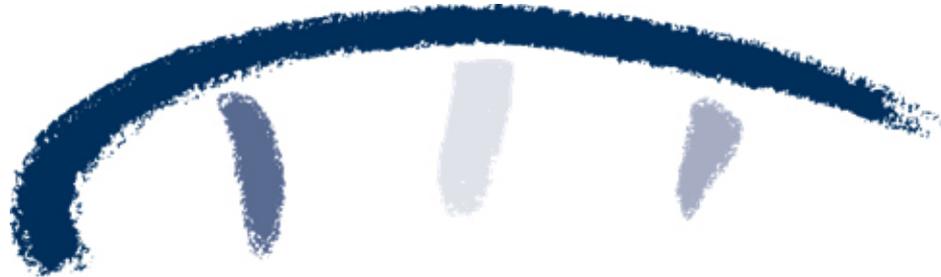
Pilotmaßnahme:

Entwicklung Messgerätekofter für Energiesparmonitoring am Arbeitsplatz (gemeinsam mit Dezernat 4 der TUD)

- Kostengünstiges, mobiles, funkbasiertes Messequipment (Messsteckdosen, Temperaturfühler, Fensterkontakte)
- Einfache Anwendung
- Nutzergerechte Datenauswertung und –visualisierung
- Energiespartipps



(Beispielhafte Darstellung)



»Wissen schafft Brücken.«

Kontakt: Technische Universität Dresden
Institut für Energietechnik
Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung
Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann
Telefon: +49 (0) 351-463 37685
E-Mail: camper@mailbox.tu-dresden.de
Web: www.tu-dresden.de/camper