TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät Architektur, Institut für Bauklimatik, Lehrstuhl Bauphysik

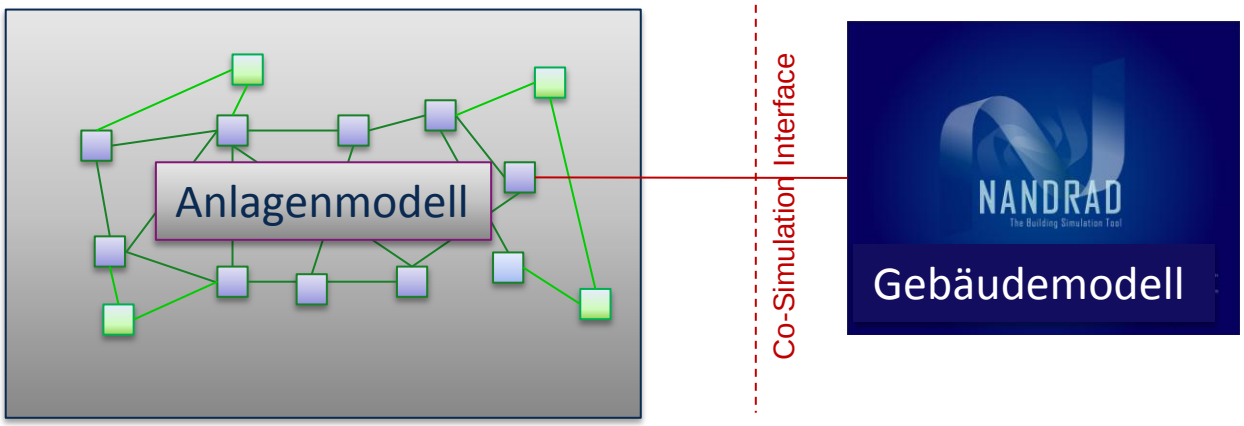
Schnittstellen für die Co-Simulationskopplung zwischen Gebäude- und Anlagensimulation

Anne Paepcke, Torsten Schwan, Andreas Nicolai

Dresden, 15.09.2016

Co-Simulation von Gebäude und Anlage

Co-Simulation:
Dezentrale gekoppelte Simulation unabhängiger Simulationsysteme (Slaves) über einen Simulationsmaster



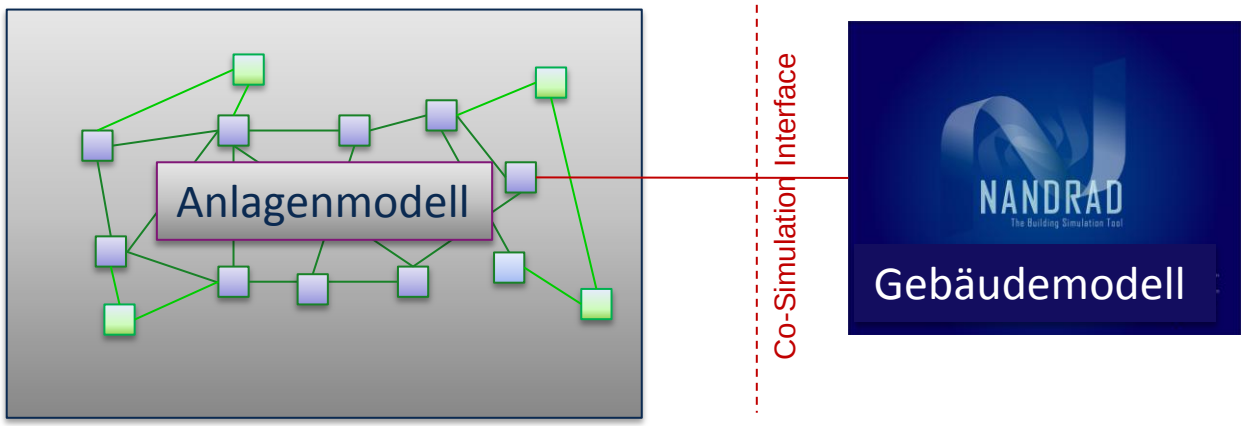
Functional Mock-up Interface (FMI):
Tool-unabhängiger Standard für die Laufzeitkopplung dynamischer Modelle (Co-Simulation und ModelExchange)

Co-Simulation von Gebäude und Anlage

Vorteile der FMI Co-Simulation im Vergleich zu integrierter Simulation :

- Nachnutzung und Erweiterung bereits existierender Modelle für Anlagen- und Gebäudesimulation
- Nutzung spezialisierten Expertenwissens
- Performancevorteil durch problemspezifische Lösungsverfahren für Anlagen- und Gebäudesimulation
- Unterstützung individueller Modellparametrisierung (BIM-Datenmodelle, Parametersätze für Anlagenmodelle)
- Unterstützung eines individuellen Postprozessings
- Austauschbarkeit der gekoppelten Komponenten
- kein Konflikt mit Geheimhaltungsvorschriften bei kommerziellen Programmen (z.B. Anlagen- und Reglerparametrisierungsvorschriften)

Anforderungen an FMI-Schnittstellen



Anforderungen an FMI-Schnittstellen

*Ein mathematisches Problem heißt **korrekt gestellt**, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:*

1. *Das Problem hat eine Lösung (**Existenz**).*
2. *Diese Lösung ist eindeutig bestimmt (**Eindeutigkeit**).*
3. *Diese Lösung hängt stetig von den Eingangsdaten ab (**Stabilität**).*

Hadamardsche Forderungen

Anforderungen an FMI-Schnittstellen

Eindeutigkeit/Fehlerquellen:

Vermeidung mehrfach definierter Eingangsgrößen in verschiedenen FMUs

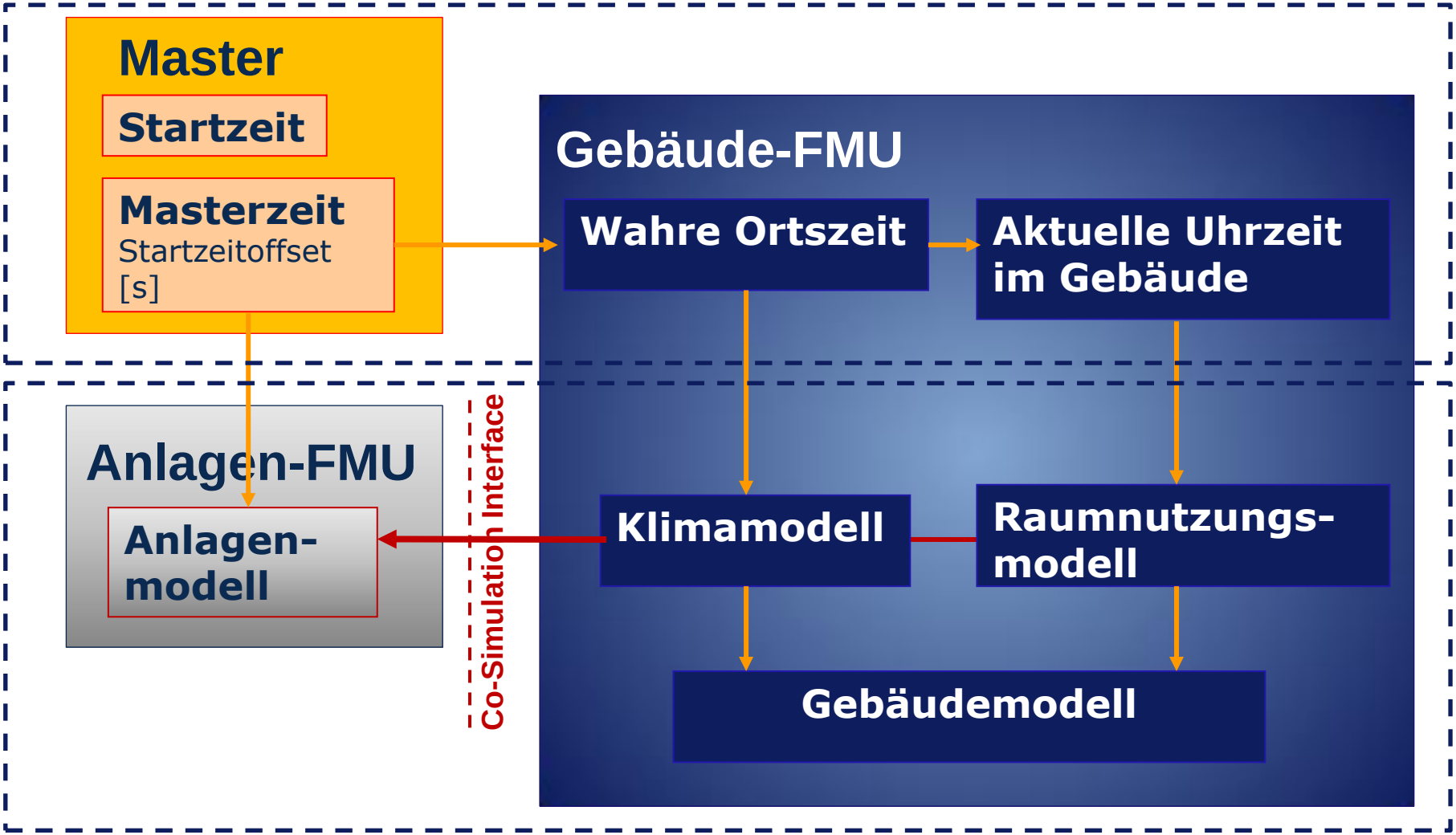
- Klimadaten und Nutzungsdaten in Gebäude- und Anlagensimulation
- Zeitdefinition/Wochentagsdefinition/Sonnenstand
- Materialeigenschaften strömender Medien

➢ **Datensynchronisation**

Vermeidung fehlinterpretierter Kopplungsgrößen

➢ **Einheitenstandardisierung**

Datensynchronisation



Anforderungen an FMI-Schnittstellen

Numerische Stabilität/Performance:

Vermeidung zu vieler Kopplungsgrößen

Vermeidung von Zeit-Events von Kopplungsgrößen

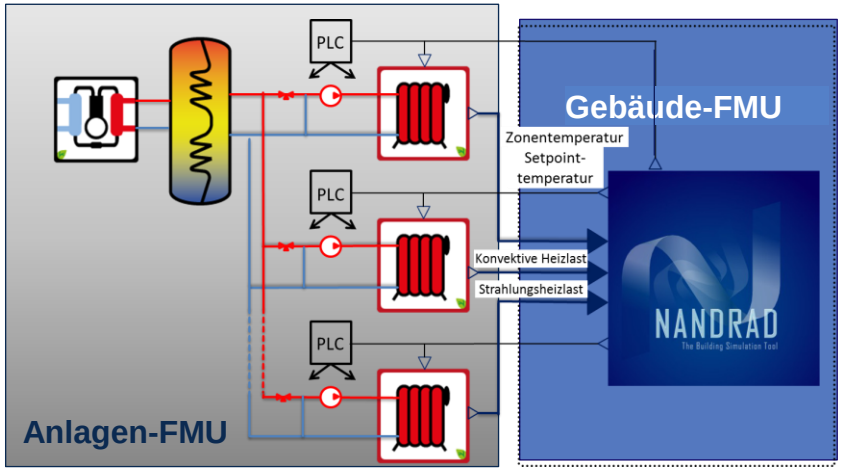
- **Interpolation zeitabhängiger Kopplungsgrößen (Klimadaten)**

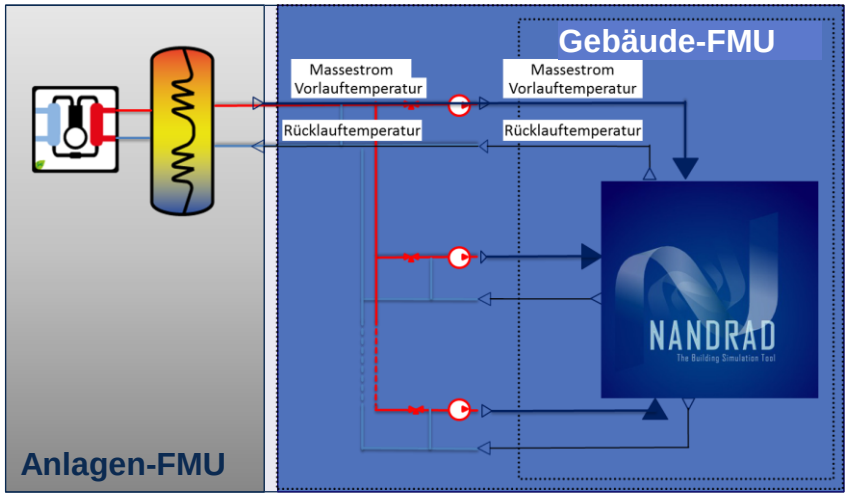
Vermeidung zu stark gekoppelter Zyklen

- Geregelte Heiz- und Kühlkreisläufe
- Regelung von Verschattung

- **Entwurf geeigneter Schnittstellen für Heiz- und Kühlkreisläufe**

Numerische Stabilität





Geregelter Heizkreislauf

Schnittstelle 1

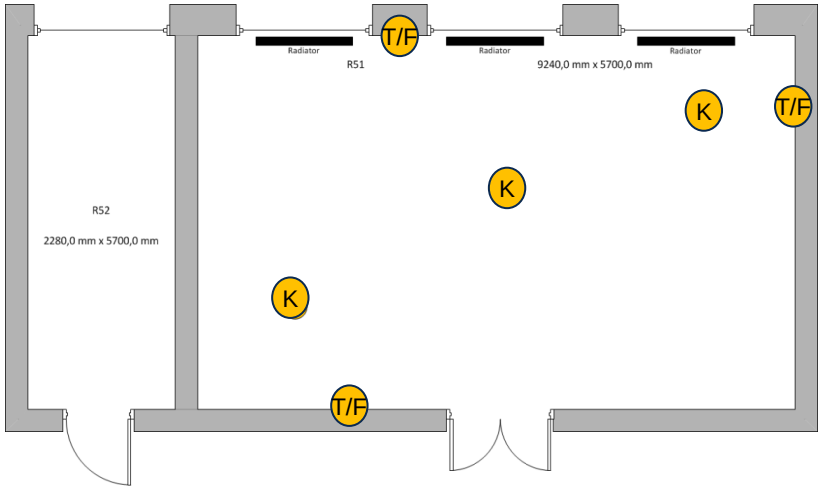
- universelle Schnittstelle
- starke Rückkopplung von FMU Inputs und Outputs
- viele Kopplungsgrößen

Schnittstelle 2/3

- Schnittstelle für hydraulischen Kreislauf
- Individuelle Definition des strömenden Mediums in jeder FMU
- Unstetigkeit bei falscher Strömungsrichtung

Numerische Stabilität

Konferenzraum (Fraunhofer EAS)

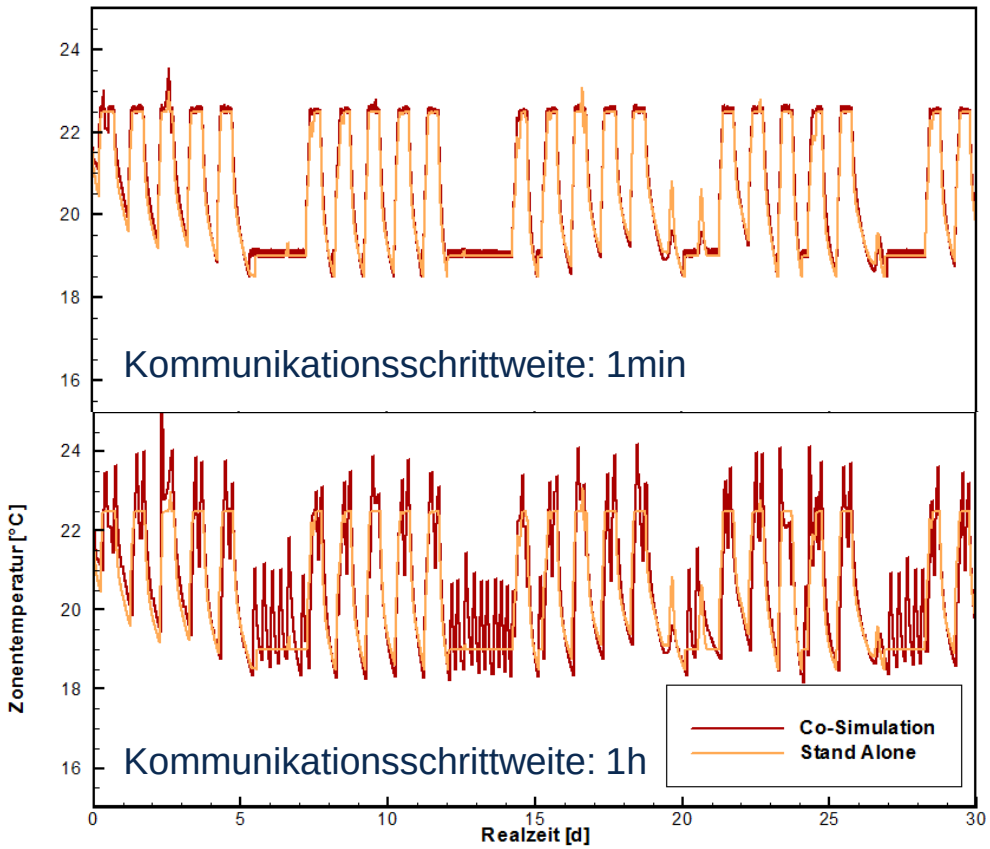


K Kompakte Sensoren (Licht, CO_2)

T/F Sensoren für Temperatur, Relative Luftfeuchte

- Belegung: 20 Personen, Raumvolumen: 169 m^3
- 3 Kühlaggregate, 3 Strahlungsheizkörper (ideal geregelt)
- LED-Beleuchtung und Leuchtstoffröhren
- Außenverschattung

Numerische Stabilität



Simulationsergebnisse Schnittstelle 1: Co-Simulation ohne Fehlerkontrolle

Anforderungen für Schnittstelle 1:

- fehlerkontrollierter Simulationsmaster mit adaptiver Zeitschrittweiten-steuerung
- „günstige" Masteralgorithmen für zyklische Kopplungen
- begrenzt sensitive Regelalgorithmen

Anforderungen an FMI-Schnittstellen

Bedienbarkeit durch den Anwender:

Überschaubare Anzahl an Verknüpfungen

- Geregelte Heiz- und Kühlkreisläufe (Schnittstelle 1: 7 FMU-Größen pro Gebäudezone)
- Synchronisierte Größen (10 FMU-Größen aus Klimamodell)

➢ **Entwurf geeigneter Gruppierungs- und Verknüpfungsautomatismen**

Einfache Parametrisierbarkeit jeder einzelnen FMU

- Informationslücken auf Anlagenseite bei Dimensionierung von Anlagenkomponenten

➢ **Entwurf geeigneter Parametrisierungsautomatismen**

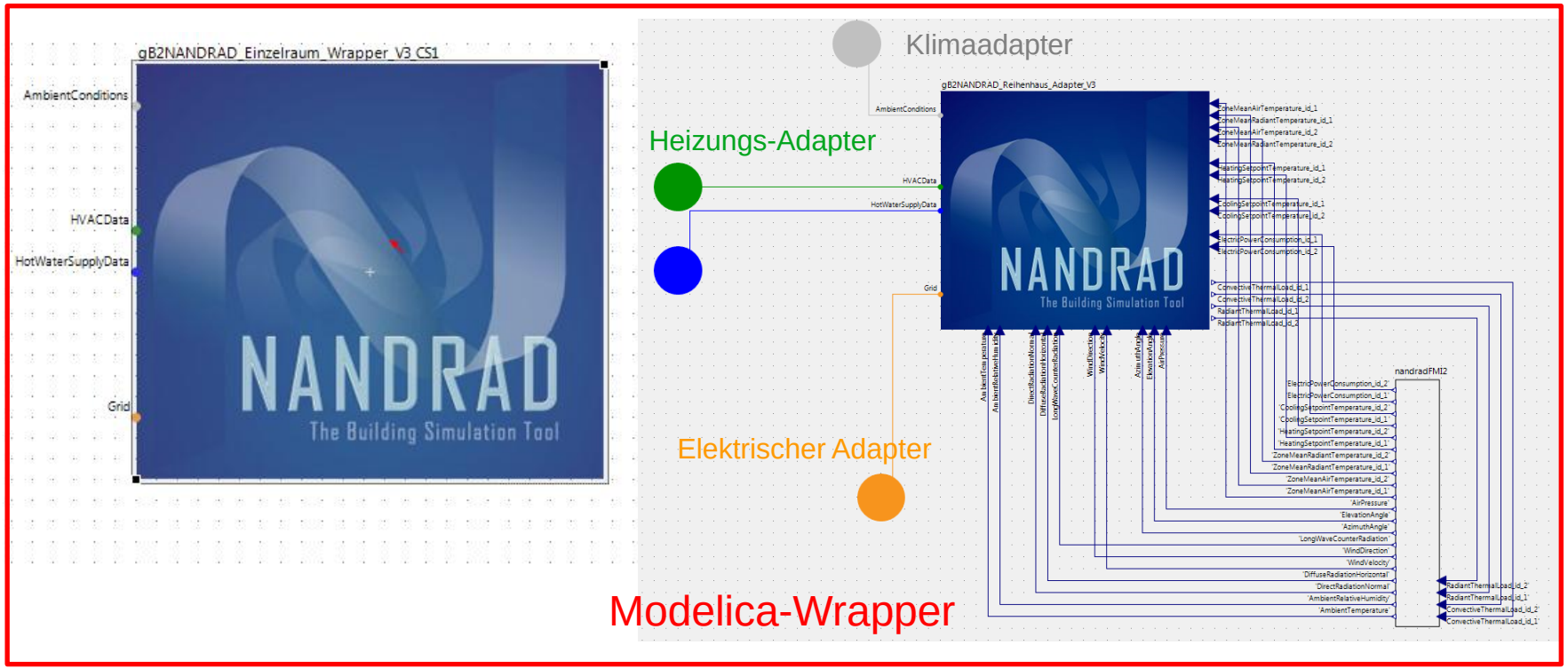
Anforderungen an FMI-Schnittstellen

Bedienbarkeit durch den Anwender:

- **Spezifikation von Modellparametrisierung und Verknüpfungshilfen notwendig**

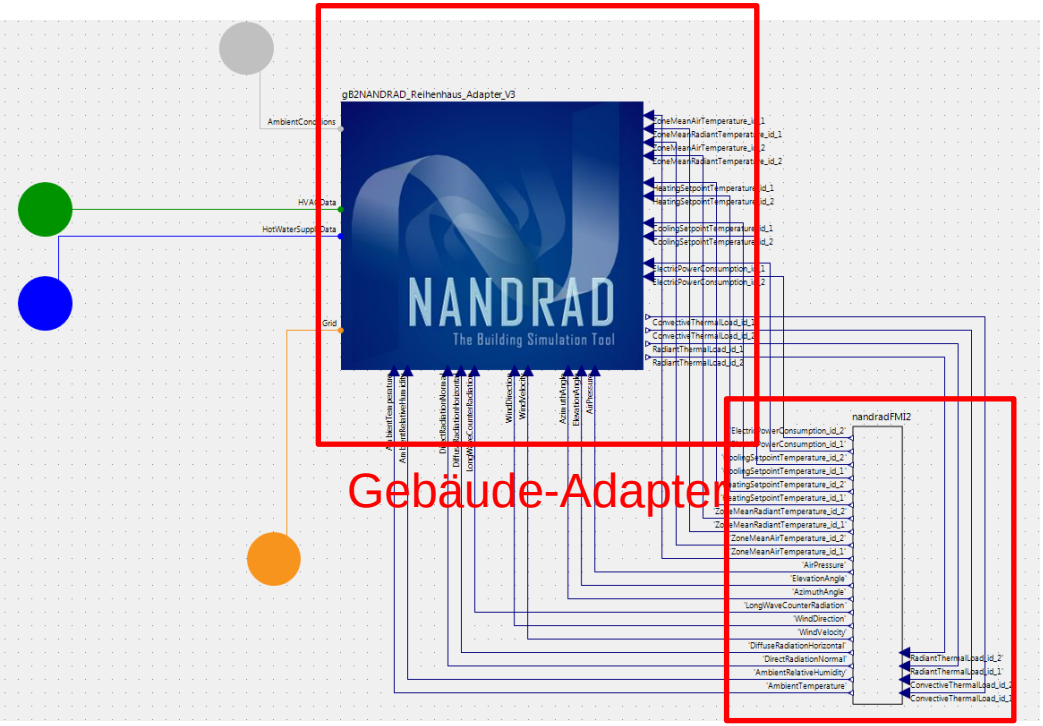
Bedienbarkeit durch den Anwender

Adapter als Verknüpfungselemente (NANDRAD + Green Building Anlagenbibliothek)



Bedienbarkeit durch den Anwender

Adapter als Verknüpfungselemente (NANDRAD + Green Building Anlagenbibliothek)



Bedienbarkeit durch den Anwender

Anlagendimensionierung durch ideale Heiz- und Kühllastberechnungen innerhalb der Gebäudesimulation (NANDRAD + Green Building Anlagenbibliothek)

Zone Name	Zone ID	Zone Area [m2]	Heating Design Load [W]	Cooling Design Load [W]
ground_floor	1	136.4	3694	0
upper_floor	2	136.4	3835	0

Report-Datei

Zusammenfassung und Ausblick

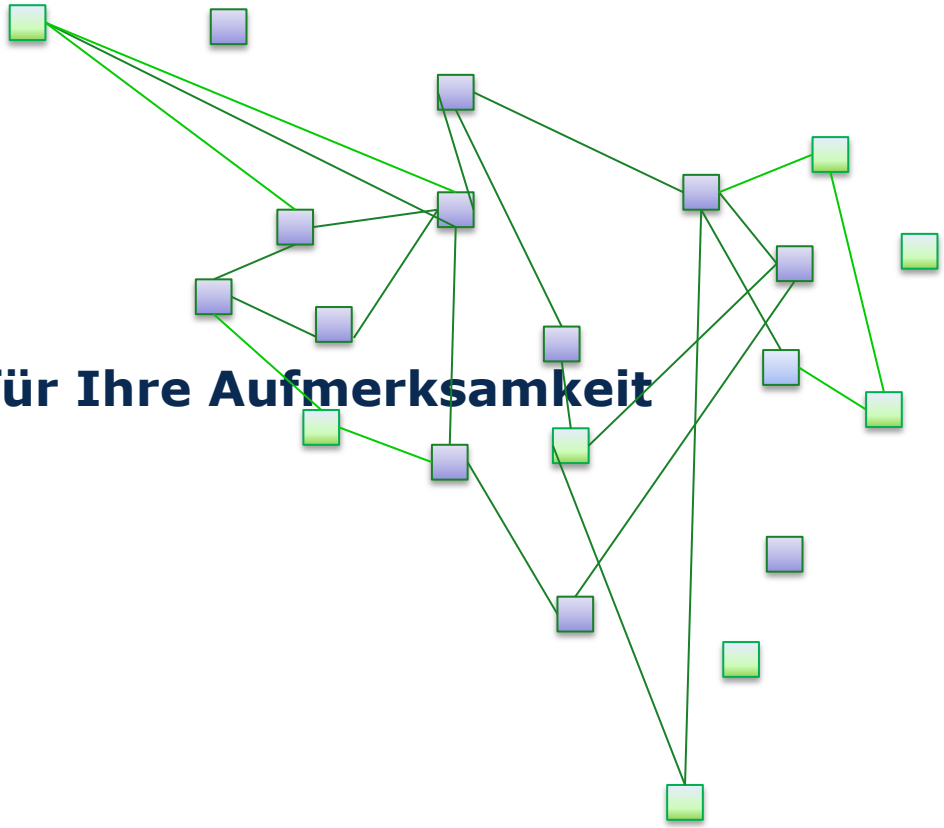
- FMI-Standard liefert technische Spezifikation von Schnittstellen, aber keine physikalische Spezifikation

- Fehlerquellen sind bei Kopplung zu vermeiden
  - Synchronisation von Klima- und Raumnutzungsgrößen, aber keine Synchronisation spezieller Zeitdefinitionen (Uhrzeit im Gebäude, Sonnenzeit,..)
  - Kopplungsgrößen haben SI-Einheit

- Numerische Stabilität muss gewährleistet sein
  - stetige Zeitverläufe von Klimagrößen
  - universelle Schnittstelle für geregelte Heiz- und Kühlkreisläufe schränkt Wahl der Masteralgorithmen ein
  - FMI-Schnittstellen an hydraulischen Leitungssträngen verhalten sich vermutlich numerisch gutartiger

Zusammenfassung und Ausblick

- Anwenderfreundlichkeit der gekoppelten Simulation
  - Vielzahl an Kopplungsgrößen bei allen Kopplungsszenarien, schlechte Handhabbarkeit für den Simulationsanwender
  - Spezifikation von Verknüpfungsautomismen (Adapter)
  - Anlagendimensionierung: Kommunikation fehlender Gebäudedaten für die Anlagensimulation
  - Anlagendimensionierung alternativ als Co-Simulationsanwendung



Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit