

Evaluation von Smart-Grid- Betriebsführungskonzepten mit CERBERUS

CERBERUS-Anwendertreffen 2013

Sebastian Rohjans

OFFIS – Bereich Energie

2013-11-06



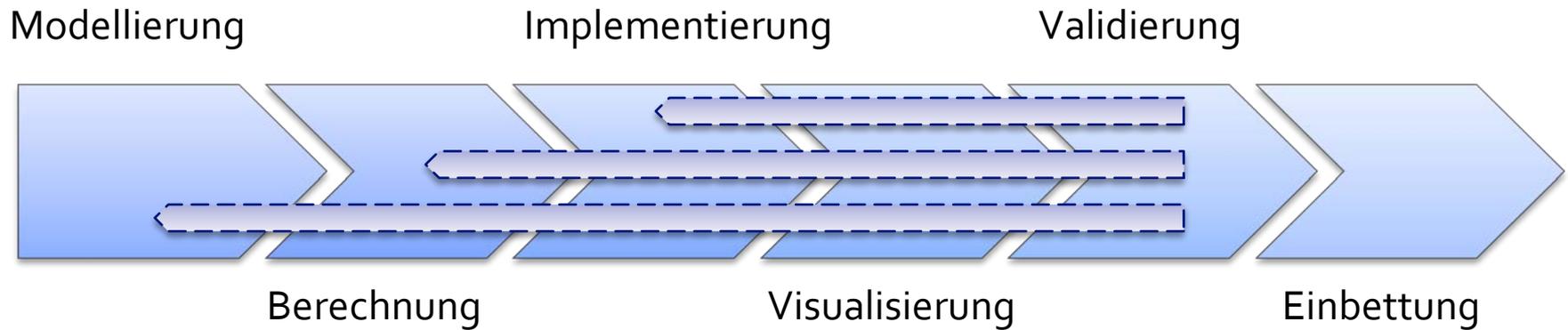
SIMULATION ALLGEMEIN

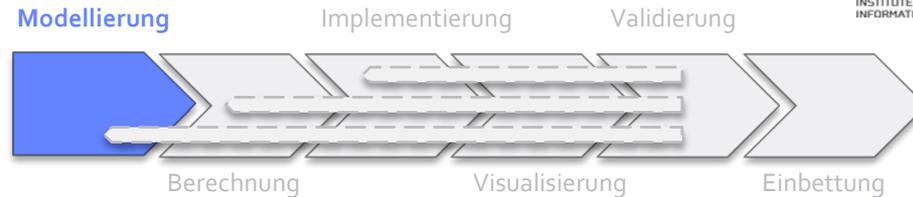
- ▶ Allgemein wird unter dem Begriff Simulation die Berechnung oder Durchführung von virtuellen Experimenten verstanden
 - ▶ Vorabberechnung eines Systems (z.B. Wettervorhersage)
 - ▶ Nachstellung von bestimmten Szenarien zur Analyse (z.B. zukünftiges Energienetz)

- ▶ Wann wird Simulation eingesetzt?
 - ▶ Wenn reale Experimente aus zeitlichen, räumlichen oder Kostengründen nicht sinnvoll oder nicht durchführbar sind
 - ▶ Zur Ergänzung von theoretischen Analysen und Experimenten (ersetzt diese aber nicht komplett)
 - ▶ Zum Sammeln von Erkenntnissen zu einem Vorfall oder Optimierung von bekannten Szenarien

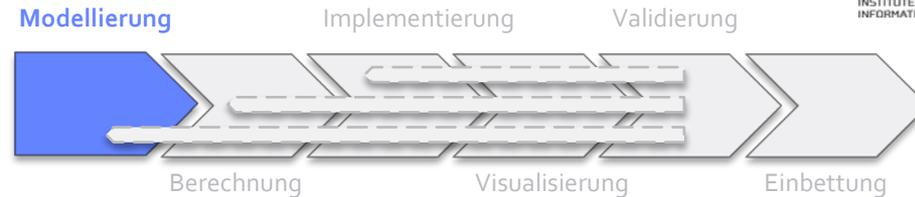
- ▶ Vorteile
 - ▶ Lange Zeiträume in kurzer Zeit simulieren [Ba05]
 - ▶ Tests sind einfach wiederhol- und automatisierbar [Too6]

Simulationpipeline [nach Buog]



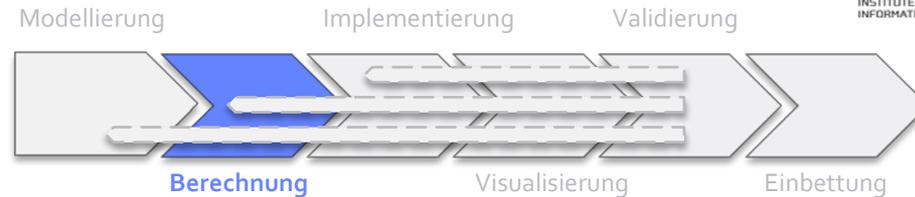


- ▶ Entwicklung von Modellen als vereinfachtes Abbild der betrachteten Realität
 - ▶ Formale Beschreibung dient als Basis für die anschließende Berechnung
 - ▶ Sind an das Einsatzgebiet angepasst und erfüllen einen bestimmten Zweck
- ▶ Allgemeiner Ablauf:
 1. Festlegen Modellgrenzen: Was soll genau simuliert und analysiert werden? Wofür wird das Modell einwickelt?
 2. Festlegen Beziehungen: In welchen Beziehungen stehen die eingesetzten Parameter zueinander?
 3. Festlegen Modellzweck: Welche konkrete Aufgabe soll das Modell erfüllen? Welches gewünschte Ziel hat der Einsatz der Simulation?



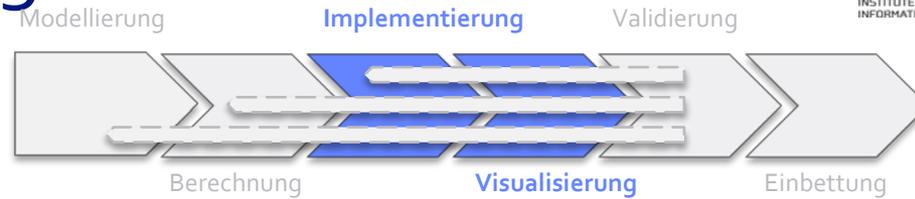
- ▶ Abwägung zwischen Aufwand und Genauigkeit des Modells ist wichtig
 - ▶ Je detaillierter ein Modell ist, umso genauer sind die berechneten Resultate
 - ▶ Aber mit steigendem Detailgrad der Modelle steigen auch die anfallenden Simulationskosten
- ▶ Die eine perfekte Beschreibung gibt es in den meisten Fällen nicht
→ Entwicklung von möglichst passenden Modellen

Berechnung

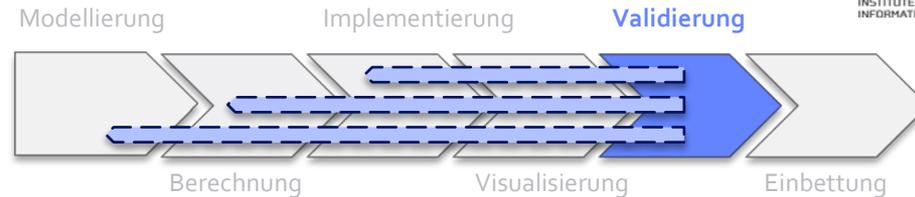


- ▶ Kontinuierliche Modelle müssen vor der Berechnung diskretisiert werden
- ▶ Berechnung der Lösung über möglichst effiziente Algorithmen
 - ▶ Analytische Lösung bei sehr einfachen Modellen
 - ▶ Heuristische Lösungsansätze sind bei kombinatorischen oder diskreten Problemen weit verbreitet
 - ▶ Direkt-numerische Ansätze liefern bei linearen Problemen weitestgehend exakte Lösungen
 - ▶ Approximativ-numerische Ansätze basieren auf Näherungsverfahren zur Approximation der Lösung

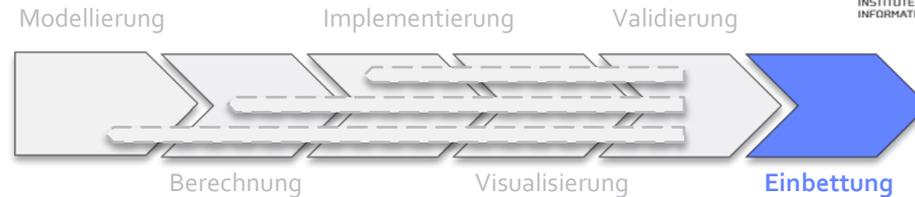
Implementierung und Visualisierung



- ▶ Implementierung der Berechnungsalgorithmen
- ▶ Visualisierung befasst sich mit der Datenexploration
 - ▶ Aus den berechneten Ergebnissen müssen relevante Informationen extrahiert und interpretiert werden



- ▶ Wie verlässlich sind die berechneten Ergebnisse?
- ▶ Aufteilung in Validierung und Verifikation
- ▶ Validierung des betrachteten Modells durch u. A.
 - ▶ 1:1-Abgleich mit experimentellen Untersuchungen
 - ▶ Vergleichen der berechneten Ergebnisse mit den vorhergesagten Ergebnissen (Realitätstests)
 - ▶ Ermitteln, ob sich das angestrebte Resultat auch hinreichend eingestellt hat
 - ▶ Vergleich von Simulationsergebnissen unterschiedlicher Modelle
- ▶ Verifikation befasst sich mit der korrekten Arbeitsweise des Programms und Lösung des Modells
- ▶ Je nach Fehler muss der gesamte Prozess ab der Fehlerquelle erneut komplett durchlaufen werden

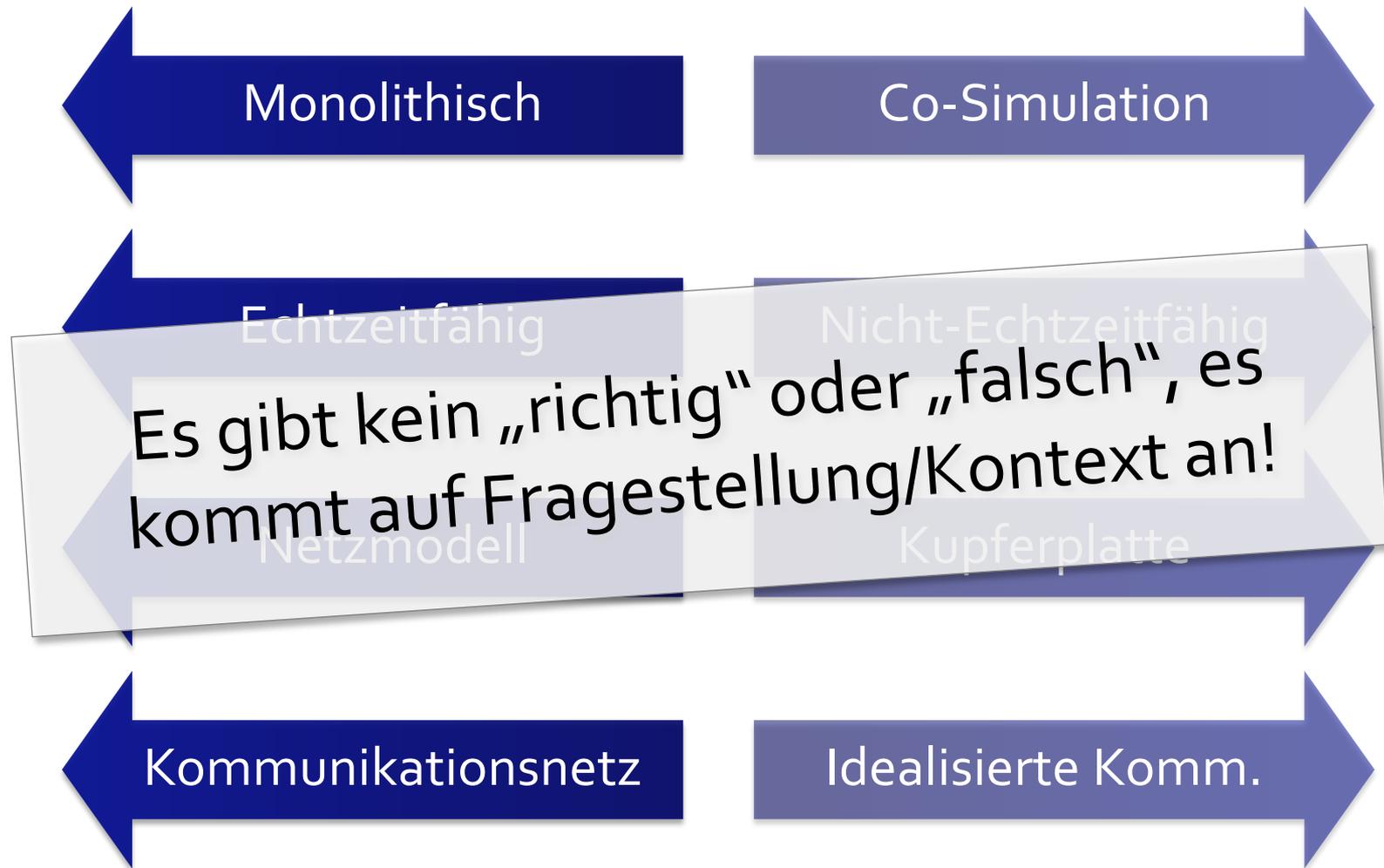


- ▶ Einbettung der fertigen Simulation in den Projektkontext
 - ▶ Schnittstellen
 - ▶ Testumgebungen
 - ▶ ...
- ▶ Relevante Faktoren bei einer Einbettung im betrieblichen Kontext:
 - ▶ Wie gliedert sich Simulation in die **Unternehmensprozesse** ein?
 - ▶ Wie gliedert sich Simulation in die **Unternehmensarchitektur** ein?
 - ▶ Welche **Inputdaten** werden für die Parametrierung gebraucht?
 - ▶ Welche **Ergebnisse** werden wo und wie weiterverarbeitet?
 - ▶ Welche **Modellgranularität** ist für die jeweilige Fragestellung passend?
 - ▶ Welche **nichtfunktionalen Anforderungen** (Performanz, Verfügbarkeit, ...) werden an die Simulation gestellt?

SIMULATION IN DER DOMÄNE ENERGIE

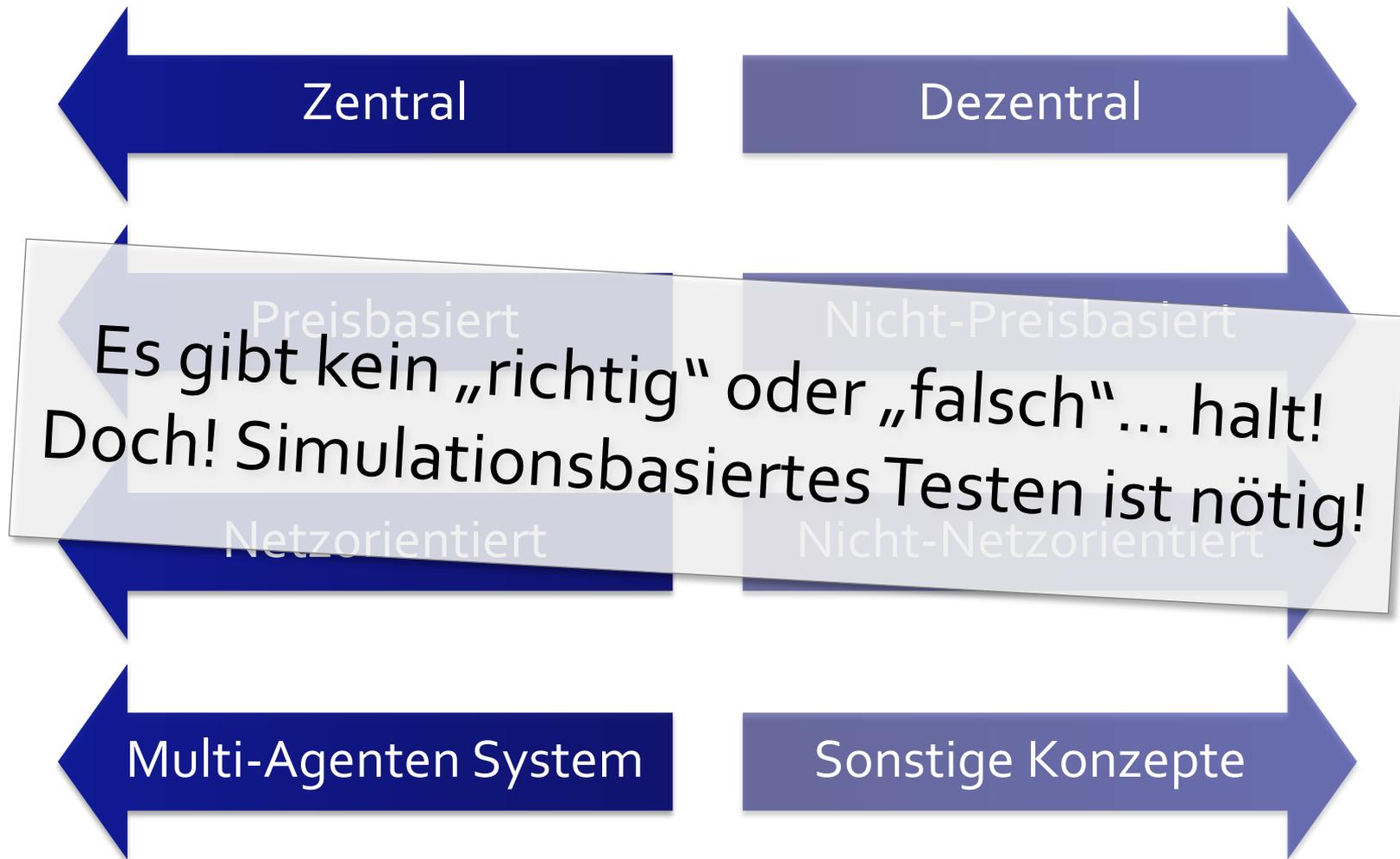
Simulation von Smart Grids

Kategorisierung



Simulation von Smart Grids

Steuerungskonzept



Simulation von Smart Grids

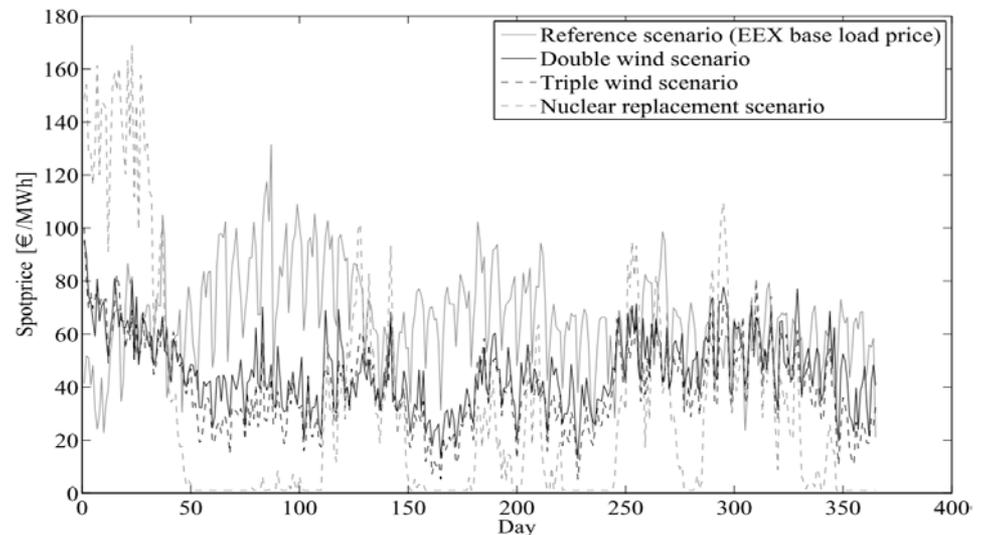
Beispiel 1 – [WGA10]

- ▶ Agentenbasierte Modellierung des deutschen EEX-Marktes
- ▶ Kraftwerke als Agenten modelliert
- ▶ Ziel: Profitmaximierung
- ▶ Verhalten: XCS (accuracy-based LCS), d.h. selbstlernendes Verhalten + gen. Algorithmen
- ▶ Wind als externe Größe (nicht steuerbar)

Simulation von Smart Grids

Beispiel 1 – [WGA10] (forts.)

- ▶ Demonstration mit 2 Fallstudien
- ▶ 1. Verdopplung und Verdreifachung der Windeinspeisung von 2008 (23,6 GW)
- ▶ 2. 8 Millionen E-Fahrzeuge

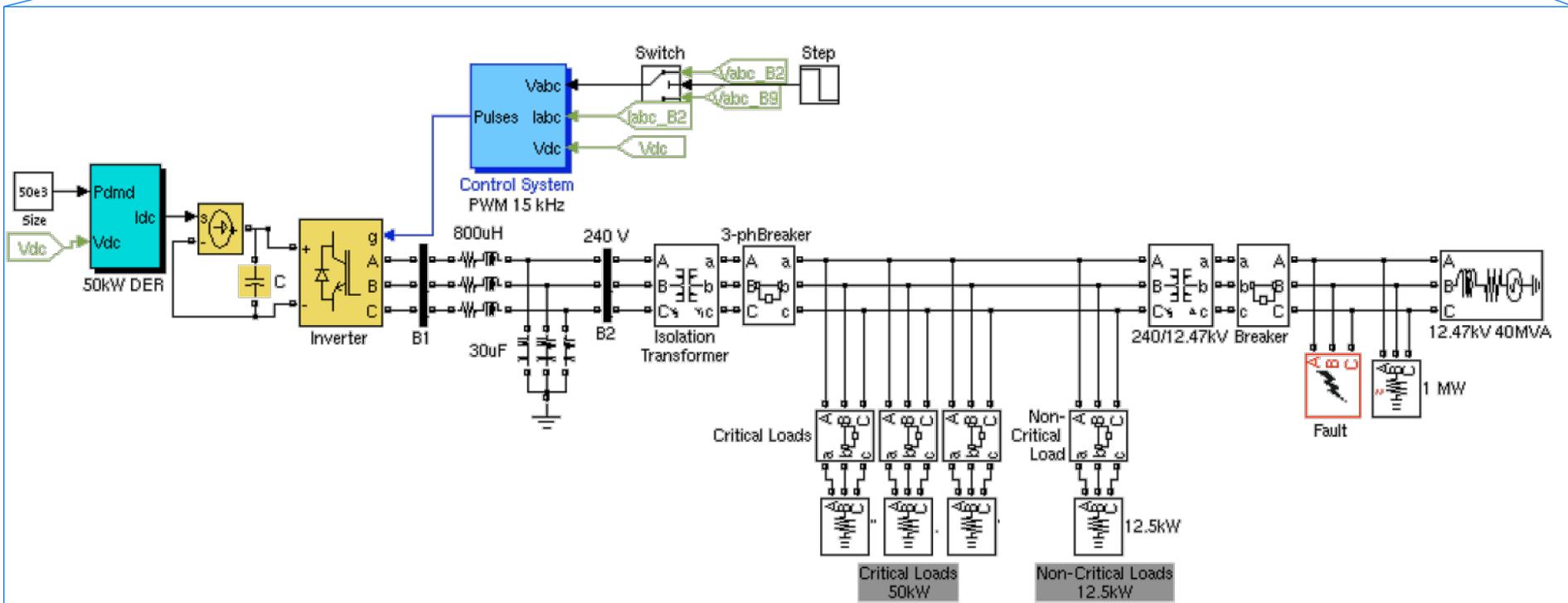
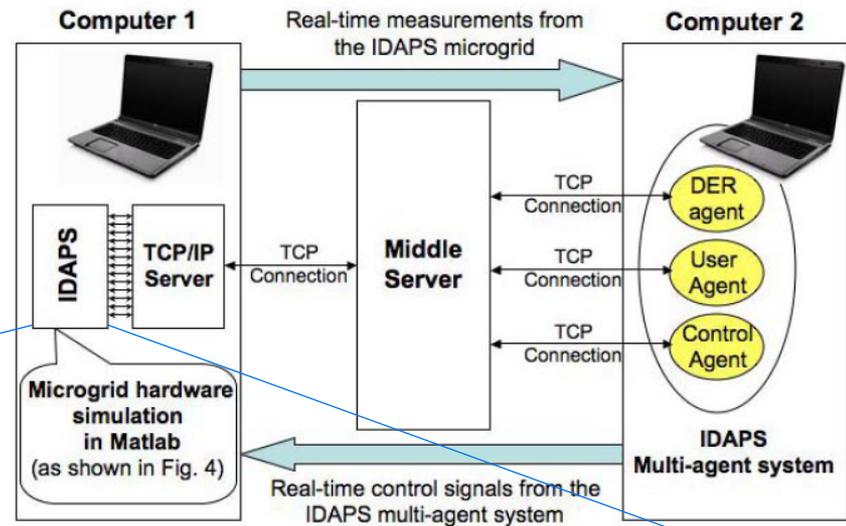


Beispiel 2 – IDAPS (Intelligent Distributed Autonomous Power System)

- ▶ IDAPS Multi-Agenten System (MAS) hat 2 Betriebsmodi:
 - ▶ Normalbetrieb: DSM auf Preissignalbasis
 - ▶ Inselbetrieb: Steuerung der internen Generatoren und Priorisieren der Lasten
- ▶ Simulation eines Verteilnetzes als Testbett für das IDAPS MAS
 - ▶ Netz- und Anlagenmodelle in Matlab/Simulink
 - ▶ MAS kommuniziert über TCP-IP mit Matlab

Simulation von Smart Grids

Beispiel 2 – IDAPS (forts.)



Simulation von Smart Grids

Beispiel 3 – VPNET

- ▶ Co-Simulationsframework zur Betrachtung von Strom- und Kommunikationsnetz
- ▶ Ziel:
 - ▶ Auswirkungen der Performanz des Telekommunikationsnetzes auf Verhalten und Stabilität des Stromnetzes analysieren
 - ▶ Anforderungen des Stromnetzbetriebes an das Telekommunikationsnetz ermitteln

Simulation von Smart Grids

Beispiel 3 – VPNET (forts.)

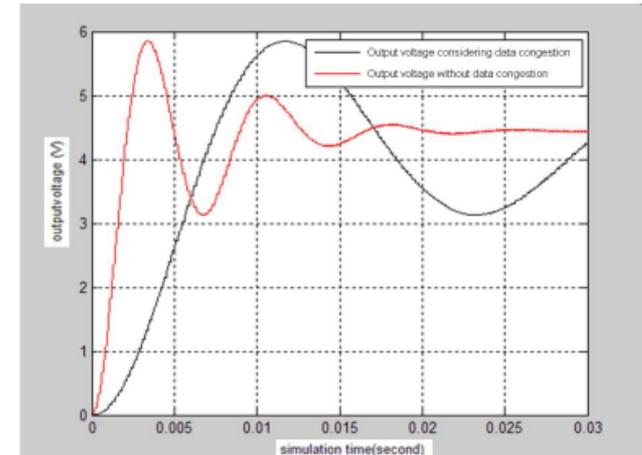
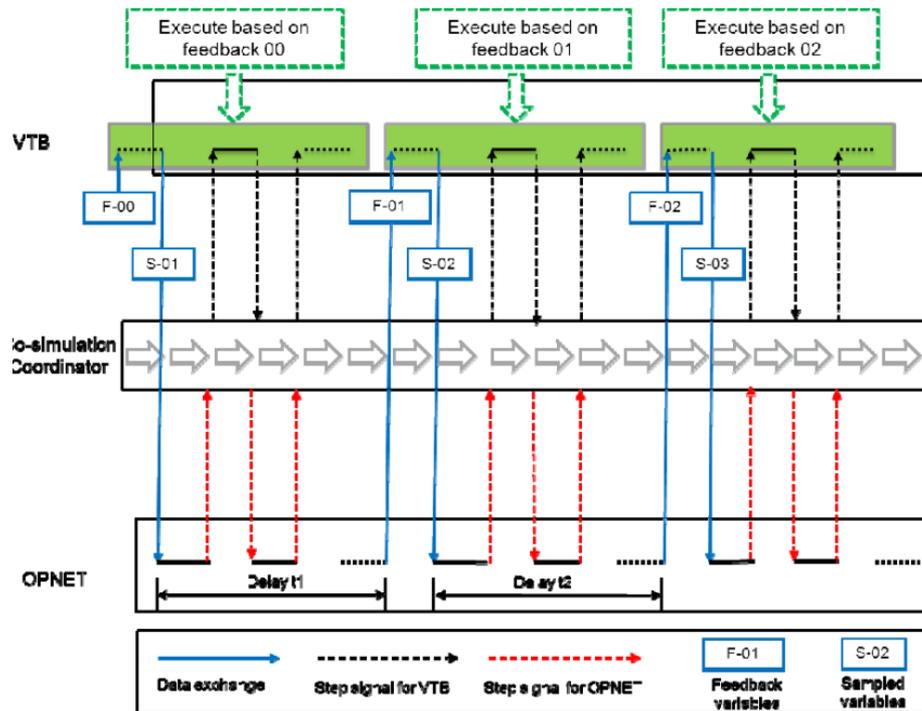


Figure 12. Output voltage considering data congestion

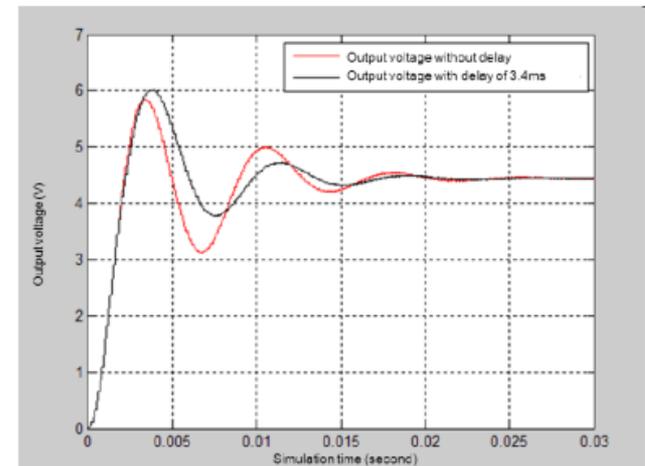
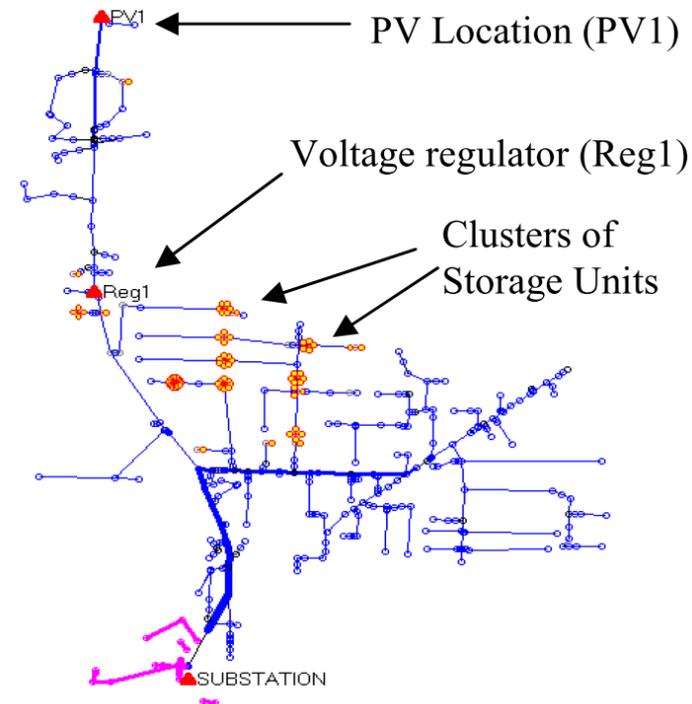


Figure 13. Output voltage with pure delay in VTB

Simulation von Smart Grids

Beispiel 4 – [Go10]

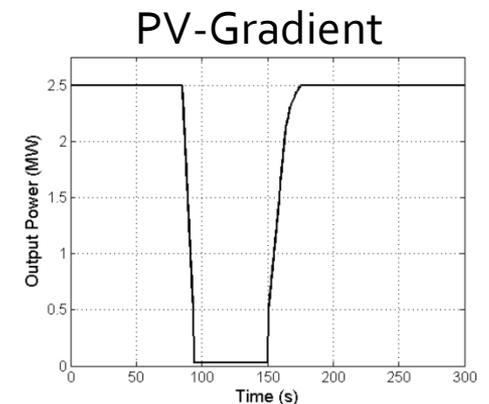
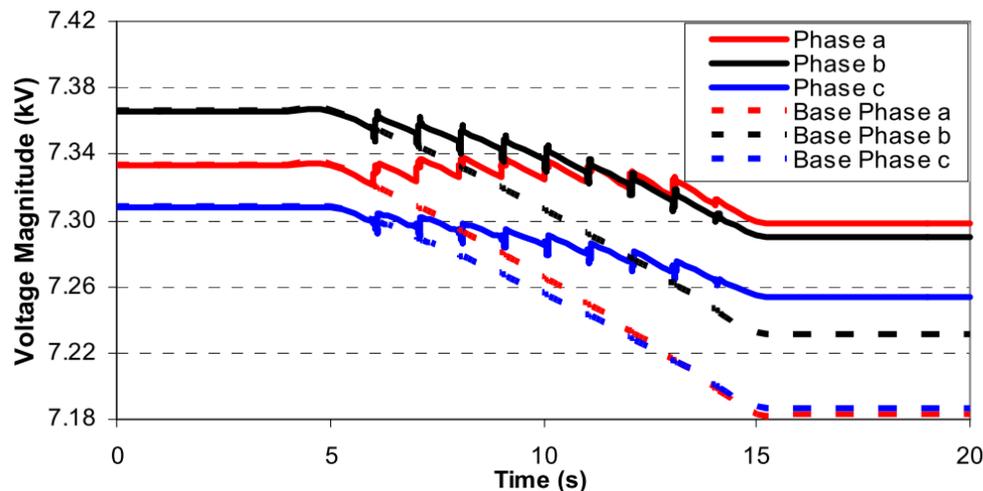
- ▶ Co-Simulation zur Untersuchung von steuerbaren stationären Speichern, um PV-Gradienten zu dämpfen
- ▶ Netzsimulation mit OpenDSS
- ▶ Telekom. Sim mit NS-2
- ▶ 2.5 MW PV
- ▶ $84 \times 25 \text{ kW} = 2.1 \text{ MW}$ Speicher



Simulation von Smart Grids

Beispiel 4 – [Go10] (forts.)

- ▶ Geeignete Position der Speicher mit „reiner“ Netzsimulation adressierbar
- ▶ Ansprechverhalten erfordert Betrachtung des Kommunikationsweges (WiFi)



Simulation von Smart Grids

Übersicht

Projekt	Preisbasiert	MAS	Co-Simulation	Echtzeit	Stromnetz	Kommunikation
[WGA10]	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
IDAPS [PFR09]	Nein	Ja	Nein	Ja	(Ja)	Echt (TCP/IP)
VPNET [LMLD 11]	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein	Simuliert (TCP/IP)
[Go10]	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Simuliert (WiFi)
[LSW10]	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Simuliert (UDP)
[De10]	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein
[Ra11]	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
PowerMatcher [Ko12]	Ja	Ja	?	?	?	?
[Kuo8]	Nein	(Nein)	Nein	Nein	Nein	Nein
[Be10]	(Nein)	Nein	Ja	Ja	Ja	Simuliert (DSL)
[Hoo6]	-	Ja	Ja	?	Ja	Simuliert
...		



Simulation im OFFIS

DAS SIMULATIONSFRAMEWORK MOSAIK



- **Vertrauen** in das Modell – das Verhalten ist bekannt
- Implementierung und Validierung war **aufwändig**
- Einarbeitung in das Modell hat **Zeit** gekostet
- Das Rad nicht neu erfinden: **Bewährte** Modelle (Lastflusstools)
- ...

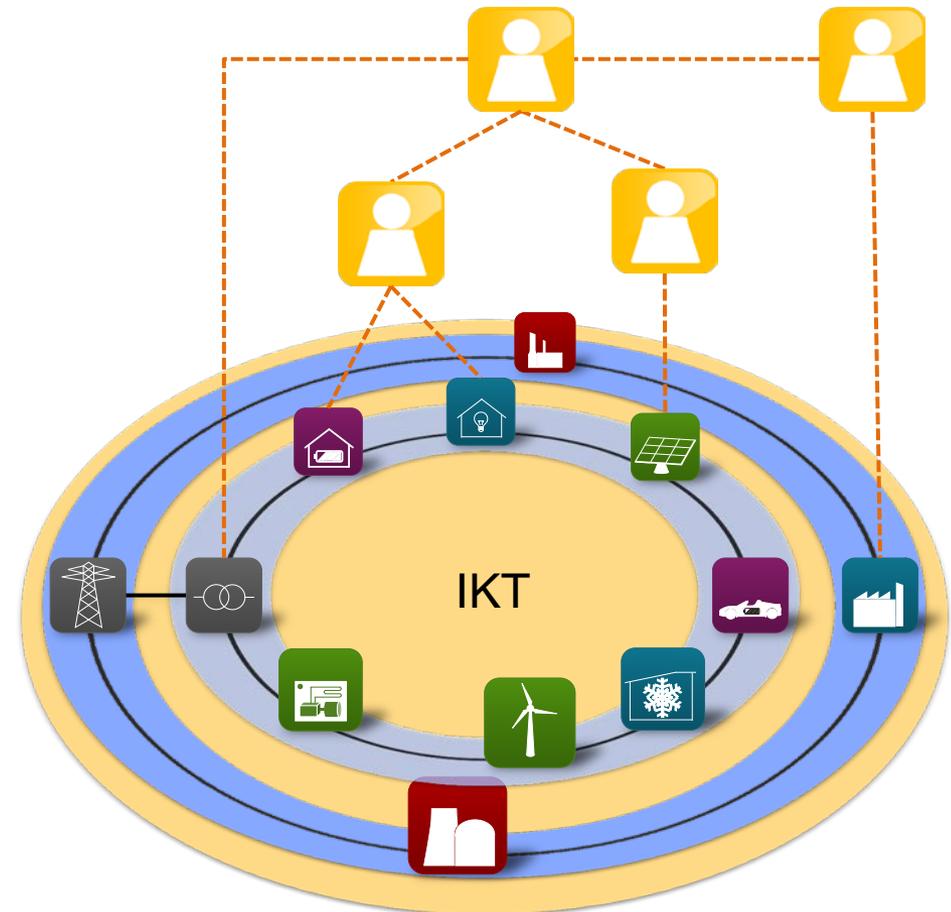




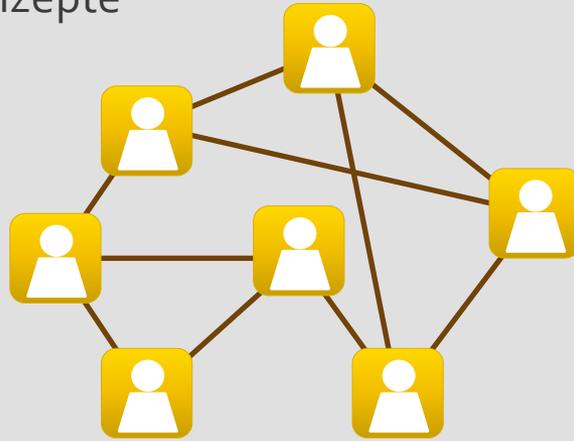
Multi-Agenten Steuerung

Multi-Agent Systems are well suited for Smart Grid control tasks due to their inherent architectural properties. [JB03]

- Supply-Demand Matching
- Spannungshaltung
- Schutzmechanismen
- ...



Steuerungskonzepte

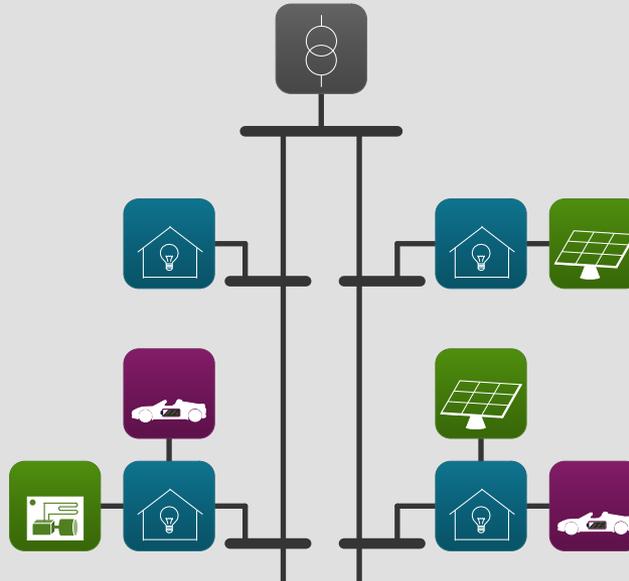


Simulationsdaten

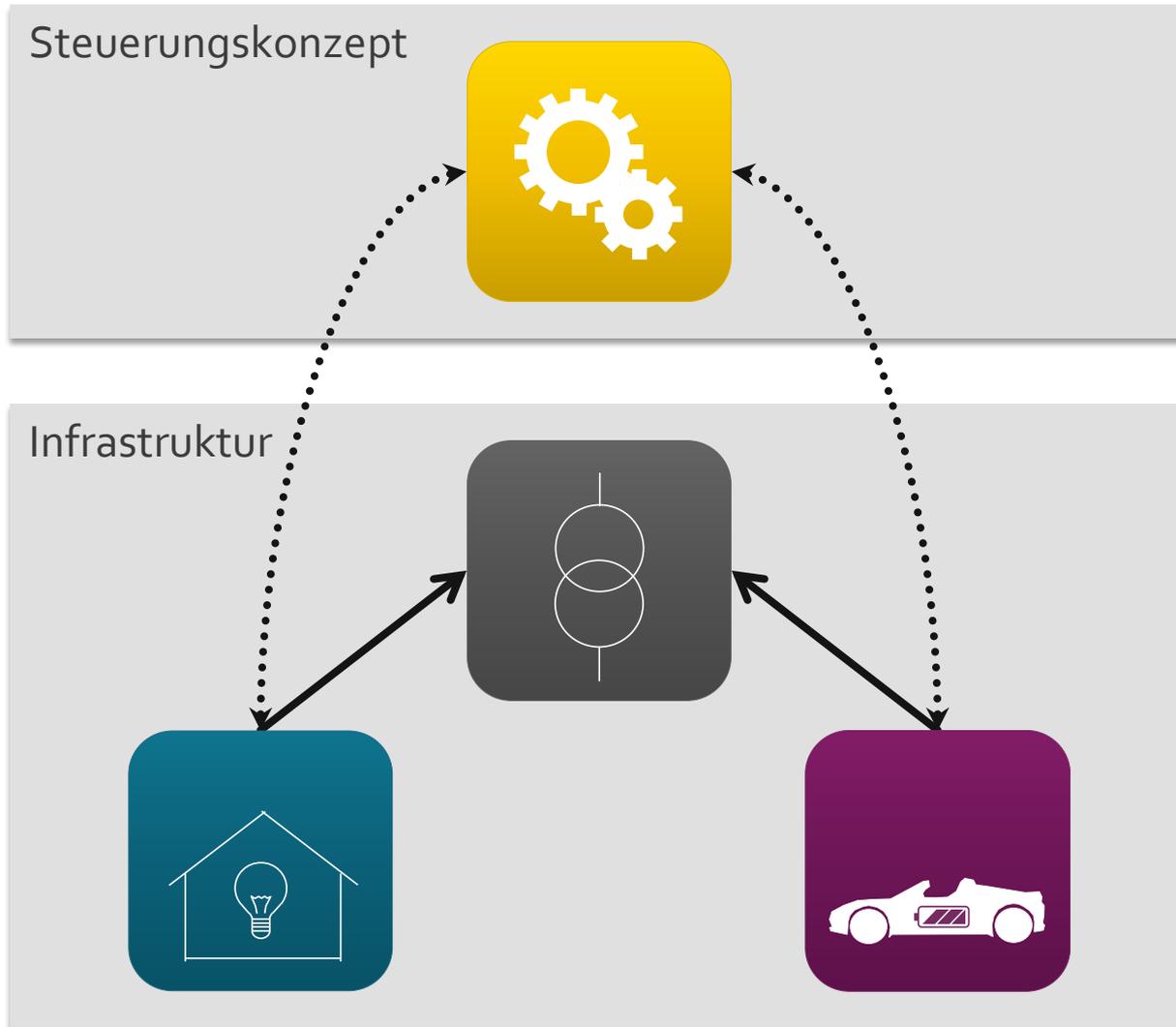


Steuerwerte

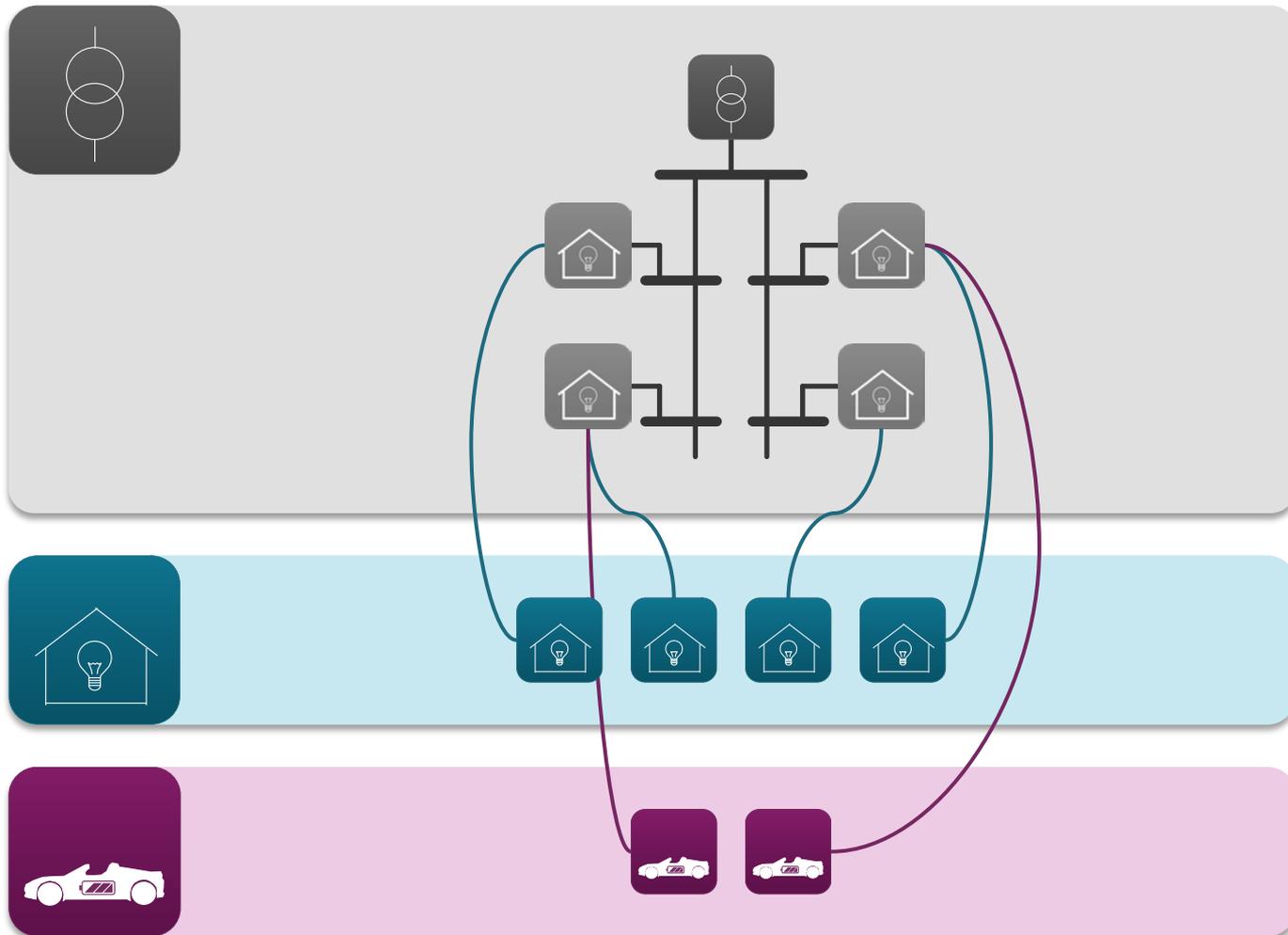
Infrastruktur



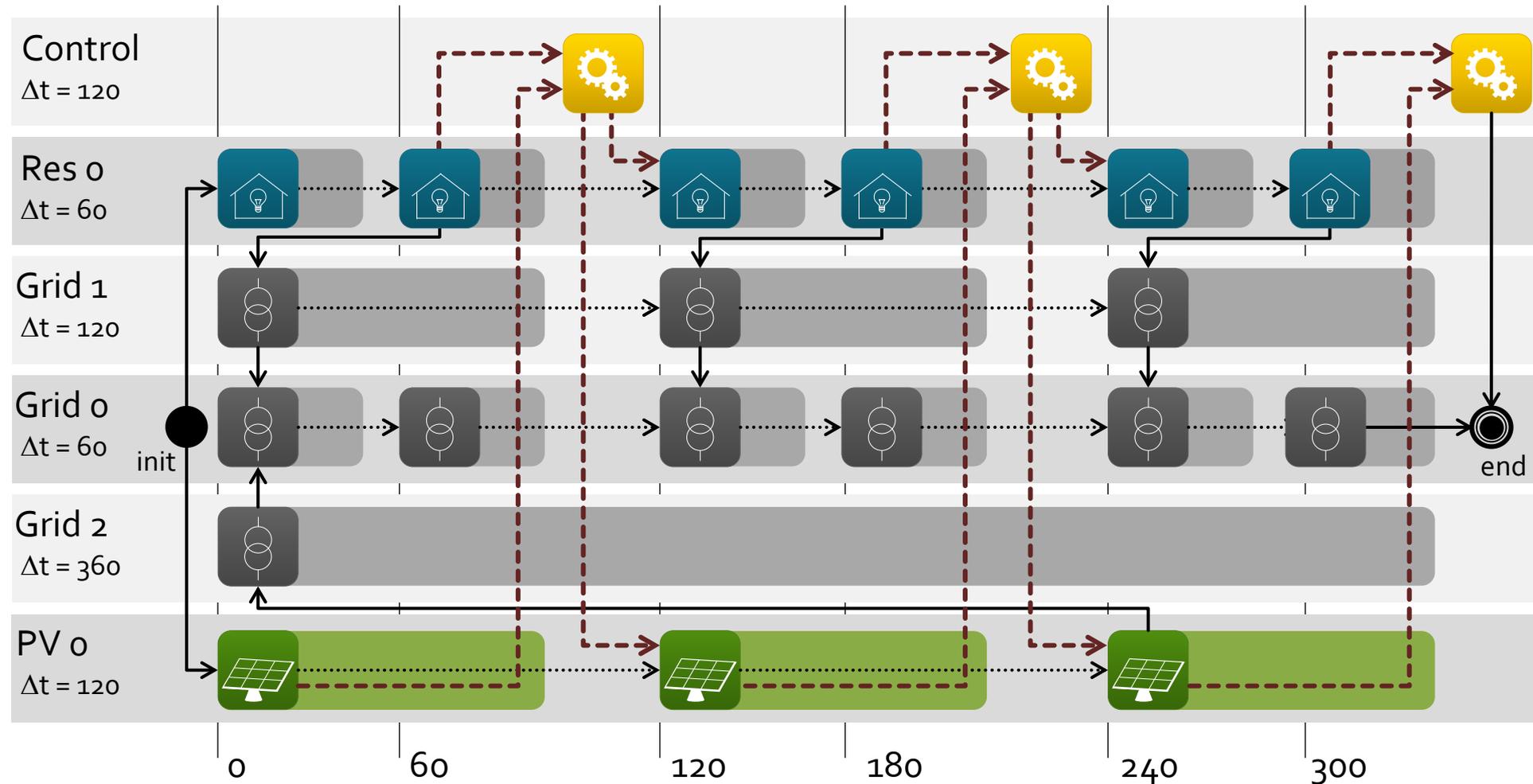
Szenario



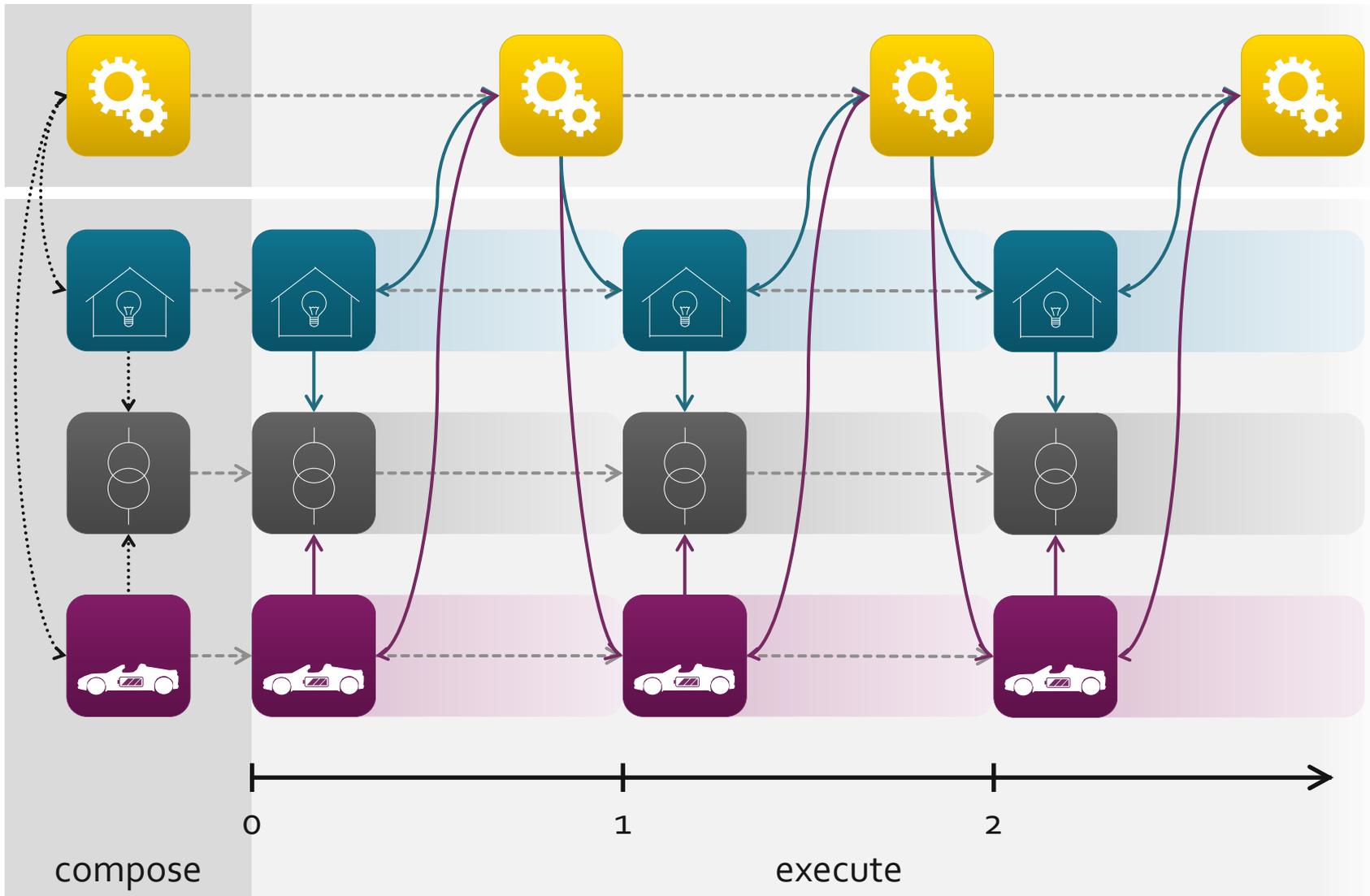
Komposition



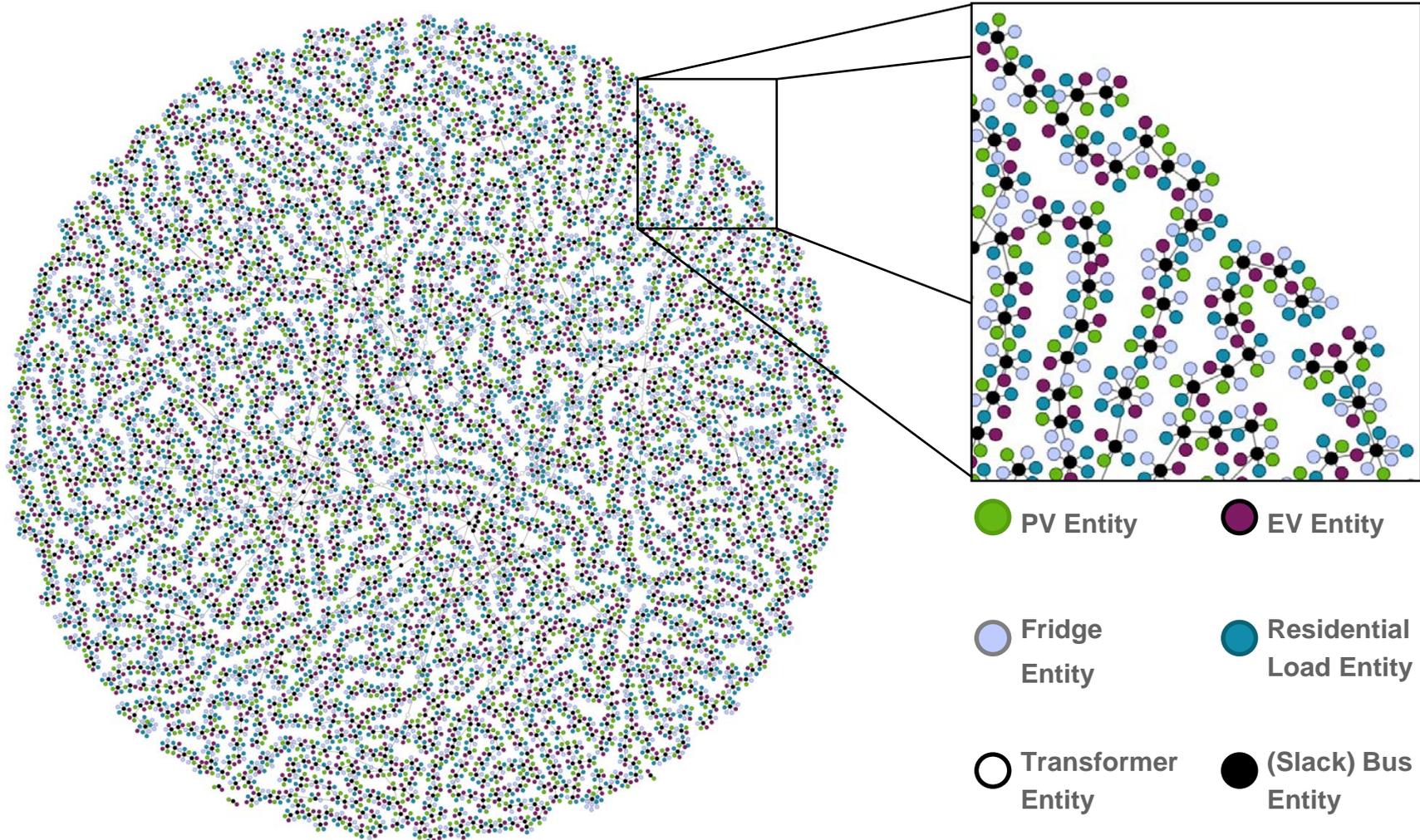
Ablaufplan



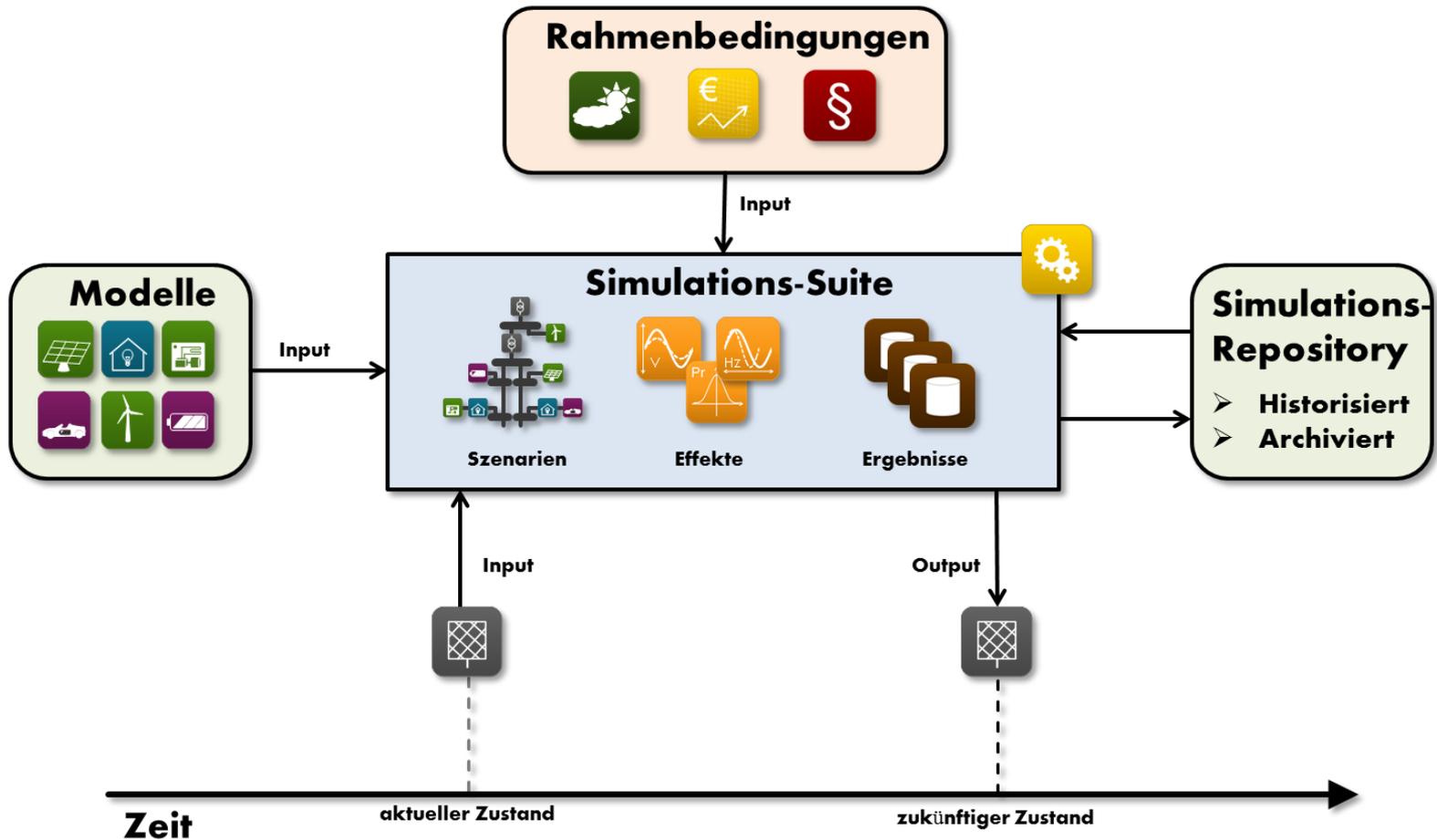
Ausführung



Szenarien im großen Maßstab



Gesamtsystem



Control layer

Schnittstelle zur Interaktion mit den simulierten Entitäten

Composition layer

Interpretation der Szenariomodelle, automatische **Komposition** und **Ausführung**

Scenario layer

Formale **Modellierung von großen Szenarien** auf Basis des Semantic Layer

Semantic layer

Formale **Beschreibung von Struktur** und Semantik der **Simulatoren** und deren **Modelle**

Syntactic layer

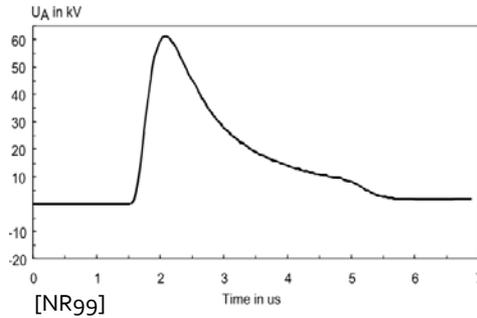
Grundlegende, syntaktische Interoperabilität durch wohldefinierte **Simulator API**

Technical layer

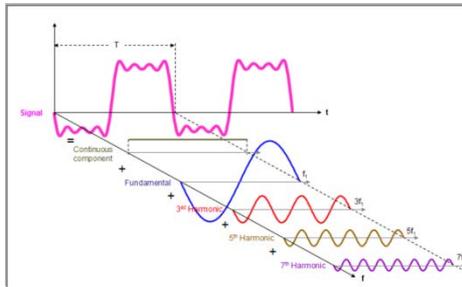
Stellt Infrastruktur bereit, um Simulatoren zu finden und zu Starten

Anwendungsgebiet

Transienten

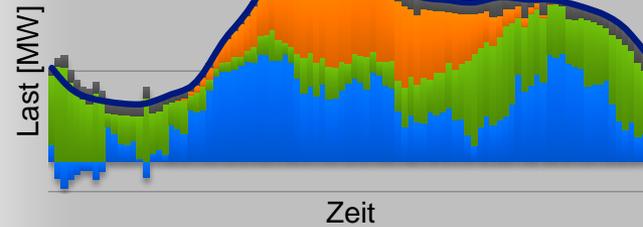
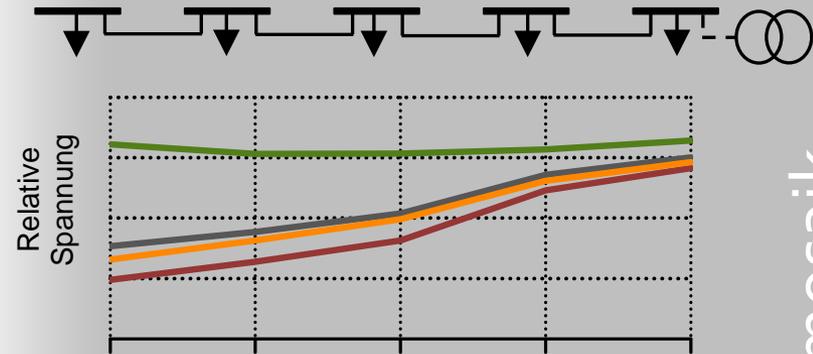


Harmonische



[Herog]

Simulation im
Zeitbereich



Simulation im
Frequenz-
bereich

Im Fokus von mosaik

1° bei 50 Hz 1 Drehung 1 Sekunde 1 Minute 1 Stunde 1 Tag Auflösung

Simulation im OFFIS

BEISPIEL: ENERGEOPLAN

Energieversorgung

- Energiebedarf in der Zukunft?
- Deckung über welche Quellen?
- Domänen Strom, Gas, Wärme?
- Speicher zur Lastverschiebung?
- Steuerung verschiebbarer Lasten?



Kommunalplanung

- Ausbau
 - Wo?
 - Wie?
- Welche Potentiale?
 - Raumpotentiale
 - Energiepotentiale



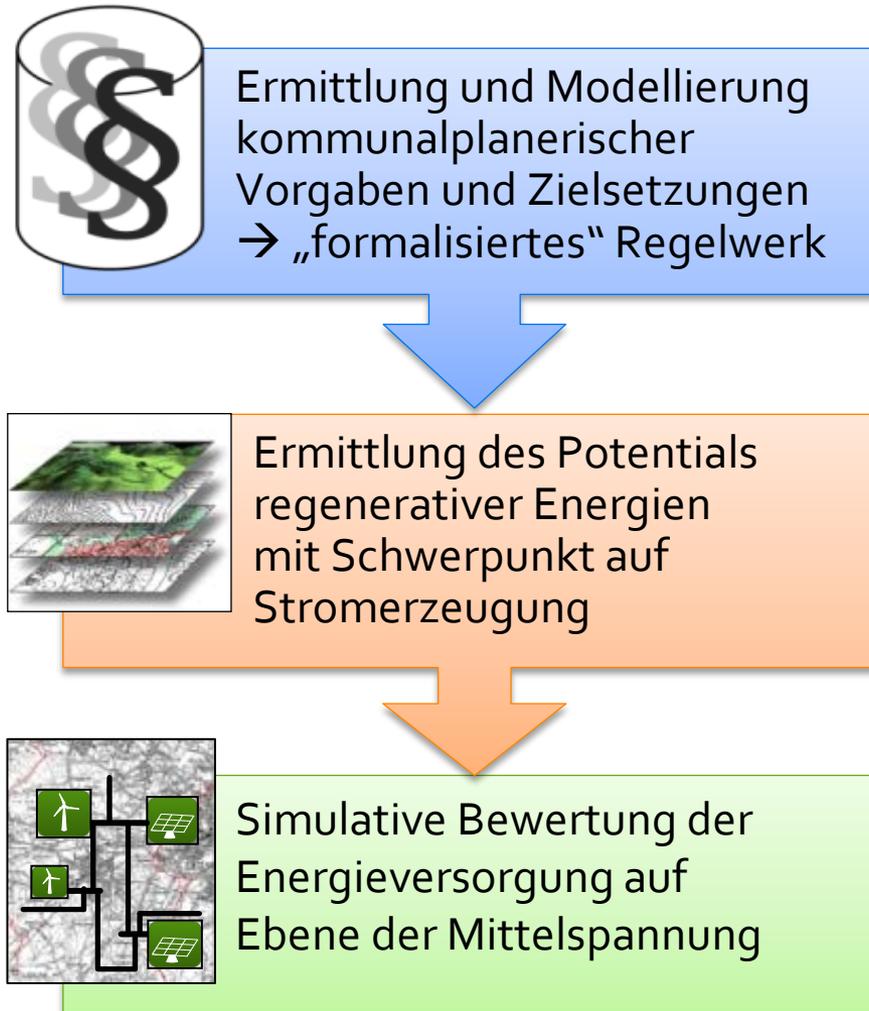
Netzplanung

- Elektrische Lasten?
- Einspeisung aus dezentralen Netzabschnitten?
- Fluktuationsverhalten der dezentralen Anlagen?



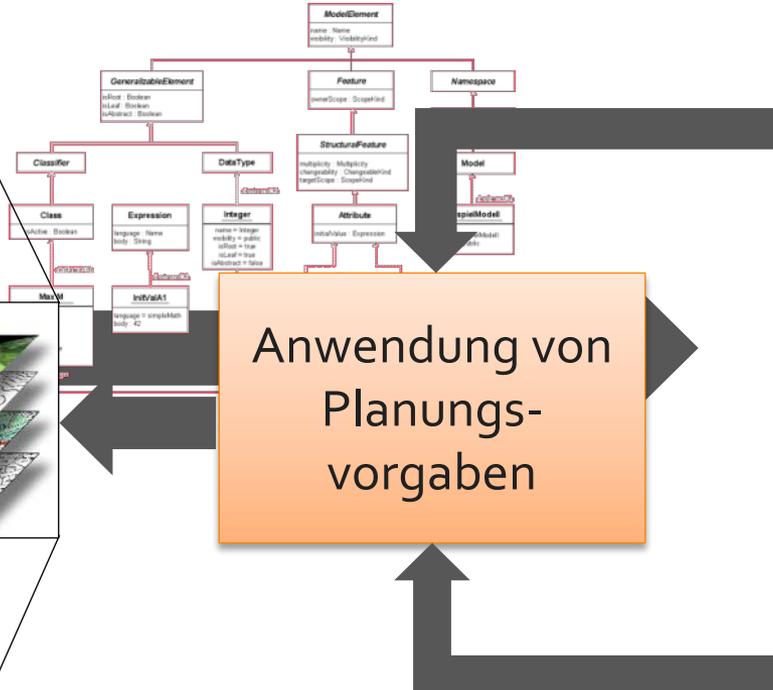
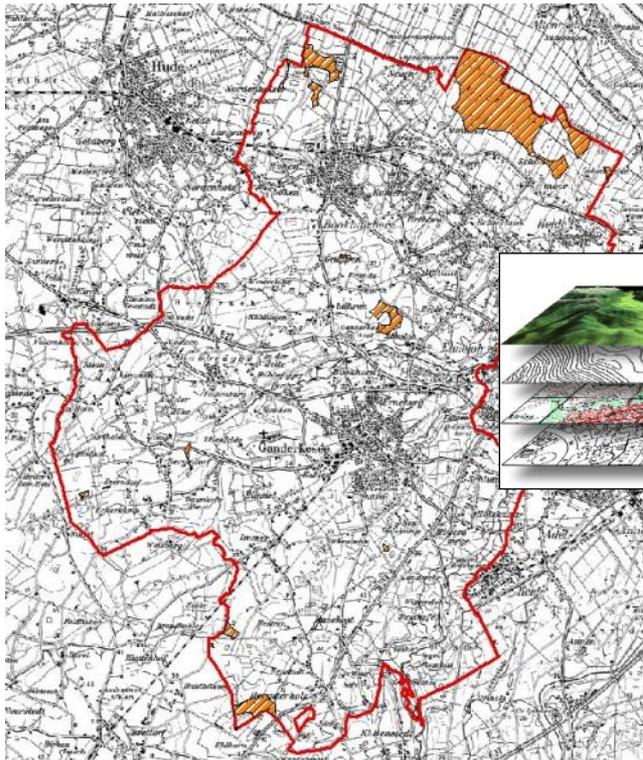
Ziel und Methodik

Konzeption und prototypische Implementierung eines Software-Werkzeugs

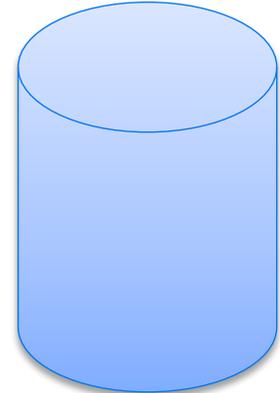


Planungsvorgaben → Potentialanalyse

Raum zu Energie

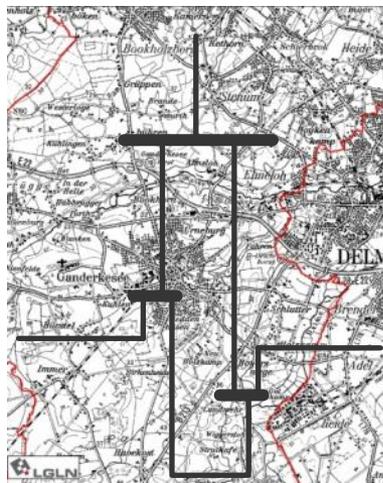
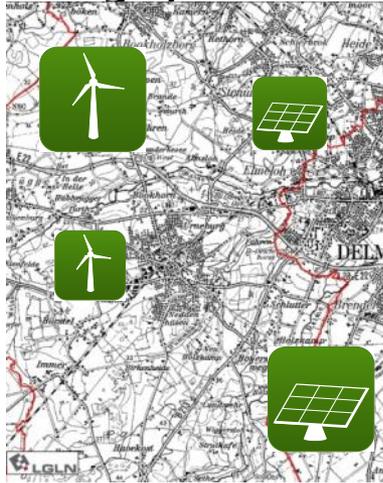


Anwendung von
Planungs-
vorgaben

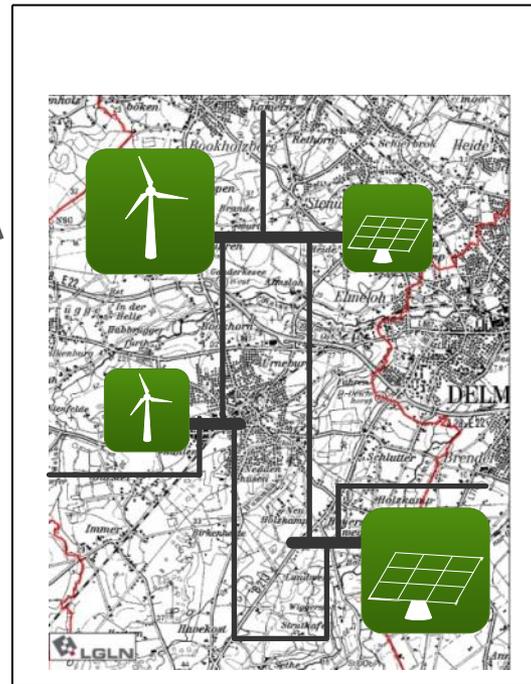


Räumliche Integration

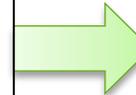
Raumanalyse des Energiepotentials

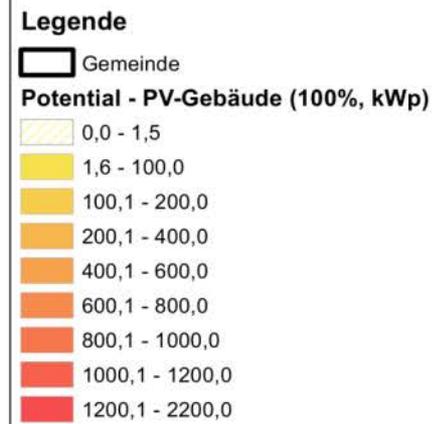
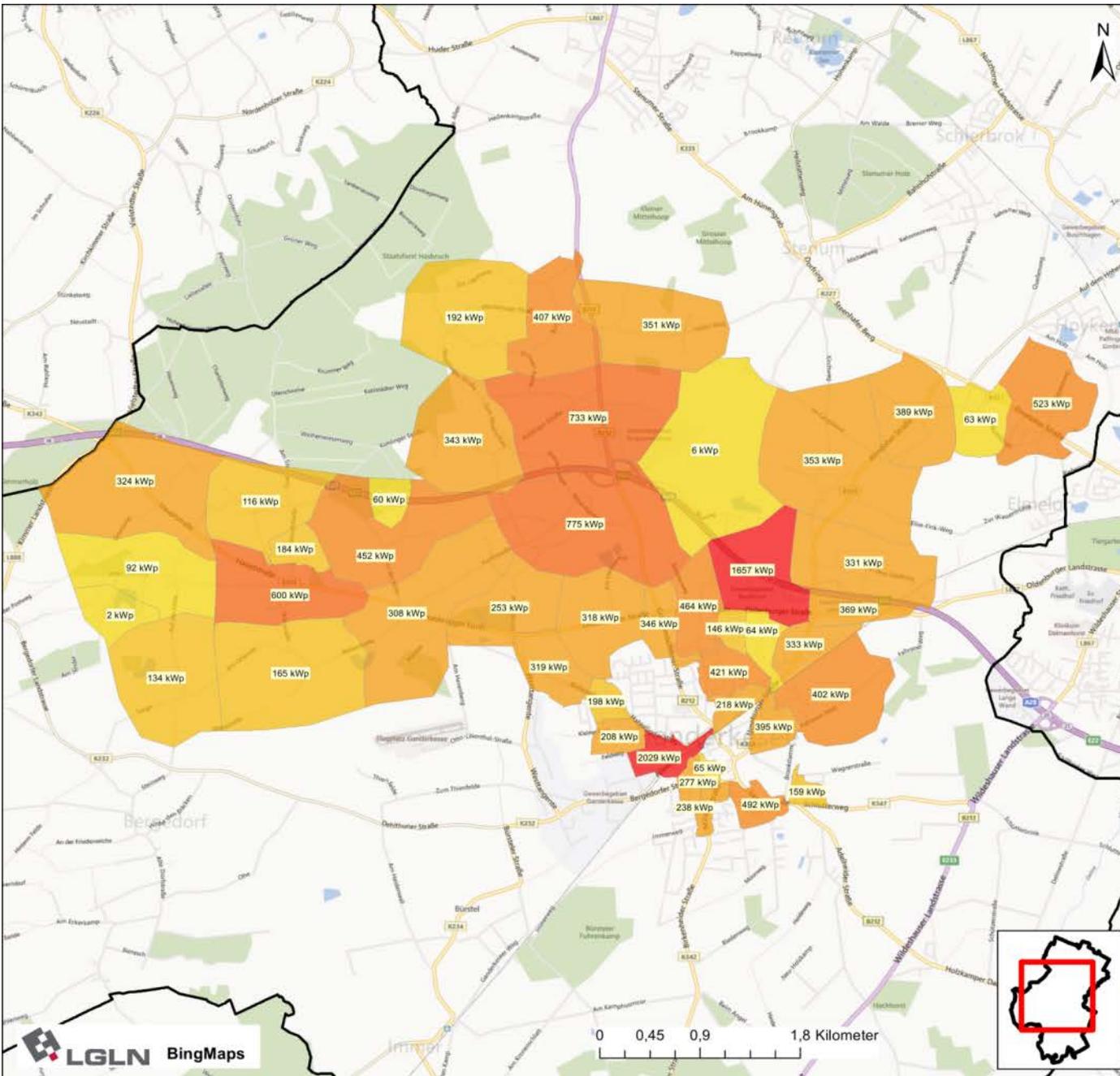


Mittelspannung



Kombinierte Szenarien
Co-Szenarien





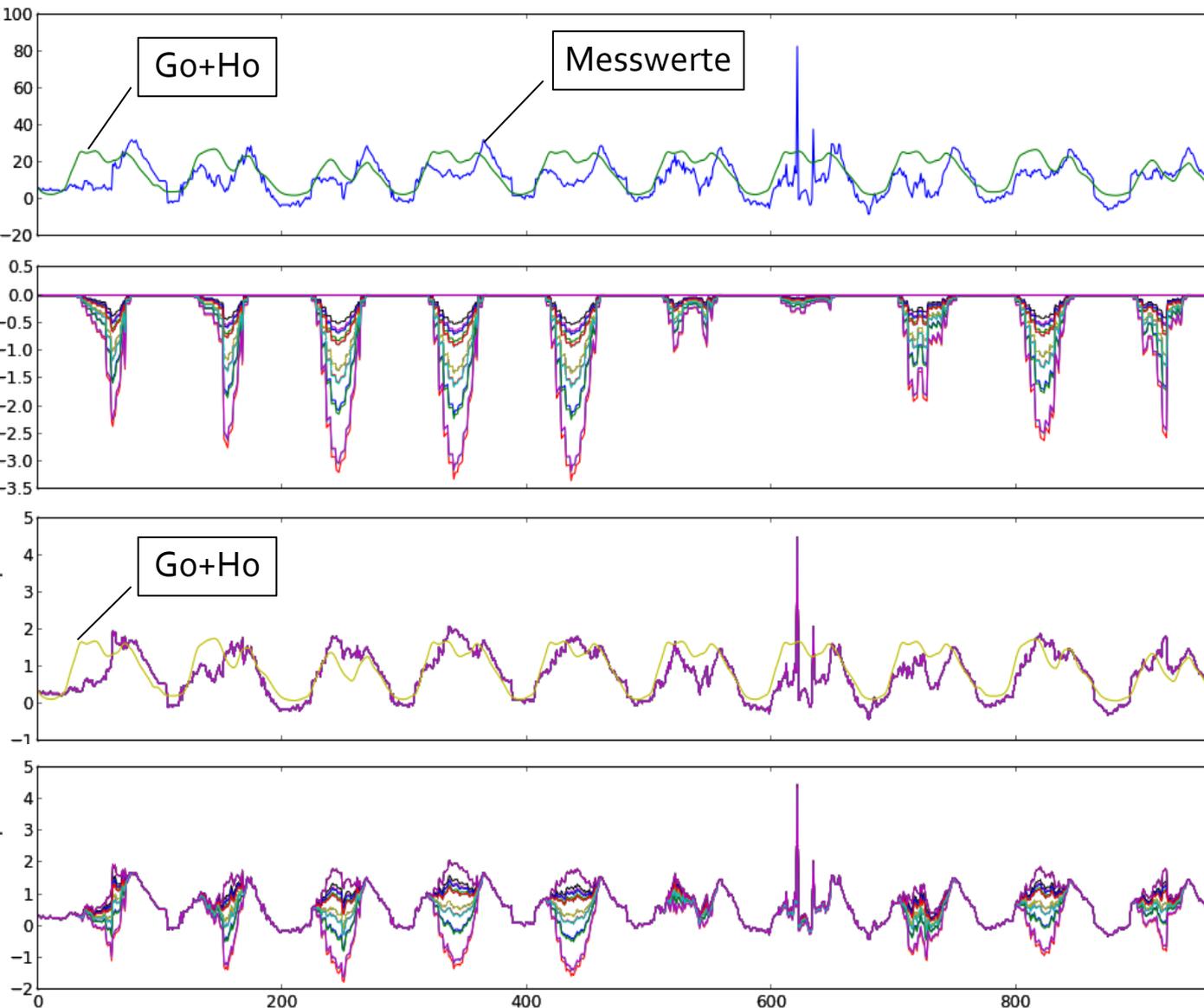
EnerGeoPlan

Karte: Potentialabschätzung Gebäude-PV
(Szenario: 100%)

12/2012 1:35.000 J. Knies

OFFIS e. V.
Escherweg 2
26121 Oldenburg
www.offis.de

Approximation der Ortsnetzauslastung



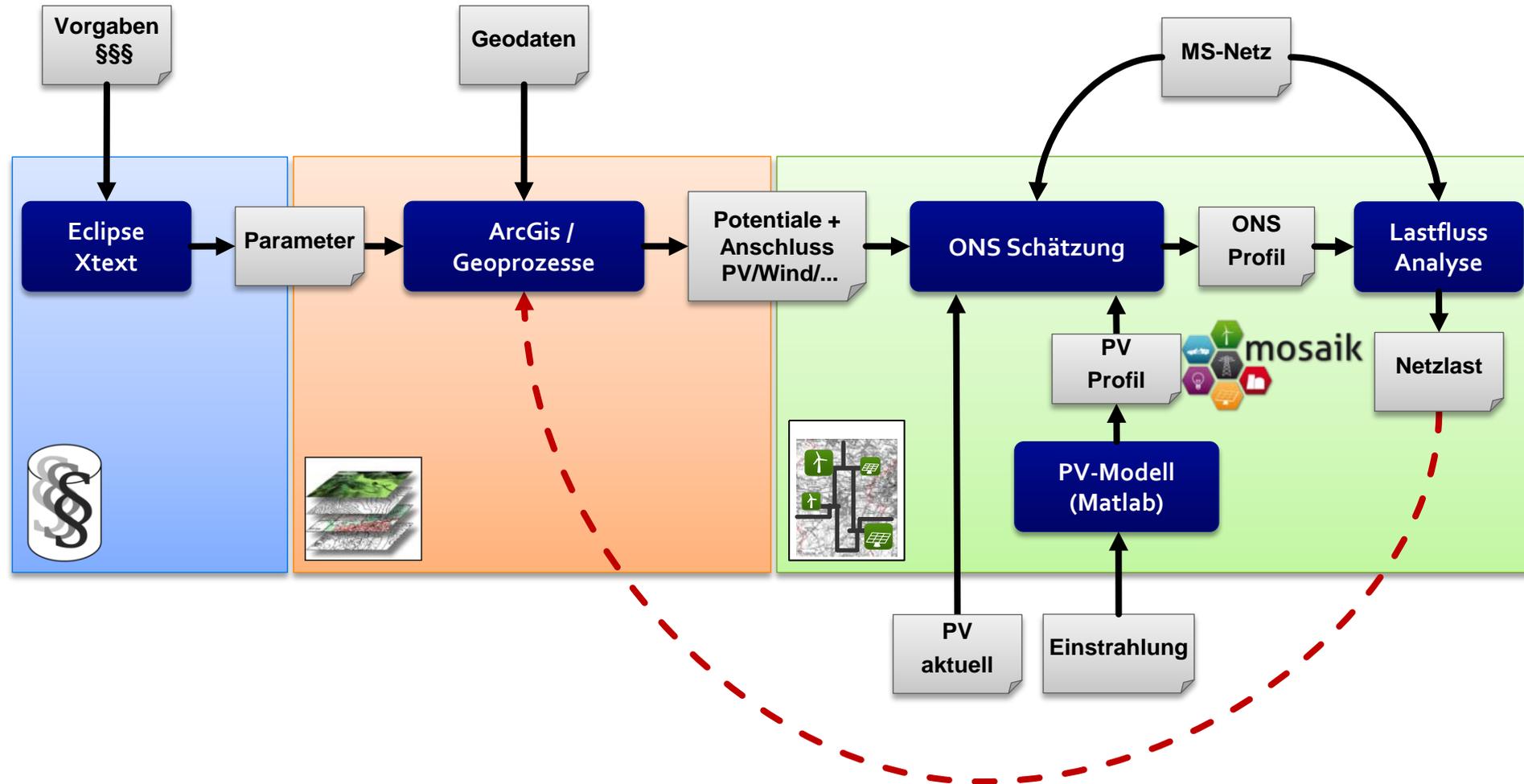
Gesamtverbrauch (A)

PV Modell (A)

Sonstige Lasten (A)

Trafolast (A)

Die Werkzeugkette

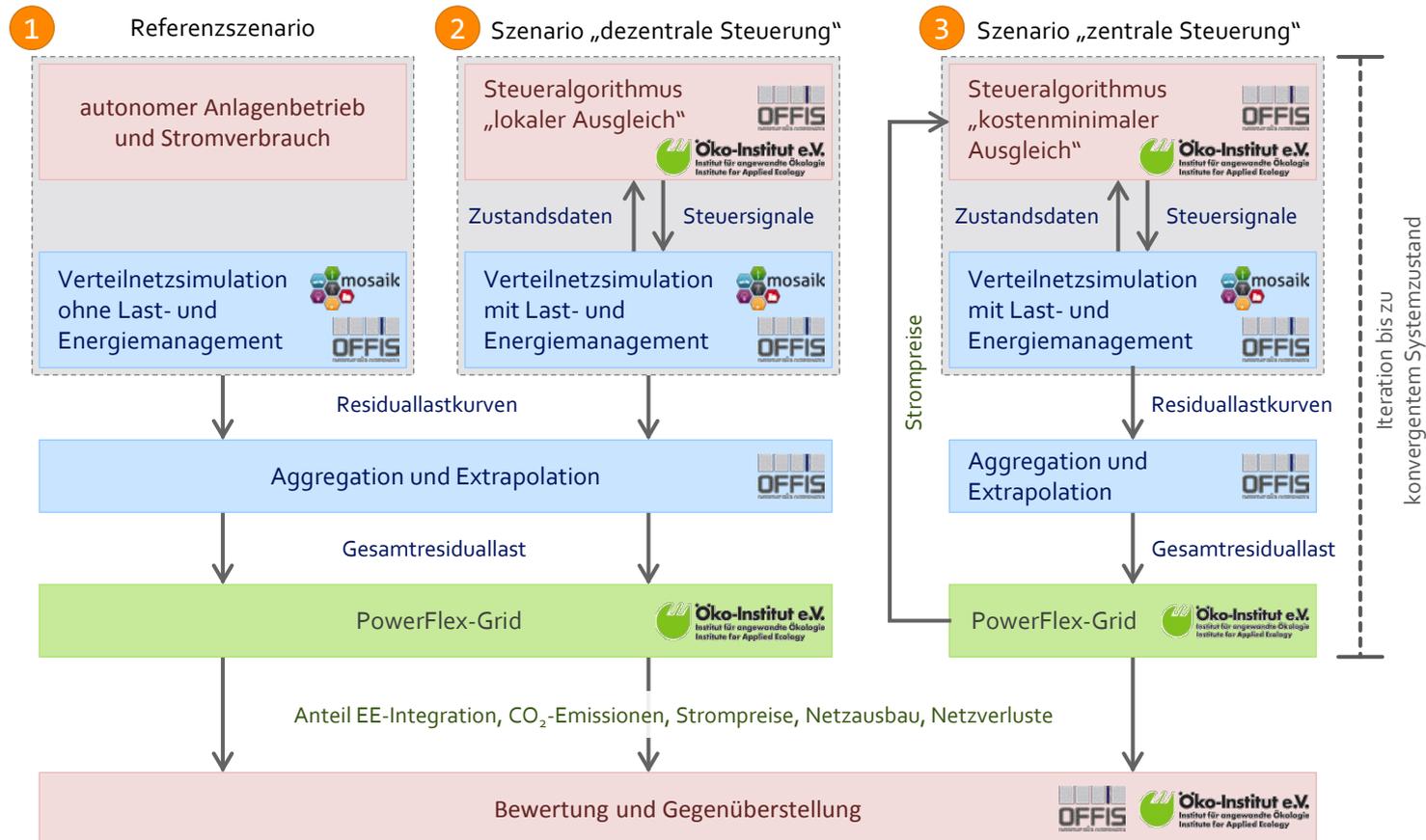


Simulation im OFFIS

BEISPIEL: D-FLEX

D-Flex

Dezentral und zentral gesteuertes Energiemanagement auf Verteilnetzebene zur Systemintegration erneuerbarer Energien



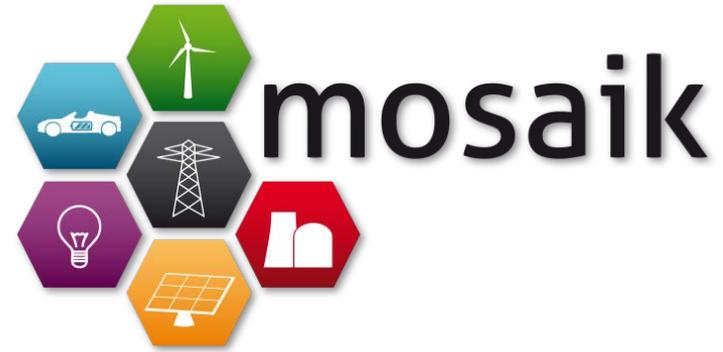
Beschreibung der Szenarienanalyse

	Referenzszenario	Szenario „dezentrale Steuerung“	Szenario „zentrale Steuerung“
Ziel	Kostenminimaler Ausgleich von Einspeisung und Verbrauch ohne Last- und Erzeugungsmanagement auf Verteilnetzebene	Vorrangig lokaler Ausgleich von Einspeisung und Verbrauch mit Last- und Erzeugungsmanagement auf Verteilnetzebene	Kostenminimaler Ausgleich von Einspeisung und Verbrauch mit Last- und Erzeugungsmanagement auf Verteilnetzebene
Netzaus- und umbau	Kein Umbau der Verteil-netzebene zu Smart Grids Klassischer Netzausbau auf Verteil- und Übertragungsnetzebene	Umbau der Verteilnetz-ebene zu Smart Grids Reduzierter Netzausbau auf Übertragungsnetzebene	Umbau der Verteilnetz-ebene zu Smart Grids Vollständiger Netzausbau auf Übertragungsnetzebene
Erwarteter Flexibilitätsbedarf	Flexibilität im Kraftwerkspark reicht für vollständige EE-Integration nicht aus	Höher, da großräumiger Ausgleich zwischen den Verteilnetzebenen erst nachrangig erfolgt.	Geringer, da lokale Einspeise- und Nachfrageschwankungen zunächst großräumig ausgeglichen werden.
Erwarteter Vorteil		Geringerer überregionaler Stromaustausch führt zu geringeren Netzausbaukosten und Netzverlusten auf Übertragungsnetzebene Geringere Netzverluste führen zu geringeren CO ₂ -Emissionen	Geringere Stromgestehungskosten zur Deckung der Stromnachfrage Geringerer lokaler Flexibilitätsbedarf zum Ausgleich von EE-Einspeisung und Verbrauch
Erwarteter Nachteil	Höhere CO ₂ -Emissionen und geringere EE-Integration	Höhere Stromgestehungskosten zur Deckung der Stromnachfrage Höherer lokaler Flexibilitätsbedarf zum Ausgleich von EE-Einspeisung und Verbrauch	Höherer überregionaler Stromaustausch führt zu höheren Netzausbaukosten und Netzverlusten auf Übertragungsnetzebene Höhere Netzverluste führen zu höheren CO ₂ -Emissionen

Live Demo



- **Die Komplexität der Verteilnetze stößt durch die Energiewende und die damit verbundenen Änderungen an die Grenzen von Verstehen und Beherrschbarkeit**
 - Planung/Ausbau, Untersuchung von Effekten, ausfallsicherer Betrieb, Überwachung, kapazitive Auslastung
- **Einsatz von Simulations- und Modellierungs-Technologien und -Konzepten von Verteilnetzen, deren Komponenten und äußeren Einflüssen**
 - Entwicklung einer zentralen, integrativen Simulations-Suite und die anschließende Integration existierender und neuer Modelle
- **Kosten-Nutzen-Bewertung von Ausbauoptionen in der Netzplanung, Optimierter Einsatz der vorhandenen Infrastruktur, Analyse von Veränderungen ohne direkt in das Netz einzugreifen, Risikominimierung bei der Installation neuer Komponenten, Vergleich von Steuerungskonzepten**



KONTAKT

Dr.-Ing. Sebastian Rohjans
OFFIS – Institut für Informatik,
F&E Bereich Energie
rohjans@offis.de

www.offis.de/energie

Referenzen 1

- [Ba05] J. Banks, J. Carson, and B. L. Nelson, *Discrete-event system simulation*, 4th ed. Prentice Hall International, 2005.
- [Bo05] C. A. Boer, "Distributed Simulation in Industry," Erasmus University Rotterdam, 2005.
- [Bu09] H.-J. Bungartz, "Modellbildung und Simulation: Eine Anwendungsorientierte Einführung". 2009, Springer.
- [DS07] "dSPACE und das V-Modell für Steuergeräte- Entwicklung," dSPACE. http://www.fh-fulda.de/fileadmin/Fachbereich_ET/Schaukasten/Schaukasten_2007/ET-Seminar/Dateien/ET-Seminar2007_dSPACE.pdf
- [GO07] J. D. Gehrke and C. Ober-Blöbaum, "Multiagent-based Logistics Simulation with PlaSMA," in *Informatik 2007 - Informatik trifft Logistik, Band 1. Beiträge der 37. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik*, 2007, pp. 416–419.
- [LMLD 11] W. Li, A. Monti, M. Luo, and R. Dougal, "VPNET: A co-simulation framework for analyzing communication channel effects on power systems," in *2011 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS)*, 2011, pp. 143–149.
- [PFR09] M. Pipattanasomporn, H. Feroze, and S. Rahman, "Multi-agent systems in a distributed smart grid: Design and implementation," *2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*, pp. 1–8, Mar. 2009.
- [Ra01] H.-J. Rabe, "Entwicklung, Simulation und Test mechatronischer Regelsysteme mit modernen HW und SW Werkzeugen," *Simulation*. Paderborn, 2001. http://www.imtek.de/avt/content/upload/imtek_dspace_rabe.pdf
- [SBP07] R. Soma, A. Bakshi, and V. K. Prasanna, "A Semantic Framework for Integrated Asset Management in Smart Oilfields," *Seventh IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid '07)*, pp. 119–126, May 2007.
- [Too6] M. Törngren, D. Henriksson, O. Redell, C. Kirsch, J. El-khoury, D. Simon, Y. Sorel, H. Zdenek, and K. Årzén, "Co-design of Control Systems and their real-time implementation - A Tool Survey by," Stockholm, 2006.
- [VVo6] A. Verbraeck and H. P. M. Veeke, "Distributed Simulation of Complex Systems : Application in Container Handling," in *Proceedings of the 2002 SISO European Simulation Interoperability Workshop*, 2002.
- [WGA10] L. A. Wehinger, M. D. Galus, and G. Andersson, "Agent-Based Simulator for the German Electricity Wholesale Market Including Wind Power Generation and Widescale PHEV Adoption," *Energy*, 2010.

Referenzen 2

- [DCo3] "Chrysler and the digital factory", www.allpar.com/history/digital.html
- [Pa07] E. H. Page, "Theory and Practice for Simulation Interconnection: Interoperability and Composability in Defense Simulation," in *Handbook of Dynamic System Modeling*, P. A. Fishwick, Ed. Chapman & Hall, 2007.
- [Go10] T. Godfrey, S. Mullen, R. C. Dugan, C. Rodine, D. W. Griffith, and N. Golmie, "Modeling Smart Grid Applications with Co-Simulation," in *The 1st IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, 2010, pp. 291–296.
- [LSW10] C. Lewandowski, J. Schmutzler, and C. Wietfeld, "A Simulation Environment for Electric Vehicle Charging Infrastructures and Load Coordination," in *GI Jahrestagung (1)*, 2010, pp. 479–484.
- [De10] S. Deilami, A. S. Masoum, P. S. Moses, and M. A. S. Masoum, "Voltage Profile and THD Distortion of Residential Network with High Penetration of Plug-in Electrical Vehicles," *System*, no. 4, pp. 1–6, 2010.
- [Ra11] S. D. Ramchurn, P. Vytelingum, A. Rogers, and N. Jennings, "Agent-Based Control for Decentralised Demand Side Management in the Smart Grid," pp. 5–12, 2011.
- [Ko12] K. Kok, B. Roossien, P. Macdougall, and O. Van Pruissen, "Dynamic Pricing by Scalable Energy Management Systems - Field Experiences and Simulation Results using PowerMatcher," no. July. 2012.
- [Kuo8] F. Kupzog, "Frequency-responsive load management in electric power grids," Vienna University of Technology, 2008.
- [Be10] J. Bergmann, C. Glomb, J. Götz, J. Heuer, R. Kuntschke, and M. Winter, "Scalability of Smart Grid Protocols," in *First IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 2010, pp. 131–136.
- [Hoo6] K. Hopkinson, X. Wang, R. Giovanini, J. Thorp, L. Fellow, K. Birman, and D. Coury, "EPOCHS : A Platform for Agent-Based Electric Power and Communication Simulation Built From Commercial Off-the-Shelf Components," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 21, no. 2, pp. 548–558, 2006.
- [SK97] J. Sztipanovits and G. Karsai, "Model-Integrated Computing," *Computer*, vol. 30, no. 4, pp. 110–111, 1997.