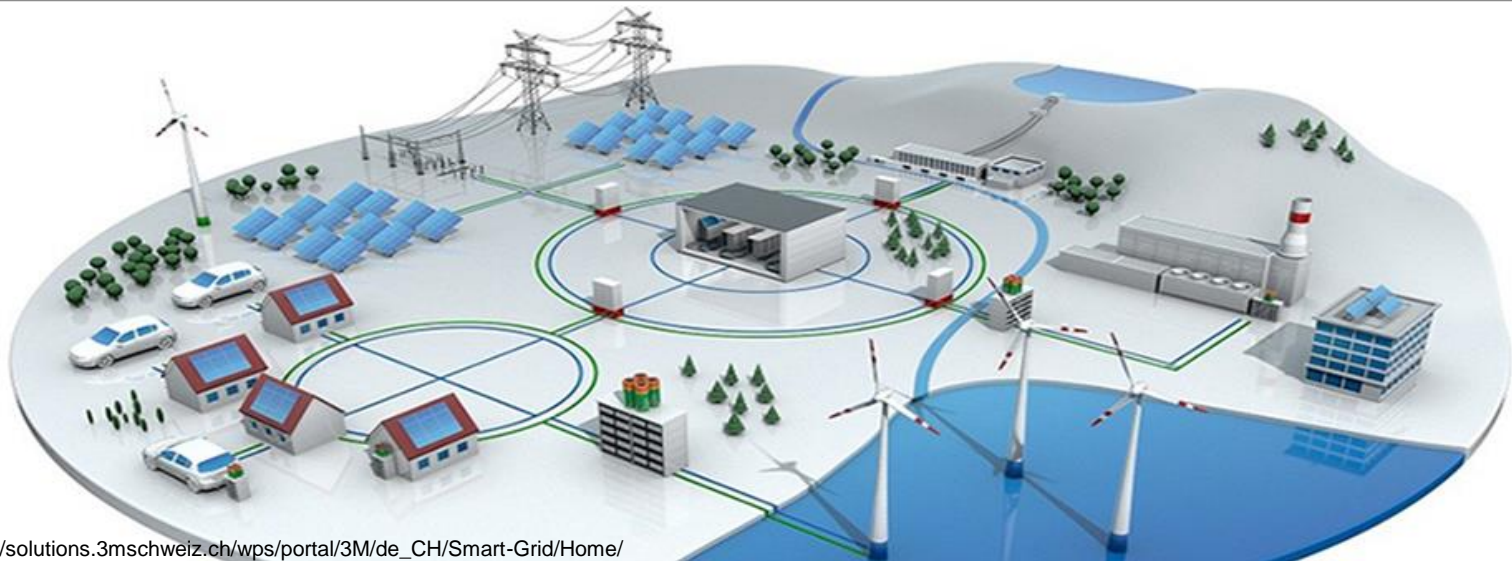


Wesentliche Eigenschaften von Co-Simulationsumgebungen und deren Vergleich

Phil Ostheimer

Betreuer: Jianlei Liu

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE INFORMATIK IAI – IT-Methoden und -Komponenten für Energiesysteme



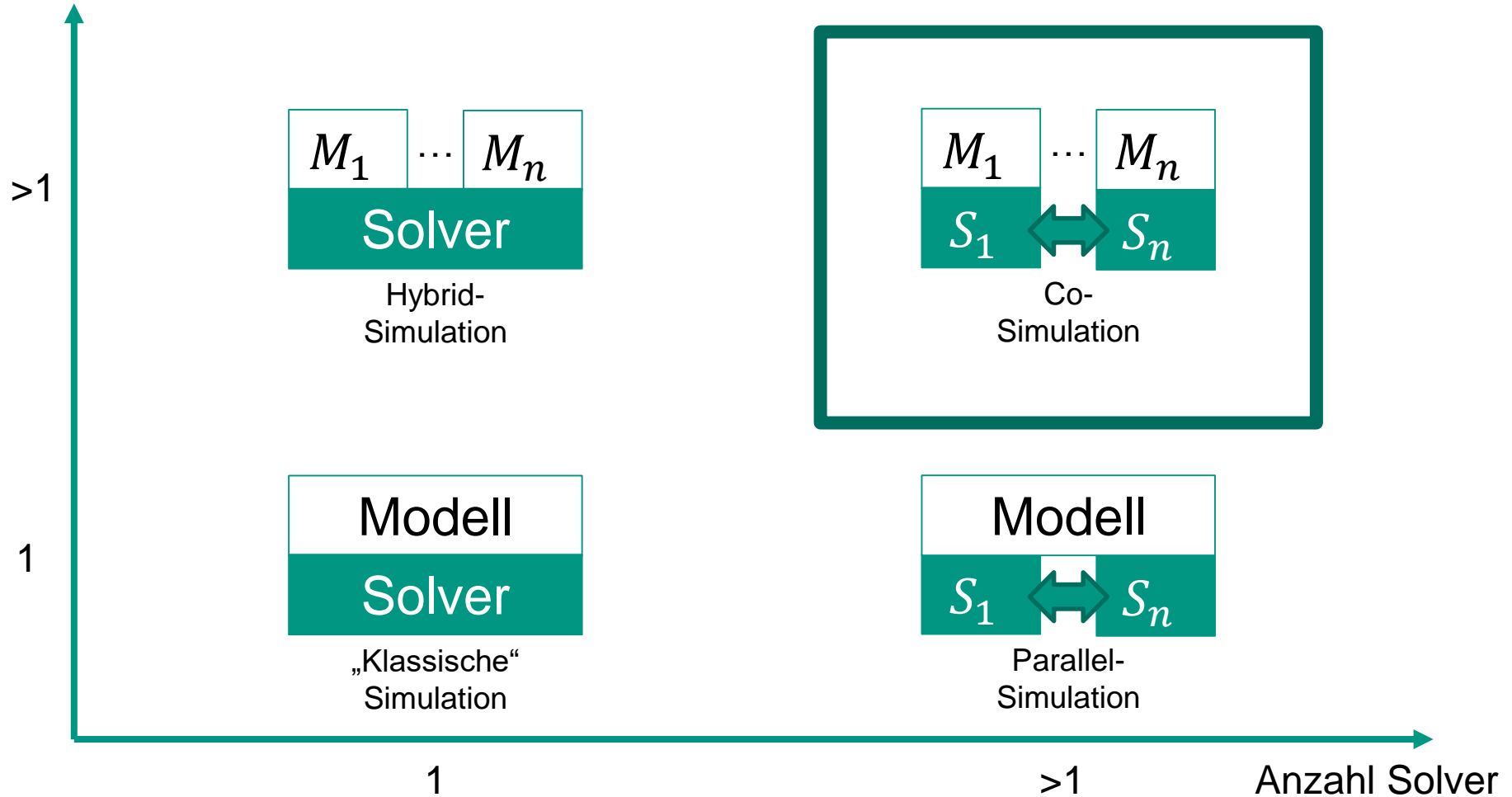
Bildquelle: http://solutions.3mschweiz.ch/wps/portal/3M/de_CH/Smart-Grid/Home/

Motivation

- Zukünftiges Energieversorgungsnetz mit vielen heterogenen Komponenten (z.B. Verteilte Energieressourcen, IED, FACTS)
- Zuverlässige, nachhaltige Energieversorgung erfordert Optimierung
 - Simulationen als Werkzeug zum Verständnis der komplexen Interaktionen
 - Effiziente Koordination
- Modellierung einzelner Komponenten und ganzer Systeme erfordert verschiedene Modelle
- Zuverlässige Simulationen basieren auf bekannten, validierten Modellen, die meist keine Schnittstellen besitzen
 - Zusammenarbeit durch Reimplementierung?
- Einfache Kooperation durch Co-Simulation

Simulationskategorien

Anzahl Modelle



Quellen: [4], [5]

Gliederung

- Motivation
- Wesentliche Eigenschaften
- Direkte Kopplung
- Generische Ansätze
 - Mosaik
 - High Level Architecture

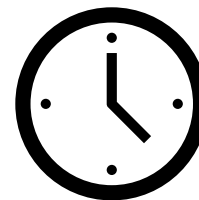
WESENTLICHE EIGENSCHAFTEN

Nutzer

- Netzbetreiber
- Produzenten von IKT-Komponenten und –Systemen
- Produzenten von Netzkomponenten und verteilten Energieressourcen
- Betreiber virtueller Kraftwerke und Energielieferanten
- Politik und Regulation
- Bildungssektor und Wissenschaft

Zeitliches Verhältnis

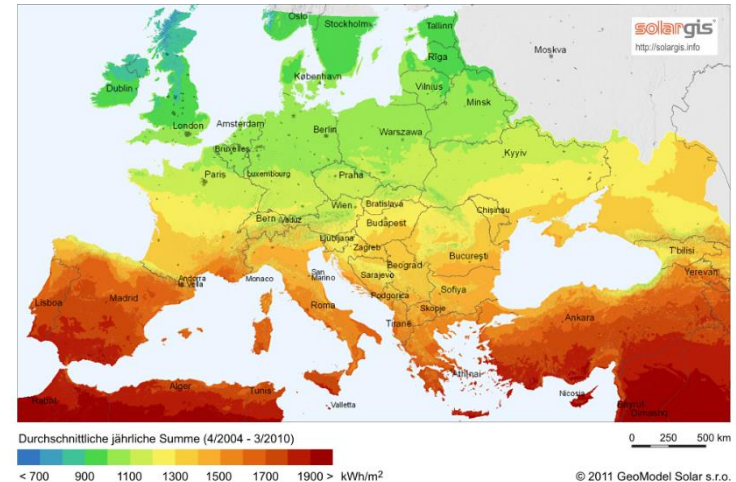
- Langsamer als Echtzeit
- Echtzeit
- Schneller als Echtzeit



Zeitliche Auflösung

- Gleichgewichtszustand (Sekunden und darüber):
 - Optimaler Lastfluss
 - Wetterdaten

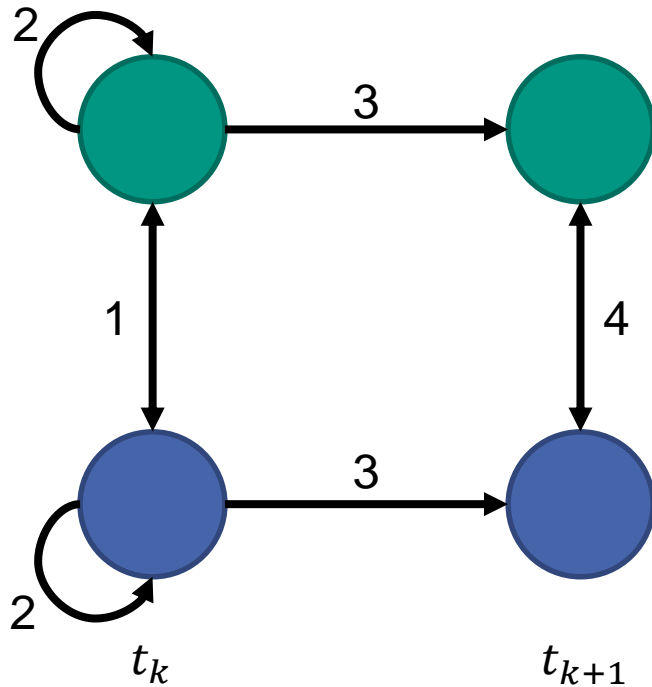
- Elektromechanischer Bereich (unter Sekunden):
 - Mechanische Generatoren
- Elektromagnetischer Bereich (Millisekunden und darunter):
 - FACTS



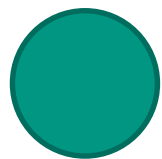
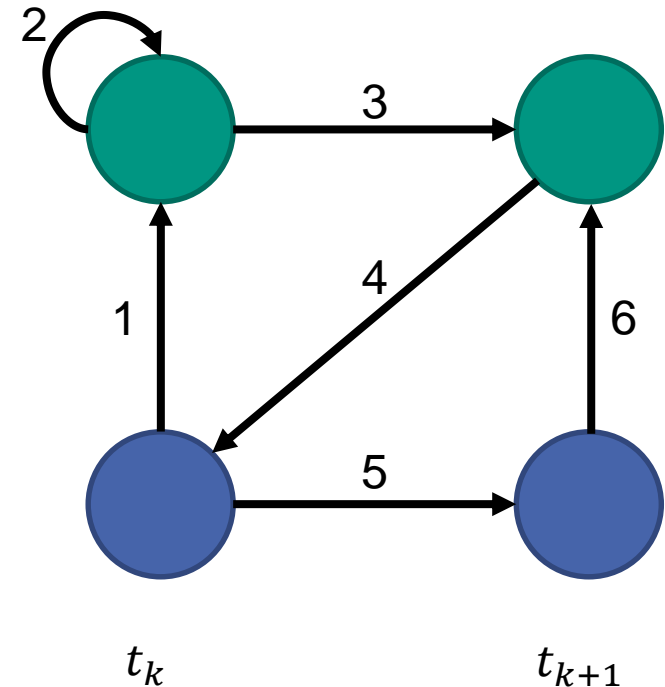
Bildquellen:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ae/SolarGIS-Solar-map-Europe-de.png>; <http://electrical-engineering-portal.com/facts-flexible-ac-transmission-systems>

Kommunikationsreihenfolge – Nicht iterativ

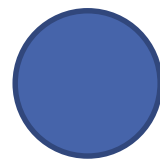
Parallel



Seriell



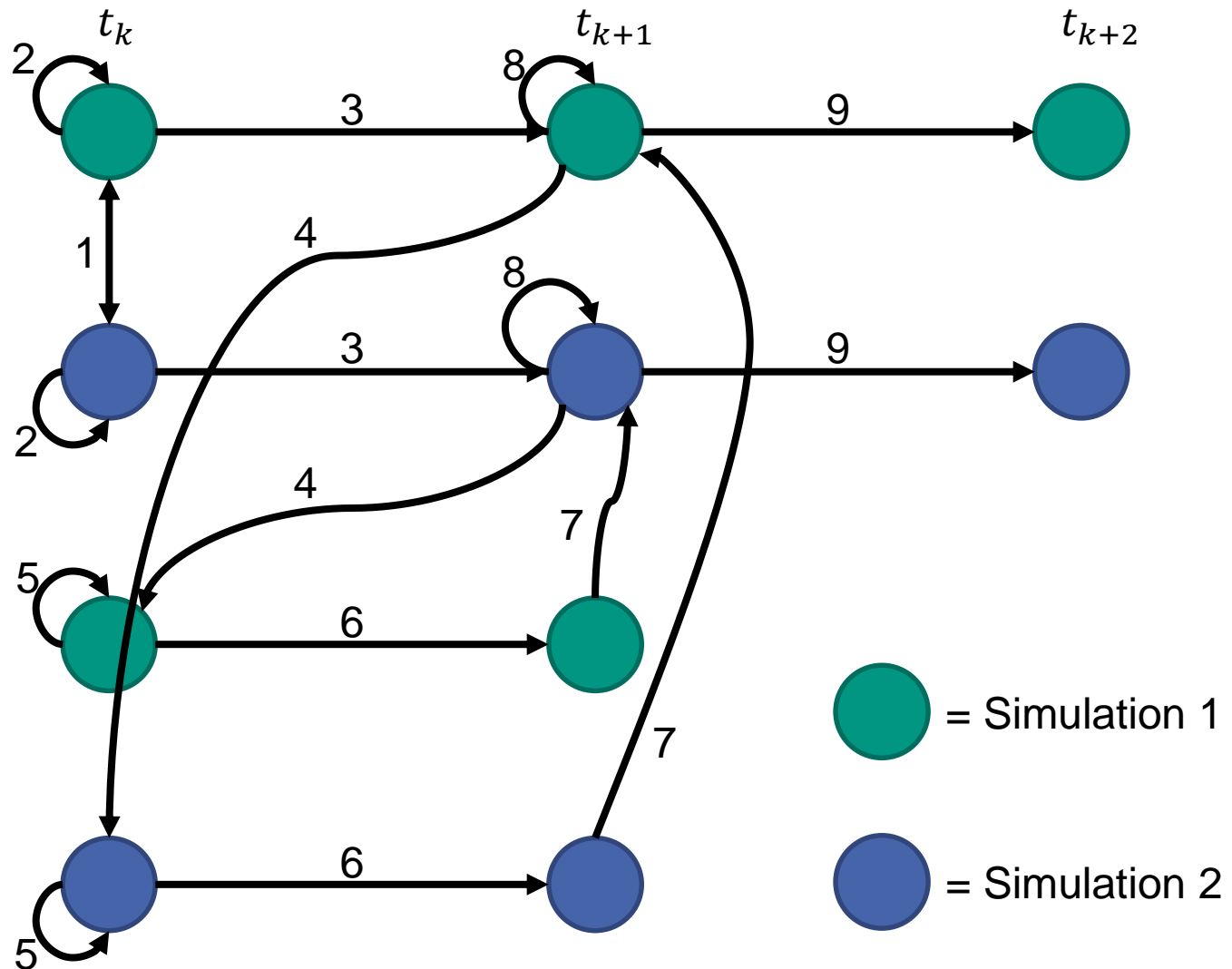
= Simulation 1



= Simulation 2

Kommunikationsreihenfolge – Iterativ

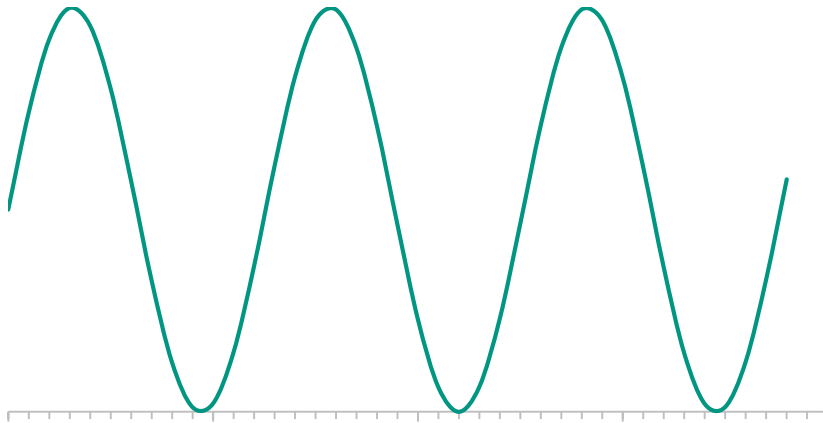
Parallel



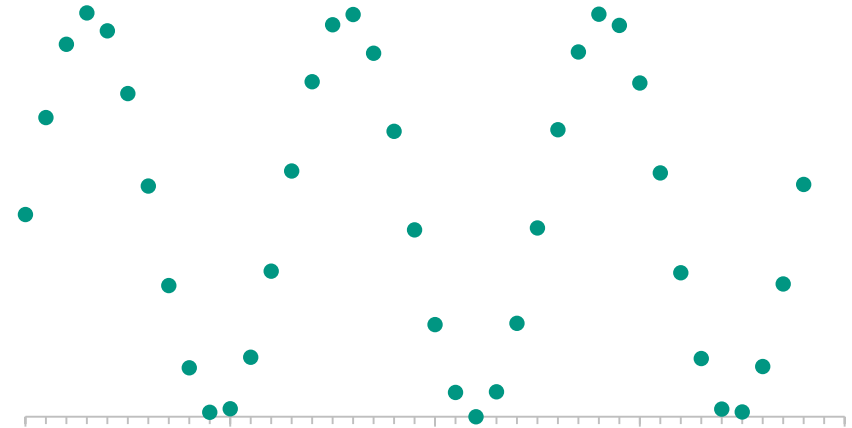
Quelle: [5]

Synchronisation

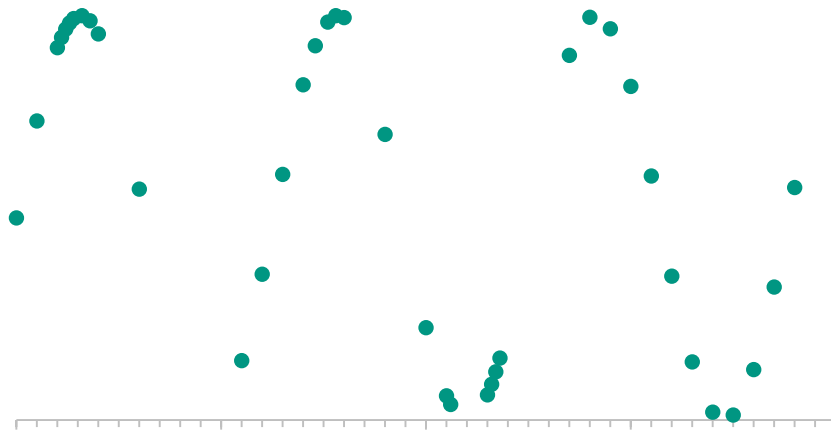
Kontinuierlich



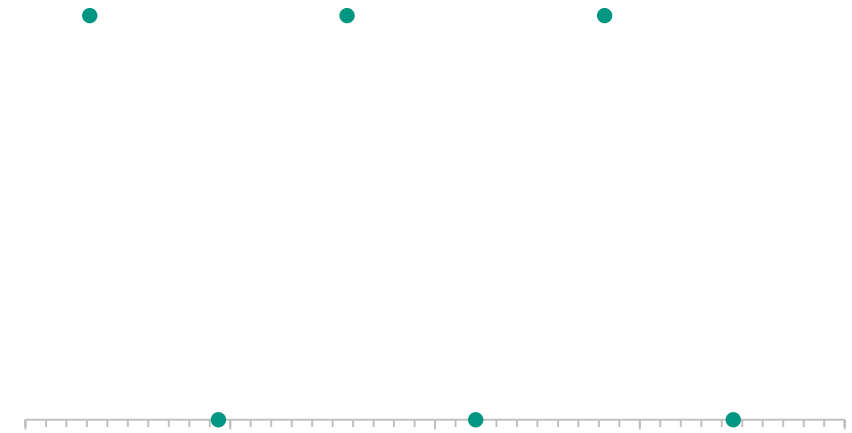
Feste Schrittlänge



Variable Schrittlänge



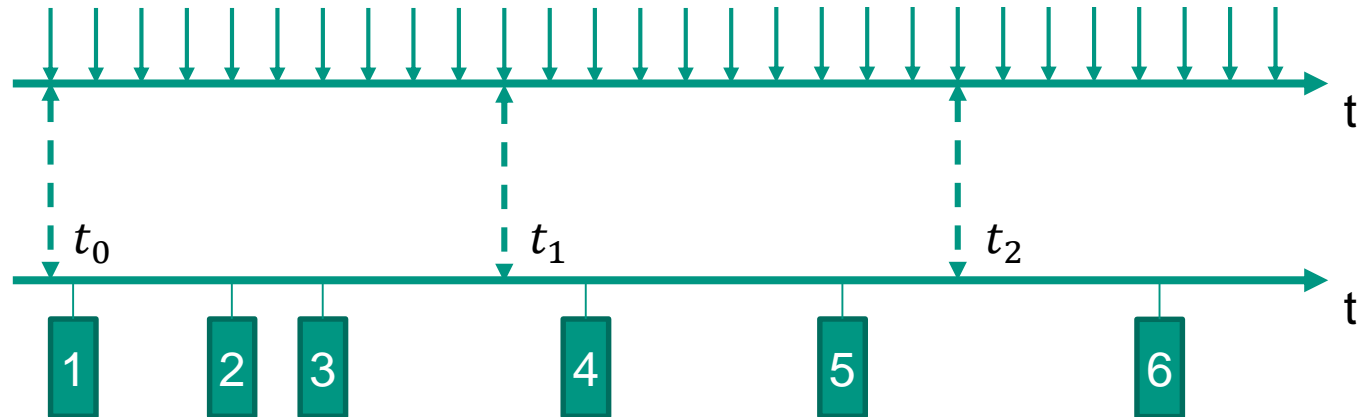
Ereignisgetrieben



Quelle: [4]

Synchronisation – Feste Zeitpunkte

Schritte der
Energiesimulation



Ereignisse des
Netzwerks

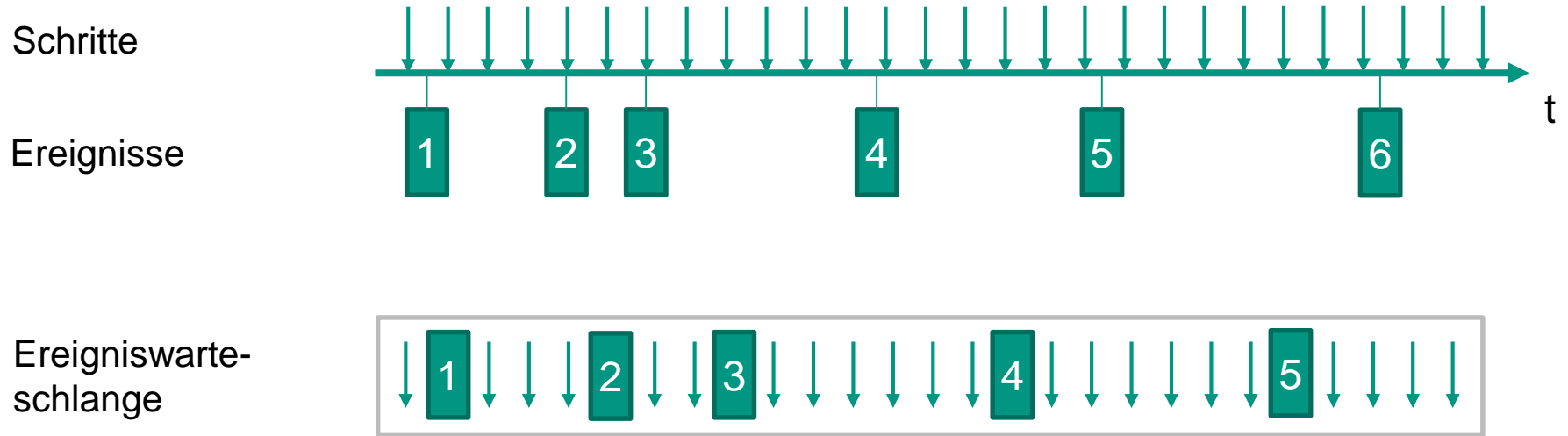
■ Vorteile

- Intuitiv

■ Nachteile

- Ungenauigkeiten durch verpasste Ereignisse
- Tradeoff zwischen Laufzeit und Genauigkeit

Synchronisation – Ereignisgetrieben



■ Vorteile

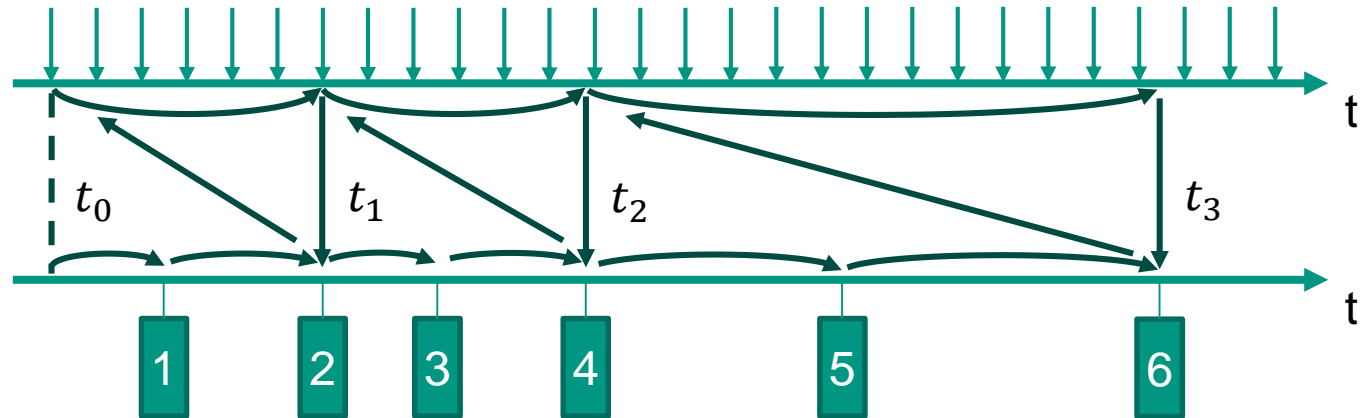
- Keine Ungenauigkeiten durch verpasste Ereignisse

■ Nachteile

- Simulationszeit direkt von der Schrittgröße der Energiesystemsimulation abhängig
- Performanzflaschenhals durch Schnittstellen der Simulationen

Synchronisation – Master-Slave

Schritte
(Slave)



Ereignisse
(Master)

■ Vorteile

- Einfache Implementierung

■ Nachteile

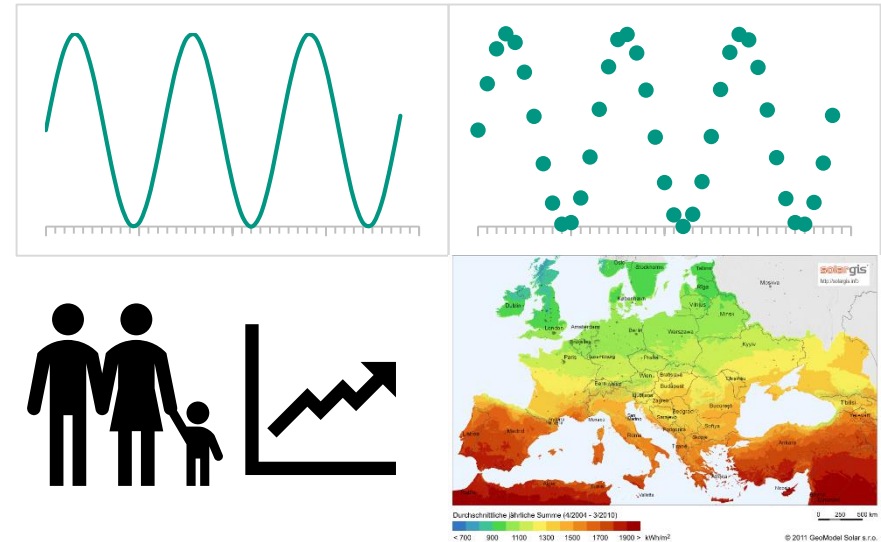
- Ereignisse des Slave werden ignoriert
- Ausführung meist sequentiell
- Performanzflaschenhals beim Master

Simulationstyp

- Co-Simulation
- Simulation mit Hardwareunterstützung
- Hardware-in-the-Loop (HIL)

Elemente der Modellierung

- Kontinuierliche Prozesse
- Diskrete Prozesse und Ereignisse
- Rollen
- Statistische Elemente



Bildquelle: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ae/SolarGIS-Solar-map-Europe-de.png>

Zugänglichkeit interner Modellstrukturen

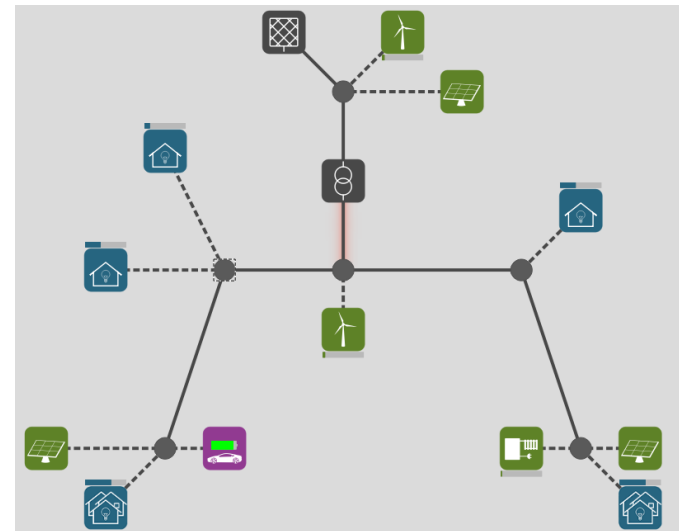
- Black Box
- White Box
- Grey Box

Nutzbarkeit

- API
- GUI

Standards

- IEC61850 (International Electrotechnical Commission)
- CIM (Common Information Model)
- OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture)
- FMI (Functional Mockup Interface)

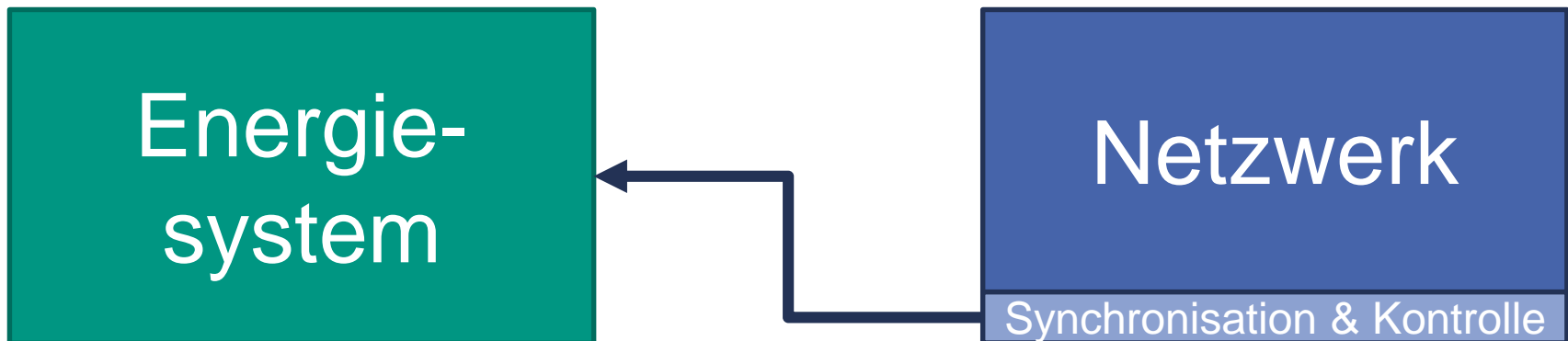


Bildquelle: https://mosaik.offis.de/images/maverig_sim_mode.png

DIREKTE KOPPLUNG

Direkte Kopplung von Simulationen

- Ohne Middleware für Synchronisation und Datenaustausch
- Synchronisation durch Master-Slave-Ansatz (z.B. PowerNet)
- Nachteile
 - Leistungsfähigkeit durch Master beschränkt
 - Keine Parallelisierung
 - Schlechte Wiederverwendbarkeit und Erweiterbarkeit



Einordnung der direkten Kopplung

Nutzer	Netzbetreiber	IKT-Produzent	Netzkomp.-hersteller	VKW Betreiber & E.-Vers.	Politik & Regulation	Bildungsbereich
Zeitliches Verhältnis	Langsamer als Echtzeit		Echtzeit		Schneller als Echtzeit	
Zeitliche Auflösung	Gleichgewichtszustand		Elektro-mechanisch		Elektro-magnetisch	
Kommunikationsreihenfolge	Nicht iterativ			Iterativ		
	Parallel	Seriell		Parallel	Seriell	
Synchronisation	Feste Zeitpunkte		Ereignisgetrieben		Master-Slave	
Simulationstyp	Co-Simulation		Hardware-Unterst.		HiL	
Elemente der Modellierung	Kontinuierliche Prozesse		Diskrete Prozesse		Rollen	Statistische Elemente
Zugänglichkeit	Black box		White box			Grey box
Nutzbarkeit	API			GUI		
Standards	IEC61850	CIM		OPC UA		FMI

Quellen: [1], [4], [5]

GENERISCHE ANSÄTZE

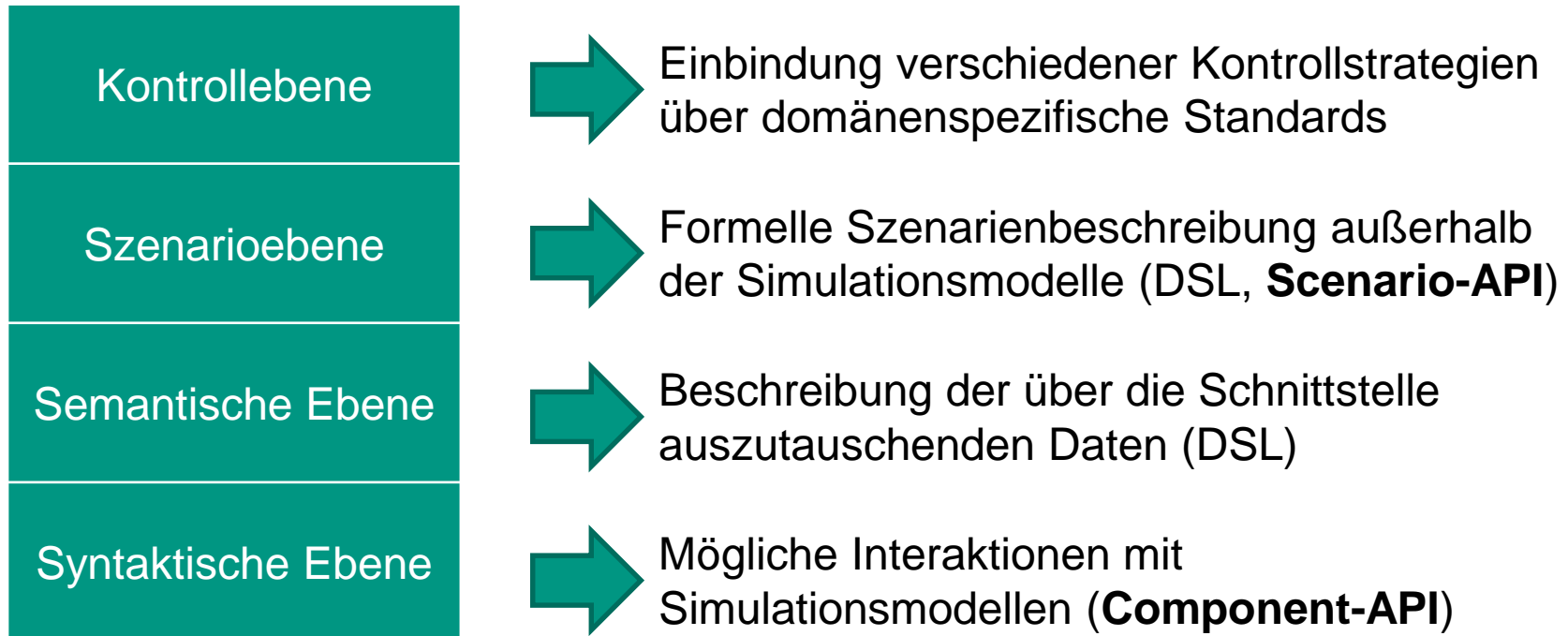
Mosaik

- Modulares Smart Grid Simulationsframework zur automatischen Komposition existierender, heterogener Simulationen
- Formale semantische Beschreibungen der Modelle
 - Synchronisation: Kontinuierliche, diskrete Modelle
 - Auflösungen
- Gemeinsame Simulationsschnittstelle zur Integration verschiedener Plattformen
- Modulares, hierarchisches Zusammensetzen von Szenarien
- Einbindung verschiedener Kontrollstrategien basierend auf domänenspezifischen Standards

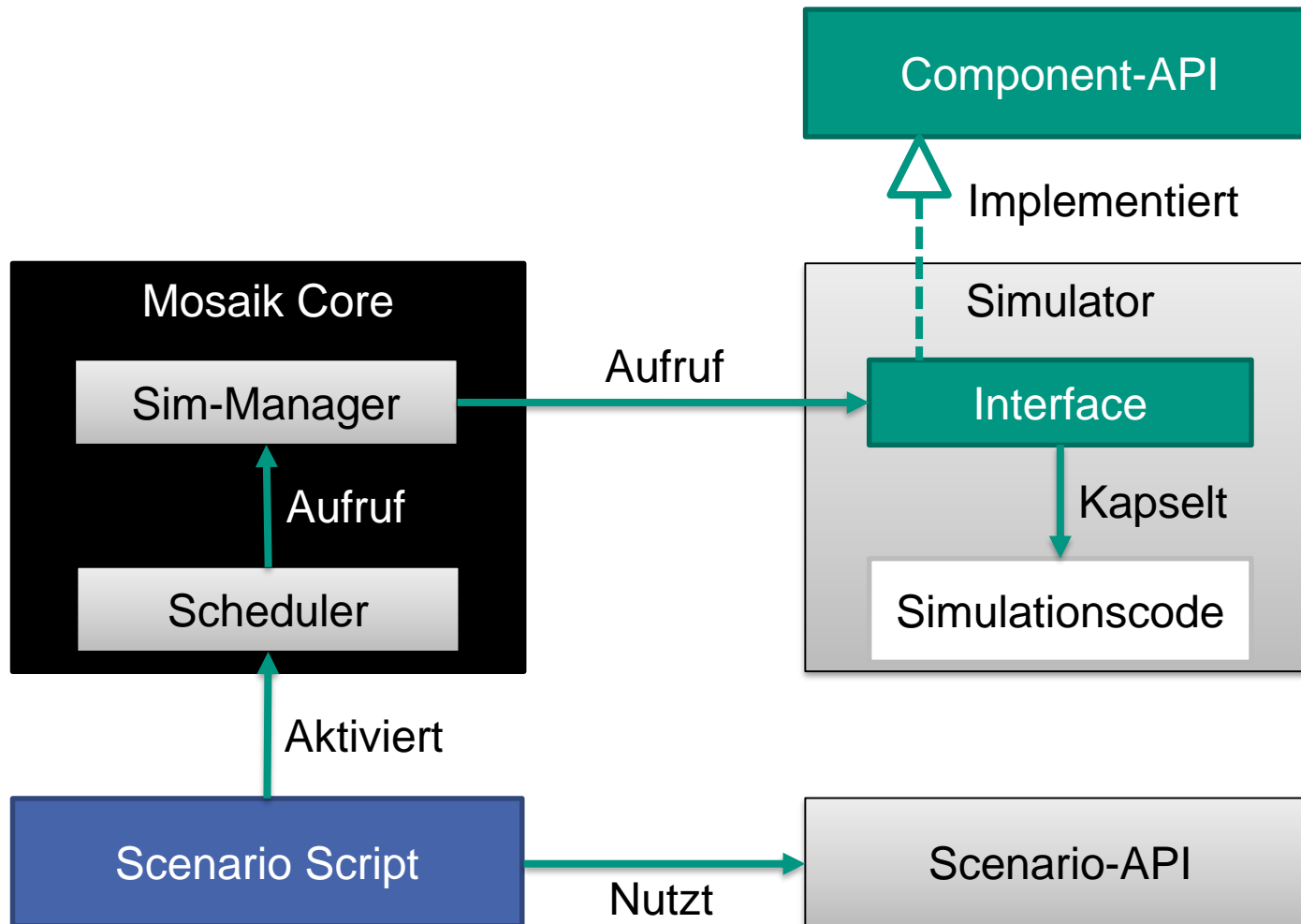


Bildquelle:
http://mosaik.readthedocs.io/en/latest/_images/mosaik_logo.png

Simulationskomposition



➔ Mosaik-konforme Simulation muss zumindest Metadaten für Szenarien liefern und **Component-API** zur Steuerung implementieren



Einordnung Mosaik

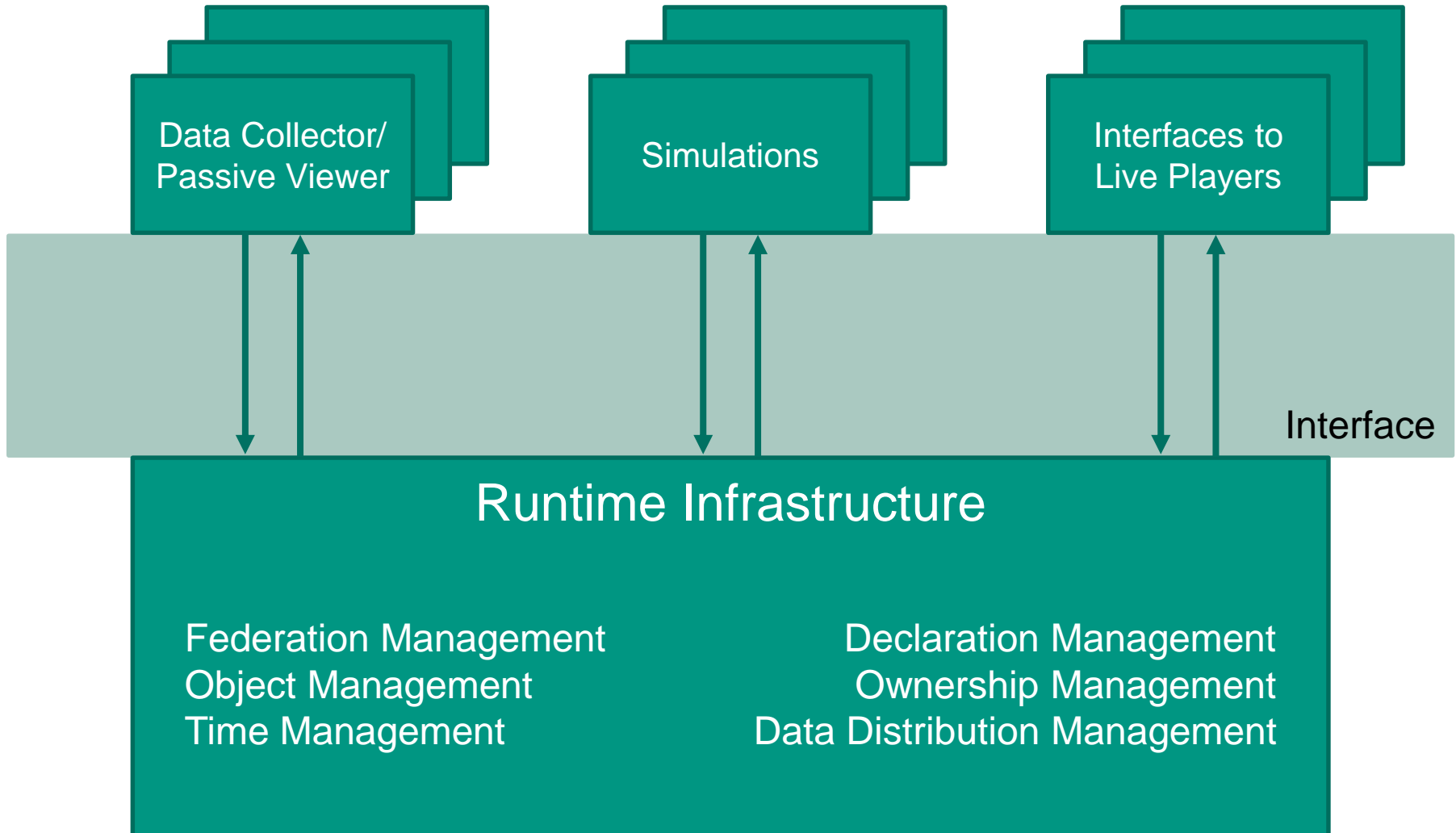
Nutzer	Netzbetreiber	IKT-Produzent	Netzkomp.-hersteller	VKW Betreiber & E.-Vers.	Politik & Regulation	Bildungsbereich
Zeitliches Verhältnis	Langsamer als Echtzeit		Echtzeit		Schneller als Echtzeit	
Zeitliche Auflösung	Gleichgewichtszustand		Elektro-mechanisch		Elektro-magnetisch	
Kommunikationsreihenfolge	Nicht iterativ			Iterativ		
	Parallel		Seriell		Seriell	
Synchronisation	Feste Zeitpunkte		Ereignisgetrieben		Master-Slave	
Simulationstyp	Co-Simulation		Hardware-Unterst.		HiL	
Elemente der Modellierung	Kontinuierliche Prozesse		Diskrete Prozesse		Statistische Elemente	
Zugänglichkeit	Black box		White box			Grey box
Nutzbarkeit	API			GUI		
Standards	IEC61850		CIM		FMI	

Quellen: [2], [3], [4], [5]

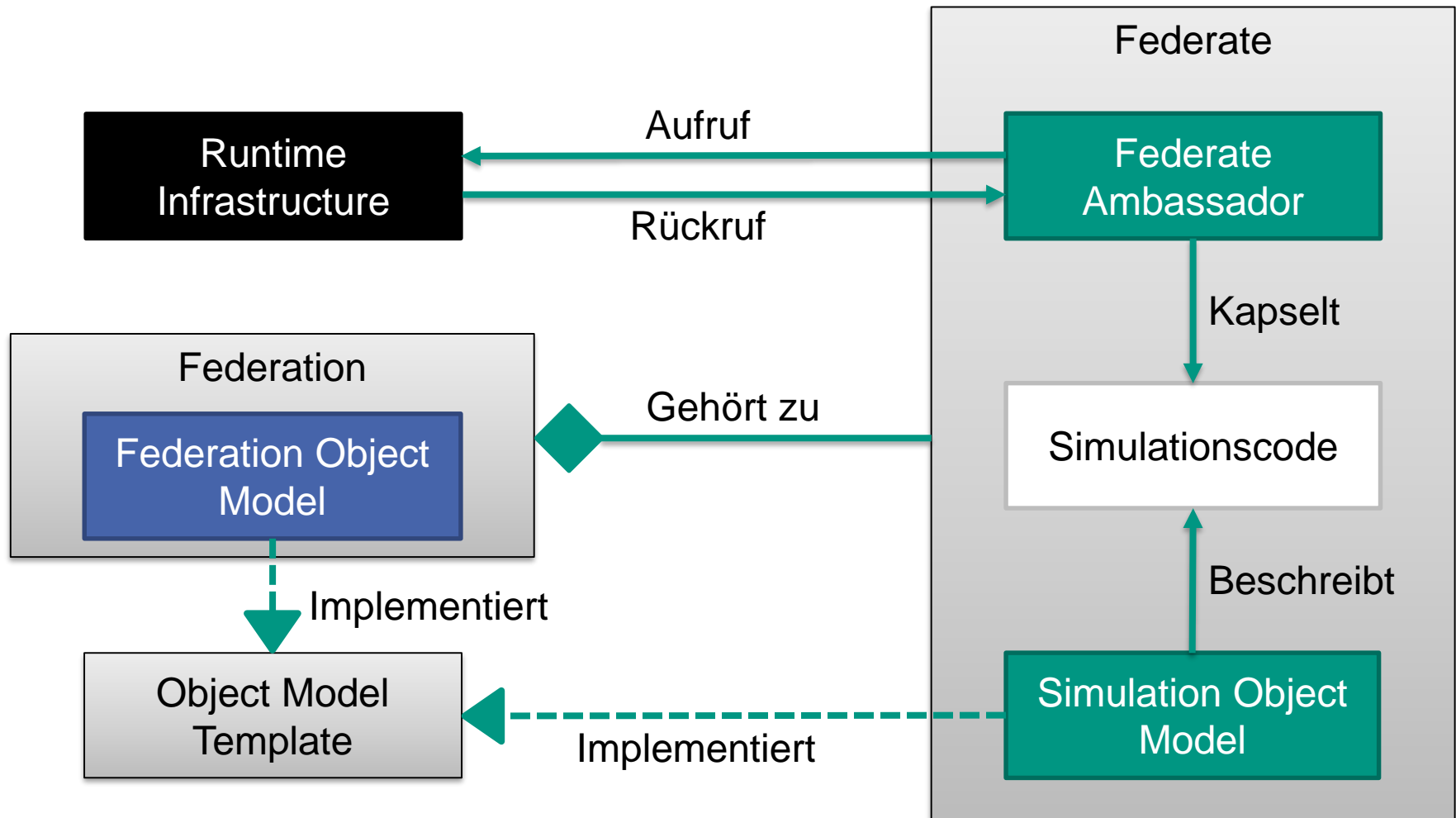
High Level Architecture

- Spezifikation einer technischen Architektur zur Zusammenarbeit von verteilten Simulationen (IEEE 1516)
- Unterstützt Wiederverwendung von Simulationen
- Schreibt keine spezifische Implementierung vor
- Simulation als **Federate**, der einer **Federation** angehört
- Drei große Definitionsbereiche
 - **Rules**: Zuständigkeiten und Beziehungen zwischen Komponenten der **Federation**
 - **Interface Specification**: Kommunikation zwischen
 - Simulation (**Federate**)
 - **Runtime Infrastructure**
 - **Object Model Template**: Präsentationsformat für
 - **Federates: Simulation Object Model**
 - **Federations: Federation Object Model**

HLA Federation



Quellen: [2], [6], [9]



Einordnung High Level Architecture

Nutzer	Netzbe- treiber	IKT- Produzent	Netzkomp.- hersteller	VKW Betreiber & E.-Vers.	Politik & Regulation	Bildungs- bereich
Zeitliches Verhältnis	Langsamer als Echtzeit		Echtzeit		Schneller als Echtzeit	
Zeitliche Auflösung	Gleichgewichts- zustand		Elektro-mechanisch		Elektro-magnetisch	
Kommunika- tionsreihenfolge	Nicht iterativ			Iterativ		
	Parallel		Seriell	Parallel		Seriell
Synchronisation	Feste Zeitpunkte		Ereignisgetrieben		Master-Slave	
Simulationstyp	Co-Simulation		Hardware-Unterst.		HiL	
Elemente der Modellierung	Kontinuierliche Prozesse	Diskrete Prozesse		Rollen		Statistische Elemente
Zugänglichkeit	Black box		White box			Grey box
Nutzbarkeit	API			GUI		
Standards	IEC61850		CIM	OPC UA		FMI

Quellen: [2], [4], [6], [9]

Zusammenfassung

- Co-Simulation zur Analyse von Energiesystemen unverzichtbar
- Direkte Kopplung
 - Hoher Aufwand für jeden neuen Anwendungsfall
 - Keine Wiederverwendung
- Generische Methoden als Lösung
 - Mosaik leicht zum Einstieg und Prototyping
 - HLA vielseitiger und flexibler

Quellen

- [1]: Liberatore, Vincenzo, and Ahmad Al-Hammouri. "Smart grid communication and co-simulation." *Energytech, 2011 IEEE*. IEEE, 2011.
- [2]: Steinbrink, C., et al. "Smart grid co-simulation with MOSAIK and HLA: a comparison study." *Computer Science-Research and Development (2017)*: 1-9.
- [3]: Schütte, Steffen, Stefan Scherfke, and Martin Tröschel. "Mosaik: A framework for modular simulation of active components in Smart Grids." *Smart Grid Modeling and Simulation (SGMS), 2011 IEEE First International Workshop on*. IEEE, 2011.
- [4]: Schloegl, Florian, et al. "Towards a classification scheme for co-simulation approaches in energy systems." *Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST), 2015 International Symposium on*. IEEE, 2015.
- [5]: Palensky, Peter, et al. "Cosimulation of intelligent power systems: Fundamentals, software architecture, numerics, and coupling." *IEEE Industrial Electronics Magazine* 11.1 (2017): 34-50.
- [6]: Dahmann, Judith S., and Katherine L. Morse. "High level architecture for simulation: An update." *Distributed Interactive Simulation and Real-Time Applications, 1998. Proceedings. 2nd International Workshop on*. IEEE, 1998.
- [7]: Mets, Kevin, Juan Aparicio Ojea, and Chris Develder. "Combining power and communication network simulation for cost-effective smart grid analysis." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 16.3 (2014): 1771-1796.

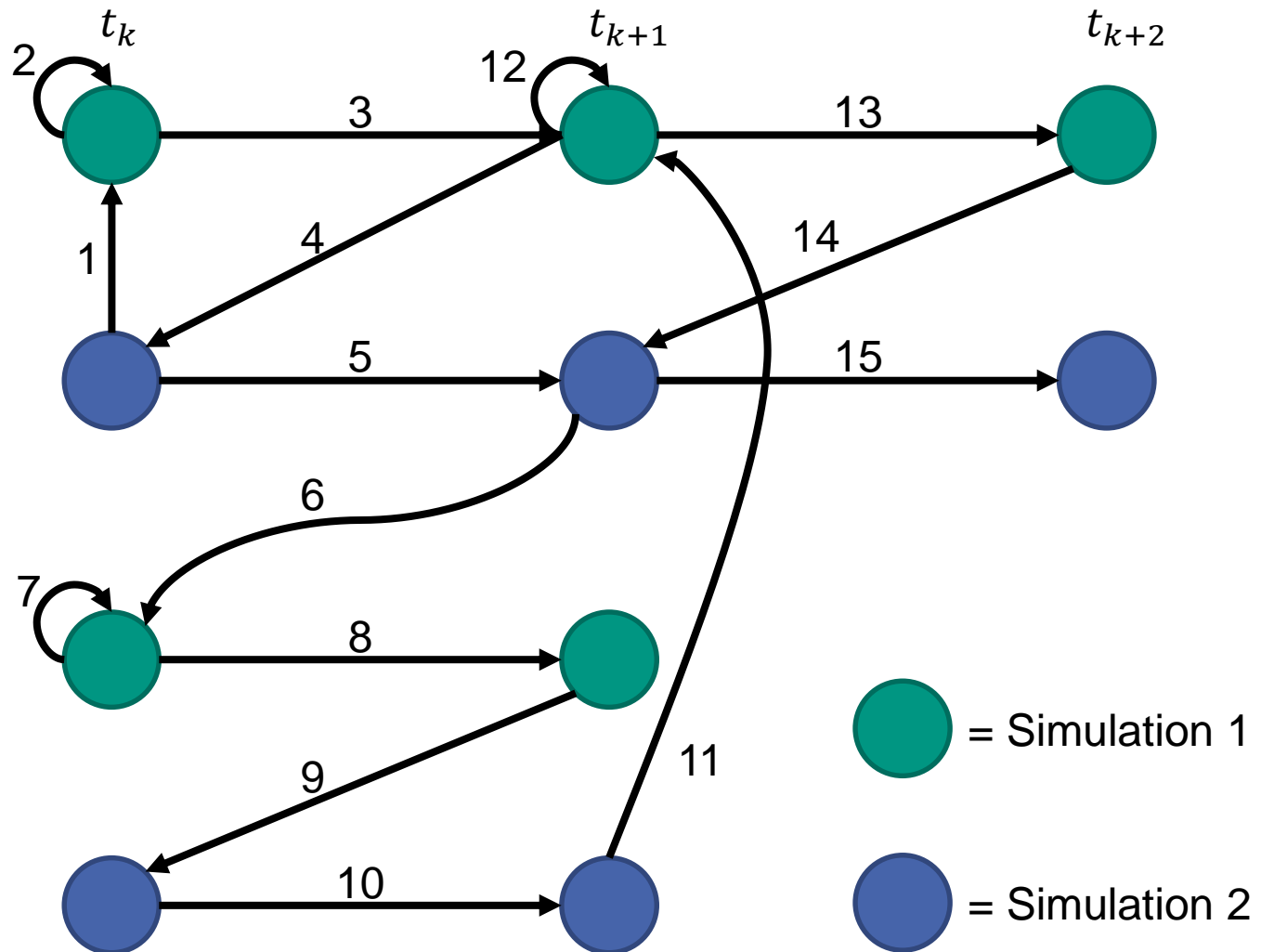
Quellen

- [8]: Lin, Hua, et al. "Power system and communication network co-simulation for smart grid applications." *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2011 IEEE PES*. IEEE, 2011.
- [9]: Dahmann, Judith S., Frederick Kuhl, and Richard Weatherly. "Standards for simulation: As simple as possible but not simpler the high level architecture for simulation." *Simulation* 71.6 (1998): 378-387.
- [10]: Schütte, Steffen, Stefan Scherfke, and Michael Sonnenschein. "Mosaik-smart grid simulation api." *Proceedings of SMARTGREENS* (2012): 14-24.

BACKUP

Kommunikationsreihenfolge – Iterativ

Seriell



Quelle: [5]

Component-API

- Kommunikation mit den Simulationen über XML/RPC
- **Mosaik Core** als Client, Simulationen als Server
- API Methoden
 - *init(step_size, init_params)*: Initialisierung der Simulationen
 - *create_model(num_instances)*: Parametrisierung, Instantiierung der Simulationsmodelle
 - *step()*: Schritt der Simulation
 - *get_data()/set_data()*: Abfragen und setzen der *init_params*

Mosaik GUI



Bildquelle: https://mosaik.offis.de/images/maverig_sim_mode.png