

# Dezentral koordinierte Wirkleistungsbereitstellung

Smart Nord – Teilprojekt 1

Leitung: Prof. Dr. Michael Sonnenschein  
Universität Oldenburg



# Zielsetzung

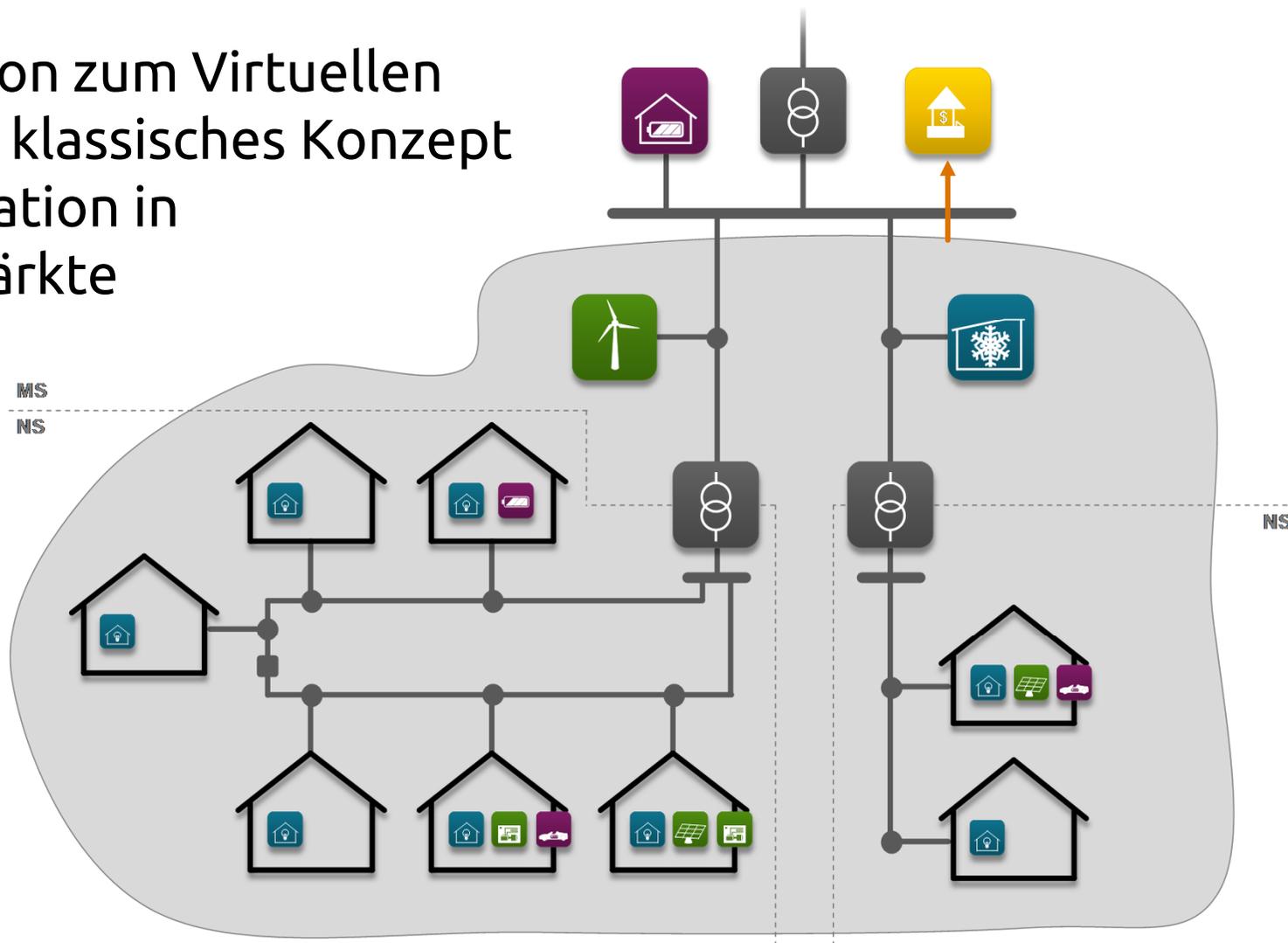
*Entwicklung und Bewertung **dezentraler**  
Verfahren im Rahmen einer fahrplanbasierten  
**Wirkleistungsbereitstellung**  
durch selbstorganisierte,  
**dynamische virtuelle Kraftwerke***

*Entwicklung eines **integrierten**  
**Multiagentensystems** zur Koordination  
dynamischer virtueller Kraftwerke*

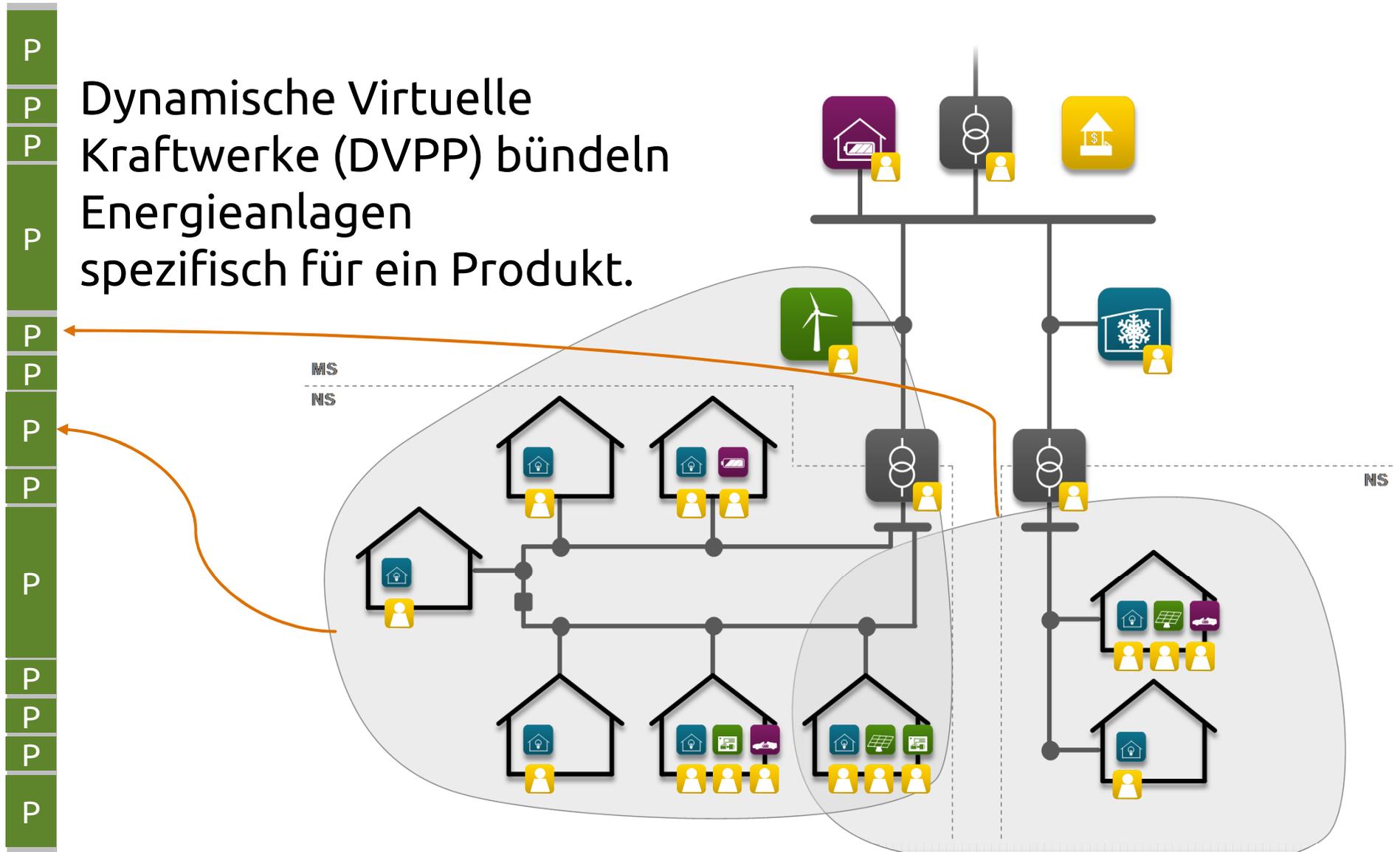
# Dynamische Virtuelle Kraftwerke

Energiehandel für einen Tag

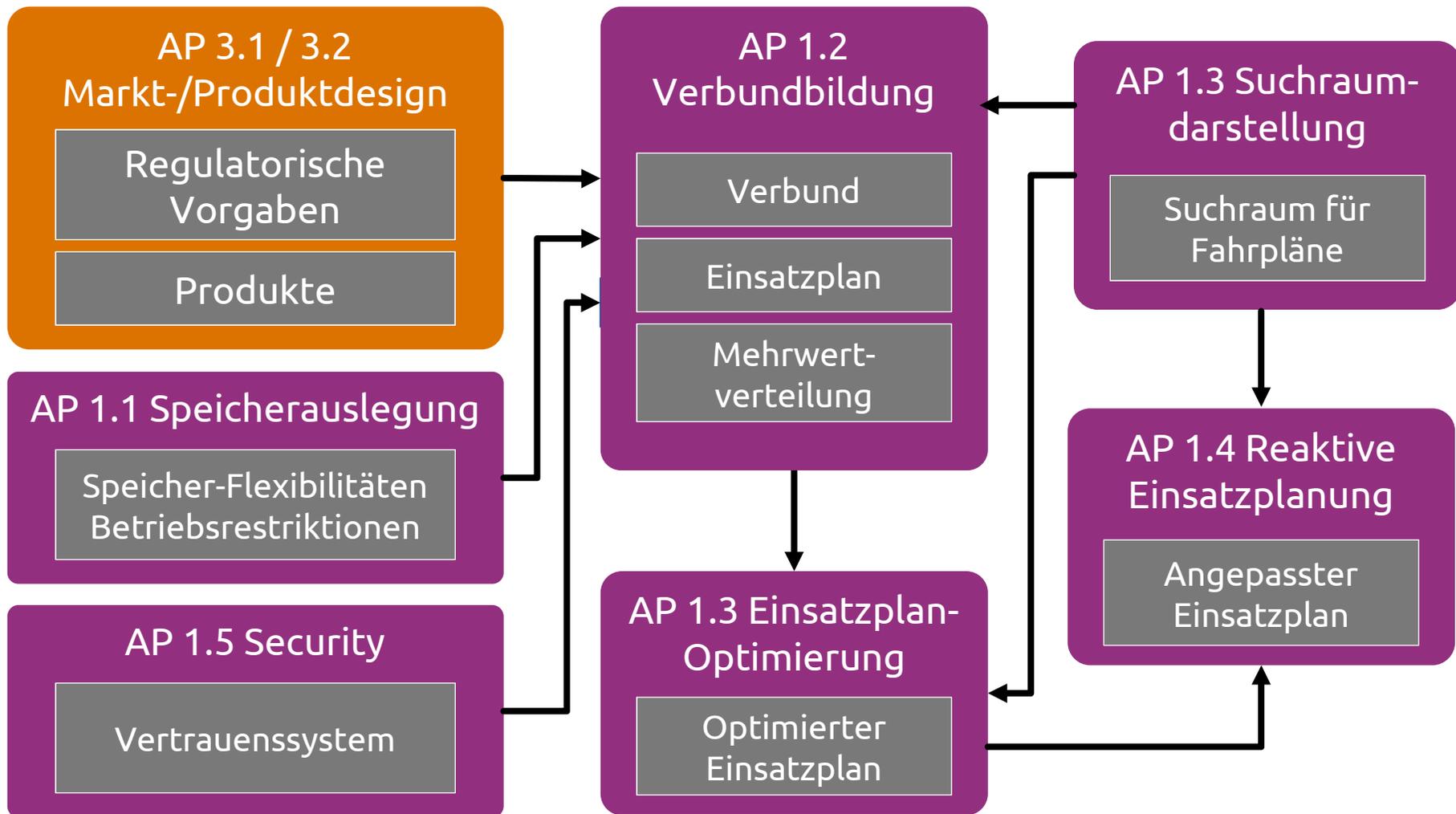
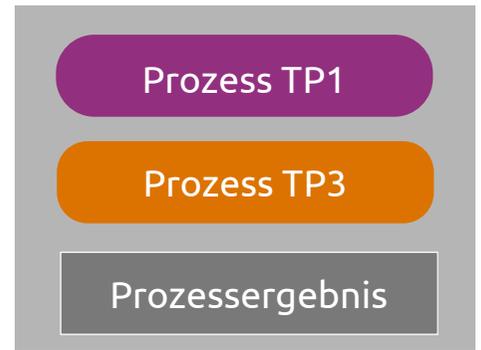
Aggregation zum Virtuellen Kraftwerk klassisches Konzept zur Integration in Energiemärkte



# Dynamische Virtuelle Kraftwerke



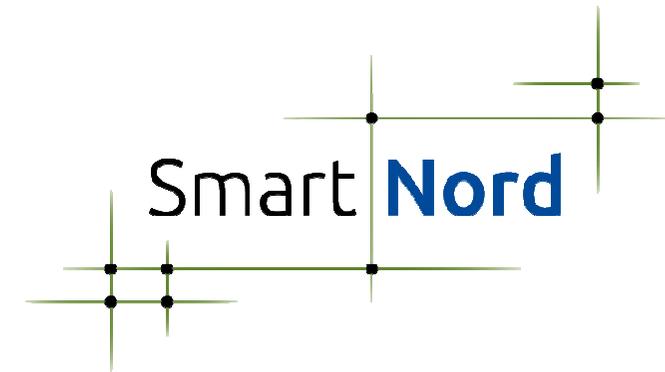
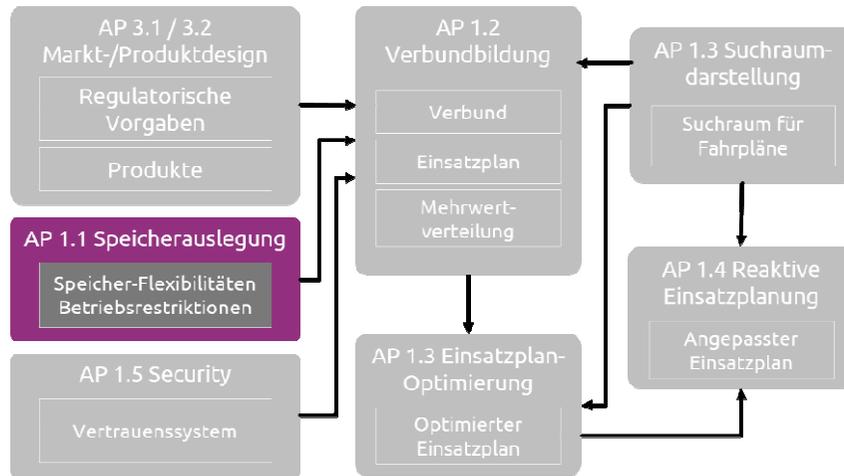
# Betrachtete Teilaspekte



# Themen und MitarbeiterInnen

- Jan-Hendrik Psola (TU BS) - Speicherauslegung
- Sebastian Beer (OFFIS) – Verbundbildung
- Ontje Lünsdorf (OFFIS) - Agentenmodell
- Jörg Bremer (Uni Oldenburg) – Einsatzplan-Optimierung
- Astrid Nieße (OFFIS) - Reaktive Einsatzplanung
- Christine Rosinger (OFFIS) - Security





# Speicherauslegung

## Arbeitspaket 1.1

Jan-Hendrik Psola (TU Braunschweig)

Prof. a.D. Dr.-Ing. Wolf-Rüdiger Canders (TU Braunschweig)

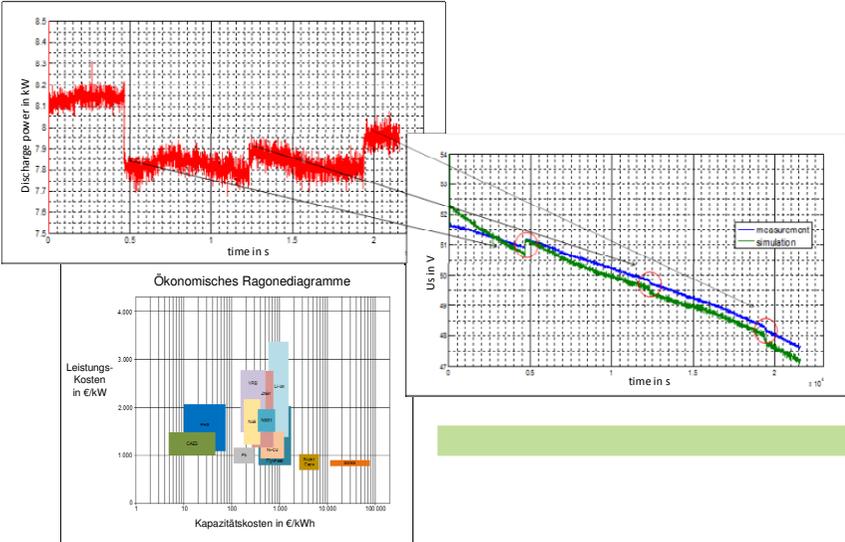
Prof. Dr.-Ing. Markus Henke (TU Braunschweig)



# Zielsetzung

- Entwicklung einer Methodik für eine optimale Speicherauslegung im Hinblick auf Technologie, Dimensionierung und Platzierung
- Betriebskonzepte von Energiespeichern unter wirtschaftlichen Aspekten

# Methodik



Gegenüberstellung Speichertechnologien Eignung und Constraints

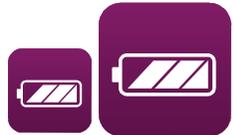
Technisch-ökonomische Modellbildung

SmartNord Teilnetzmodell Simulation: Speicherplatzierung, -kapazität, -leistung

Veränderung der Netzauslastung

Speicherkennziffern

- Speicherausnutzung
- Speicherverluste
- Physikalische Speichervolumen
- Nichtverfügbarkeit

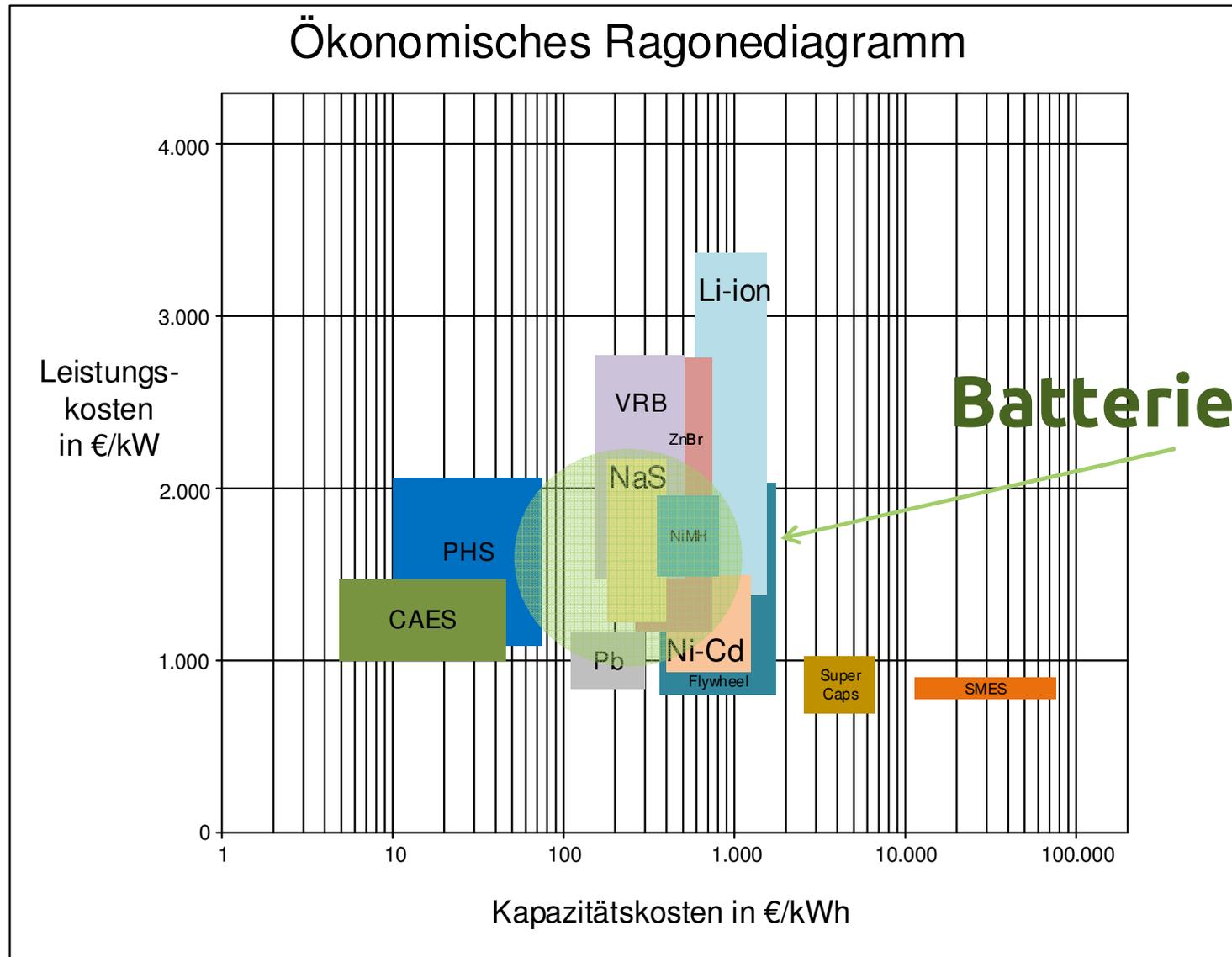


# Überblick Energiespeichersysteme

Technologie	Flexible Speicherplatzierung	Eignung zur Wirkleistungsbereitstellung	Zykluswirkungsgrad in %	Typischer Leistungsbereich in MW	Typische Kapazität in MWh	Selbstentladung	Nutzungsdauer in Jahren
PHS		x	70 – 85	< 1000	< 8000	-	70
CAES		x	30 – 70	< 600	500-5000	-	30
Schwungrad	x	x	90 – 95	< 10	< 1	20% / Stunde	20
Supercaps	x		90 – 95	< 0,2	< 0,05	0,5% / Stunde	
SMES	x		90 – 95	< 100	< 0,03	10-15% / Tag	30
Blei-Batterie	x	x	70 – 85	< 50	< 10	5% / Monat	5 - 15
NaS Batterie	x	x	75 – 90	< 35	< 10	-	15 - 20
Li-Ion Batterie	x		85 – 95	< 5	< 1	2-5% / Monat	10 - 15
Redox-Flow Batterie	x	x	70 – 80	< 10	< 100	<<	10
Wasserstoff/ Methan	x	x	20 – 40	kW-GW	GWh	<<	20

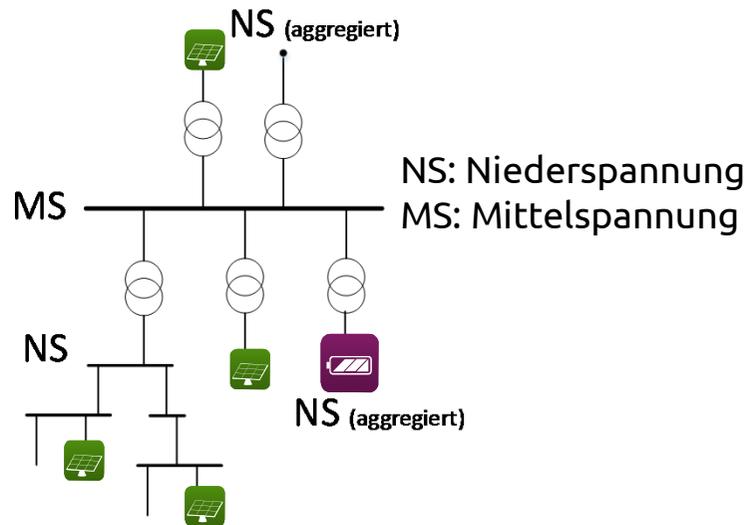
**Batteriespeicher**

# Speichereinteilung: Kosten



**Batteriespeicher**

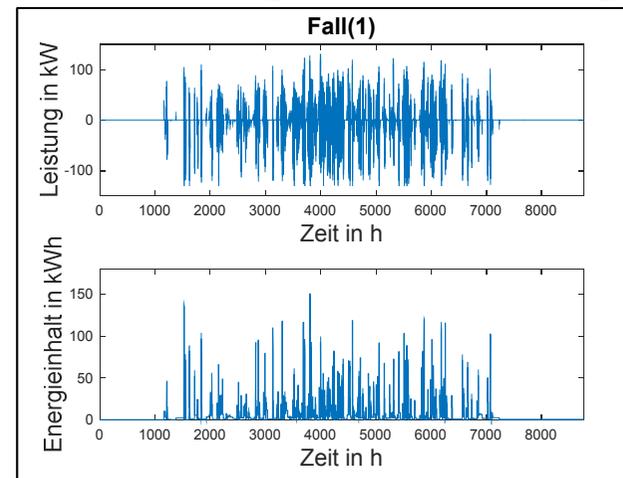
# Speichergröße



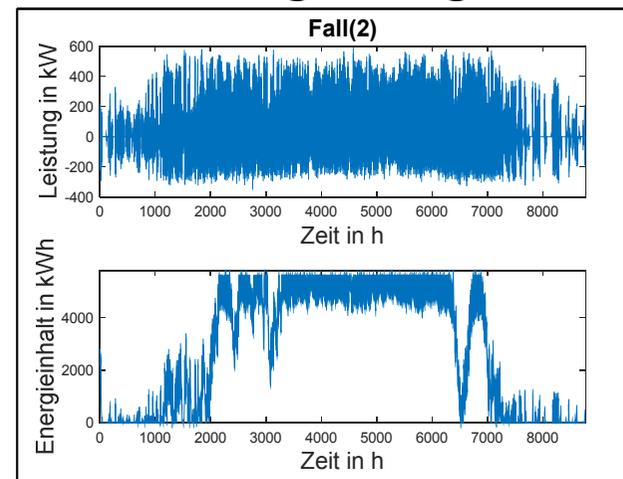
840 kWp PV verteilt installiert  
deckt bilanziert 80% des  
Jahresenergiebedarfs  
Last: 48-413 kW

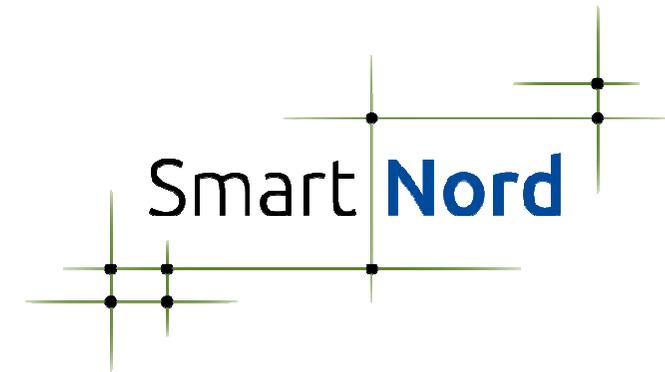
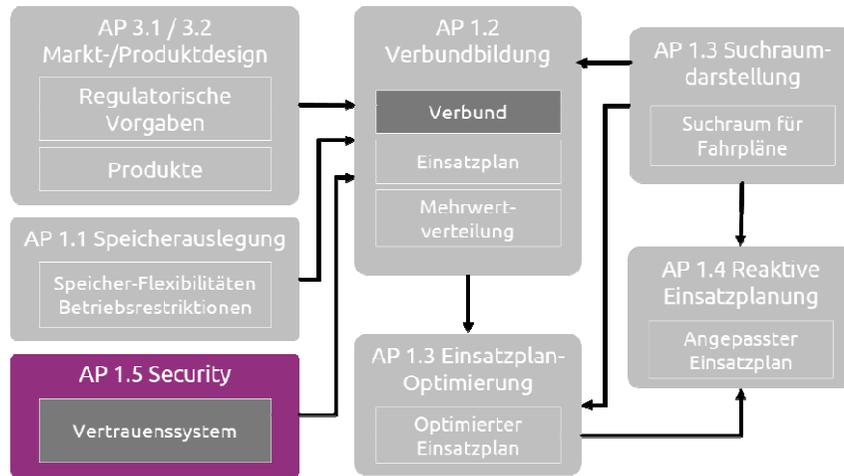
	Fall (1)	Fall (2)
Leistung $P_{st}$	120 kW	563 kW
Kapazität $E_{st}$	150 kWh	5,63 MWh
Vollzyklen/Jahr	40	61

## Vermeidung Netzbelastung



## Residuallastglättung





# Sicherheitsmechanismen

## Arbeitspaket 1.5

Christine Rosinger (OFFIS)

Dr. Mathias Uslar (OFFIS)



# Problemstellung & Ziel

## Problem

- Verteilte Organisation des Stromnetzes erfordert neue Sicherheitskonzepte
- Bei der Verwendung von Multiagentensystemen (MAS) können bösartige Agenten auftreten
  - Unkooperatives und bösartiges Verhalten
  - Worst case: Bedrohung der Stromversorgung

## Zielsetzung

- Modellierung eines Vertrauensmodells für die vertrauenswürdige Verbundbildung
  - Aufbau des Vertrauensmodells
  - Anwendung des Vertrauensmodells
- Vertrauensmodell dient
  - Der Aufdeckung bösartigen Verhaltens
  - Der Unterstützung der vertrauenswürdigen Verbundbildung
  - Als eine Art Sicherheitsmaßnahme

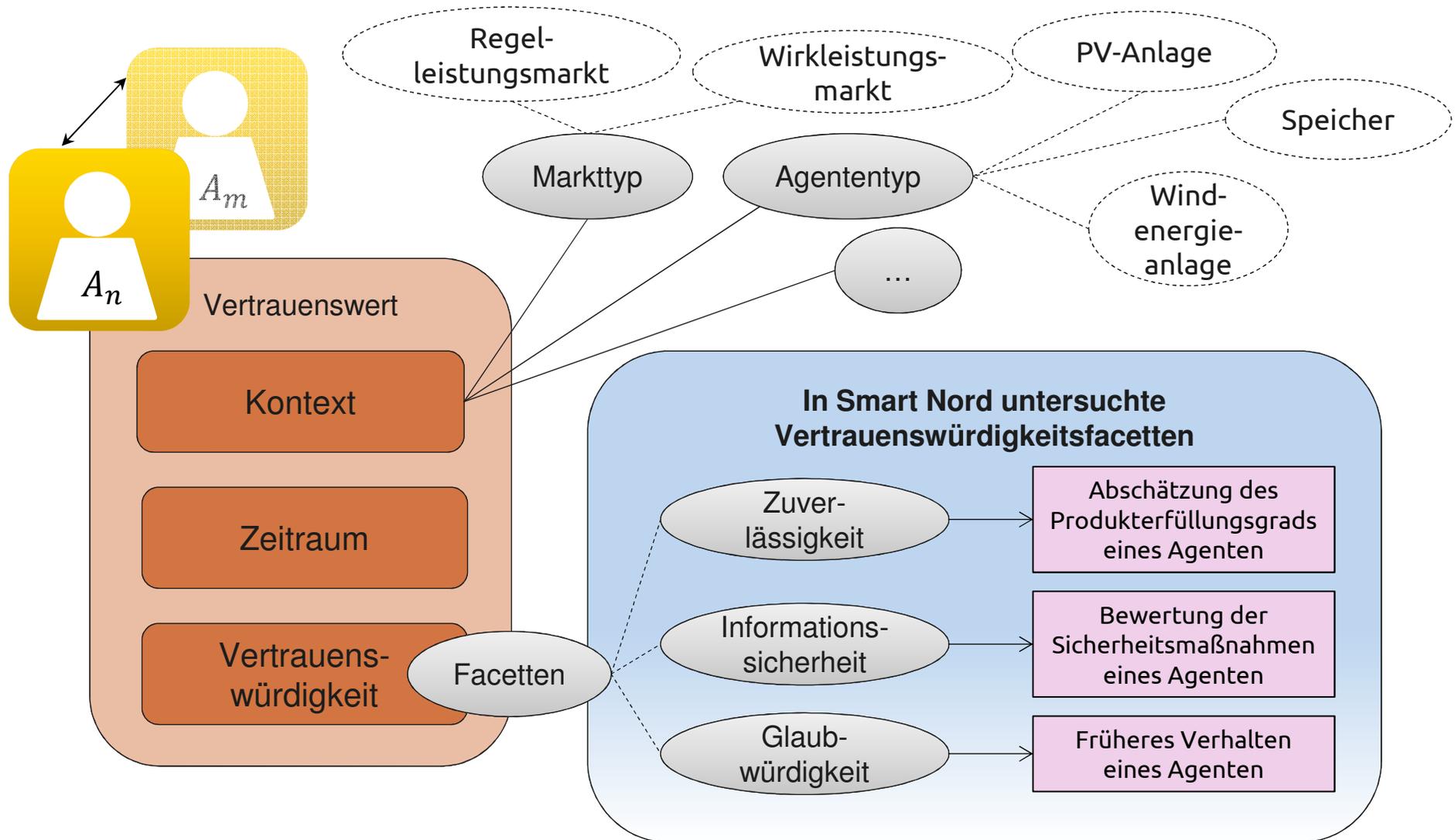


IT-Sicherheit



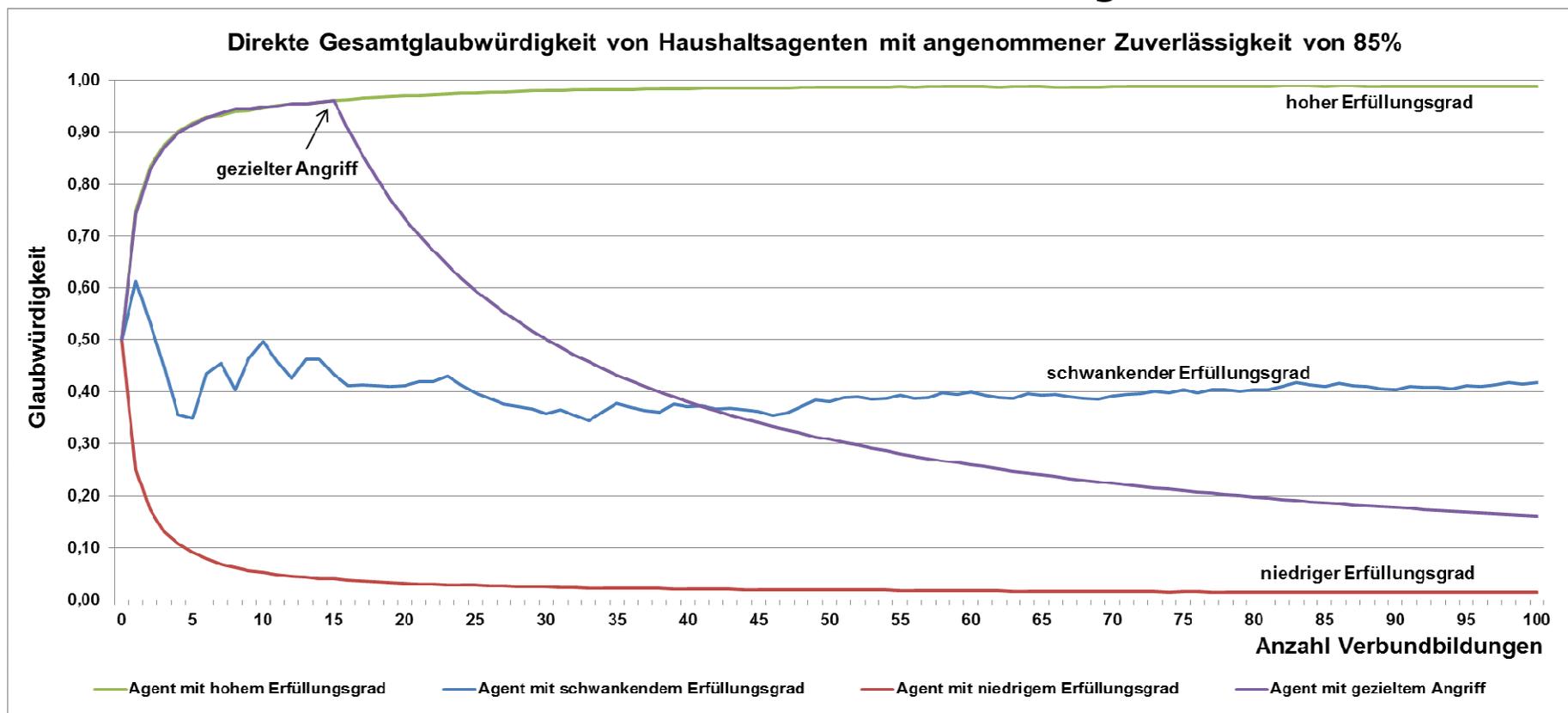
Verbundbildung

# Ergebnis: Aufbau des Vertrauensmodells



# Ergebnis: Glaubwürdigkeit als Vertrauenswürdigkeitsfacette (VF)

- Evaluationsszenarien
- Entwicklung direkte Glaubwürdigkeit von 4 Agententypen
  - über die Zeit und aus Sicht eines anderen Agenten

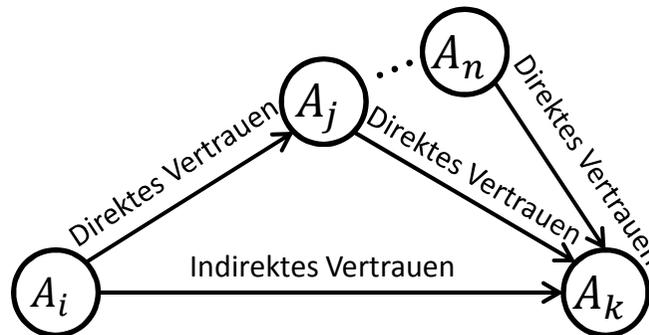


# Ergebnis: Glaubwürdigkeit als VF

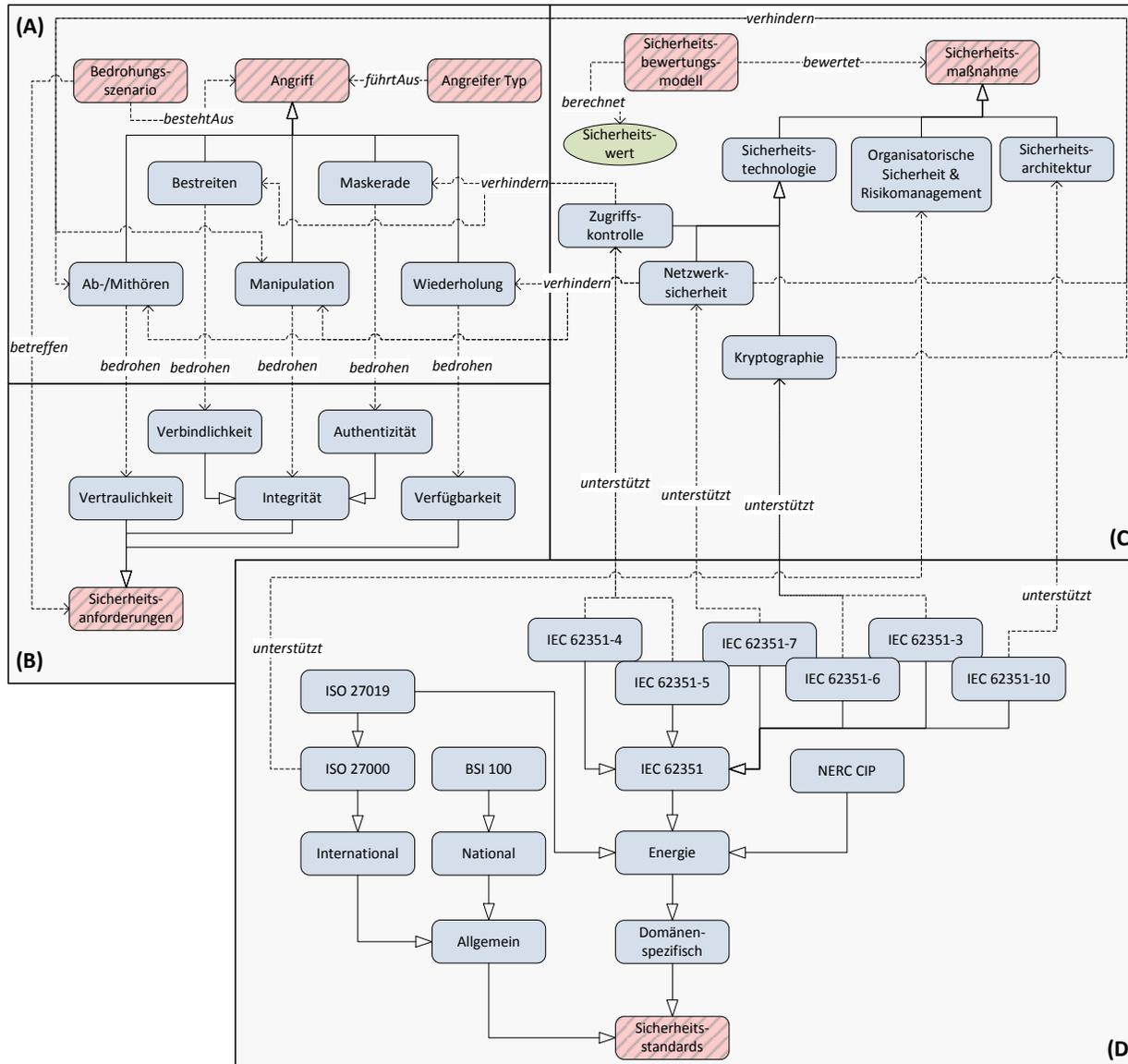
## Gesamtglaubwürdigkeit

- Gesamtglaubwürdigkeit zur Verwendung in der Verbundbildung besteht aus eigenen Erfahrungen (direkt) und Empfehlungen anderer Agenten (indirekt)
- Berechnung gemäß Anzahl gespeicherter singulärer Glaubwürdigkeitswerte bei Agent  $A_i$ :

$$G_{ges}(A_i, A_j) = \left\{ \begin{array}{l} G_{ges}^{dir}(A_i, A_j), \text{ wenn } \#(G(A_i, A_j)) > x \\ G_{ges}^{ind}(A_i, A_k), \text{ wenn } \#(G(A_i, A_j)) = 0 \\ \frac{1}{2}(G_{ges}^{dir}(A_i, A_j) + G_{ges}^{ind}(A_i, A_k)), \text{ wenn } 0 < \#(G(A_i, A_j)) \leq x \end{array} \right\}$$

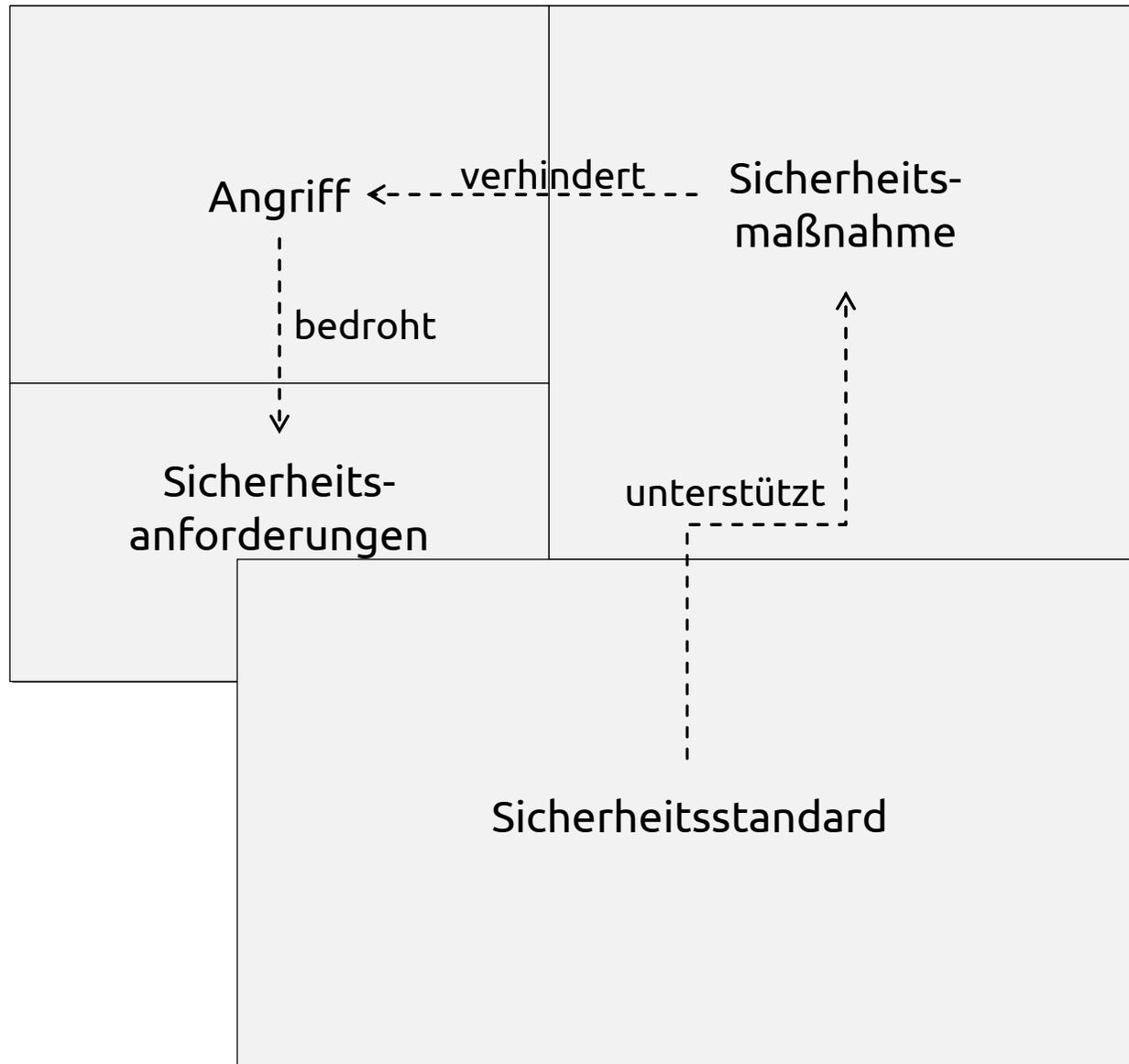


# Ergebnis: Informationssicherheit als VF Sicherheitsbewertungsmodell



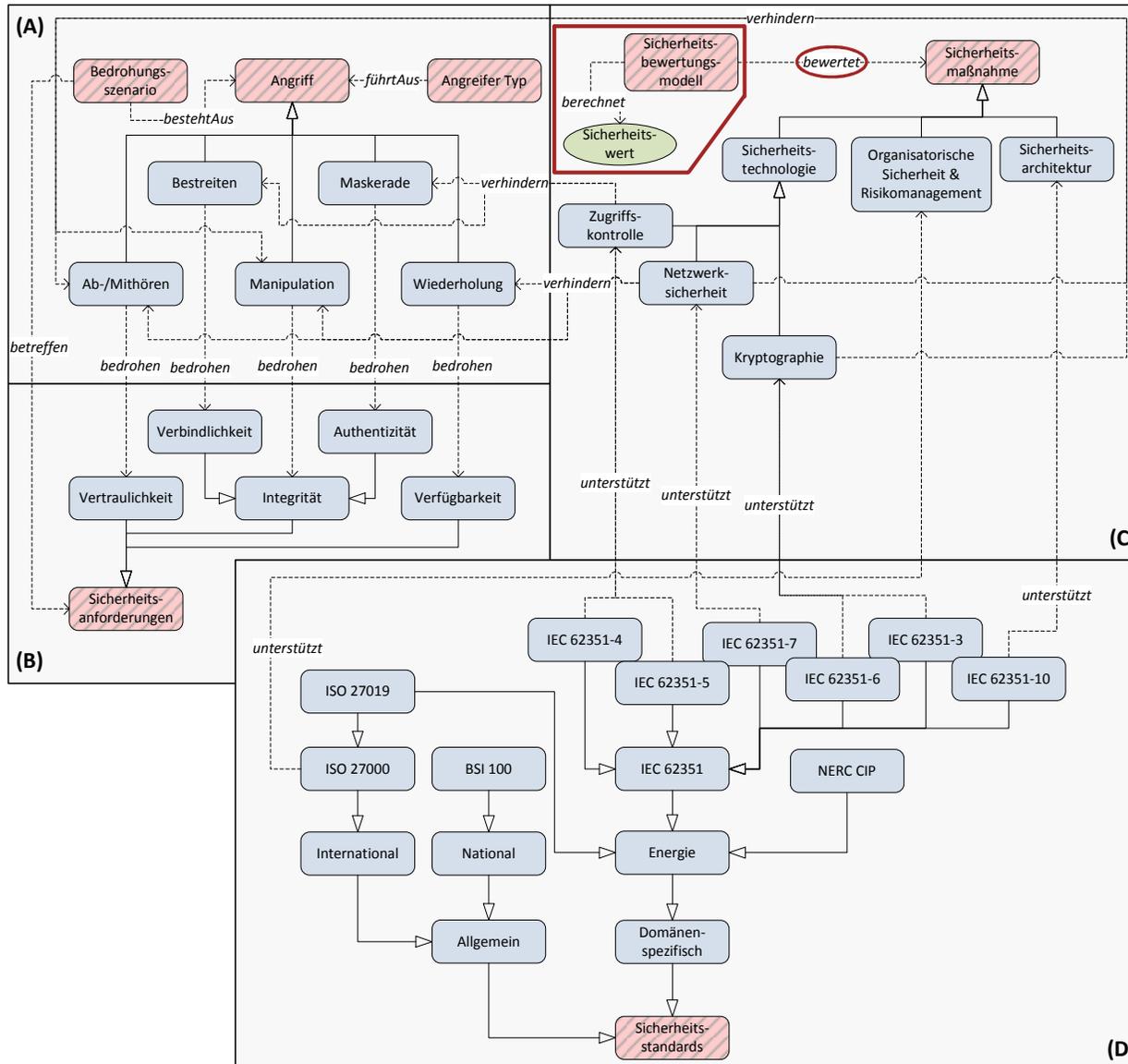
- Annahme von höherer Vertrauenswürdigkeit bei Einsatz von mehr
  - Sicherheitsmaßnahmen
  - Sicherheitsstandards

# Ergebnis: Informationssicherheit als VF Sicherheitsbewertungsmodell



- Annahme von höherer Vertrauenswürdigkeit bei Einsatz von mehr
  - Sicherheitsmaßnahmen
  - Sicherheitsstandards

# Ergebnis: Informationssicherheit als VF Sicherheitsbewertungsmodell



- Annahme von höherer Vertrauenswürdigkeit bei Einsatz von mehr

- Sicherheitsmaßnahmen
- Sicherheitsstandards

- Zusammensetzung Sicherheitswert

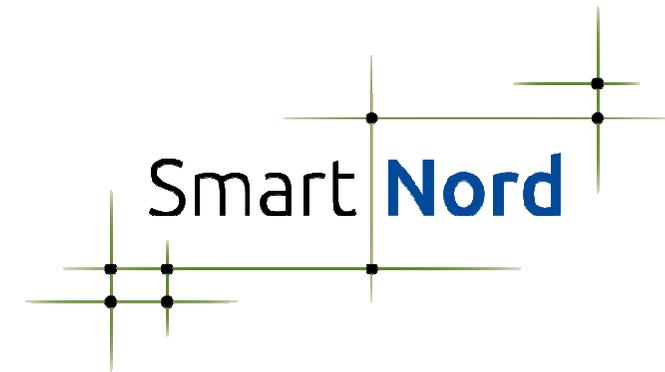
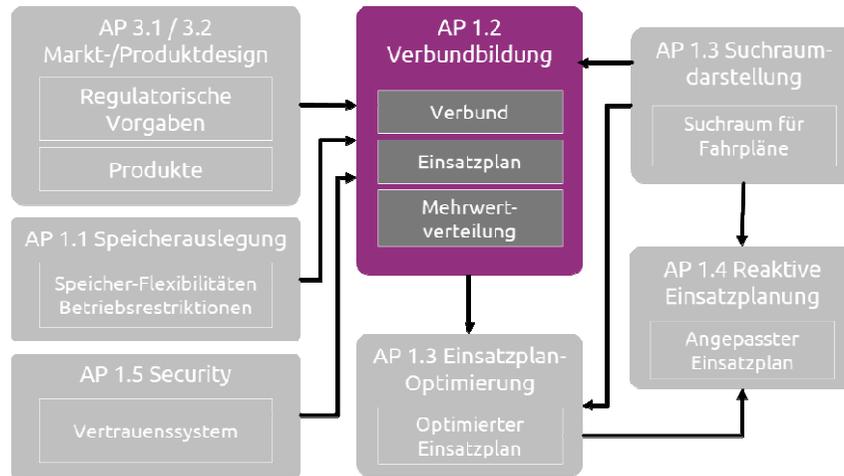
- Sicherheitsanforderungen
- Sicherheitsstandards
- Priorisierung der Sicherheitsanforderungen

$$Sec(Agent) = \frac{\sum_{i=1}^{\#secreq} A(i) * St(i) * Prio(i)}{\sum_{j=1}^{\#secreq} Prio(j)}$$

# Ergebnis: Informationssicherheit als VF

## Berechnung Sicherheitsbewertung

	Sicherheitsanforderungen: Agent A <sub>1</sub>					Sicherheitsanforderungen: Agent A <sub>2</sub>				
	Authentizität	Integrität	Vertraulichkeit	Verfügbarkeit	Verbindlichkeit	Authentizität	Integrität	Vertraulichkeit	Verfügbarkeit	Verbindlichkeit
<b>Einzelbewertung</b>	0.8	0.6	0.5	0	0	0.5	0.4	0.8	0	0
<b>Standardbasiert (j/n)</b>	n	y	y	-	-	n	n	y	-	-
<b>Priorität</b>	4	3	3	1	2	4	3	3	1	2
<b>Produkt</b>	3.2	2.16	1.8	0	0	2.0	1.2	2.88	0	0
<b>Gesamtbewertung</b>	$\frac{3.2 + 2.16 + 1.8 + 0 + 0}{4 + 3 + 3 + 1 + 2} = 0.55$					$\frac{2.0 + 1.2 + 2.88 + 0 + 0}{4 + 3 + 3 + 1 + 2} = 0.47$				



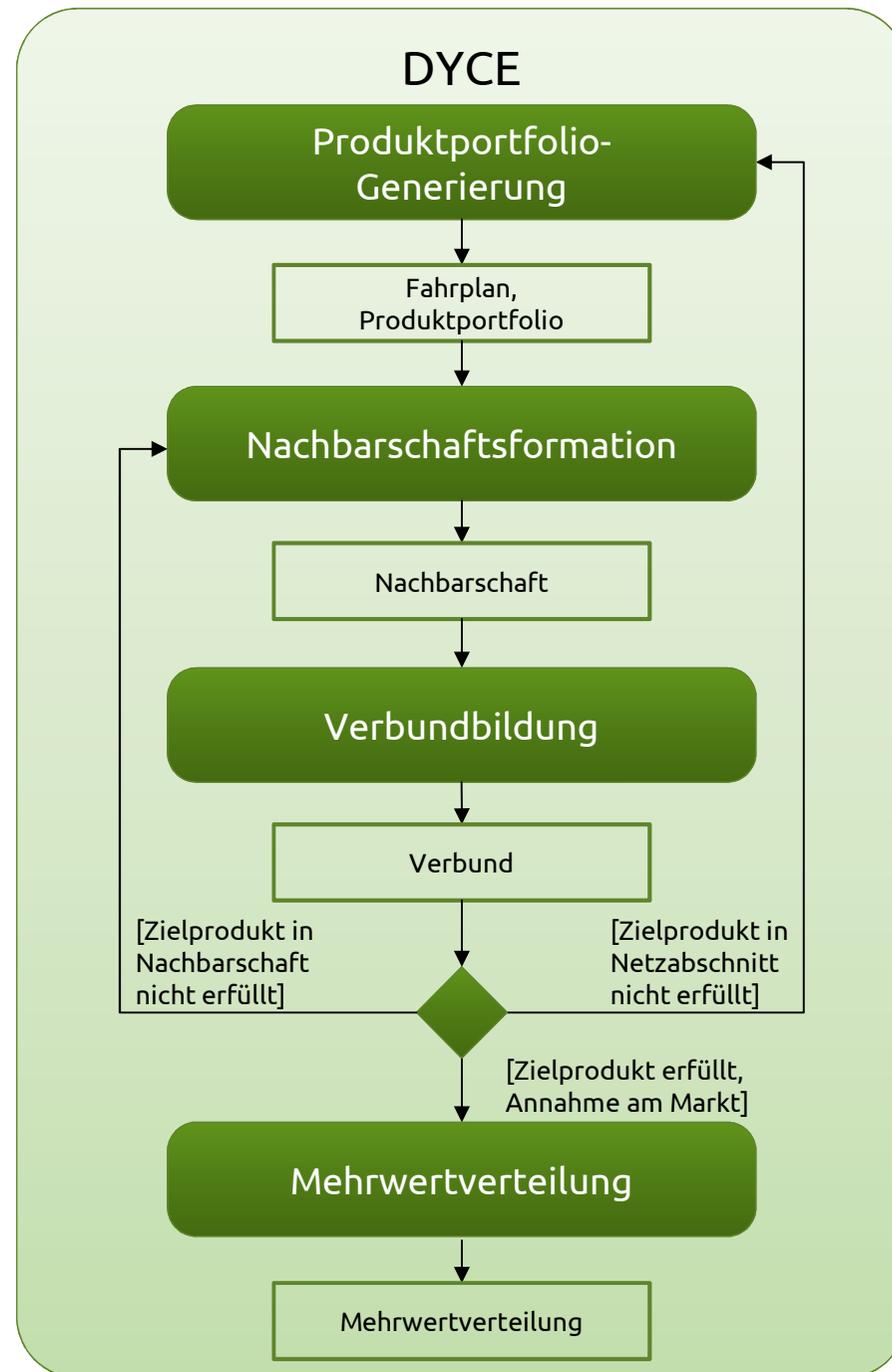
# Wirkleistungs-Verbundbildung

## Arbeitspaket 1.2

Sebastian Beer (OFFIS)

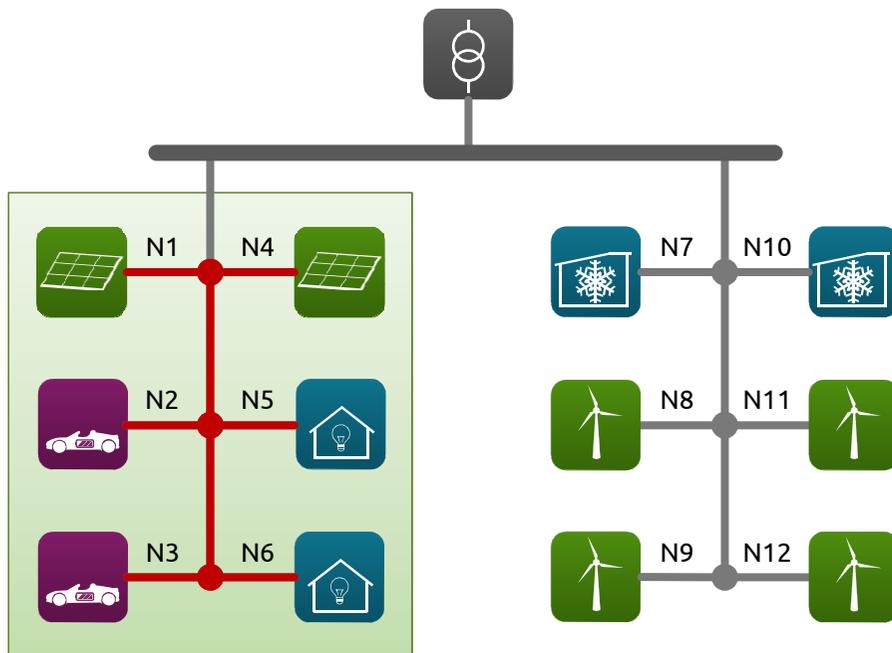
Prof. Dr. Dr. h.c. Hans-Jürgen Appelrath (OFFIS)





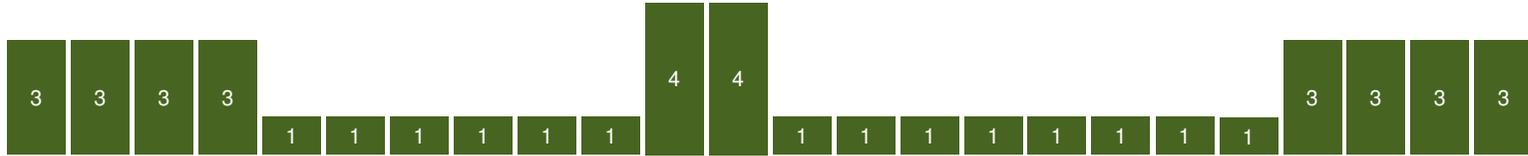
# Nachbarschaftsformation

Netz  $G$



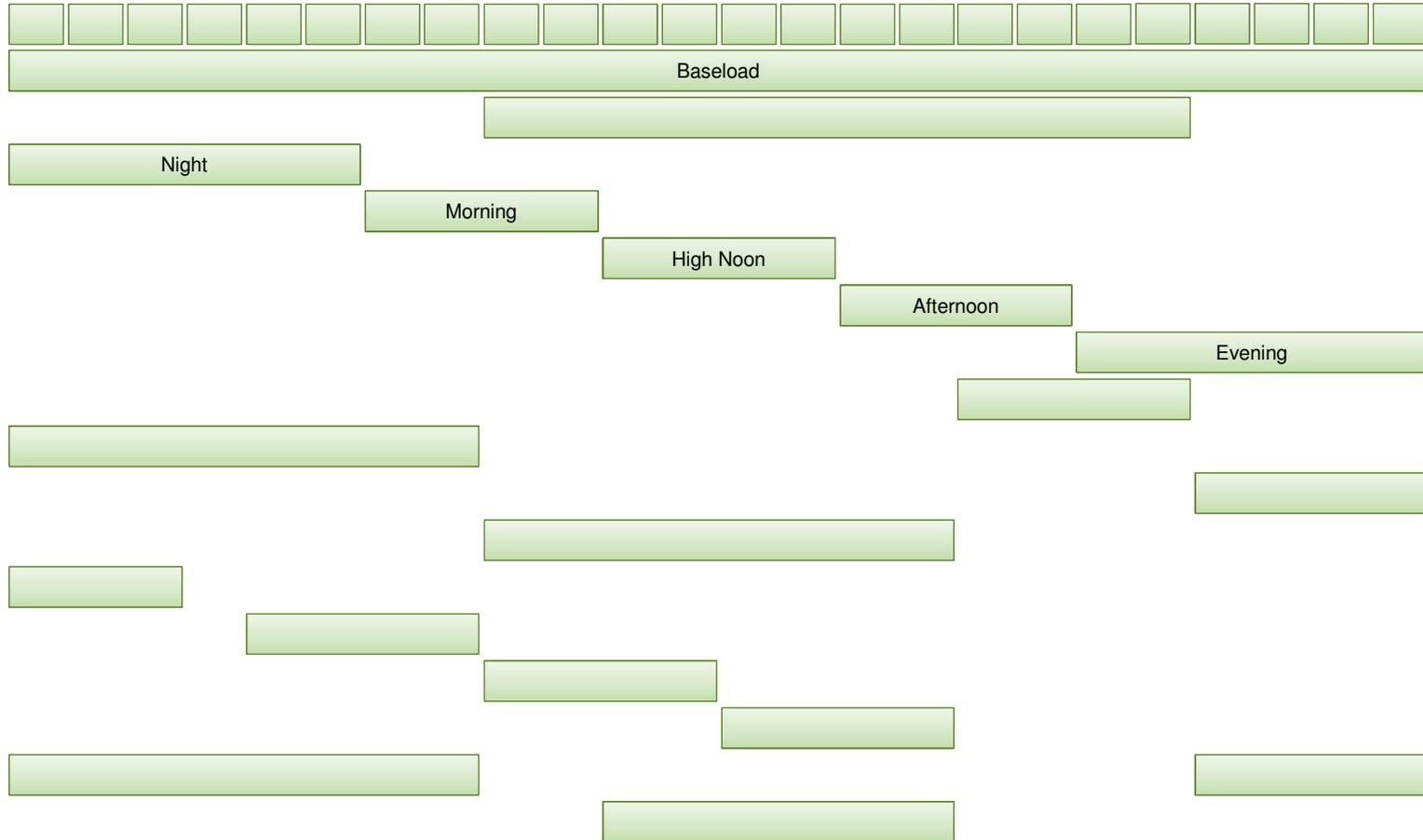
Knotendistanzmatrix  $M_G$

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
N1		4	6	2	4	6	12	14	16	12	14	16
N2	4		4	4	2	4	14	16	18	14	16	18
N3	6	4		6	4	2	18	20	22	18	20	22
N4	2	4	6		4	6	12	14	16	12	14	16
N5	4	2	4	4		4	14	16	18	14	16	18
N6	6	4	2	6	4		16	18	20	16	18	20
N7	12	14	18	12	14	16		4	6	2	4	6
N8	14	16	20	14	16	18	4		4	4	2	4
N9	16	18	22	16	18	20	6	4		6	4	2
N10	12	14	18	12	14	16	2	4	6		4	5
N11	14	16	20	14	16	18	4	2	4	4		4
N12	16	18	22	16	18	20	6	4	2	5	4	

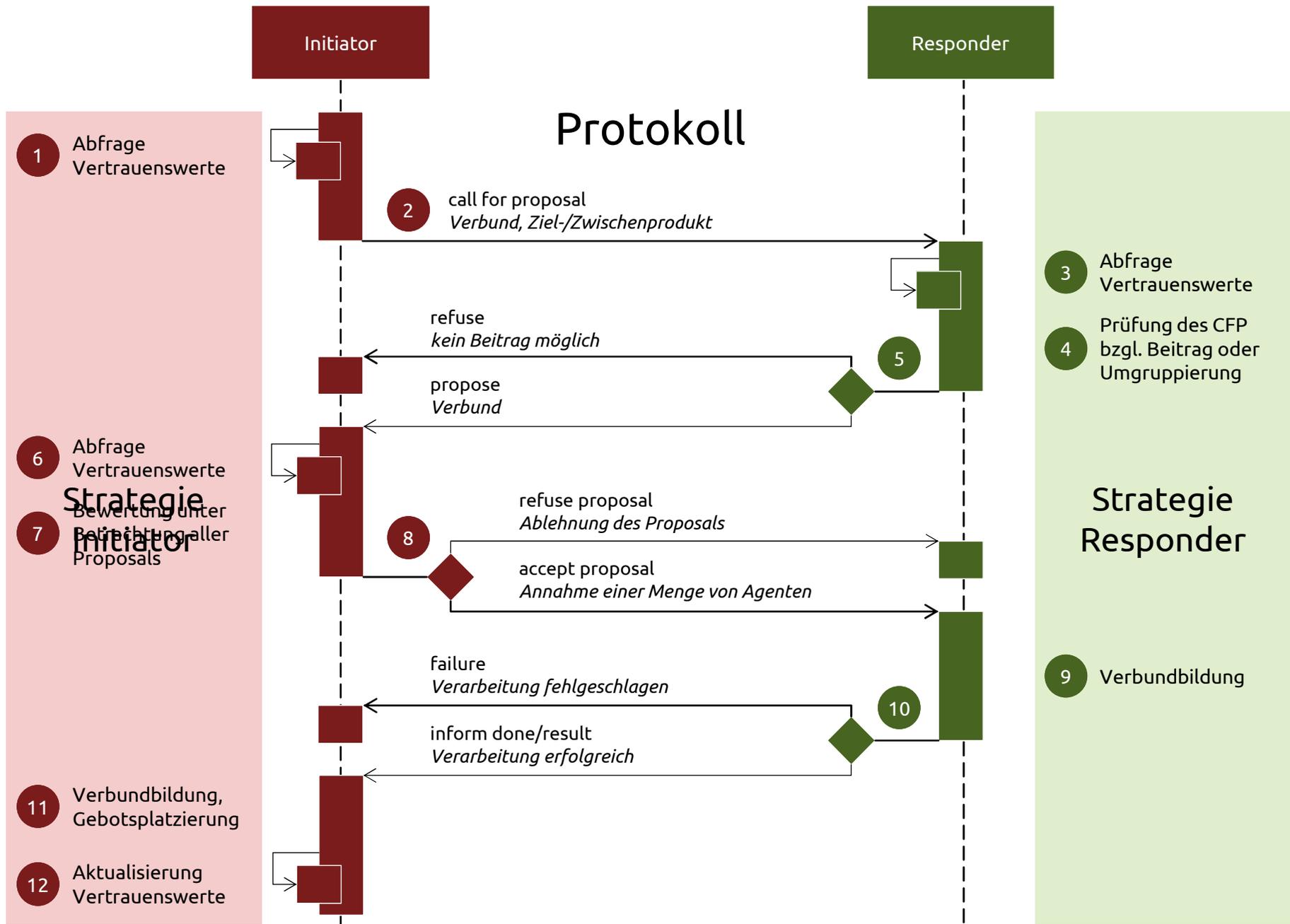


Fahrplan

Handelbare Produktzeiträume EPEX SPOT

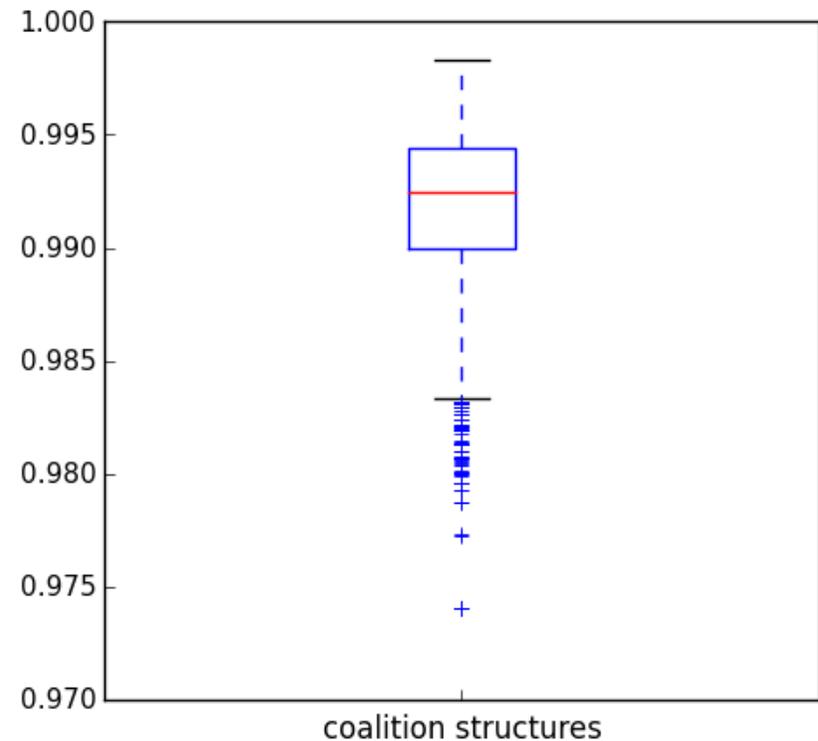
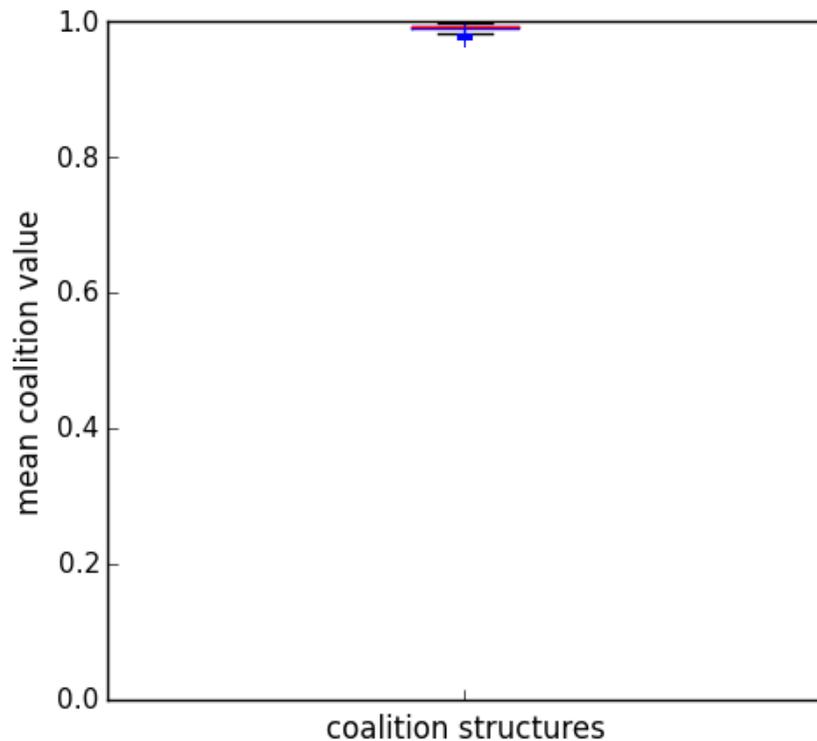


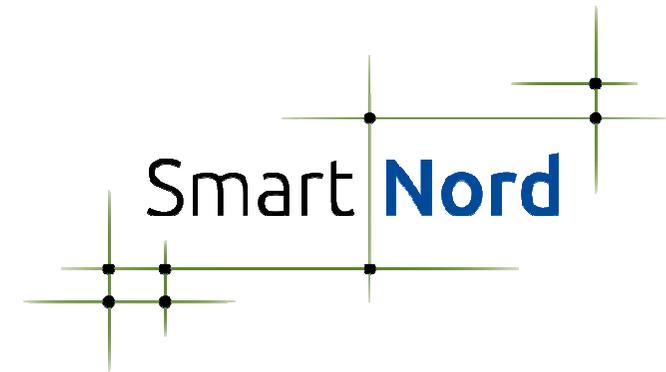
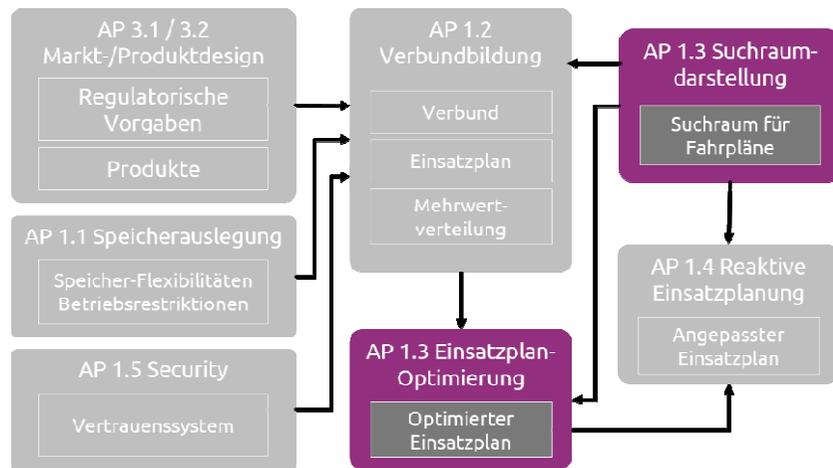
Produktportfolio



# Evaluation Verbundbildung

Annäherung an globales Optimum bei über 16000 Versuchsläufen mit 1000-2000 Einheiten





# Einsatzplan-Optimierung

## Arbeitspaket 1.3

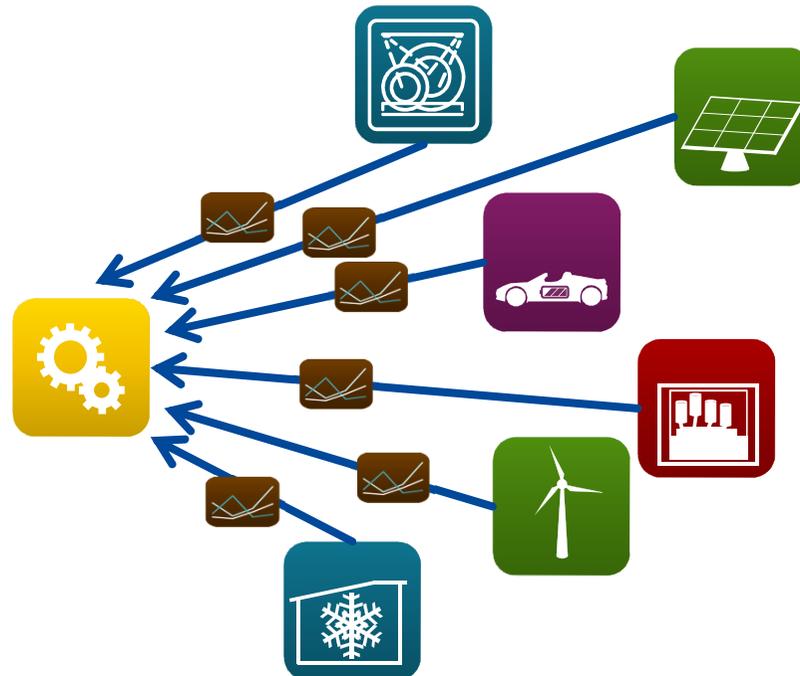
Jörg Bremer (Universität Oldenburg)

Prof. Dr. Michael Sonnenschein (Universität Oldenburg)



# Ziele

Voraussetzung für die Akzeptanz vom Planungsalgorithmen im Smart Grid: Zulässigkeit der Lösung!



# Ziele

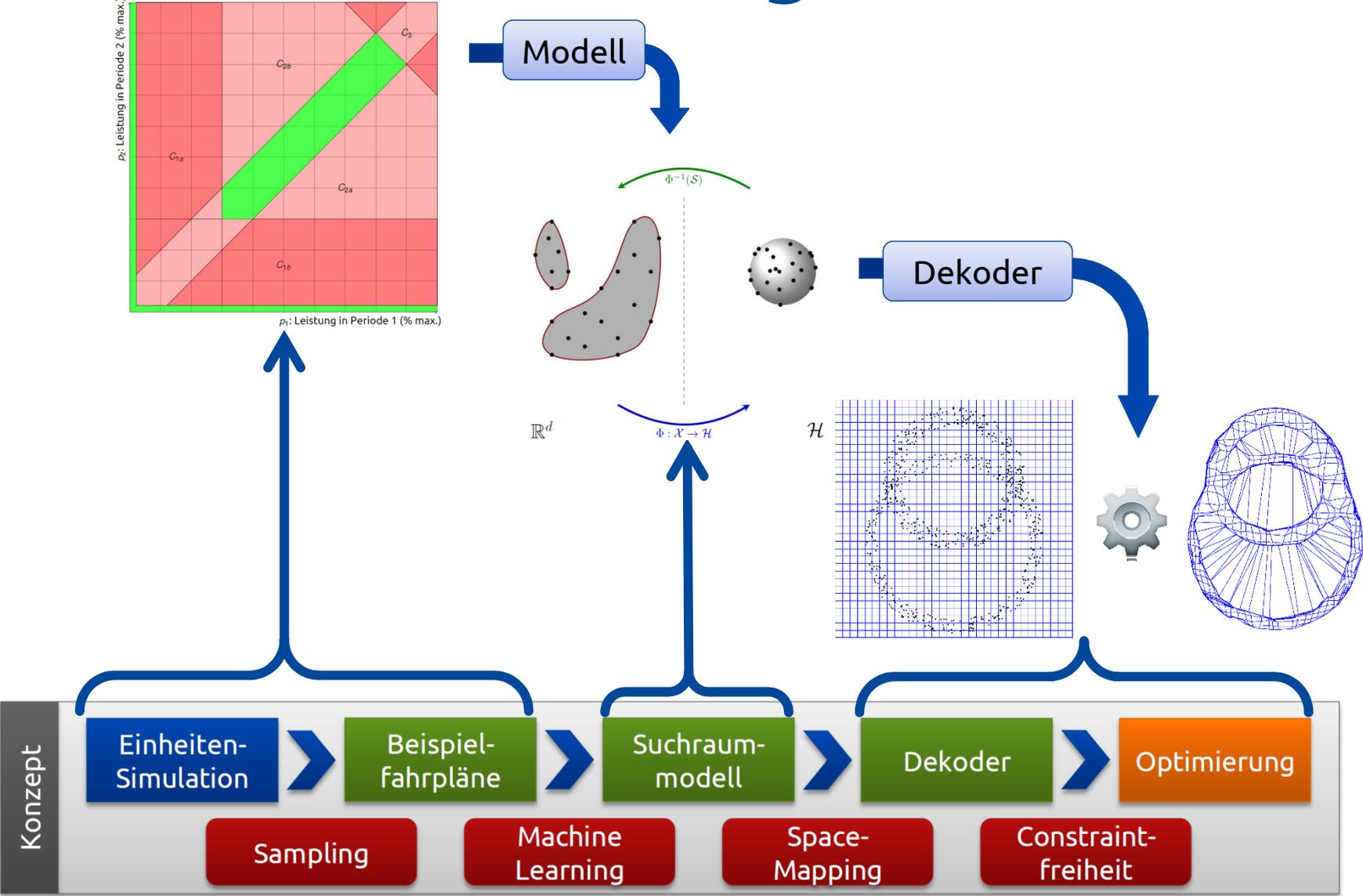
Voraussetzung für die Akzeptanz von Planungsalgorithmen im Smart Grid:  
Zulässigkeit der Lösung!

Frage: Wie können individuelle Flexibilitäten, Nebenziele, Vorlieben, Kostenkalkulationen, usw. bei der Optimierung berücksichtigt werden?

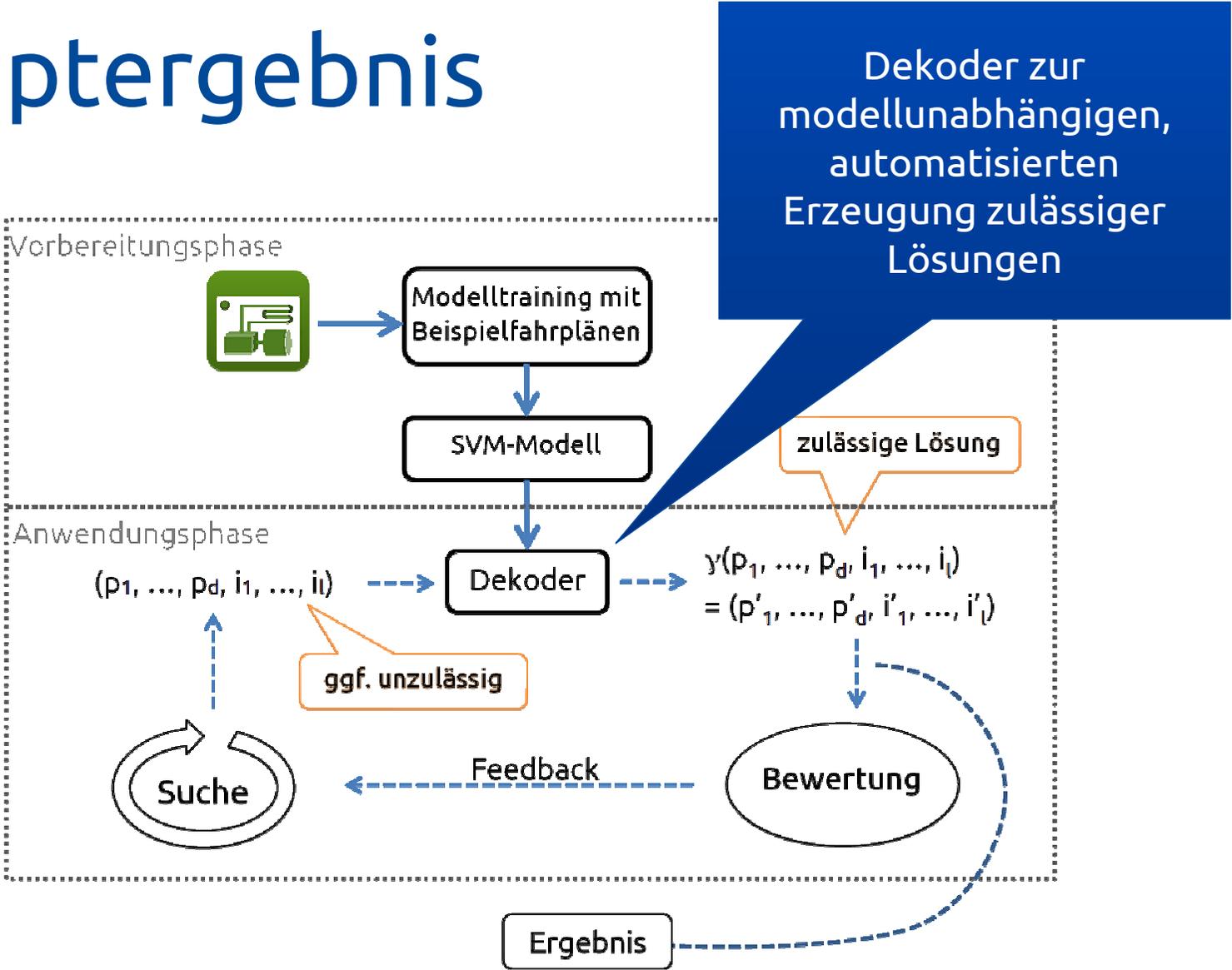
# Verwandte Arbeiten

- Statisches, zentrales Optimierungsmodell
  - Zu unflexibel für DVPP
- Individuelle Anlagenmodellierung
  - Expertenwissen für individuelle Anpassung der Optimierungsmodelle notwendig
- Modellintegration
  - Entweder Spezialentwicklung je Anlage, oder
  - **Abstraktion notwendig, um automatisierte Verarbeitung durch autonome Agenten zu unterstützen**

# Methodisches Vorgehen

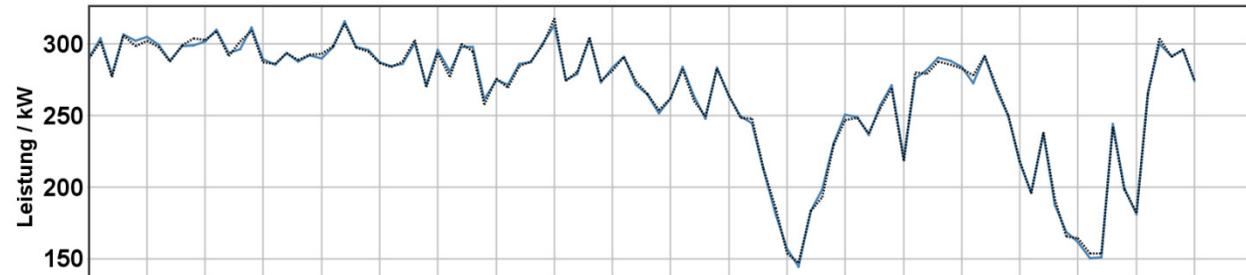


# Hauptergebnis



# Anwendungsbeispiel

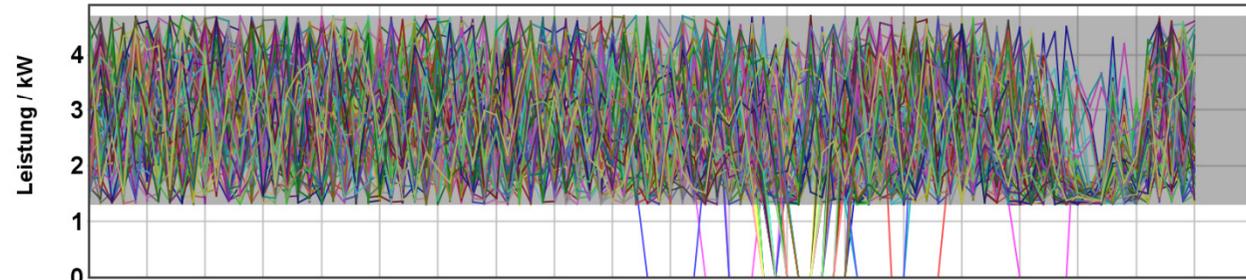
Ziellastgang und  
erzielter Einsatzplan



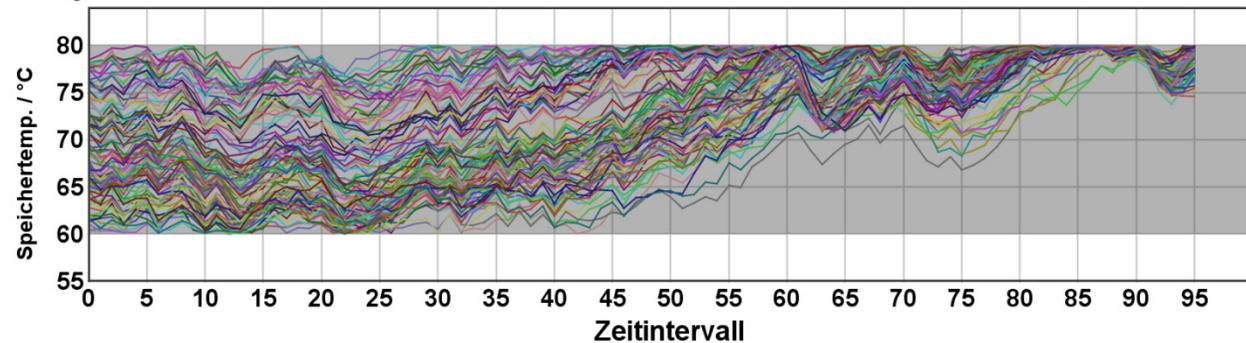
Restfehler

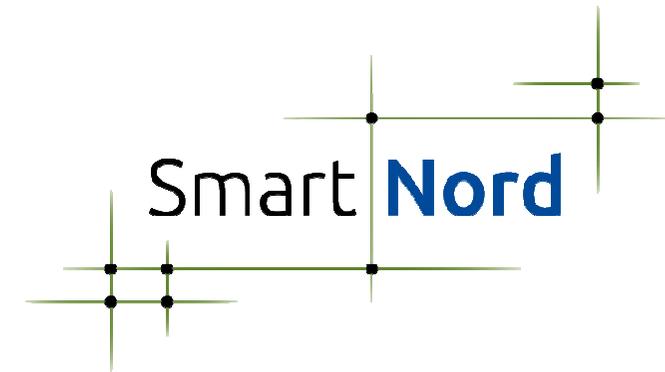
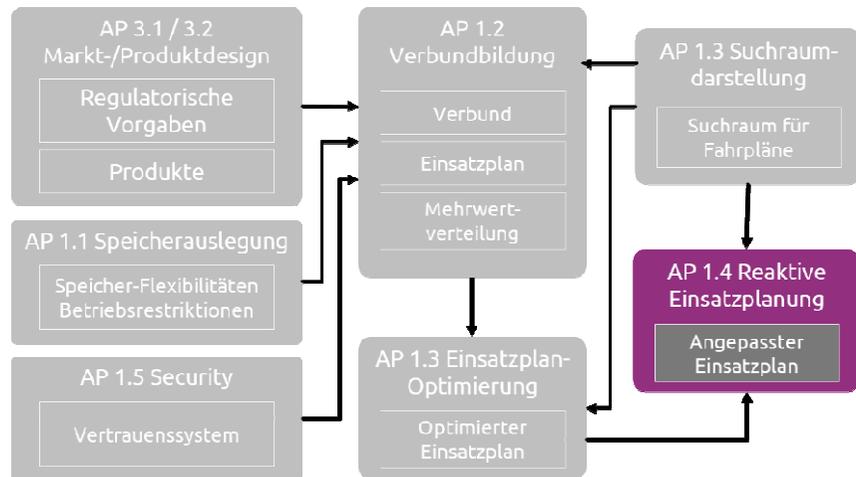


Einzelfahrpläne im  
zulässigen  
Leistungsbereich  
für 100 BHKW



Füllstand  
thermischer  
Speicher im  
zulässigen Bereich





# Reaktive Einsatzplanung

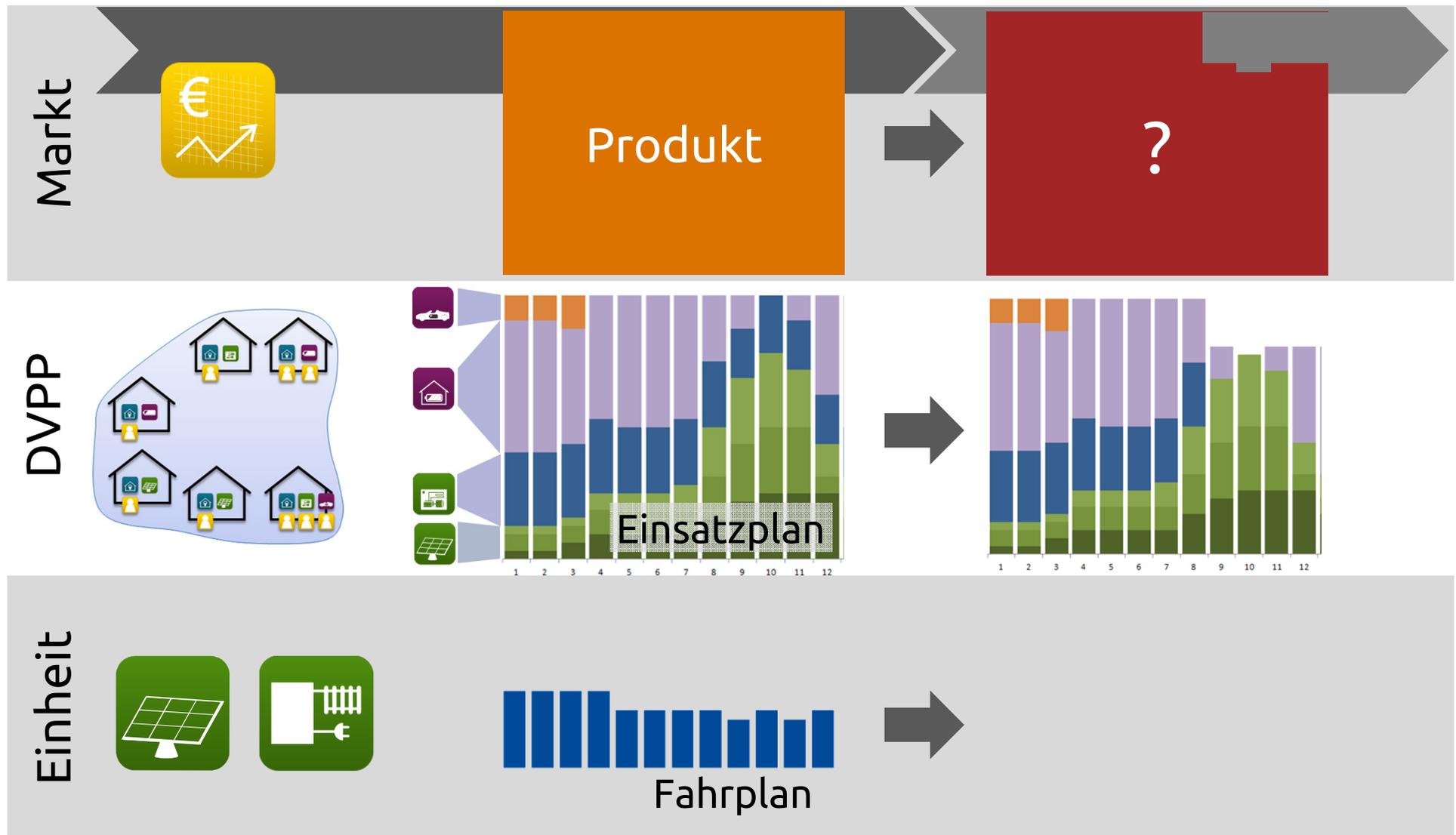
Arbeitspaket 1.4

Astrid Nieße (OFFIS)

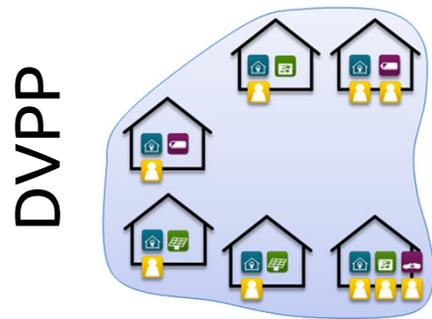
Prof. Dr. Michael Sonnenschein (OFFIS)



# Ziele



# Ziele



**Ziel der kontinuierlichen Einsatzplanung:**  
So umplanen, dass Produkte **genau** und **kostengünstig** erfüllt werden.



## Forschungsfrage

Unter welchen Randbedingungen und mit welchen Anpassungen sind Verfahren aus dem Bereich der **Agentensysteme** und **Selbstorganisation** für die **kontinuierliche Einsatzplanung** dynamischer Virtueller Kraftwerke anwendbar?

## Ziel des Arbeitspaketes

Entwicklung eines Verfahrens zur kontinuierlichen Einsatzplanung

- Erkennung und Ermittlung des Planungsbedarfs
- Handlungsableitung: Generieren neuer, gültiger Fahrpläne
- Beachtung der anwendungsspezifischen Constraints
- Umzusetzen als verteiltes und selbstorganisierendes Verfahren



# Verwandte Arbeiten

	Holon. VK	AVPP	Stigspace	COHDA	ALMA
KEP	+	--	--	--	+
Fahrpläne	+	+	--	+	--
Produkte	--	--	--	--	--
Soft-Constraints	+	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Private Constraints	+	+	+	+	--
Dezentrale Gütebewertung	--	--	+		--

[Tröschel10] [Anders10] [Li07] [Hinrichs13] [Pournaras13]



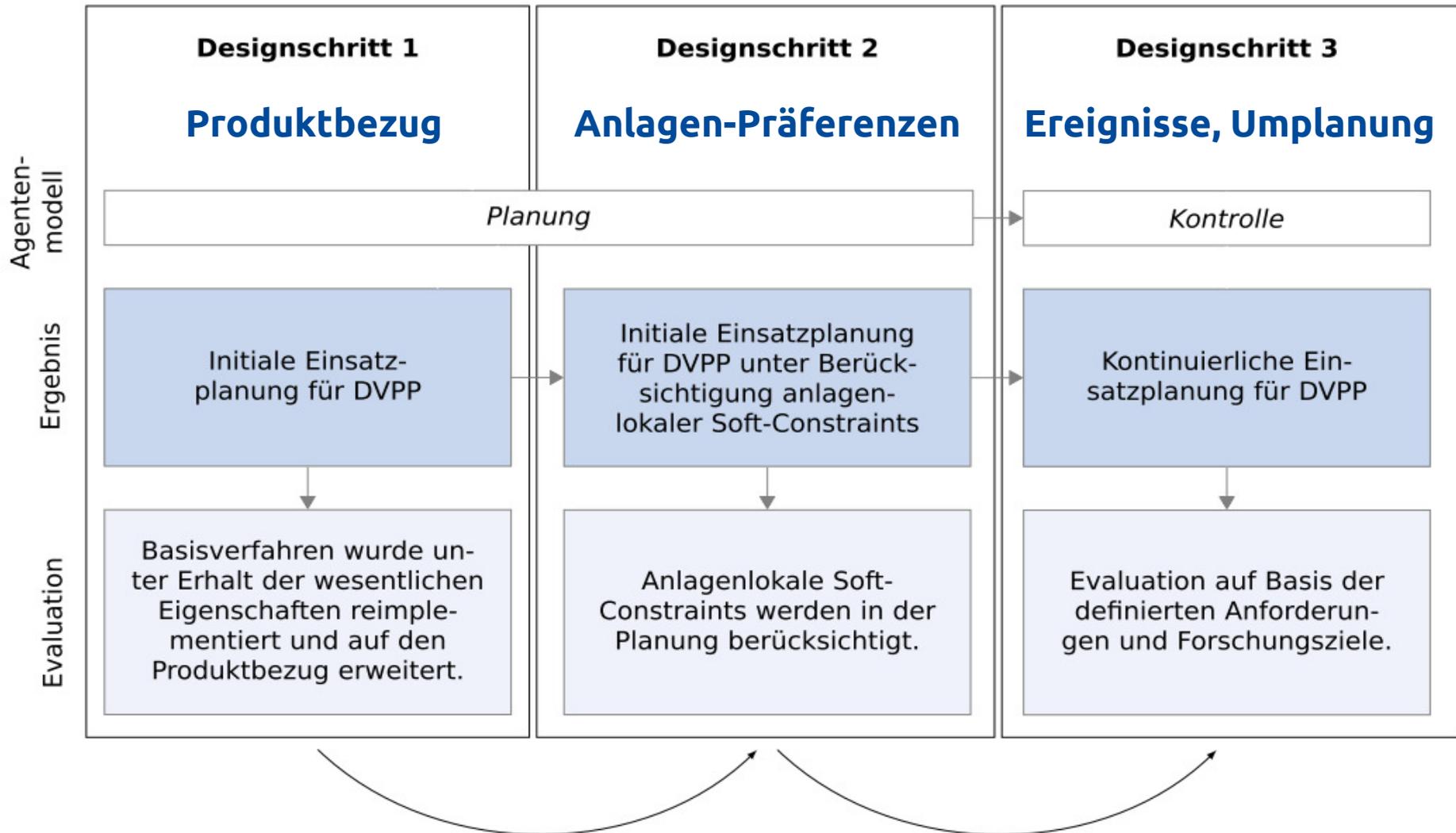
Führt zum Ausschluss des Verfahrens

k.A.: keine Angabe



Ausschlaggebend zur Verwendung (bzw. Übertragung)

# Methodik: Ableitung von Erweiterungsbedarf und Designschritten



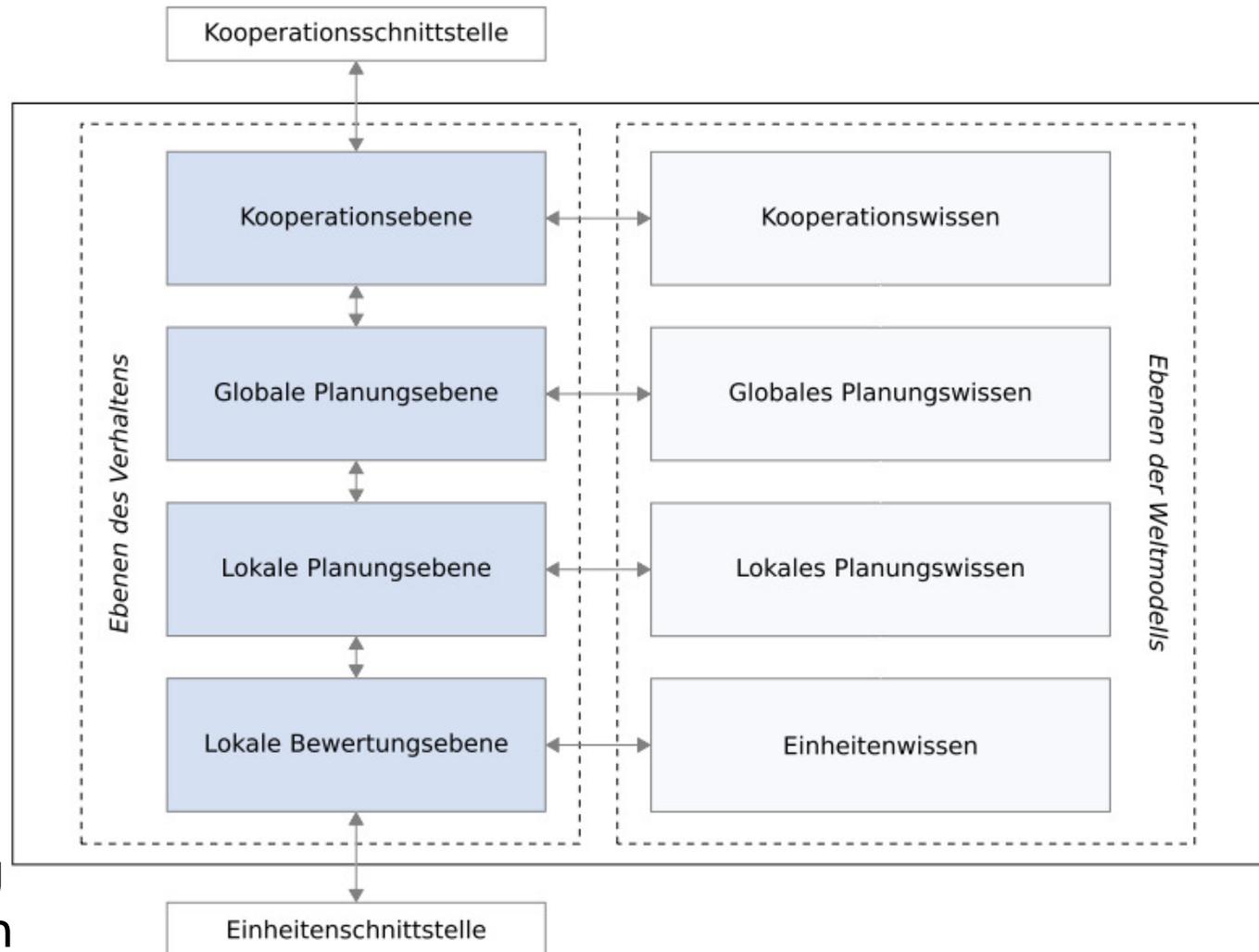
# Wesentliches Ergebnis: DynaSCOPE

Dynamic Scheduling Constraint Optimization for Energy Units

Agenten bilden Welt- und Agenten-Wissen in einem Schichtenmodell ab (hybride Architektur).

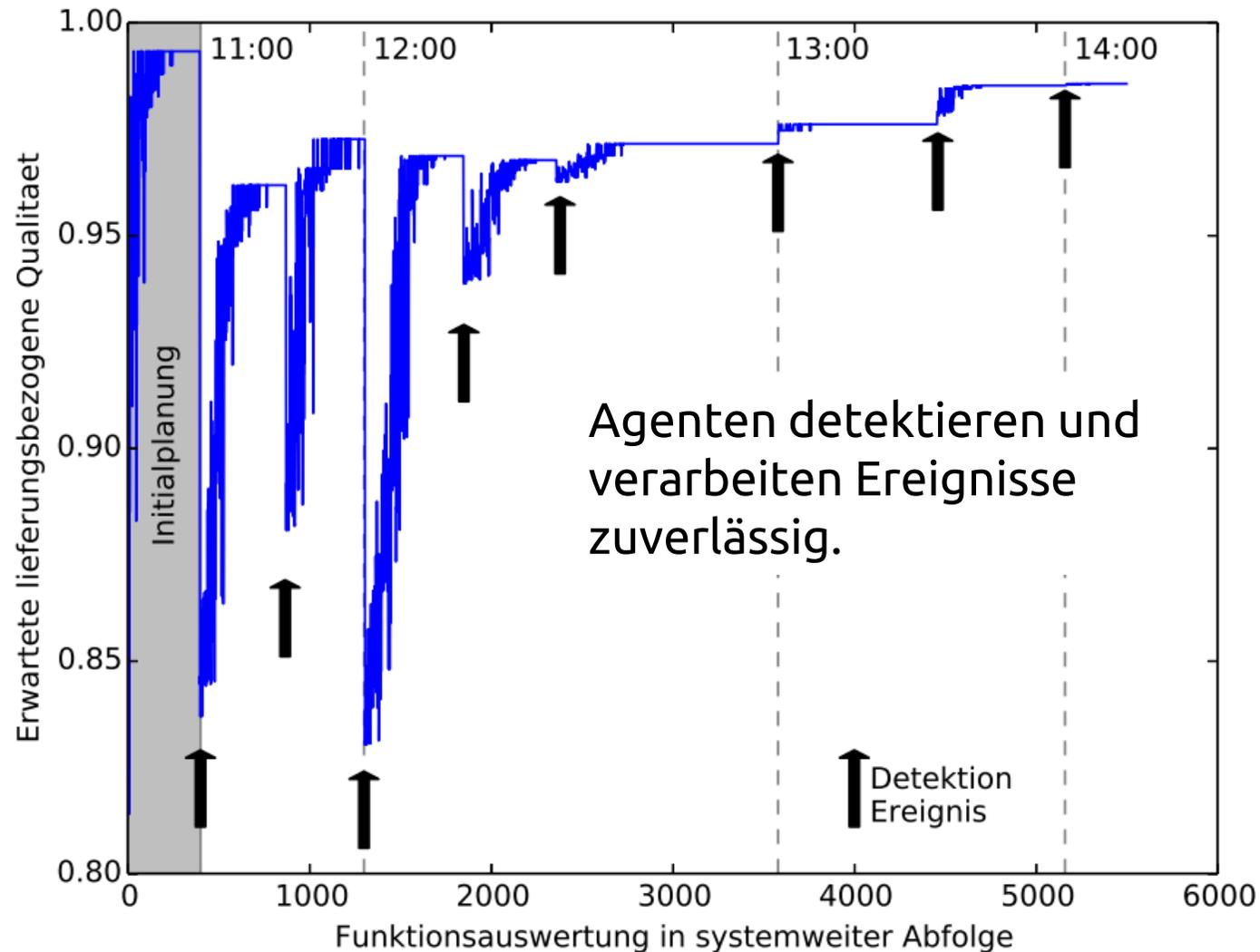
Ereignisse werden von der lokalen Ebene erkannt und ggf. eskaliert.

Agenten kommunizieren in einem vollständig verteilten Verfahren



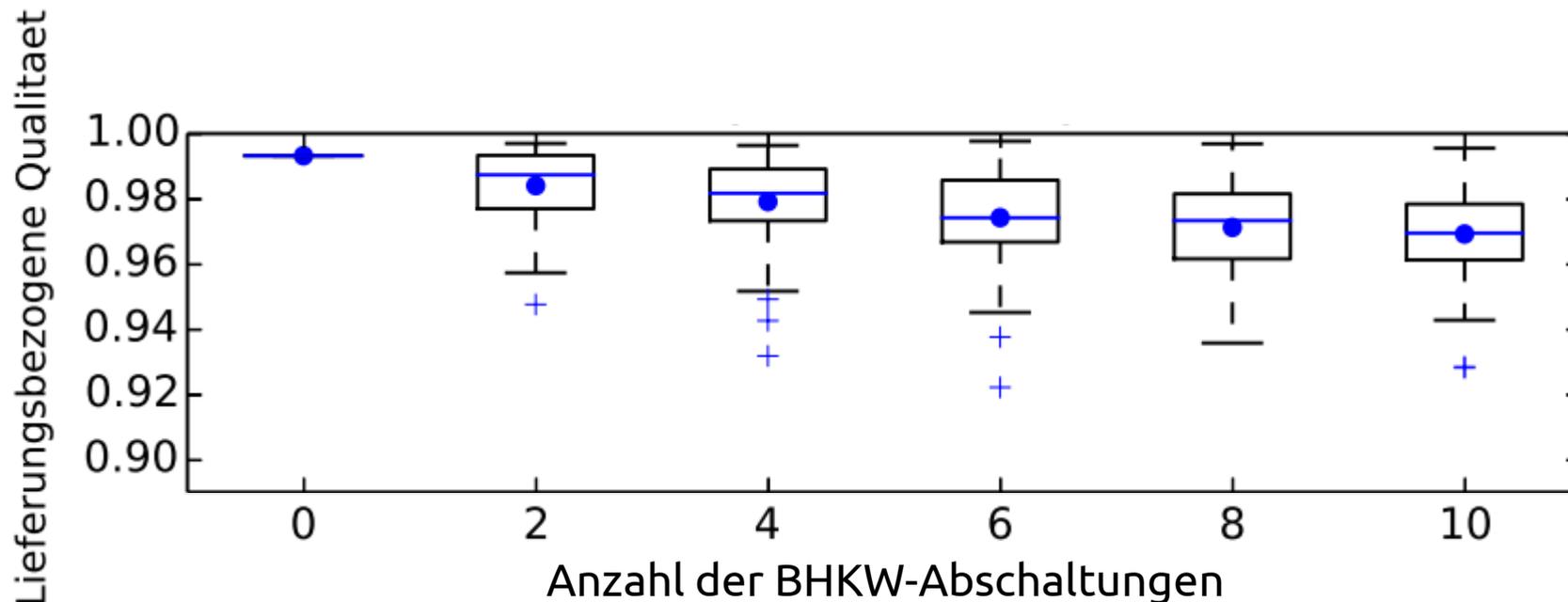
# Wesentliches Ergebnis: DynaSCOPE

Dynamic Scheduling Constraint Optimization for Energy Units



# Wesentliches Ergebnis: DynaSCOPE

Dynamic Scheduling Constraint Optimization for Energy Units

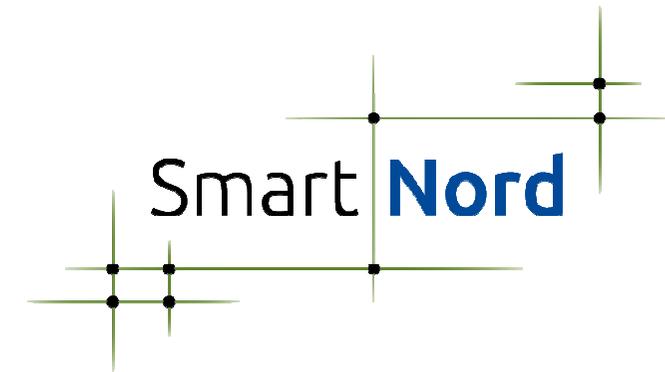
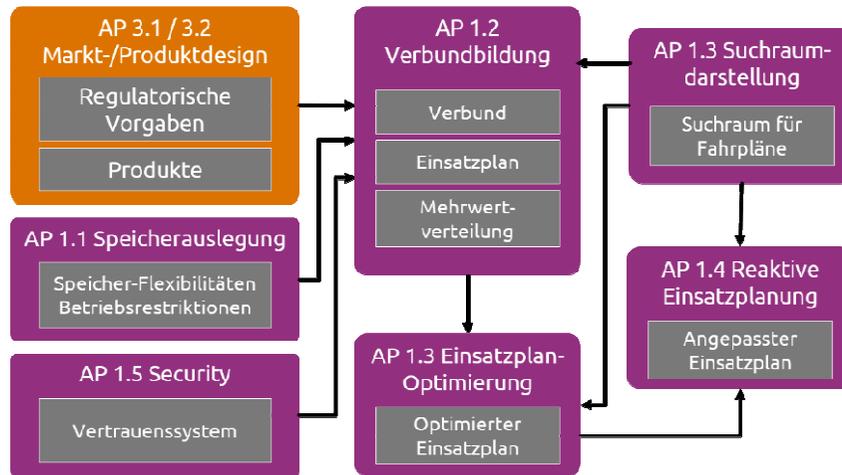


Die kooperative Umplanung führt dazu, dass bei der Detektion von Ereignissen ein ungültiger Einsatzplan durch einen neuen, gültigen Einsatzplan ersetzt wird, so dass das Produkt möglichst gut erfüllt wird.

20 BHKW, 20 PV-Anlagen, 10 Wärmepumpen. Produkt: 4 Stunden

Ereignisse: 30 Minuten BHKW-Abschaltung, zufallsverteilt

Ergebnisse aus jeweils 100 Simulationen mit geänderter Zufallsverteilung



# Teilprojekt 1 – Gesamtevaluation

Konzept der DVPP

# Ergebnisse

1. Prozessintegration der Methoden zur Steuerung der DVPP
2. Exemplarische Untersuchung der Szenarien 2011 und 2030 für die Verbundbildung
3. Untersuchung kritischer Technologiefelder zur Einführung im Feld:
  - IKT-Konnektivität der Komponenten
  - Innovative Handelsleitsysteme
  - Bidirektionale Anlagenkommunikation

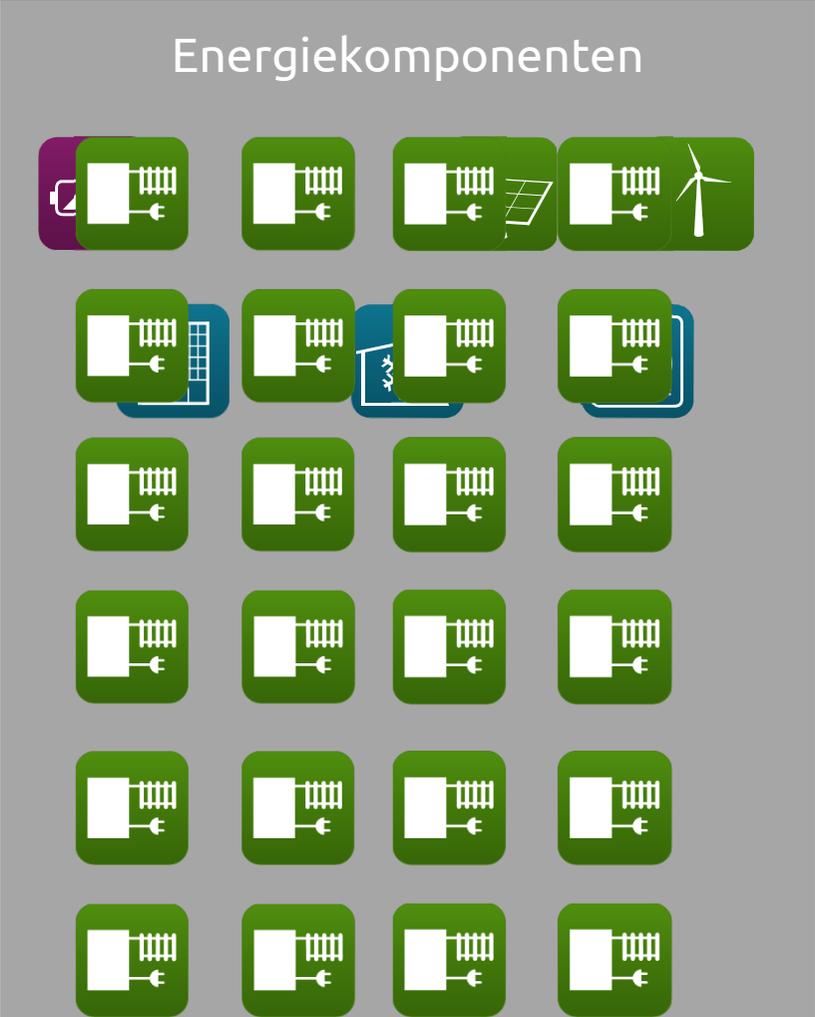
# Prozessintegration



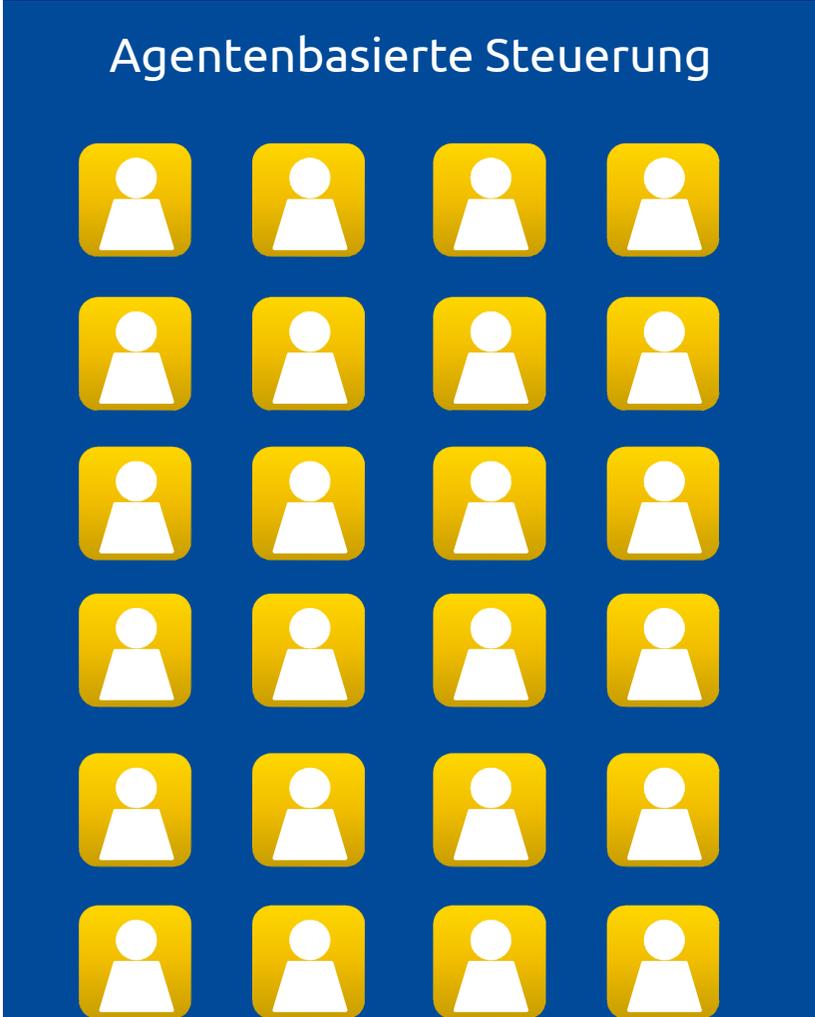
Day-Ahead

Simulation

Energiekomponenten



Agentenbasierte Steuerung



Intra-Day

P

# Prozessintegration



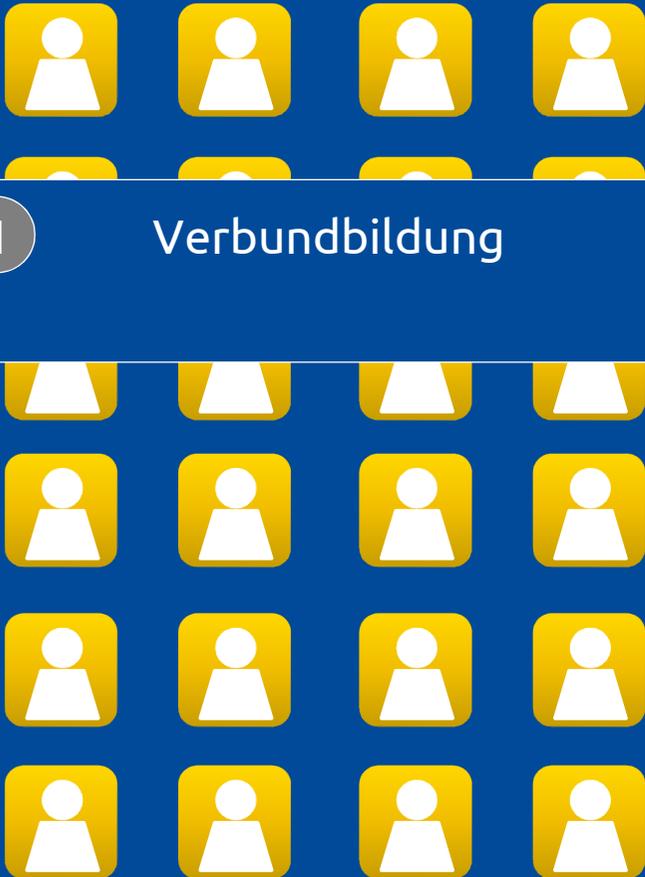
Day-Ahead

Simulation

Energiekomponenten



Agentenbasierte Steuerung



1 Verbundbildung

Intra-Day

P

# Prozessintegration



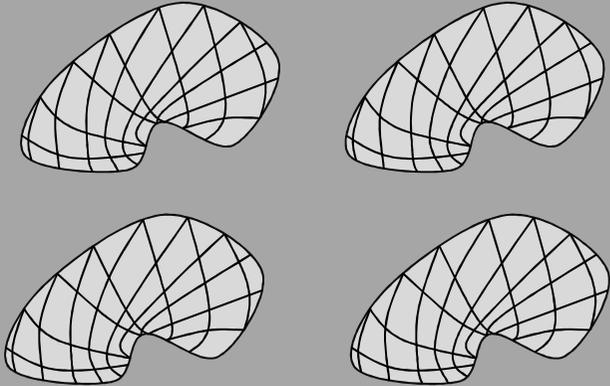
Day-Ahead

Simulation

Energiekomponenten



Planungsoptionen aus Suchraummodell



Intra-Day

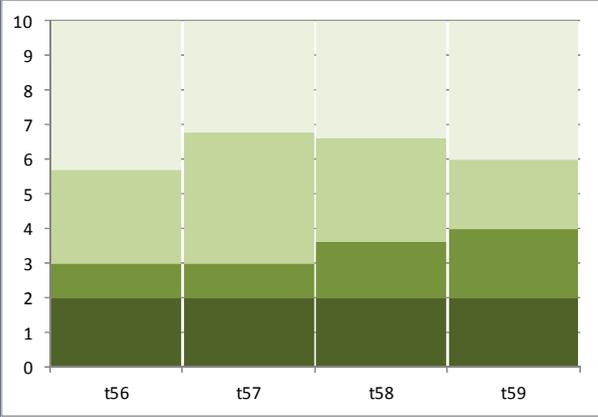
P

Agentenbasierte Steuerung



1

Verbundbildung



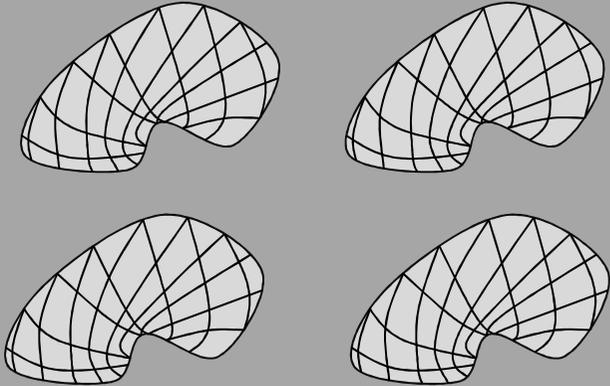
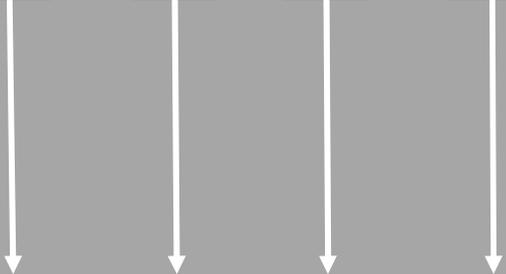
# Prozessintegration



Day-Ahead

Simulation

Energiekomponenten



Intra-Day

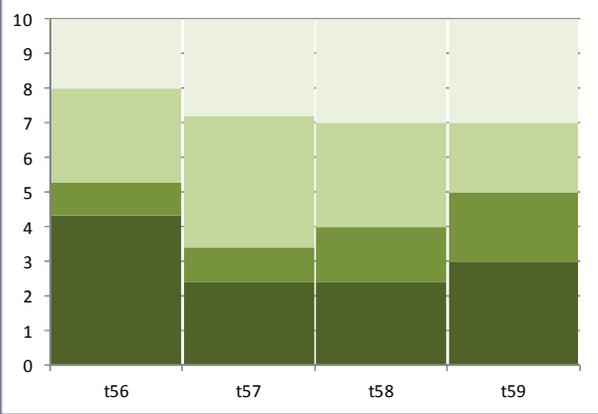
P

Agentenbasierte Steuerung

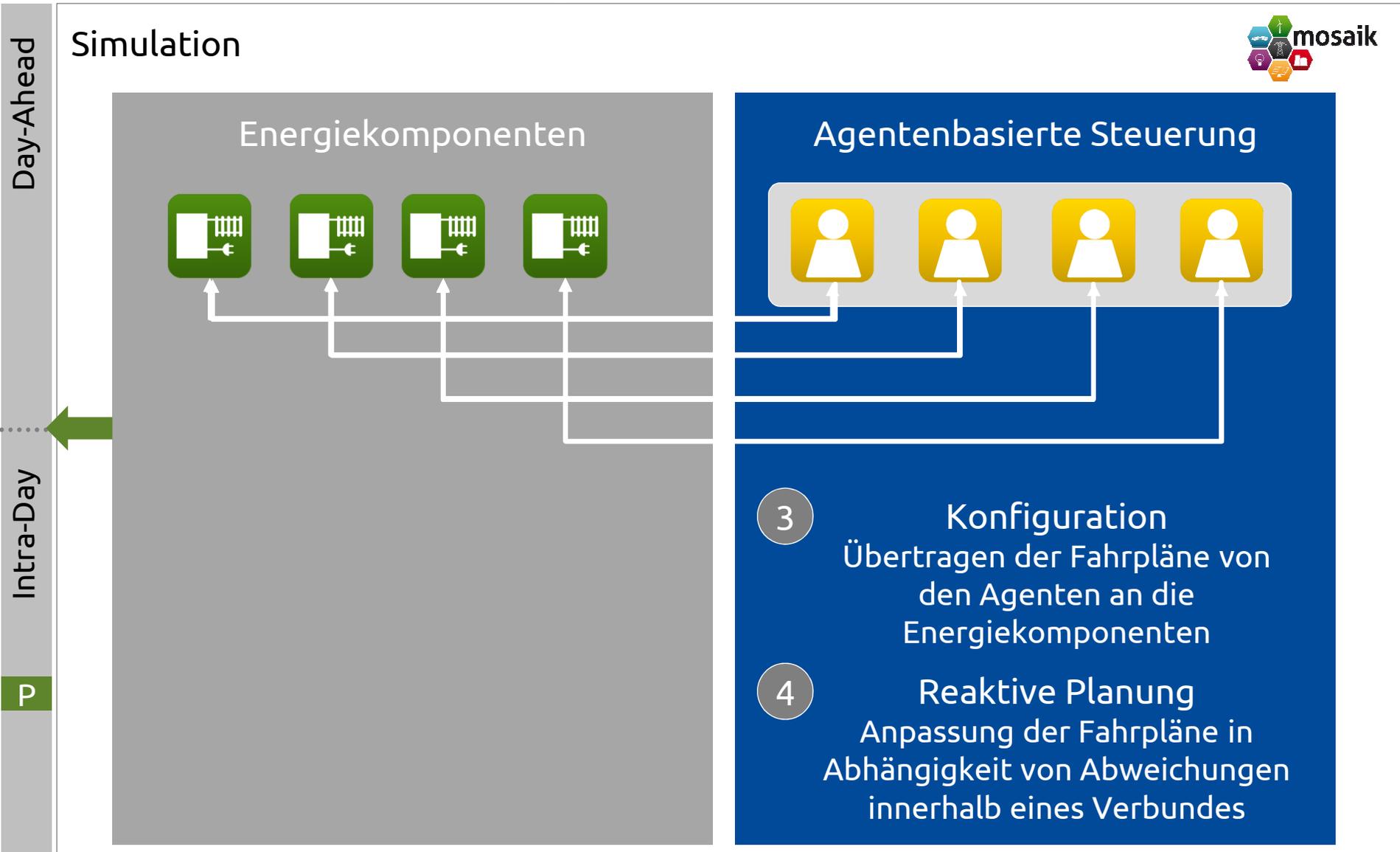


2

Initiale Einsatzplanung  
Verwendung von aktuellem  
Wissen um Anlagenzustand



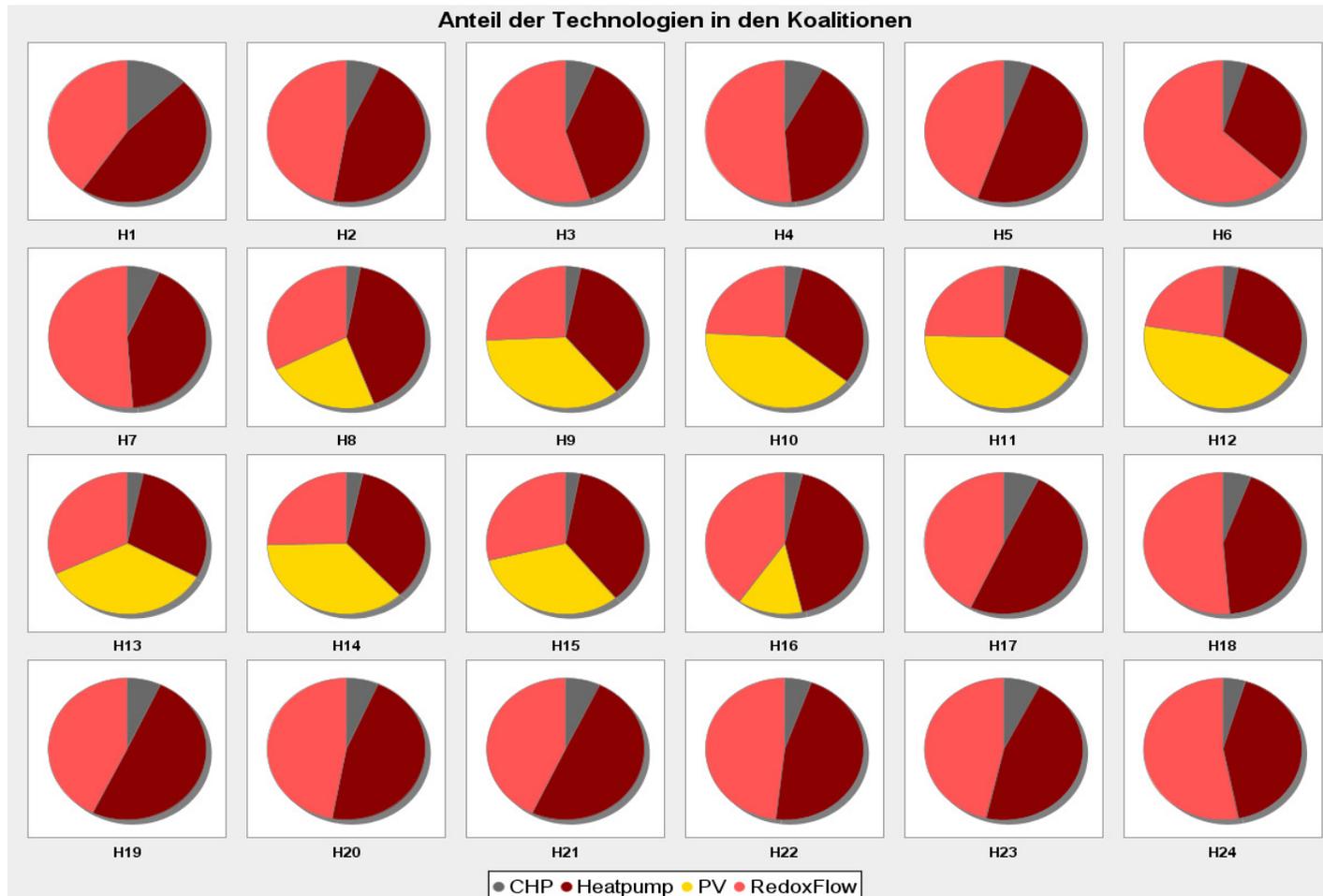
# Prozessintegration



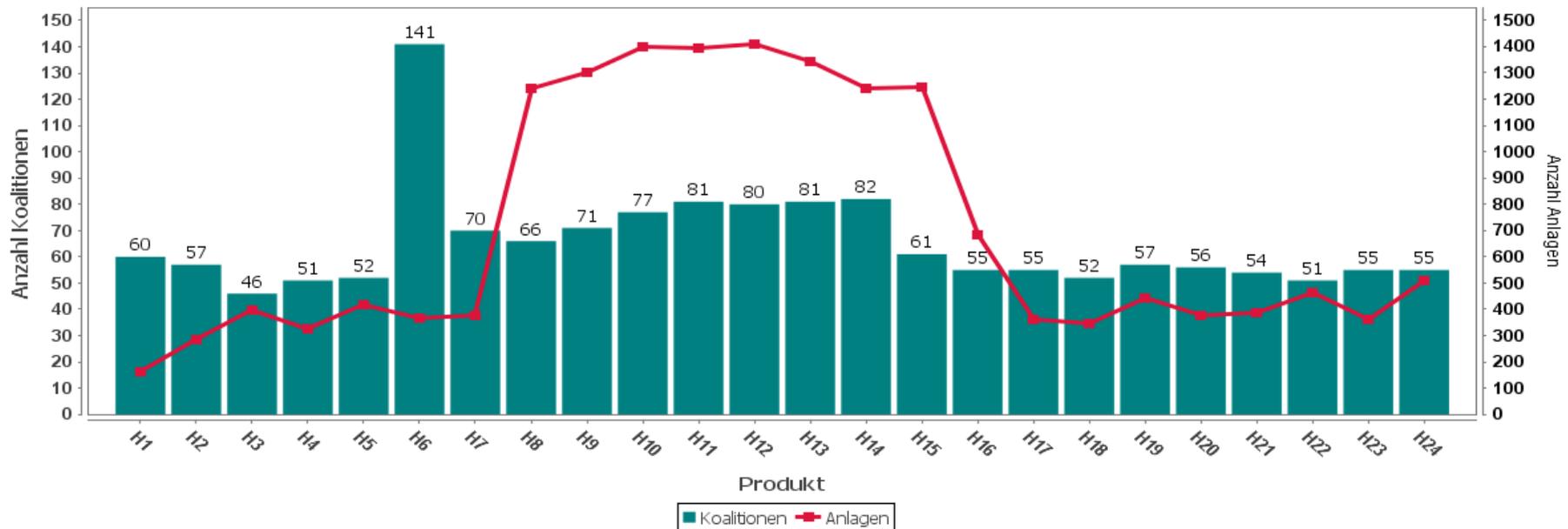
# Evaluation Szenario 2030

- Simulation ungesteuerter Fall
  - 8806 Haushalte
  - 789 Wärmepumpen
  - 1048 PV-Anlagen
  - 28 WEA
  - 122 BHKW
  - 789 Redox-Flow-Batterien  $4.23 \pm 0.99$  kW
- Multiagentensystem
  - Wärmepumpen, PV, BHKW, Batterien
  - Haushalt und WEA nicht steuerbar
  - 2710 Anlagen an Koalitionen beteiligt
- Exemplarisch: 31. Januar

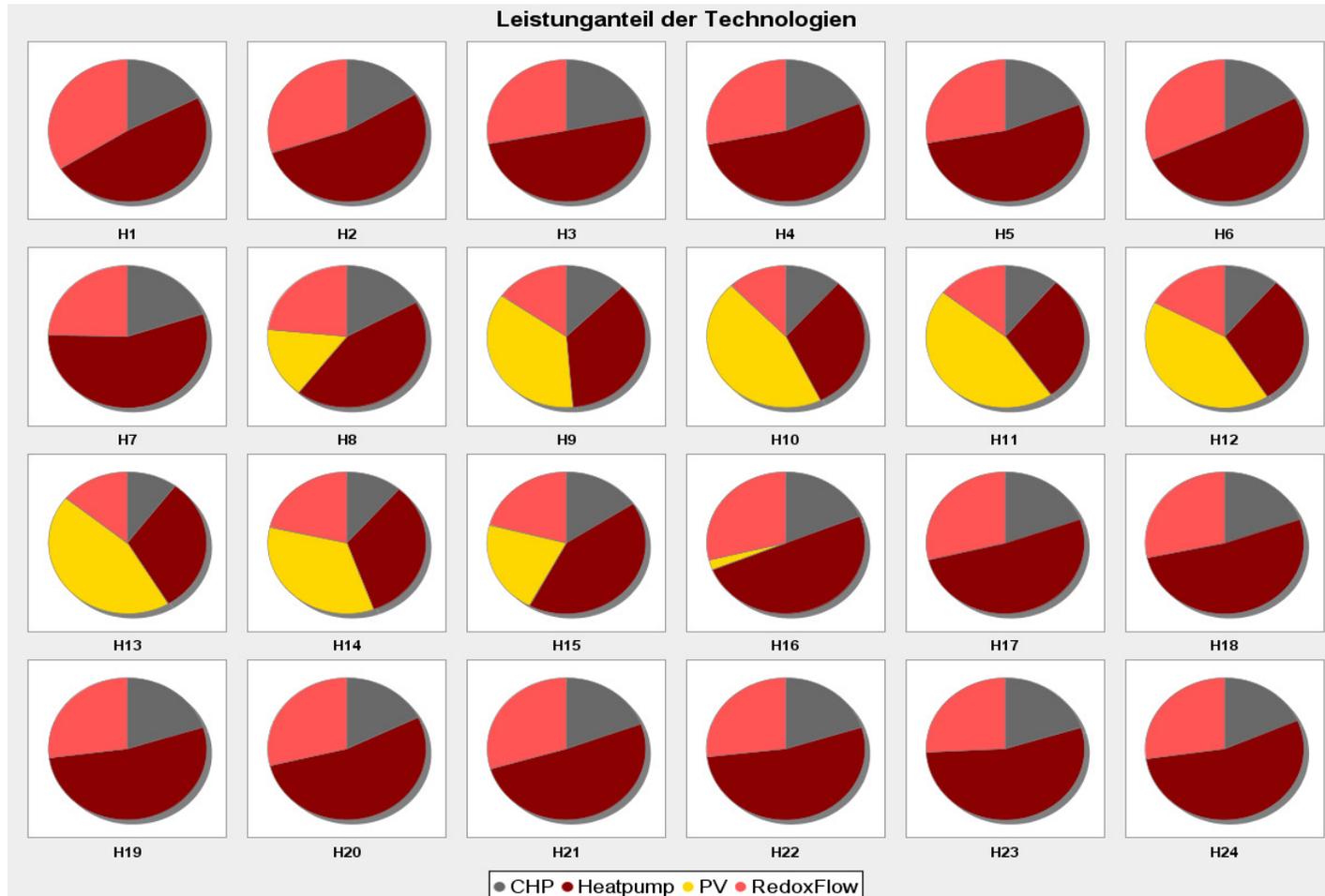
# Zusammensetzung, Koalitionsgröße & Technologiebeiträge



# Zusammensetzung, Koalitionsgröße & Technologiebeiträge



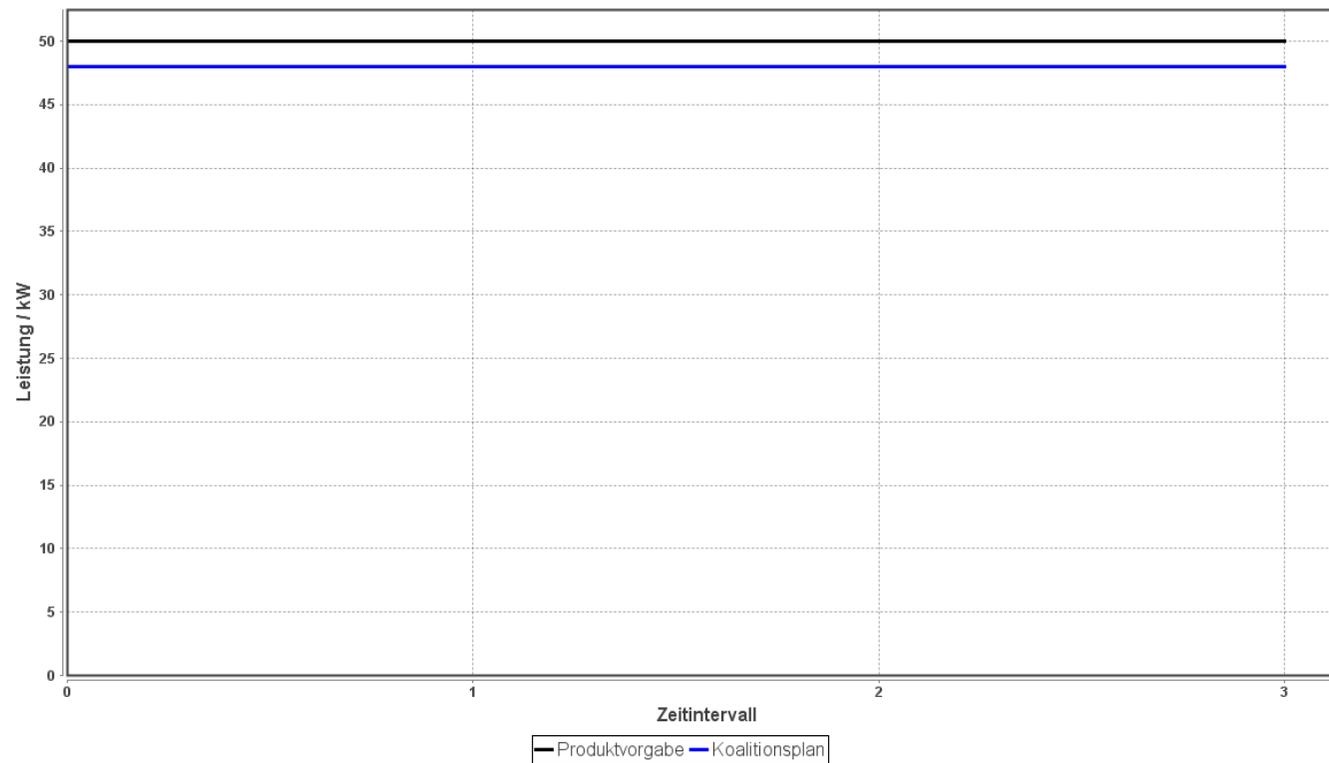
# Zusammensetzung, Koalitionsgröße & Technologiebeiträge



# Produktanteil vom Potenzial

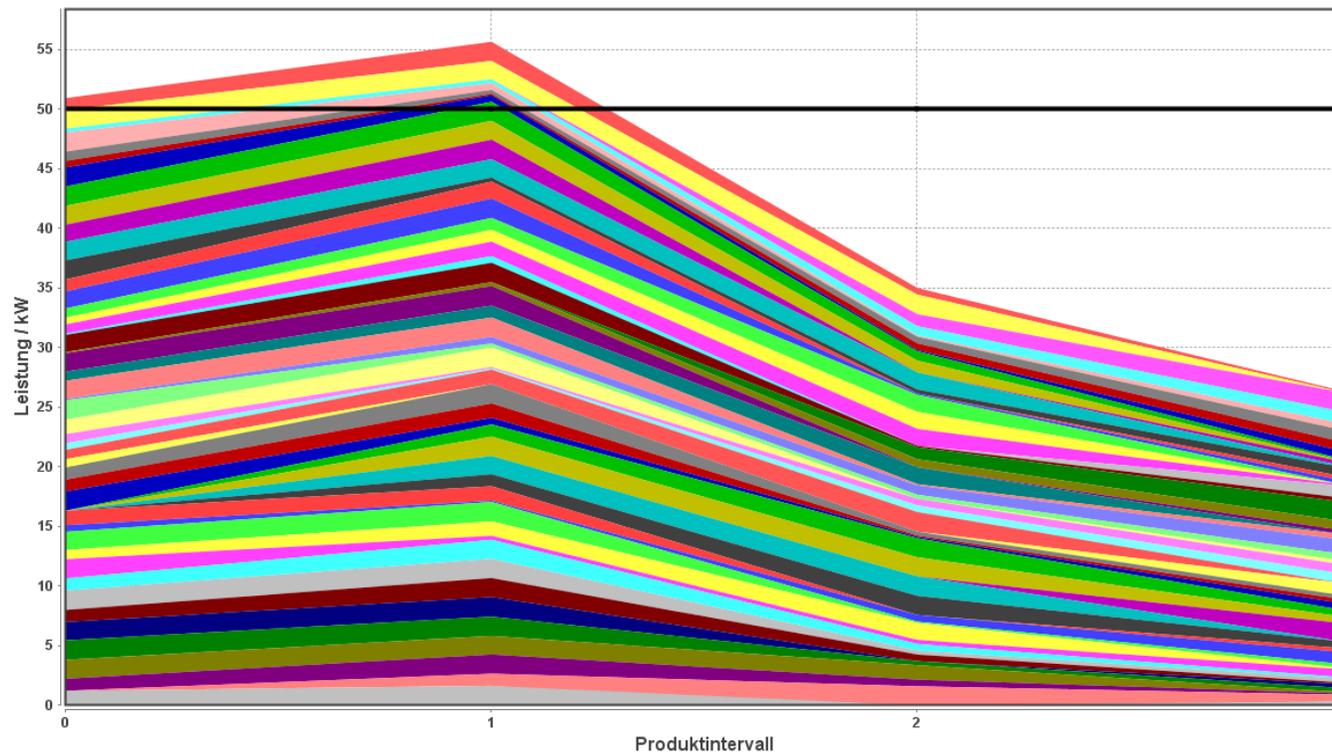
- BHKW
  - Potenzial: 10230 kWh
  - in Produkten: 10238 kWh
- Wärmepumpe
  - Potenzial: 25205 kWh
  - aus Produkten: 28193 kWh
- PV
  - Potenzial: 22117 kWh
  - in Produkten: 10428 kWh

# Beispiel interne Optimierung



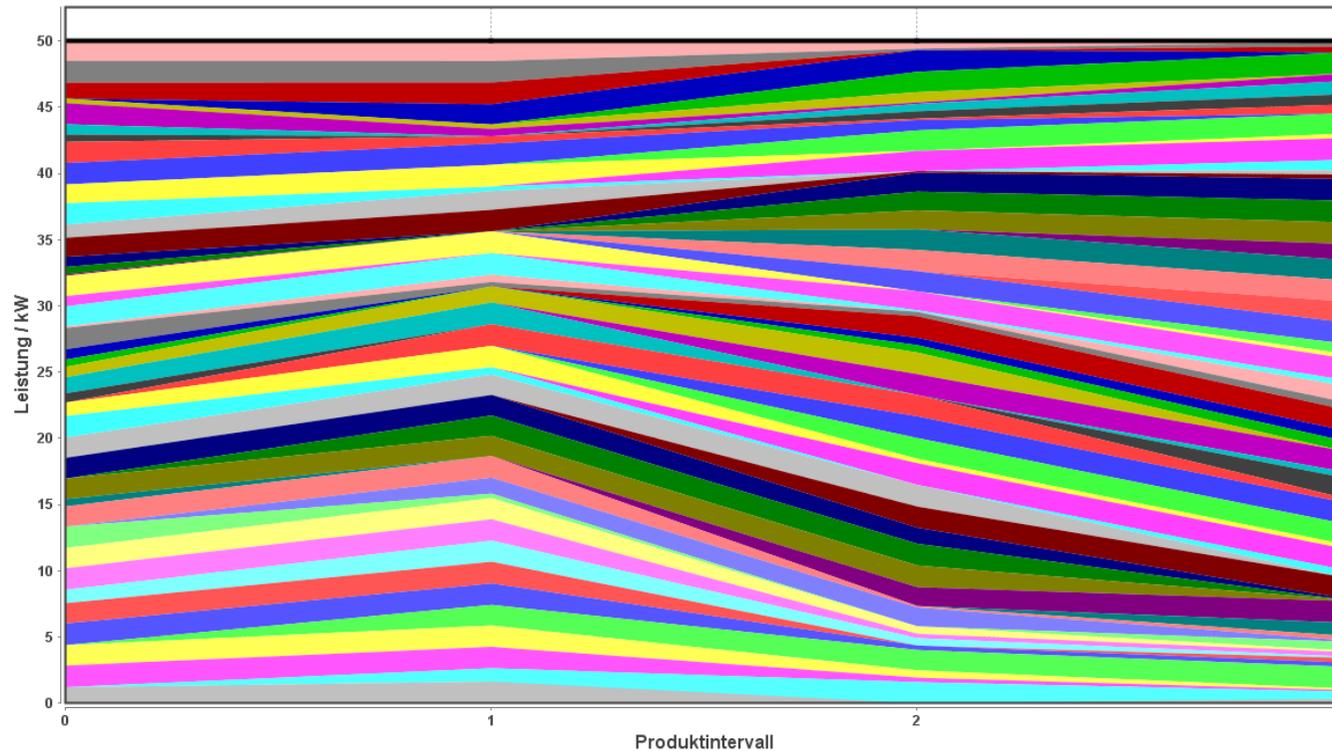
- Zu erzielendes Produkt: 50 kW (schwarz)
- Durch Koalitionsbildung haben sich BHKWs zu insgesamt ca. 48 kW zusammengefunden (blau)

# Beispiel interne Optimierung

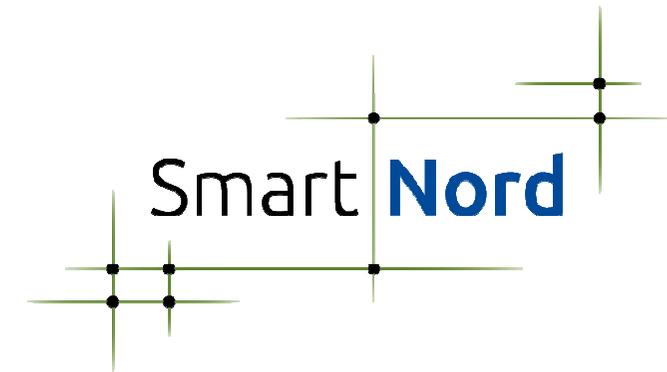
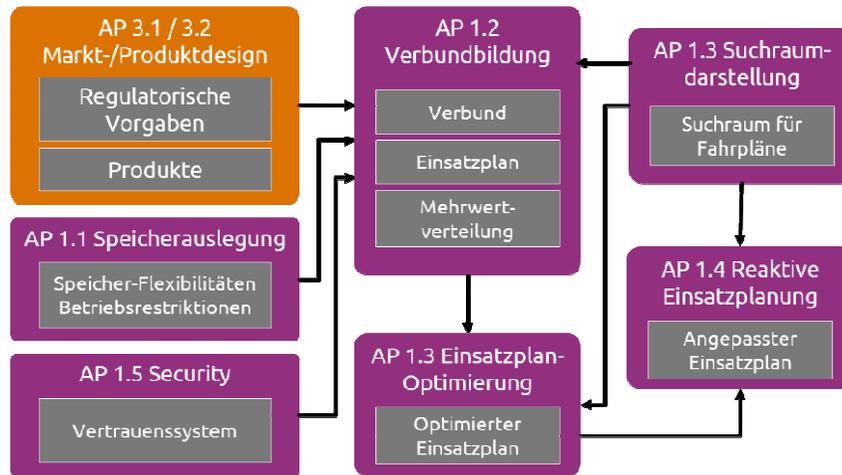


- Aufgrund geänderter Voraussetzungen würde die rote Linie als nächstgelegene zulässige Möglichkeit abgefahren
- Offensichtlich Korrelation durch falsche Temperaturprognose

# Beispiel interne Optimierung



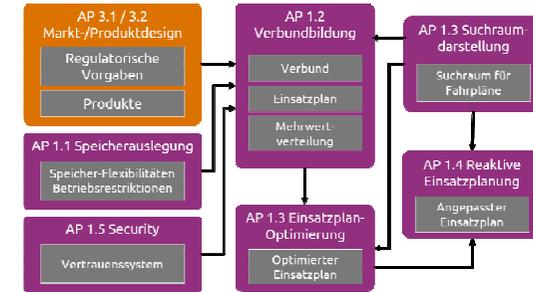
- Nach Umplanung durch interne Optimierung: deutlich bessere Produktannäherung (grün)



# Teilprojekt 1

## Zusammenfassung und Ausblick

# Zusammenfassung



- Zahlreiche Modelle, Konzepte und Verfahren eines Dynamischen Virtuellen Kraftwerks (DVPP) entwickelt
- Batteriespeicher bieten die besten Möglichkeiten Speicher dezentral im Netz zu integrieren
- Vertrauenssystem dient der vertrauenswürdigen Verbundbildung und erhöht die Sicherheit und Robustheit des Systems
- Die dezentralen Verfahren zur Steuerung eines DVPP greifen ineinander
- Detailevaluation der einzelnen Verfahren der DVPP-Koordination erfolgreich (Ergebnisgüte, Skalierbarkeit, Performanz, ...)
- Ca. 40 Veröffentlichungen (teils zusammen mit Teilprojekt 2)



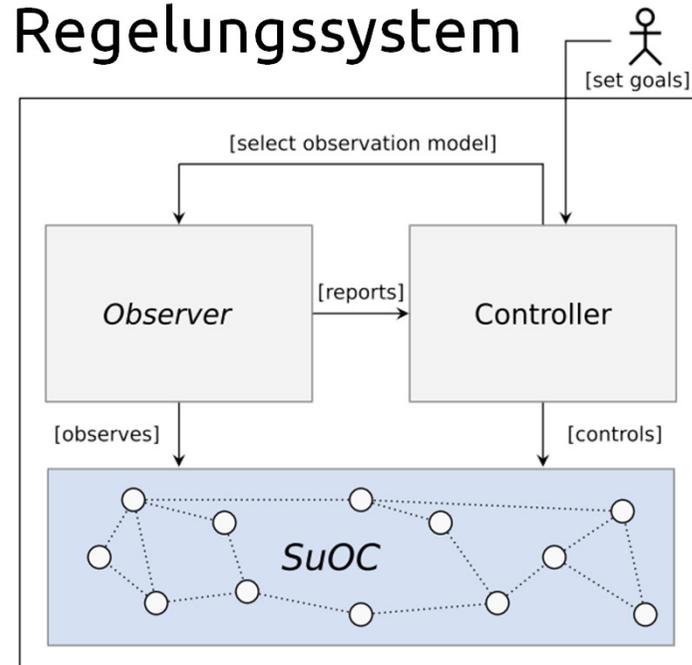
Das Management dezentraler Anlagen auf Basis vollständig verteilter Verfahren ist möglich.

# Offene Fragen und **Ausblick**

- ➔ Parametervariationen in großen Szenarien
- ➔ Integration weiterer Einheitentypen (Elektrolyseur, EV, Langzeitspeicher)
- ➔ Sichere Speicherung und Austausch von Vertrauenswerten
- ➔ Dynamik der DVPP vs. Planqualität: Einschränkung der dyn. Anlagenzuordnung

➔ **Transfer in die Praxis:  
EXIST-Transfer Dynamic VPP**

- ➔ Kontrollierte Selbstorganisation:  
Kopplung mit Regelungssystem



Eigene Abb. nach [Richter06]

# Externe Quellen

- G. Anders et al.: Structuring and Controlling Distributed Power Sources by Autonomous Virtual Power Plants. IEEE Power and Energy Student Summit 2010
- C. Hinrichs: Selbstorganisierte Einsatzplanung dezentraler Akteure in Smart Grids. Dissertation, Universität Oldenburg 2014
- R. Li, J. Li, G. Poulton: *Agent-Based Optimisation Systems for Electrical Load Management*. The 20th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence. Queensland, Australia, 2007
- E. Pournaras: Multi-level Reconfigurable Self-organization in Overlay Services. Dissertation, University of Delft, 2013
- U. Richter et al.: Towards a Generic Observer/Controller Architecture for Organic Computing. Informatik 2006. LNI P-93, S. 112-119
- M. Tröschel: Aktive Einsatzplanung in holonischen Virtuellen Kraftwerken. Dissertation, Universität Oldenburg 2010