

Distributed energy production: drivers, challenges, and opportunities

von Patrick Senti



Rückblick

- „The new energy landscape“ (Remo Gisi)
 - Reduktion CO₂-Emission - erneuerbare Energien
 - ICT - Mittel zur besseren Energienutzung
- „Towards a smart power grid“ (Marc Bruggmann)
 - Dezentrales Stromnetz - viele Marktteilnehmer
 - Intelligente Knoten - Multi-Agentensysteme als Ansatz

Verteilte (und erneuerbare) Produktion

- Motivation und Herausforderungen
- Virtual Power Plant
- ICT Fragestellungen - Lösungsansätze
- Wirkung und Erfahrungen
- Schlussfolgerung

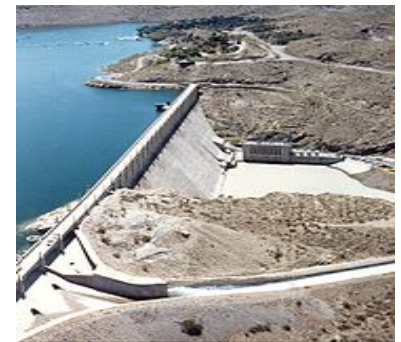
Wieso *verteilte* Produktion?

- Umweltschutz
 - CO₂ Reduktion
 - Reduktion des Energieverbrauchs
- Konventionelle Kraftwerke sind teuer, risikoreich
 - Grossrisiko Atomkraft
 - Wirtschaftlichkeit bedingt hohe Auslastung
 - Ineffizienter Langstrecken-Stromtransport
- Neue Technologien
 - Mini-KWK Installation im Haushalt
 - Effizientere Solarzellen

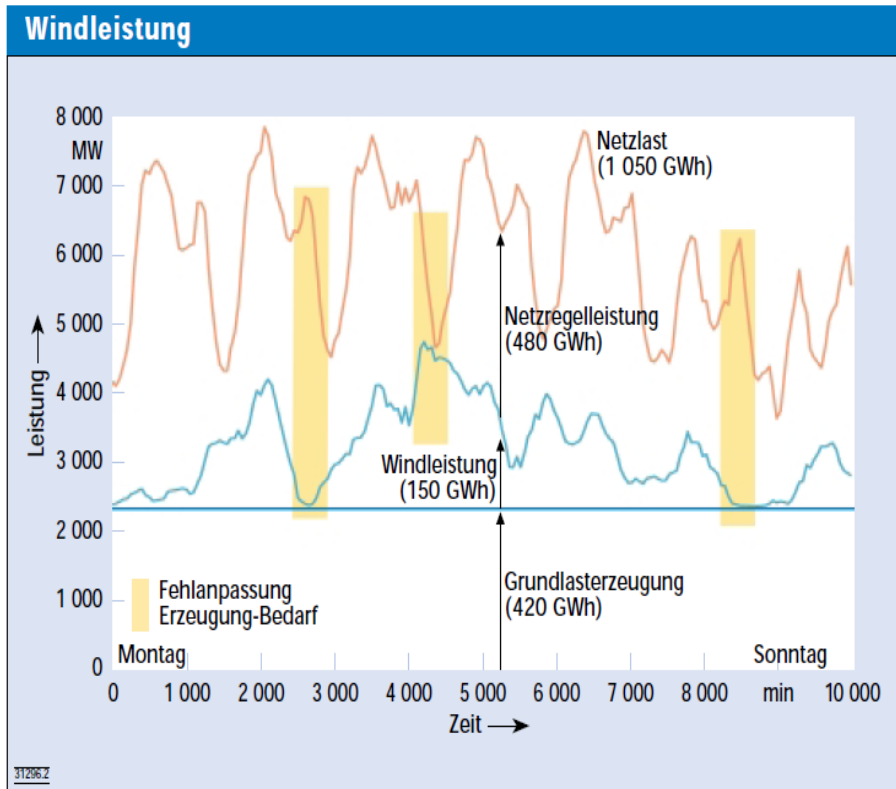


Verteilte Energieproduktion

- Erneuerbare Ressourcen
 - Sonne
 - Wind
 - Wasserkraft (Stausee, Flüsse, Gehzeiten)
- Kombinierte Erzeugung
(CHP, Combined Heat & Power, KWK, Kraft-Wärme-Koppelung)
 - Erdgas
 - Biodiesel
- Verteilte Produktion
 - in Grossanlagen
 - in Wohngebieten Fokus



Was, wenn die Sonne nicht scheint?



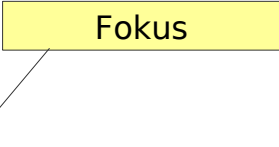
[EW02]

Netzlast und Windeinspeisung,
Aprilwoche 2001

- Spitzenlast => konventionelle Erzeugung
- Erneuerbare Energien ersetzen konventionelle Kraftwerke „nicht einfach so“
- Kleinst-Blockheizkraftwerke auch keine Lösung (im Sommer heizt niemand)
- also: Verteilte Produktion doch nicht sinnvoll?

Vielfache Fragestellungen

Fokus



▪ Elektrotechnik

- Stabilität / Frequenz
- Effiziente Produktion + Verteilung
- Fluktuation in Verbrauch und Produktion
- ...

▪ Marktteilnehmer / Politik

- Liberalisierung
- Anreiz-/Tarifsysteme
- CO₂-Reduktion
- ...

▪ Informationstechnik

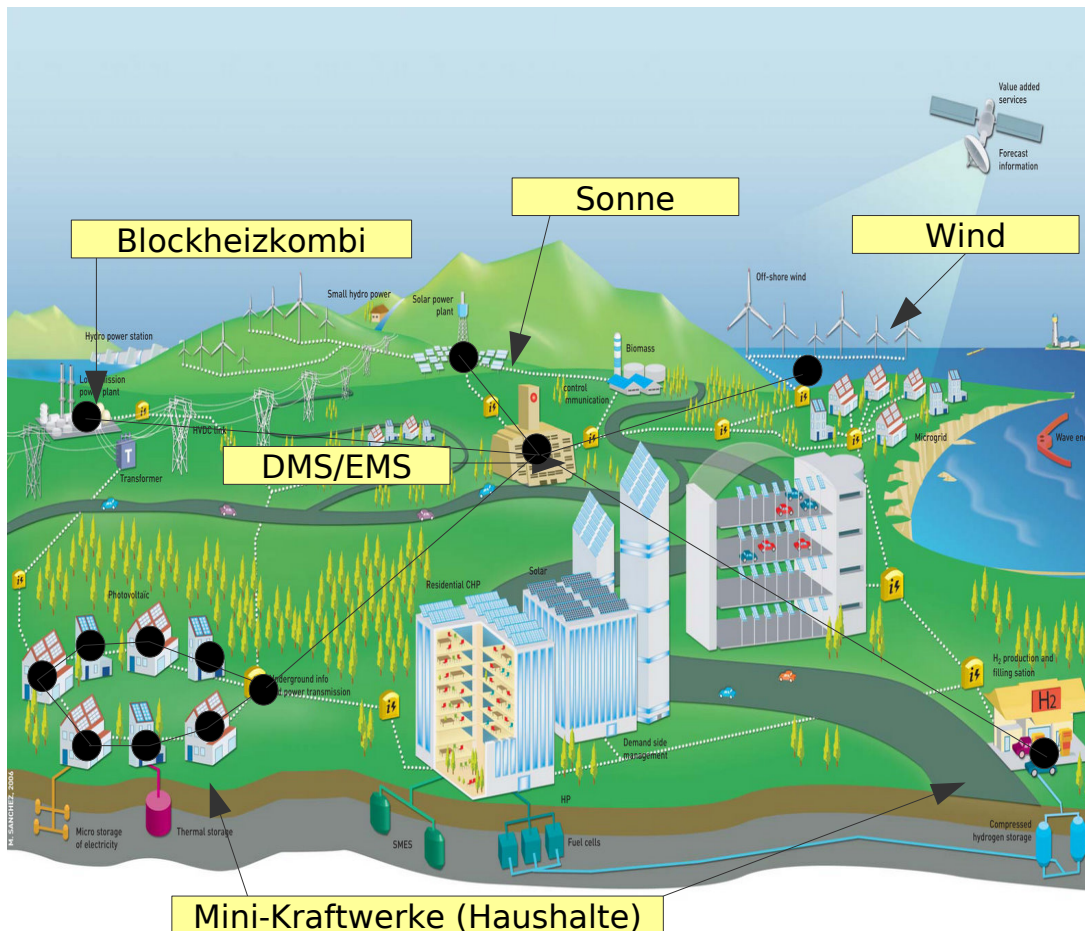
- Kommunikations-Protokolle?
- Koordination vieler Einheiten?
- Steuerung des Stromnetzes?

→ alles schon gelöst?

→ wo sind die Probleme?

Idee: Virtuelles Kraftwerk (VPP, Virtual Power Plant)

Verbund aus verschiedenen Energieformen

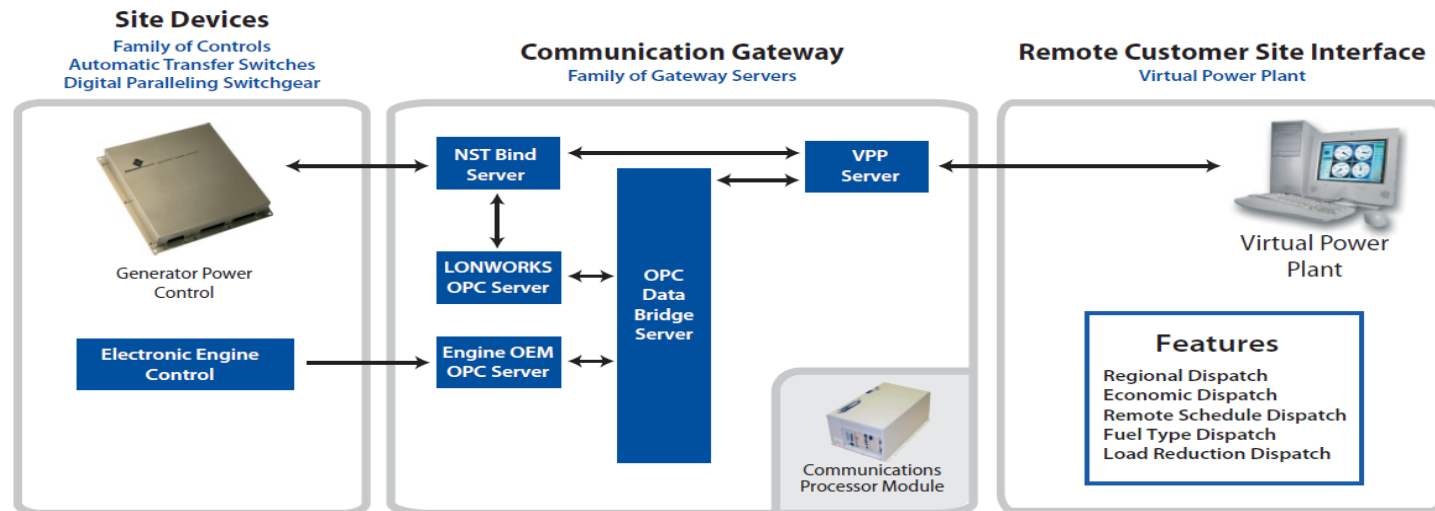


[5], Bildquelle: [EUTS]

- Verschiedene Energieformen
 - „intelligent“ koordiniert
 - Energy / Distribution Management Systems
- Vorteile
 - Garantierte Leistung
 - Teilnahme am Strommarkt
 - Verbraucher sind auch Produzenten -
- Nachteile
 - Braucht ICT für Koordination
 - „Überproduktion“ → Speicherbedarf

Beispiel: Encorp Virtual Power Plant

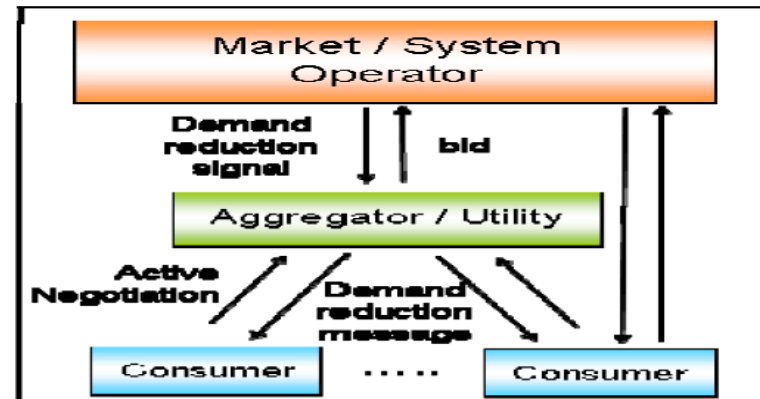
- Client/Server Modell
 - Energiemanagement durch zentrale Steuerung
 - Dezentrale Generatoren per Kommunikations-Netz angeschlossen
 - Manuelle oder teilautomatisierte/regelbasierte Steuerung
 - Kommunikationsprotokoll: TCP/IP via Internet (VPN) od. Dial-up
 - Pentium-III Rechnerarchitektur



Quelle: Encorp Inc, www.encorp.com

1. Problem: Heterogene Systeme

- Teilnehmer:
 - Produzenten (Utility)
 - Markt, Händler
 - Konsumenten
- Lösungsansatz
 - Loose Koppelung
 - Client/Server, Messagepassing
 - Standard Schnittstellen
 - Sicherheitsanforderungen
 - Generator + Verbraucher als Web-Services ansprechbar



Skaliert das bei 100'000 Teilnehmern + 1 Zentrale?

Beispiel: Lichtblick GmbH, Schwarmstrom

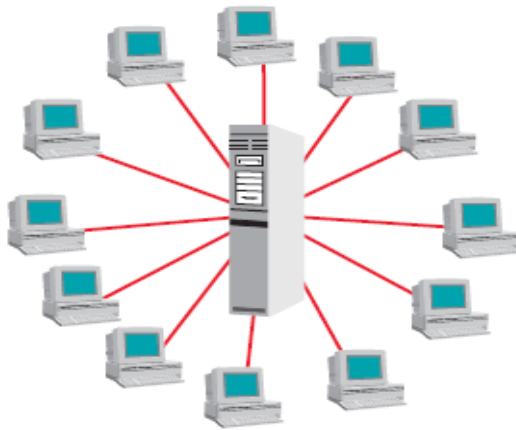
- Mikro-CHP Hausinstallationen
 - Gasbetriebener Generator + Wärmespeicher
 - Anschluss an Lichtblick-Energiemanagementsystem
 - Effizienz 92% → 2-3x Kohle-/Atomkraftwerk
 - Produziert innert Minuten Strom
- Ziel:
 - 100'000 Haushalte
 - Kombination mit Wind- und Solarenergie
 - Virtuelles Kraftwerk: Kapazität von 2 Atomkraftwerken (2GW)



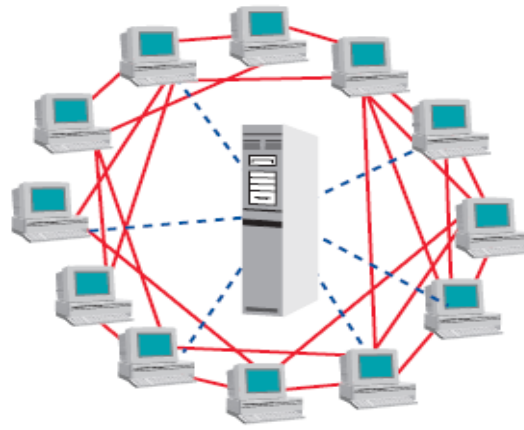
Quelle: Lichtblick AG, www.lichtblick.de

Virtual Power Plant als Multi-Agenten-System

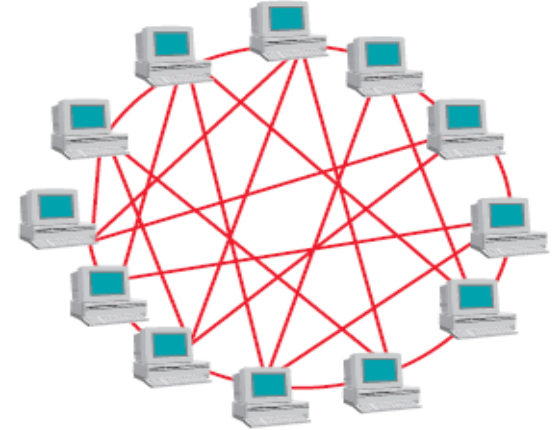
- Jedes Gerät (Generator, Verbraucher) = „smart“
 - → d.h. autonome Entscheidung, somit keine Zentrale Steuerung mehr
 - → verteilte Algorithmen, als Software-Agenten implementiert
 - → Frameworks (zB. JADE nach FIPA-Standard)



zentrale Steuerung



verteilte Steuerung
mit zentraler Marktfunktion



Peer-to-Peer, keine
zentrale Koordination

Wer entscheidet, wer-wann-wieviel produziert bzw. verbraucht?

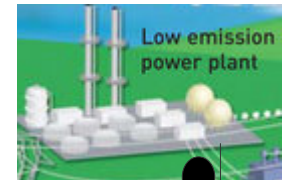
2. Problem: Verteilte Steuerung

Kosteneffizienz, CO₂-Reduktion oder Haushalts-Autonomie?

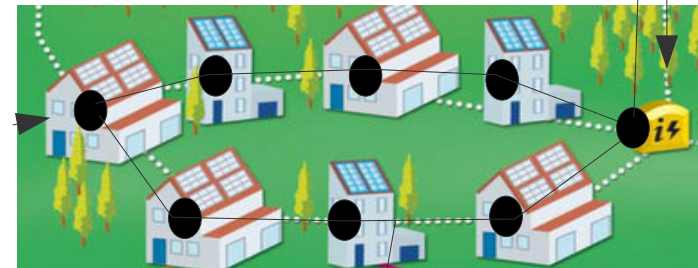
- Pro Haushalt
 - Smartmeter „Tarifsensitiv“
 - Photovoltaik
 - Kleinst-Blockheizkraftwerk
- Algorithmus (SmartMeter):

```
on change of tarif:  
if tarif > Limite then  
    generate local  
if tarif <= Limite then  
    reconnect to grid
```

„Alle reagieren für sich rational“ bringt wenig („greedy“)



Strom



Idee: Verteilte Prognose

- Jeder Agent plant für sich **verschiedene Möglichkeiten**
- Bsp. Heizung, Klimaanlage: Verschiedene Zeitpunkte für optimale Temperatur möglich
→ **Optimum finden („kleinster Peak“)**
- Algorithmus (simplified EPOS):

Planning Phase:

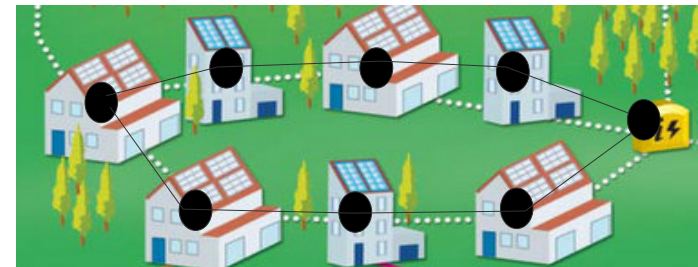
calculate next time for energy use
(find several possible plans)
send all plans to parent

Aggregation Step/Round:

receive plans from children
find best possible plan
(least energy/time)
send best plan to children

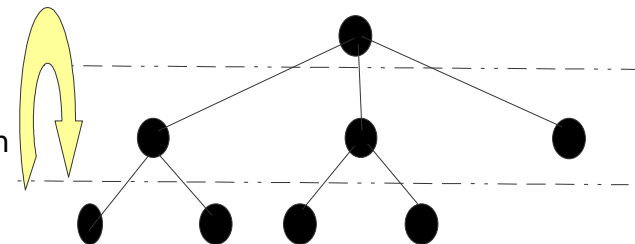
Information Phase:

receive best plans from parent



„Overlay“ als Baum

Aggregation



Simulation: 36-78% weniger Peaks als bei lokaler Optimierung

Quelle: [9] Bildquelle: [EUTS]

VPP 1. Fazit: Verteiltes System

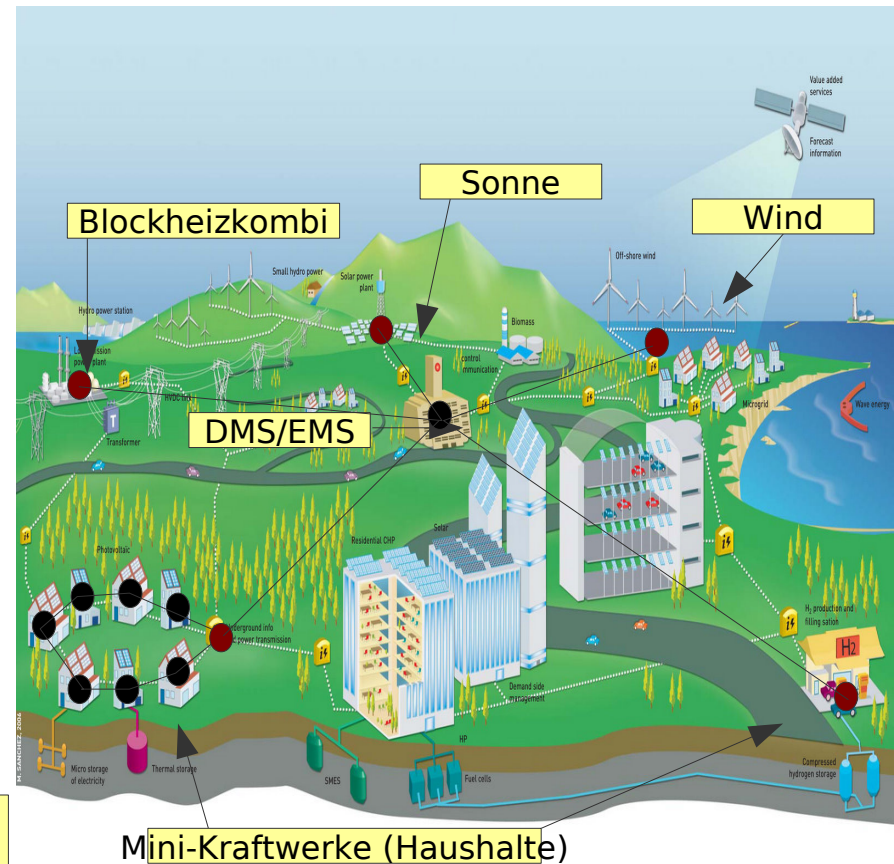
- **Koordinationsbedarf – verteilte Entscheidungsfindung**
 - Wer braucht wann wieviel Strom?
 - Wer kann wann wieviel Strom produzieren?
- **Keine „einfachen Entscheidungen“ - Marktmechanismus**
 - Komplexe Prognose von Stromverbrauch in Haushalten
 - Komplexe Prognose von Kapazität bei erneuerbaren Energien (Sonne, Wind)
- **Lösungsansatz**
 - Software-Agenten:
 - nur lokale Entscheidungen → global suboptimale Entscheidungen
 - koordinierte, verteilte Entscheidungen → erhebliche Verbesserung

Kommunikation – Anforderungen

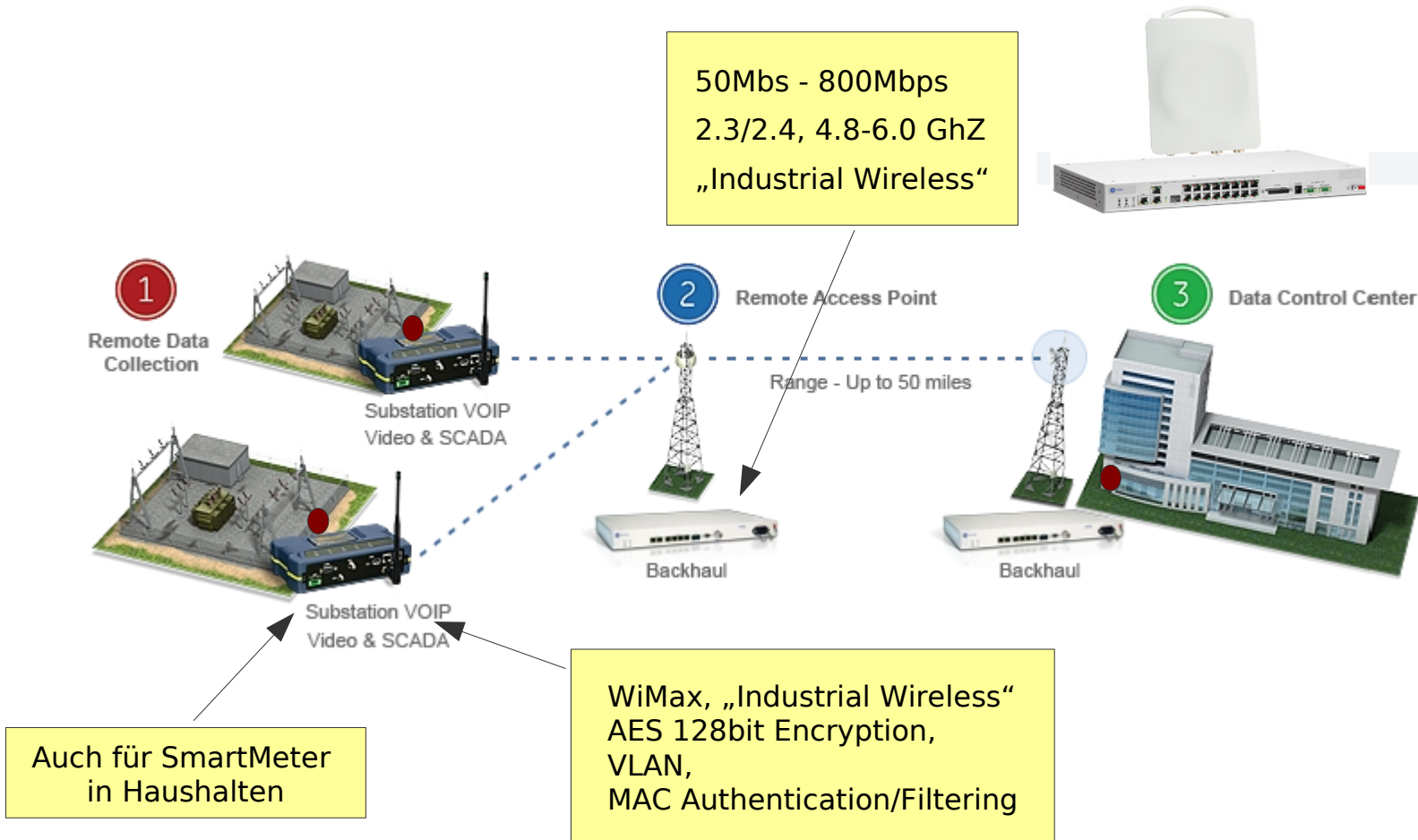
- Daten-Kommunikation:
 - Minuten (zB. Lastabbau)
 - Stunden (zB. Rechnungen)
 - → TCP/IP, Webservices

- Geräte-Steuerung
 - Reaktion innert 2s (zB. Abschaltung)
 - Bandbreite: bis 5Mbit/s pro Gerät
 - → Latenzzeiten
 - in Substation: <10ms
 - WiMax, LTE
 - TCP/IP

Verteilte Algorithmen?
Rechenressourcen?



Geräte für die Daten-Kommunikation



Ausfallsicherheit in Verteilnetz/Substation

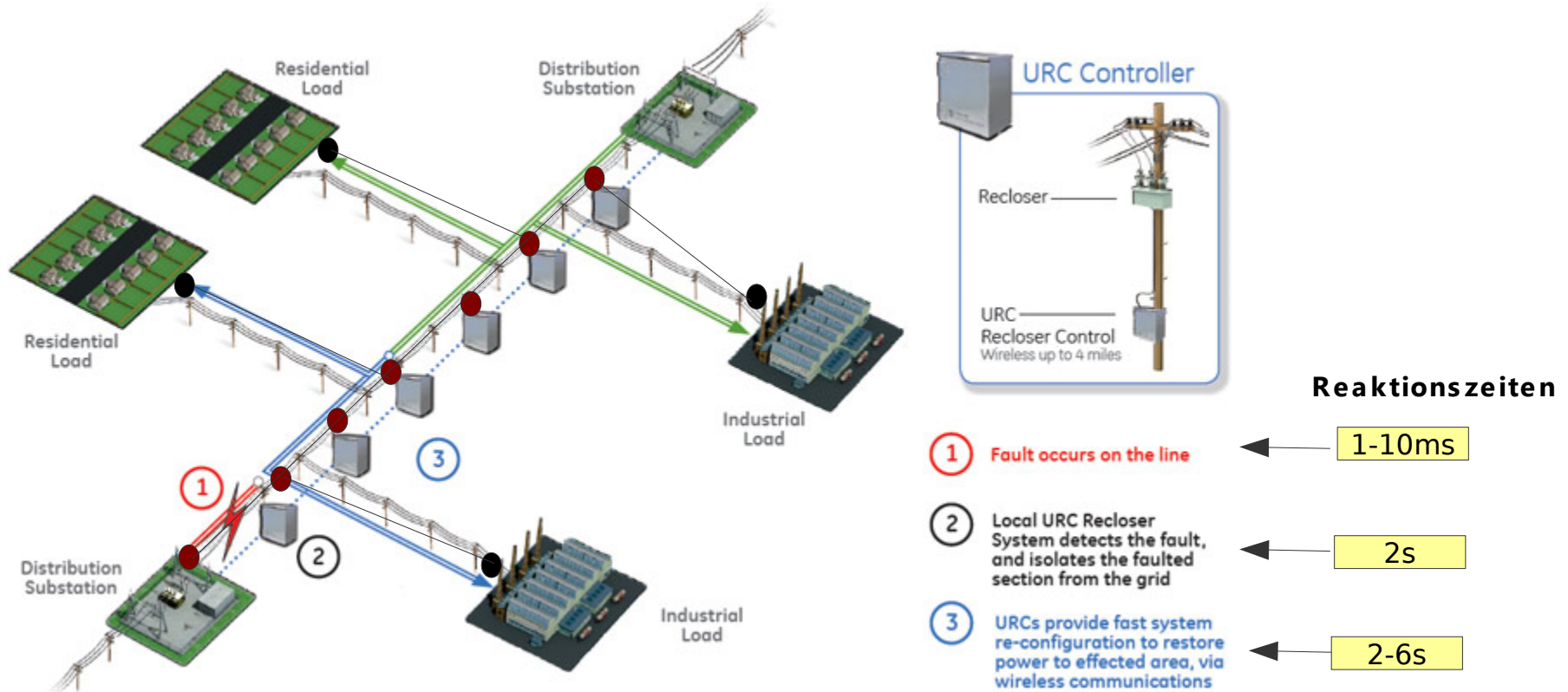
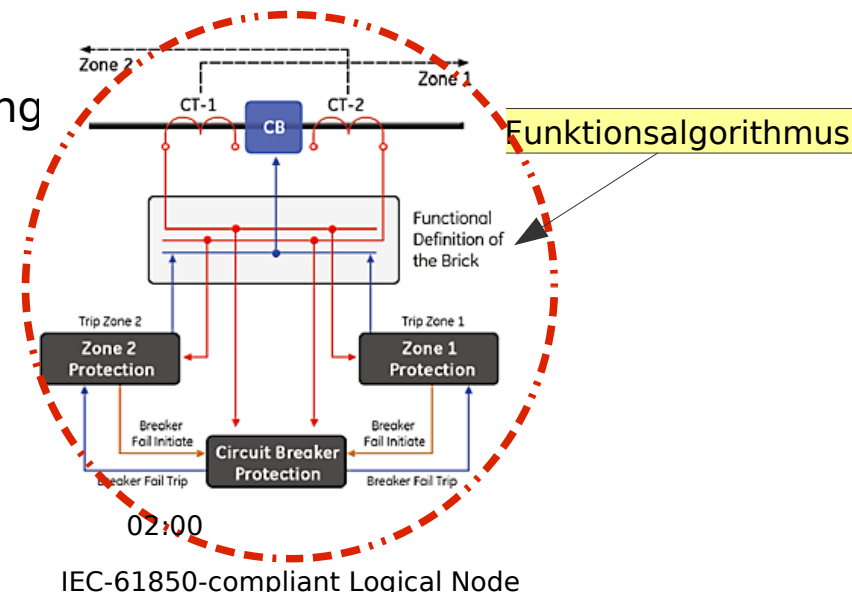
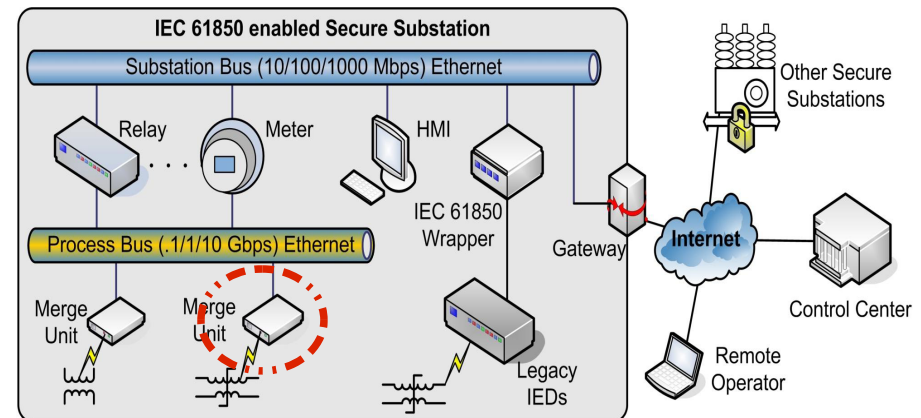


Bild-Quelle: <http://www.gedigitalenergy.com/smartDistribution.htm>
[12]

Problem 3: Kurze Latenzzeiten, limitierte Ressourcen

- Substation-Bus
 - Kommunikations-Netz (nebst Stromnetz!)
 - Ethernet als Medium
 - Div. Protokolle u.a. TCP/IP (OSI Transportlayer)

- Lösungsansatz: autom. Kontroll-Gerät
 - Laufende Messung (Frequenz, Spannung und Meldung an Zentrale)
 - Steuert Unterbrecher („Sicherung“)
 - Semantik der Kommunikation nach IEC-61850 (OSI Application-Layer)



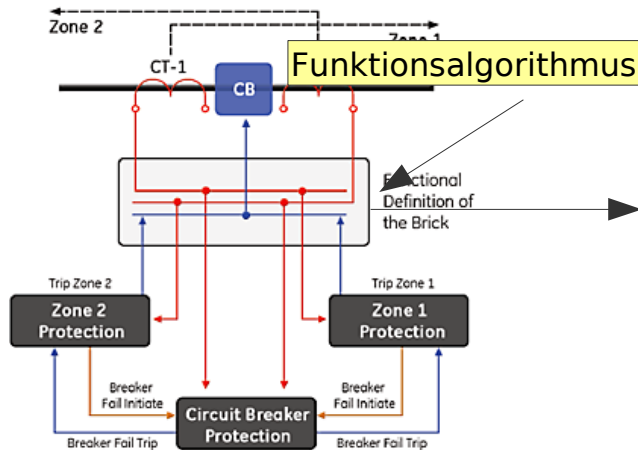
[14], [SECL]

IEC-61850 Logical Node: <http://www.gedigitalenergy.com,>

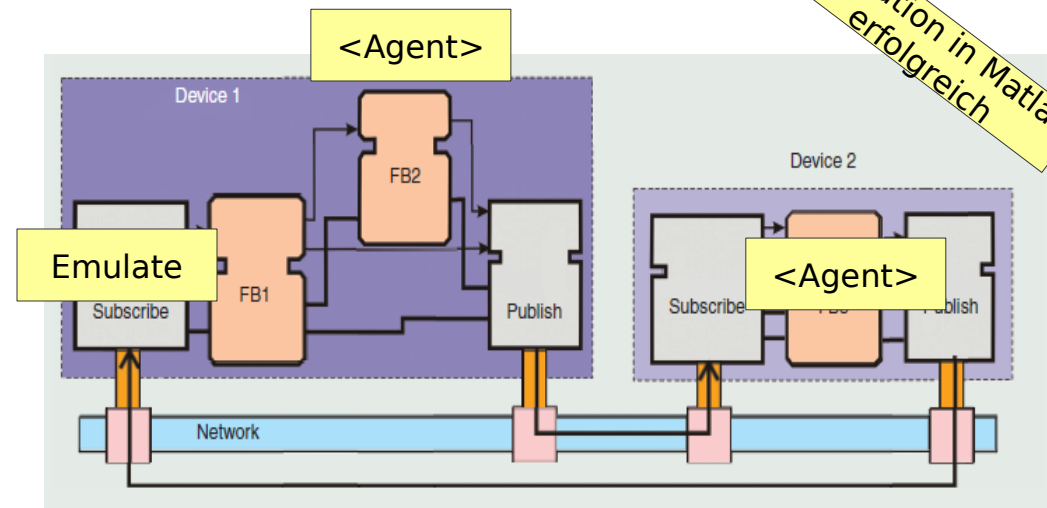
IEC-61850-compliant Logical Node

Idee: Integration programmierbare Logik

- Programmable Logical Controllers (PLC)
 - Programmierbare Embedded Controller nach IEC-61499
 - Open Function Block Architecture = Algorithmus-Modul
 - Function Block = State-Machine
 - Event-basierte Kommunikation - transparent für Algorithmus



IEC-61850-compliant Logical Node



IEC-61499 Open Function-Block Architecture

[14]

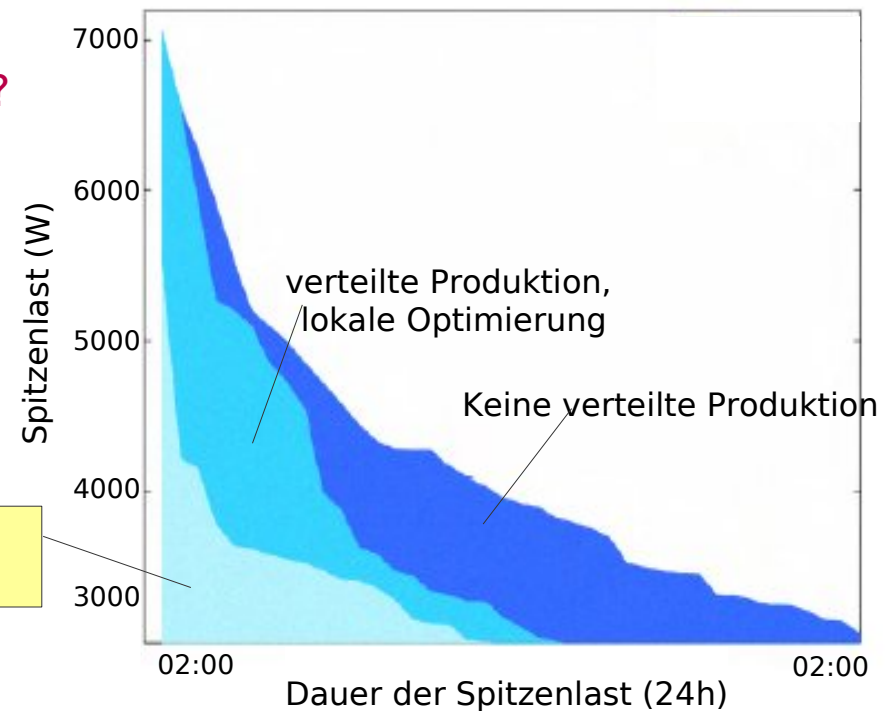
Bilder: Schema IEC-61850: <http://www.gedigitalenergy.com>, Schema IEC-61499: [13]

VPP Fazit: Verteiltes System für Steuerung elektrotechnischer Prozesse

- Koordinationsbedarf – verteilte Entscheidungsfindung
- Keine „einfachen Entscheidungen“ - Marktmechanismus
- **Kommunikationsinfrastruktur – Latenzzeiten, Ausfallsicherheit**
 - grosse Anzahl Teilnehmer (Nodes)
 - wenig Daten (pro Message) – aber kontinuierlicher Austausch → Bandbreite!
 - teilweise **Echtzeit Anforderungen**
- **Lösungsansatz**
 - Integration bestehende Infrastruktur in PLC
 - Etablierte Standards für verteilte Prozess-Kontrolle

„Bringt“ verteilte Produktion etwas?

- Feldstudie mit 30 Haushalten (Holland)
 - Aggregierter-Algorithmus (Auktionsverfahren nach „PowerMatcher“)
 - 1KW-Klein-Heizblockkraftwerk/Haushalt
 - Kommunikation über GPRS/UMTS
 - → Kann Spitzenlast reduziert werden?



verteilte Produktion, aggregierte Optimierung
-30% Spitzenlast bei Einsatz von Software-Agenten

[11]

www.powermatcher.nl

Hilft es den Konsumenten?

- Studie (Belgien)
 - Analyse von Haushaltsverbrauch über 1 Jahr
 - Vergleich 2KW-Photovoltaik (PV) v.s. 1KW-Blockheizkraftwerk (KWK)
 - Annahme: Smartmeter „tarif-sensitiv“
 - Nutzen/Kosten-Analyse für 1 Haushalt
 - Verschiedene Tarif-Modelle (Flatrate, RTP, ToU)
 - → Können die Kosten für die Installation amortisiert werden?

	PV (Flat)	PV (RTP/ToU)	KWK (Flat)	KWK (RTP)
Amortisationsdauer in Jahren	25	38	3.3	4.2

„rechnet“ sich das?

Schlussfolgerung

- Virtual Power Plants
 - Verteilte Systeme - SW-Agenten (Koordination), lose Koppelung (Integration)
 - Marktmechanismen ja - „einfache“ Tarifsysteme wenig effektiv
 - Kommunikationsinfrastruktur - sehr kurze Latenzzeiten
 - Physikalisches System - limitierte Ressourcen + Ausfallsicherheit
- Offene Fragestellungen
 - Optimierung verteilte Koordinationsalgorithmen im Stromnetz?
 - Verteilte Algorithmen in Einbau in Emedded-Systeme?

References

- [1] P. Andersen, B. Poulsen, C. Trholt, and J. Ostergaard. Using service oriented architecture in a generic virtual power plant. Information Technology: New Generations, 2009. ITNG '09. Sixth International Conference on, pages 1621 -1622, april 2009.
- [2] G. Deconinck and B. Decroix. Smart metering tariff schemes combined with distributed energy resources. Critical Infrastructures, 2009. CRIS 2009. Fourth International Conference on, pages 1 -8, 27 2009-april 30 2009.
- [5] J.A. Pecas Lopes, N. Hatziargyriou. Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities, 2007.
- [8] K. Moslehi and R. Kumar. Smart grid - a reliability perspective. Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2010, pages 1 -8, jan. 2010.
- [9] E. Pournaras, M. Warnier, and F. M. T. Brazier. Local agent-based self-stabilisation in global resource utilisation. 2010.
- [11] B. Roossien. Field-test upscaling of multi-agent coordination in the electricity grid. Pages 1 -4, june 2009.
- [12] V. Sood, D. Fischer, J. Eklund, and T. Brown. Developing a communication infrastructure for the smart grid. pages 1 -7, oct. 2009.
- [14] V. Vyatkin, G. Zhabelova, N. Higgins, M. Ulieru, K. Schwarz, and N.-K. C. Nair. Standardsenabled smart grid for the future energy web. pages 1 -9, jan. 2010.
- [13] V. Vyatkin. The iec 61499 standard and its semantics. Industrial Electronics Magazine, IEEE, 3(4):40 -48, dec. 2009.
- [EW02] W. Leonhard. Netzeinspeisung aus regenerativen Quellen. Energiewirtschaft, 2002, Nr 4, pages 36ff, 2002
- [SECL] J. Zhang, C. Gunter. IEC 61850 -Communication Networks and Systems in Substations:An Overview of Computer Science, <http://seclab.uiuc.edu/docs/iec61850-intro.pdf>
- [EUTS] European Commission. Towards Smart Power Networks. Lessons Learned from European research FP5 projects, Directorate-General for Research, 2005