

Smartgrid

Der Weg zum intelligenten Stromnetz

Marc Bruggmann



Um was geht es heute?

- Wie...
 - ... sieht das Stromnetz heute aus?
 - ... können wir die Verteilung effizienter machen?
 - ... decken wir eine steigende Nachfrage nach Elektrizität?
 - ... **unterhalten wir ein stabiles, ausfallsicheres Stromnetz?**

Motivation

- Die Nachfrage nach Elektrizität steigt
 - Europa: jährlich um 1.4% [1]
- Die Energielandschaft verändert sich
 - Erneuerbare Energiequellen
 - Verteilte Stromproduktion
- Fortschritte in ICT
 - Automatisierung und dezentrale Steuerung
 - Beteiligung von Endkunden am Strommarkt

[1] European SmartGrids Technology Platform: Vision and Strategy for the Future, 2006

Übersicht

- Das europäische Stromnetz
- Smartgrid: Das intelligente Netz
- Implementation als Multiagentensystem

Die Situation heute

- Zentrale Kraftwerke
 - Energiegewinnung aus fossilen Rohstoffen
 - Kontinuierliche Produktion
- Regionale Verteilung
 - Einseitige Verbindung von den Kraftwerken zu den Bevölkerungszentren
- Staatlich oder monopolistisch kontrolliert
 - Axpo und Alpiq Holdings steuern über 70% des Netzes [2]

[2] Swissgrid (www.swissgrid.ch)

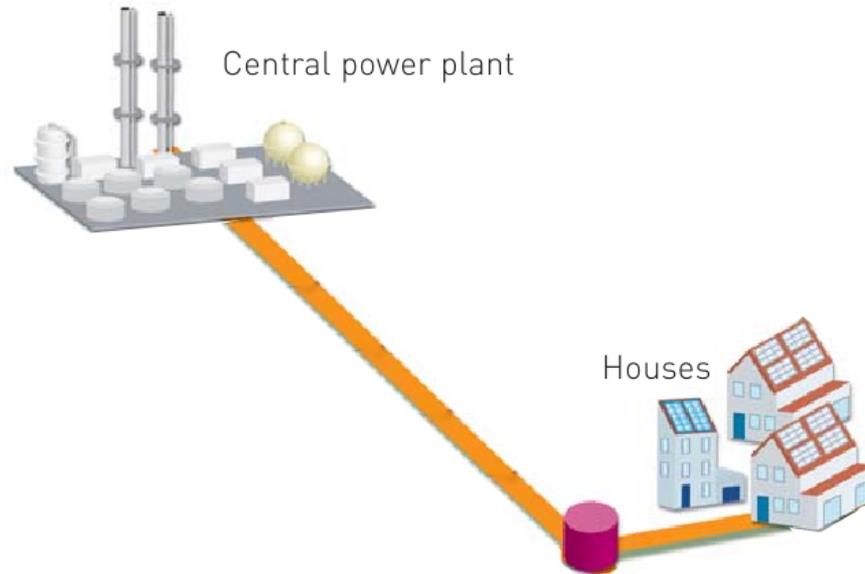


Bild: European SmartGrids Technology Platform: Vision and Strategy for the Future, 2006

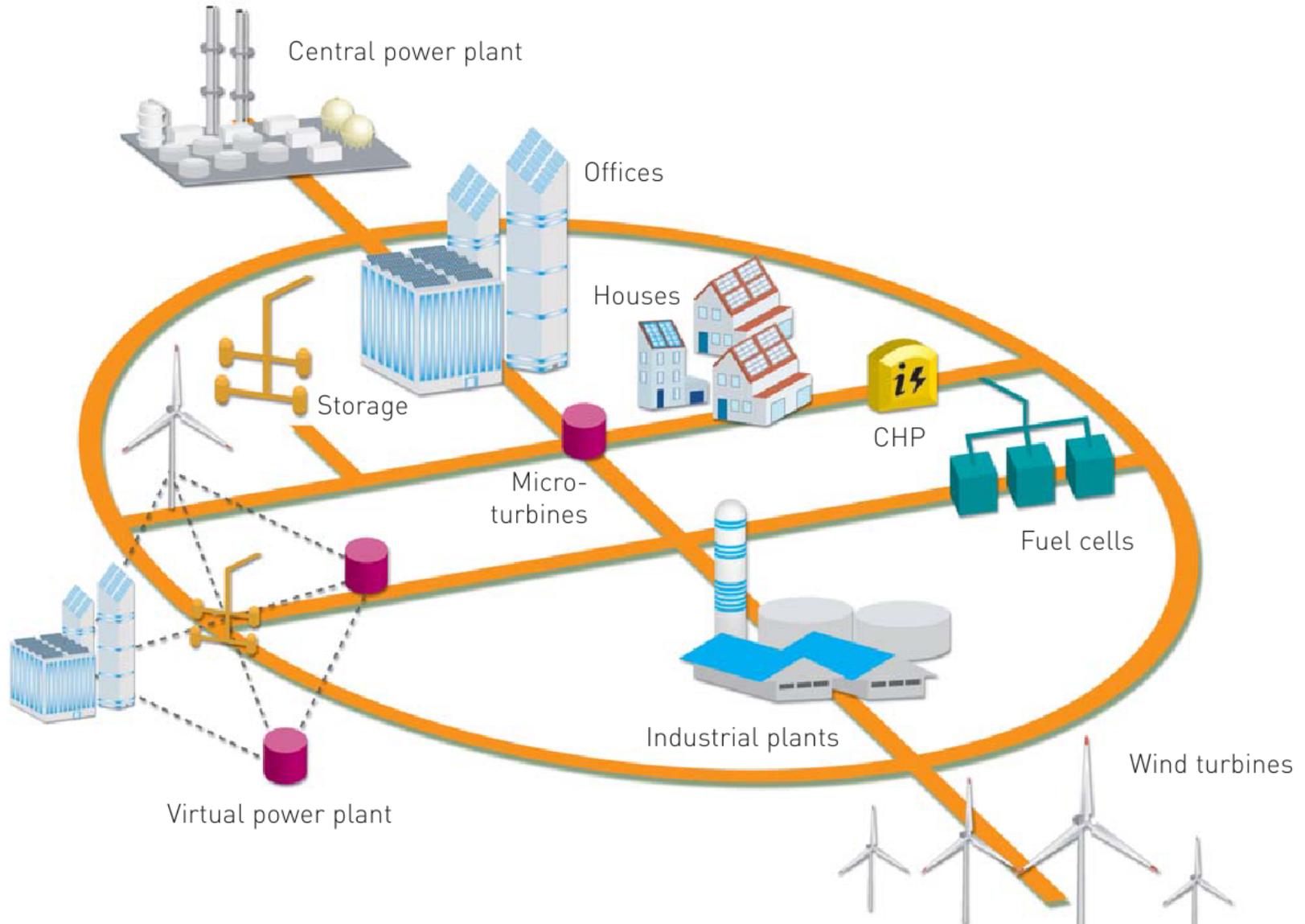


Bild: European SmartGrids Technology Platform: Vision and Strategy for the Future, 2006

Anforderungen (1)

- **Stabilität**
 - Kritische Infrastruktur ist ohne Stromversorgung nicht einsatzfähig
- **Erhöhung der Kapazität**
 - Erschliessen neuer Stromquellen
 - Effizienter Transport
 - Zwischenspeichern von Energie
- **Intensivere Beteiligung von Kunden**
 - Einspeisen von gewonnener Energie zurück ins Stromnetz
 - Flexibilität bei der Anbieterwahl
 - Liberalisierung der Strommärkte

Anforderungen (2)

- Internationale Kooperation
- Wirtschaftlichkeit
 - Fördern von Innovation
- Nachhaltigkeit
 - Internationale Abkommen zum CO₂-Ausstoss
 - Kunden verlangen saubere, nachhaltige Energieproduktion
- Dezentralisierung
 - Integration von Kraftwerken für erneuerbare Energien
 - Stark verteilte, kleinere Kraftwerke

Investitionen

- Das Stromnetz muss auf allen Stufen erneuert und ausgebaut werden
- Geschätztes Investitionsvolumen [1]
 - Weltweit: **16 Billionen Dollar**
 - Europa: **500 Milliarden Dollar**



[1] European SmartGrids Technology Platform: Vision and Strategy for the Future, 2006
Bild: cc-by 3.0, iChaz on Flickr

Umsetzung (1)

- Verschiedene Interessengruppen
 - Kunden
 - Stromproduzenten
 - Netzbetreiber
 - Forschung
 - Technologiefirmen
 - Regierungen / öffentliche Ämter

Umsetzung (2)

- Nächste Schritte
 - Harmonisierung der europäischen Strommärkte
 - Etablierung von offenen technischen Standards
 - Pilotprojekte
 - Stabile Übergangslösungen

Das europäische Stromnetz: Fazit

- Neue Anforderungen prägen die Erneuerung des Stromnetzes in Europa
 - Stabilität und Erhöhung der Kapazität
 - Intensivere Beteiligung der Kunden
 - Integration von erneuerbaren Energiequellen
- Der Strommarkt wird immer mehr international vernetzt
- Das Stromnetz der Zukunft ist dezentral
 - Technische und auch wirtschaftliche Herausforderung

Übersicht

- Das europäische Stromnetz
- Smartgrid: Das intelligente Netz
- Implementation als Multiagentensystem

Traditionelle Leitsysteme

- Zentrale Kontrollstelle
 - Automatische Überwachung durch Computersysteme
 - Angestellte steuern die verschiedenen Komponenten manuell
 - Kommunikation zwischen verschiedenen Kontrollstellen immer noch per Telefon
- Probleme
 - Langsame Reaktionszeiten
 - Ungenügende Kooperation zwischen verschiedenen Netzbetreibern

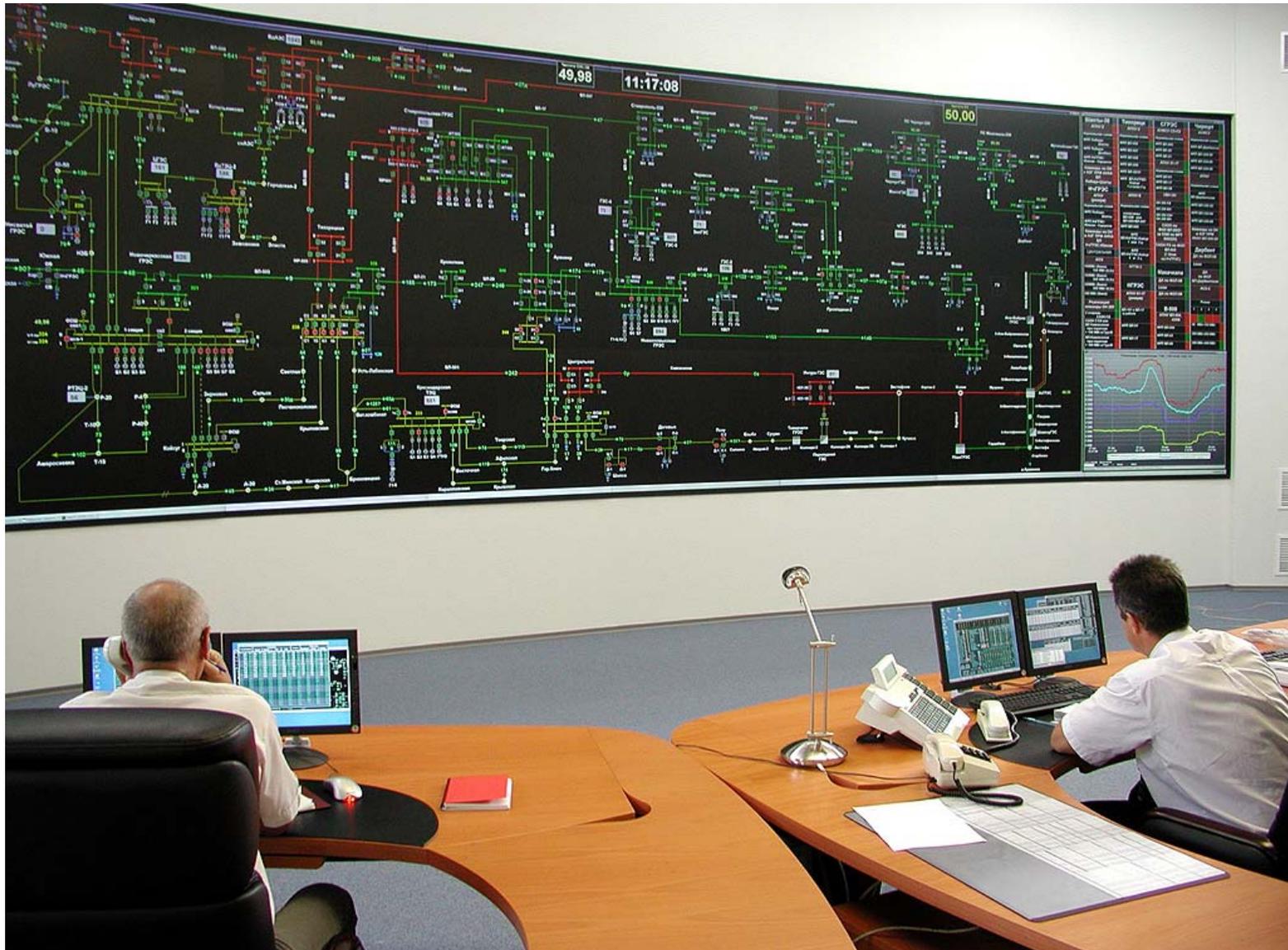


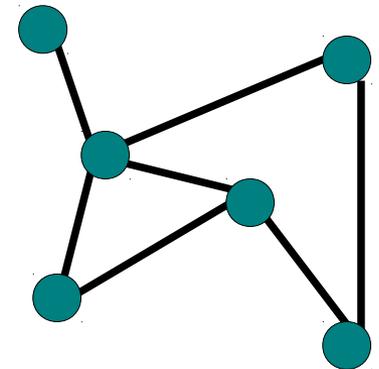
Bild: mit Bewilligung von www.barco.com

Ein intelligenteres Stromnetz

- Inspiration Internet
 - Selbst-organisierend
 - Aktive Knoten
 - Kommunikation
- Das Smartgrid
 - Modernisierung von Übertragung und Verteilung im Stromnetz
 - Verbesserung von Kooperation und Kommunikation zwischen Stromproduzenten, Netzbetreibern und Endkunden

Smartgrid

- Intelligente Knoten
- Hierarchischer, dezentraler Aufbau
- Direkte Kommunikation zwischen verschiedenen Akteuren
- Kollektive Entscheidungsfindung
- Das Stromnetz als verteiltes System



Intelligente Knoten



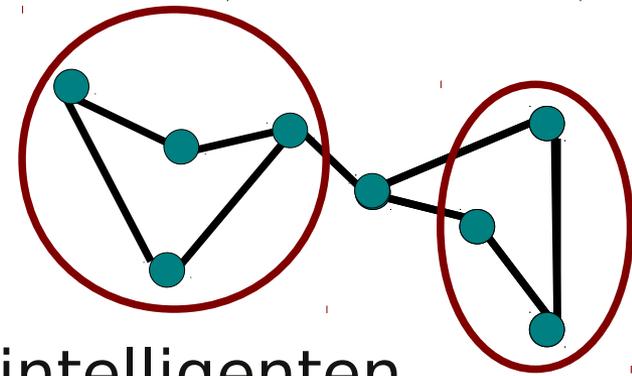
- Repräsentieren alle Akteure, von Privathaushalten bis zu Kraftwerken
- Lokale Sensoren
- Breitbandverbindungen zu Nachbarn
- Reagieren selbstständig auf Veränderungen in ihrer Umgebung
- Integrieren sich selbstständig in bestehende Netze
- **Agieren weitgehend als autonome Einheiten**

Intelligente Knoten



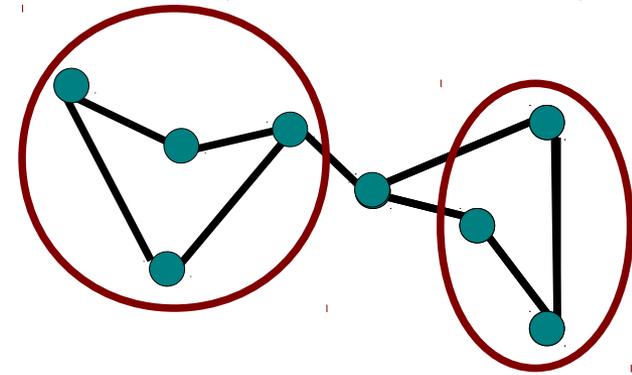
- Vorteile
 - Probleme können grösstenteils ohne menschliche Interaktion gelöst werden
 - Fernsteuerung durch Kontrollstelle ist nur im Notfall notwendig
 - Erlaubt den flexiblen Ausbau des Netzes um neue Knoten
- Nachteile
 - Kosten
 - Erfordert einheitliche, offene Kommunikationsstandards
 - Schwierig zu steuern

Microgrids



- Dynamische Zellen aus mehreren intelligenten Knoten
 - Verteilte Stromgeneratoren (z.B. Solarzellen, Erdwärme)
 - Energiespeicher (z.B. Wärmespeicher)
 - Verbraucher
- Dynamische Regelung von Stromproduktion und Stromverbrauch
- Treten gegen aussen als eine einzige Einheit auf
 - Sowohl als Stromkonsument als auch als Stromlieferant

Microgrids



- Vorteile
 - Ermöglicht eine hierarchische Organisation des Smartgrid
 - Können im Ausnahmefall vom Hauptstromnetz getrennt werden
- Nachteile
 - Benötigen eine hohe Abdeckung durch dezentrale Stromerzeugung
 - Teuer

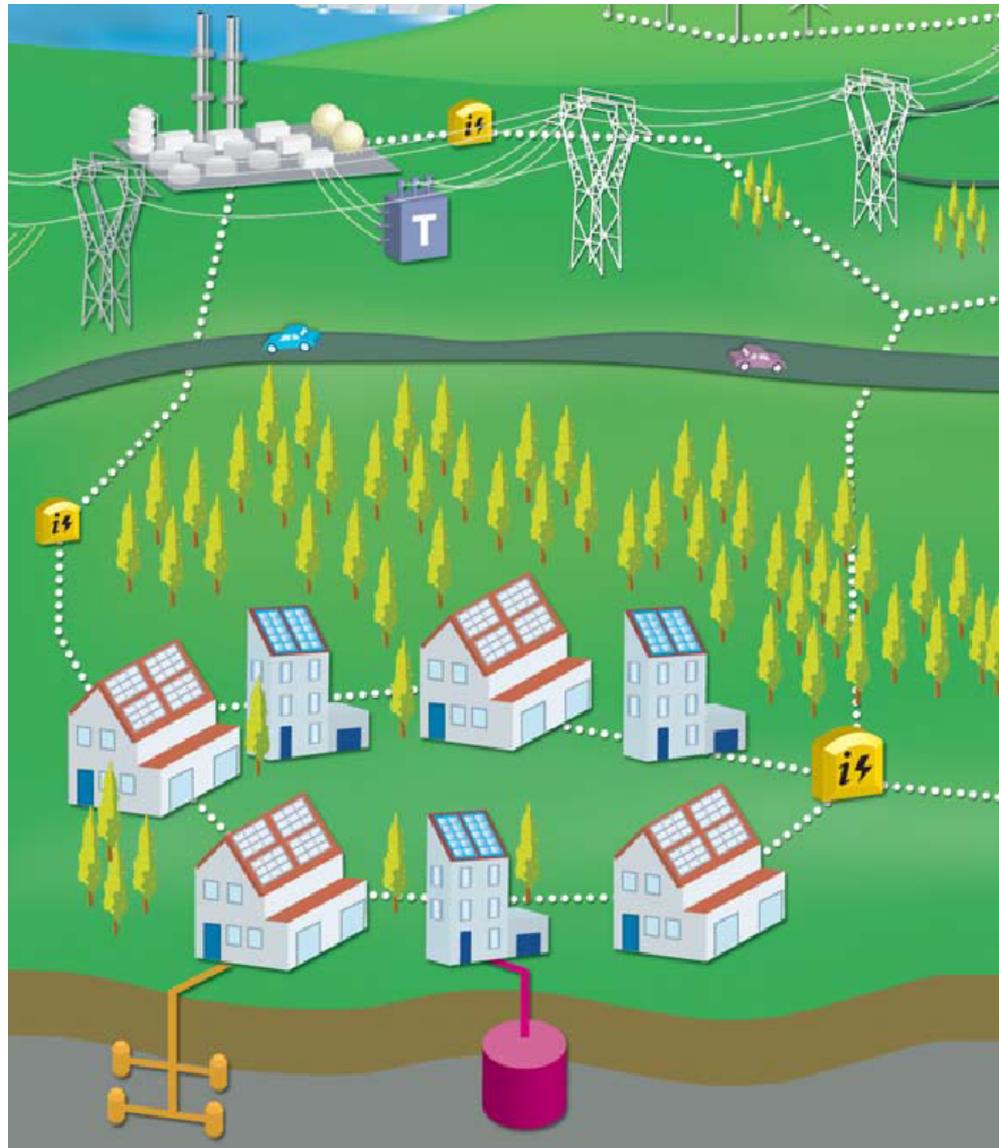


Bild: European SmartGrids Technology Platform: Vision and Strategy for the Future, 2006

Anwendungsbeispiele

- Automatische Verteilung der Auslastung auf verschiedene Komponenten im Netzwerk
- Kompensation einer ausgefallenen Hochspannungsleitung
- Anpassung von Stromproduktion und Stromkonsum an die momentane Netzauslastung
- Intelligente Verbraucher

Intelligente Verbraucher

- Aktive Beteiligung am Stromnetz
- Echtzeitinformation zu Verbrauch und Netzstatus
 - z.B. Auslastung, Preis, verfügbare Anbieter
- Intelligente Entscheidungen beim Stromkonsum
 - Verschieben von nicht-kritischem Verbrauch auf späteren Zeitpunkt
 - Bevorzugte Anbieter
 - Einspeisen von gewonnener Energie zurück ins Stromnetz

Mehr dazu im Vortrag zu „Smart metering“

Smartgrid: Fazit

- Das Smartgrid-Modell erfüllt die Anforderungen nach Flexibilität und Effizienz
- Microgrids erlauben die dynamische Aufteilung in kleinere, einfacher zu kontrollierende Einheiten

Übersicht

- Das europäische Stromnetz
- Smartgrid: Das intelligente Netz
- Implementation als Multiagentensystem

Steuerungsalgorithmus für Smartgrids

- Die intelligenten Knoten im Smartgrid können nicht mehr von zentralen Kontrollstellen gesteuert werden
- Wir brauchen einen verteilten Algorithmus, der auch auf Millionen von Komponenten skaliert

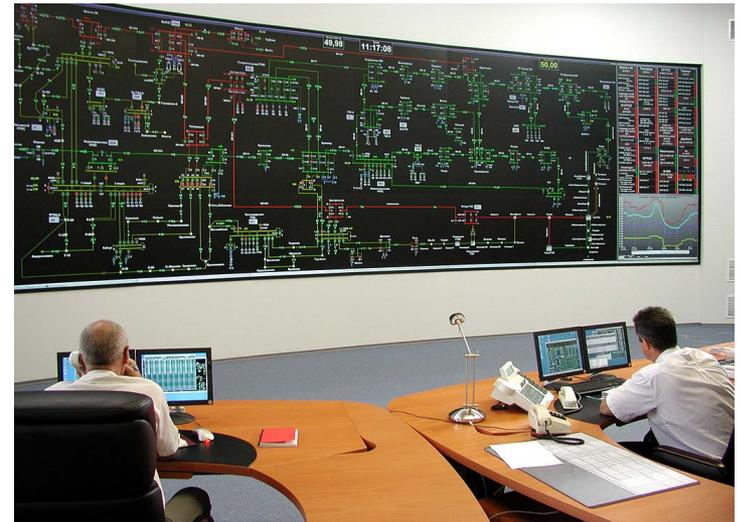


Bild: mit Bewilligung von www.barco.com

Multiagentensysteme

- Eine Kombination von verschiedenen Agenten mit den folgenden Eigenschaften [3]
 - Unabhängigkeit
 - Interaktion
 - Reaktion
 - Eigeninitiative
- Verteilen die Intelligenz auf verschiedene Knoten
- Treffen kollektiv Entscheidungen

[3] M. Wooldridge and N. R. Jennings: Intelligent Agents, 1995

Beispiel

- Ein Krankenhaus soll unterbruchsfrei mit Strom versorgt werden, auch wenn das Hauptnetz ausfällt
- Traditionelle Lösung: hardwarebasiertes Zonen-Schutzsystem
 - Stromausfälle werden durch das Schutzsystem erkannt
 - Dieselgeneratoren als alternative Stromquelle



Bild: www.wikipedia.org, GFDL

Modellierung als Microgrid

- Das Krankenhaus kann als ein Microgrid betrachtet werden
- Vorteile
 - Die geschützte Zone kann dynamisch festgelegt werden
 - Verbraucher passen sich der verfügbaren Kapazität an
- Stromverbrauch und Stromproduktion werden auch im normalen Betrieb optimiert

Steuerung eines Microgrids

- Steuerung eines Microgrids durch ein Multiagentensystem [4]
- Benötigte Agenten
 - Kontroll-Agent
 - Überwacht Spannung und Frequenz
 - Kann das Microgrid im Problemfall vom Hauptnetz trennen
 - Ansprechpartner für die Kommunikation nach aussen
 - Generator-Agent
 - Repräsentiert eine Stromquelle
 - Regelt die Produktion abhängig vom Energiebedarf im Microgrid

[4] M. Pipattanasomporn et al.: Multi-Agent Systems in a Distributed Smart Grid, 2009

Steuerung eines Microgrids

- Steuerung eines Microgrids durch ein Multiagentensystem [4]
- Benötigte Agenten
 - Verbraucher-Agent
 - Regelt den Verbrauch von verschiedenen Komponenten abhängig vom Netzzustand
 - Setzt Regeln und Prioritäten zur automatischen Steuerung von Verbrauchern fest
 - Datenbank-Agent
 - Speichert globale Systeminformationen
 - Gilt als bekannte Anlaufstelle für andere Agenten

[4] M. Pipattanasomporn et al.: Multi-Agent Systems in a Distributed Smart Grid, 2009

Implementation

- Frei verfügbare Plattformen, z.B. Zeus-Framework
 - Java-basiert
 - Vermindert Implementationsaufwand
- FIPA-Standards (Foundation for Intelligent Physical Agents)
 - Offene Spezifikationen und Kommunikationsprotokolle
 - Zusammenarbeit von Agenten, aufbauend auf verschiedenen Technologien

Tests

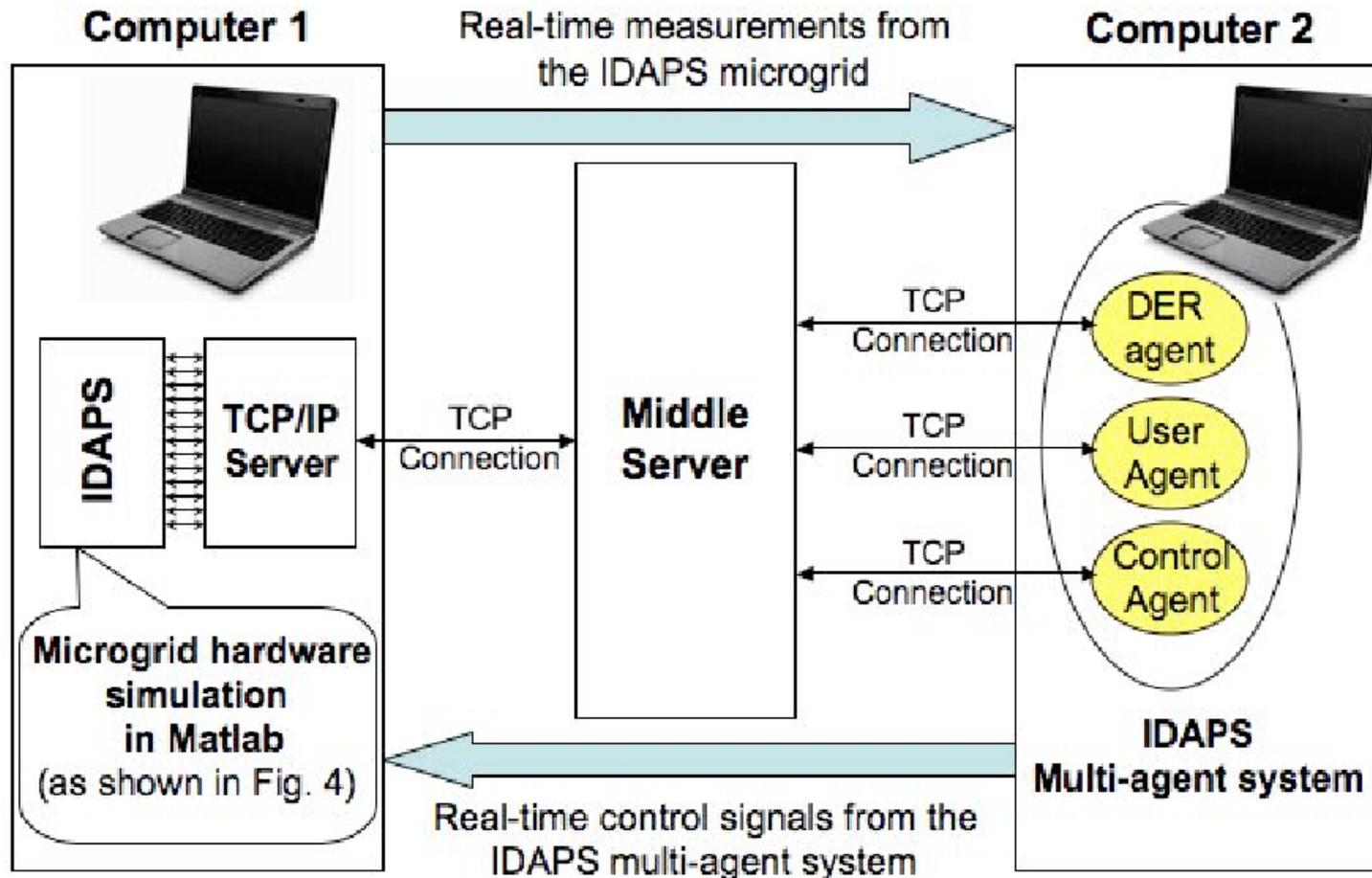


Bild: M. Pipattanasomporn et al.: Multi-Agent Systems in a Distributed Smart Grid, 2009

Resultate

- Wie reagiert das Multiagentensystem auf einen Spannungsabfall im Hauptnetz? [4]
 - Das Microgrid wird vom Hauptstromnetz getrennt
 - Die lokale Stromproduktion wird erhöht
 - Nicht-kritische Verbraucher werden abgeschaltet
- Das Multiagentensystem kann in diesem Fall das Problem ohne menschliche Interaktion selbst lösen

[4] M. Pipattanasomporn et al.: Multi-Agent Systems in a Distributed Smart Grid, 2009

Resultate

- Aber:
 - Das simulierte Microgrid besteht nur aus einem Stromgenerator und vier Verbrauchern
 - Der Test beruht auf einer Simulation in Matlab und nicht auf richtiger Hardware
- **Das Ergebnis ist nicht besonders aussagekräftig**
 - Ein solch einfaches System ist auch problemlos mit klassischen Ansätzen (z.B. über zentrale Kontrollalgorithmen oder in Hardware) steuerbar
 - Die Hauptanforderung der Skalierbarkeit auf viele Knoten wurde nicht gezeigt

Multiagentensysteme: Fazit

- Multiagentensysteme eignen sich durch ihre autonome, pro-aktive Natur zur Steuerung des Smartgrids
- In Simulationen reagieren bestehende Systeme bereits korrekt auf bestimmte Problemsituationen
- Es bleibt zu zeigen, dass diese Systeme auch ausserhalb des Labors, basierend auf richtiger Hardware, funktionieren

Zusammenfassung

- Das Stromnetz der Zukunft ist ein dezentrales, verteiltes System
- Smartgrid ist momentan das bevorzugte Modell, ein solches Netz zu organisieren
- Zur Implementation bieten sich Multiagentensysteme an

Ausblick

- Um die Vision des Smartgrids umzusetzen, braucht es ein breit abgestütztes, langfristig geplantes Vorgehen aller Beteiligten
- Die Auswirkungen eines grossflächigen Wandels zu automatisierten Systemen sind schwer vorauszusagen

Fragen



Literatur

- [1] D.-G. for Research Sustainable Energy Systems. European SmartGrids Technology Platform – Vision and Strategy for Europe’s Electricity Networks of the Future, 2006.
- [2] Swissgrid. www.swissgrid.ch [Online]
- [3] M. Wooldridge and N. R. Jennings. Intelligent Agents: Theory and Practice. Knowledge Engineering Review, Vol. 10, No. 3, 1995.
- [4] Proceedings of the IEEE Power Systems Conference and Exposition (PSCE 2009). Multi-Agent Systems in a Distributed Smart Grid: Design and Implementation, Seattle, WA USA, March 2009.