

Innovationspolitik, Informationsgesellschaft, Telekommunikation

E-Energy – Smart Grid made in Germany

Erwartungen, Lösungsansätze und erste Ergebnisse



Michael Wedler, B.A.U.M. Consult GmbH, München / Berlin
Begleitforschung im Auftrag des BMWi

www.e-energy.de

E-Energy Programm auf einen Blick

- ▶ Bundeskanzlerin auf ihrem IT-Gipfel: „Leuchtturmprojekt“
- ▶ Ressortübergreifende Partnerschaft
 - ▶ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
(ca. 40 Mio. € für vier Modellregionen)
 - ▶ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
(ca. 20 Mio. € für zwei Modellregionen)
- ▶ 6 Modellregionen
 - ▶ hervorgegangen aus Technologiewettbewerb
 - ▶ Mobilisierung von Förder- & Eigenmitteln: 140 Mio. EUR
- ▶ Begleitforschung zur Sicherstellung der Nachhaltigkeit des Programms
 - ▶ Evaluation und Synergien
 - ▶ Transfer und Verbreitung



 Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

 Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

 eTelligence

 **REG MOD HARZ**
Regenerative Modellregion Harz

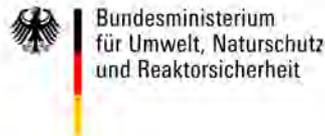
 E DeMa

Smart  @ Watts

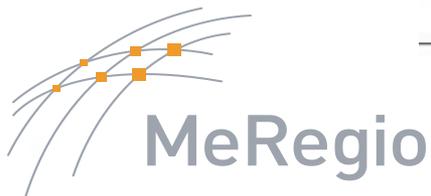
 **moma**

 MeRegio

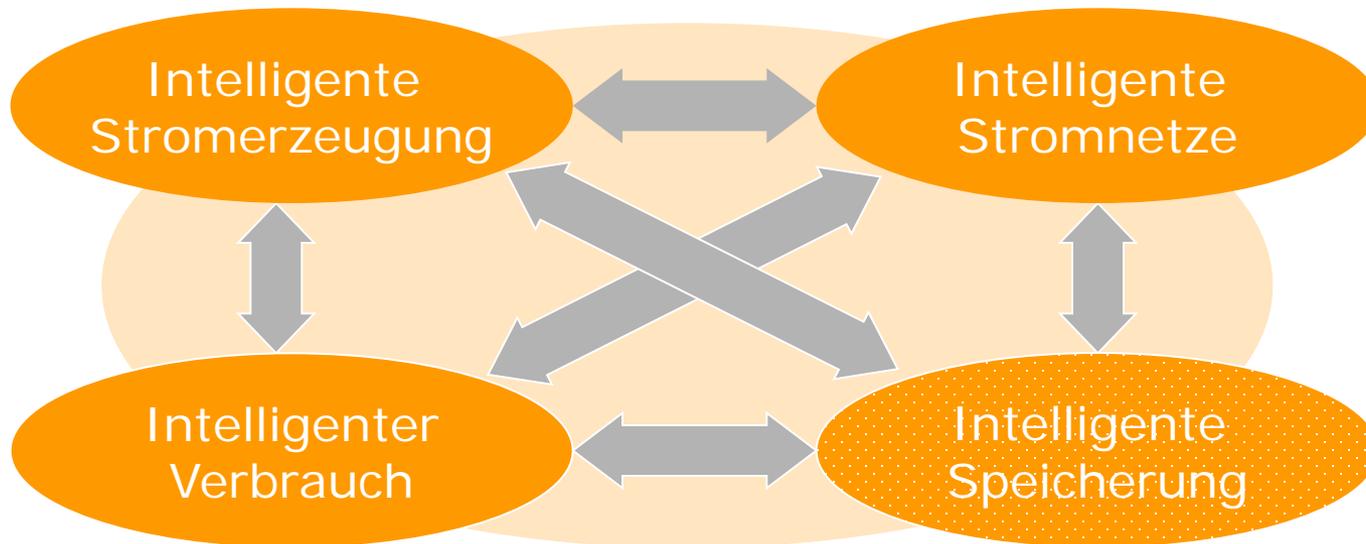




IKT FÜR ELEKTROMOBILITÄT



E-Energy: ein intelligentes Gesamtsystem



Das Begleitkonsortium



B.A.U.M. Consult GmbH, München / Berlin



TU München, Institut für Informatik



TU Darmstadt, Institut für Elektrische Energiesysteme



incowia GmbH, Ilmenau



LoeschHundLiepold Kommunikation GmbH, München

E-Energy: zwei Welten finden zusammen



Aufgaben der Begleitforschung

- ▶ **Querschnittsfragen** -> Fachgruppen -> Eingabe bei Regulierern
- ▶ **Netzwerk, PR** -> Verbände, Regionen, national, DACH, EU, international
- ▶ **Evaluierung** -> Vergleich von Lösungsansätzen und Effekten
- ▶ **Transfer** -> Leitfaden, Wissensplattform,... -> Erkenntnisse für Nachfolger verfügbar machen

Fachgruppen: regionsübergreifender Austausch zu Querschnittsfragen

- ▶ Systemarchitektur
- ▶ Interoperabilität
- ▶ Rechtsrahmen
- ▶ Marktentwicklung

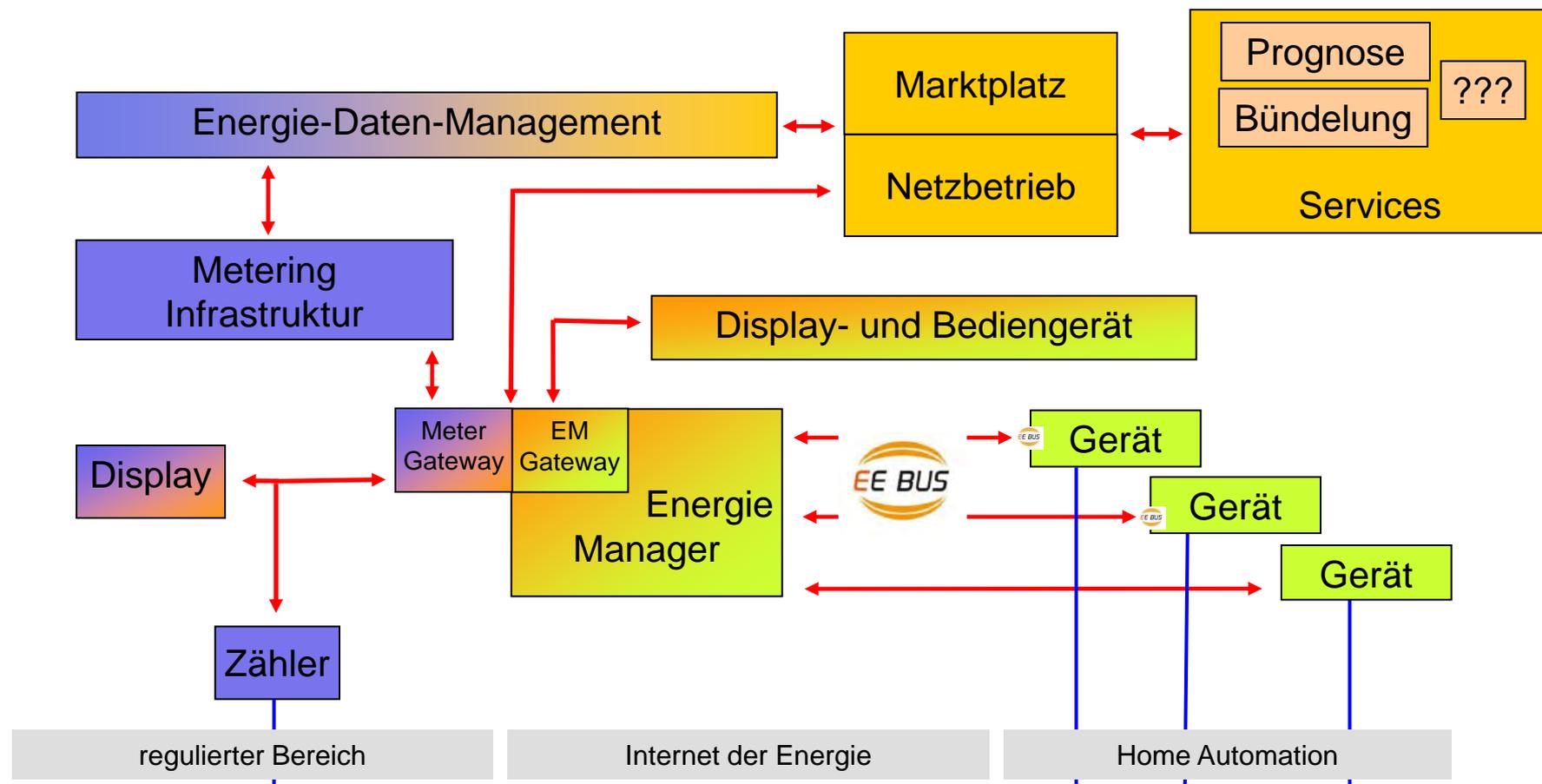
Standards?

Datenschutz?

Daten-
sicherheit ?

Markttrollen, Geschäfts-
modelle, Kundenakzeptanz?

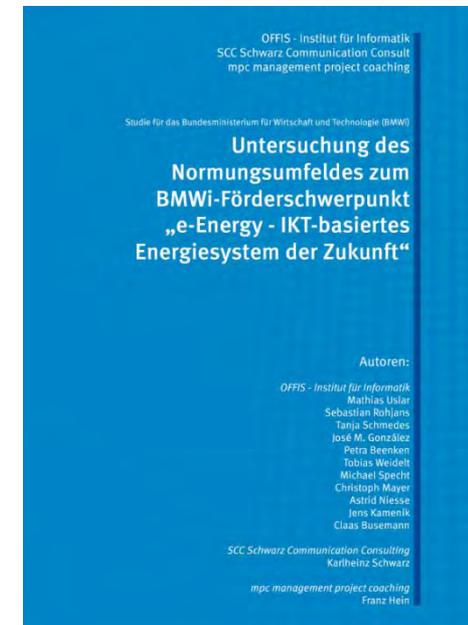
Modulare Systemarchitektur: Smartmeter + Energiemanager



Der Standardisierungsansatz

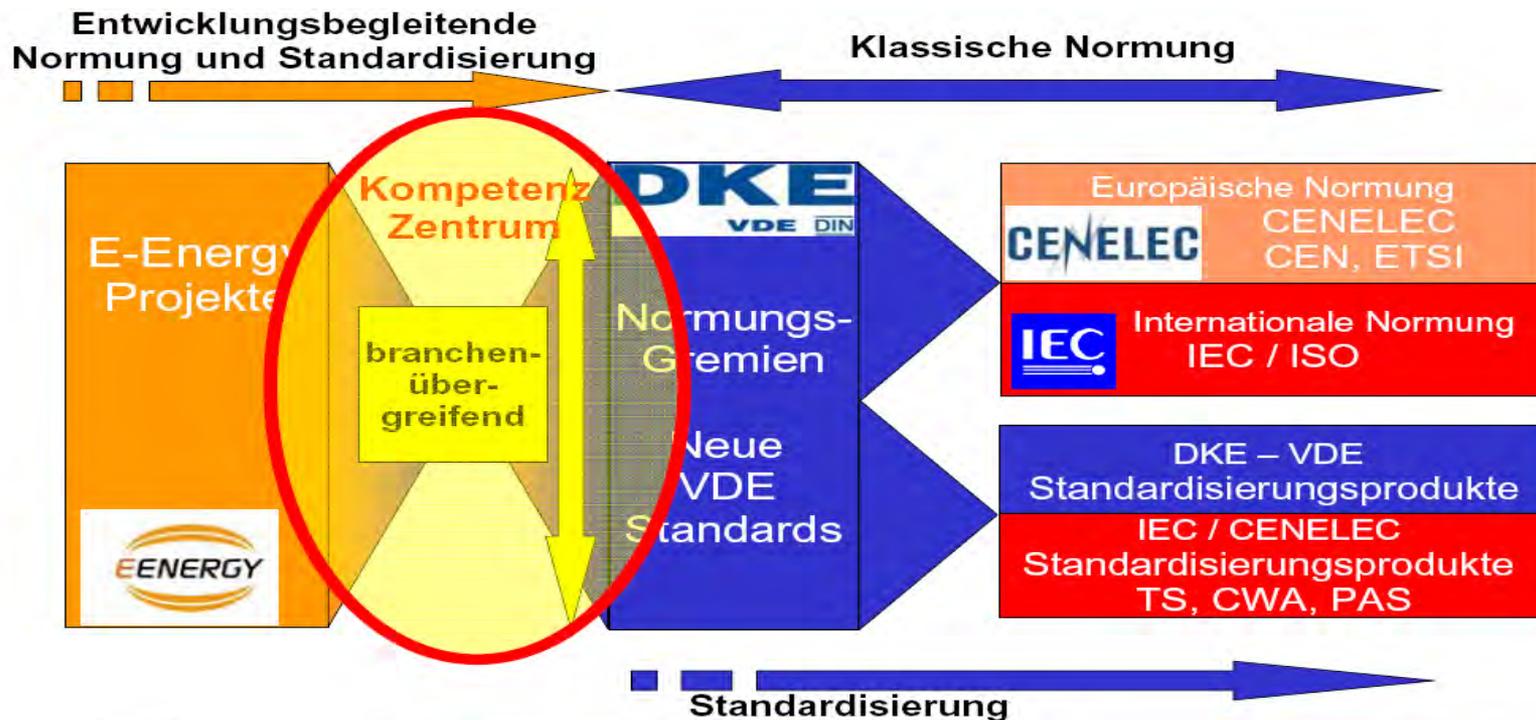
- ▶ Studie: “Untersuchung des Normungsumfelds zum BMWi-Förderschwerpunkt E-Energy”
- ▶ E-Energy Fachgruppe *Interoperabilität*
- ▶ DKE / E-Energy Kompetenz-Zentrum:

Roadmap für E-Energy
and Smart Grid



Kompetenzzentrum E-Energy in der DKE

Transfermaßnahmen



➤ Normungsroadmap Smart Grid

Quelle: DKE

Profiling der Modellregionen – Dimensionen der Darstellung

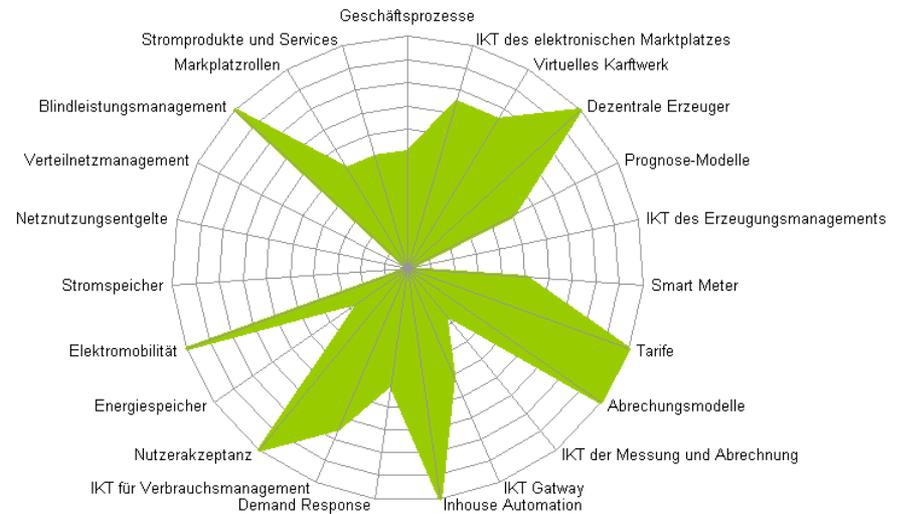
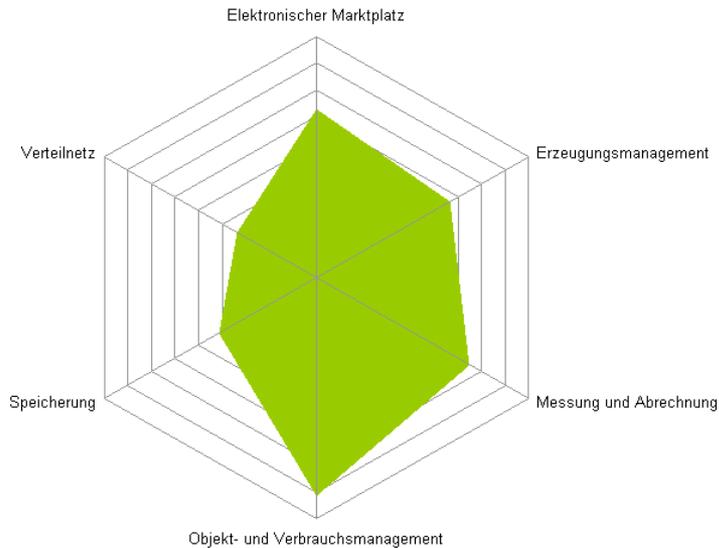
E-Energy Domänen

- ▶ Elektronischer Marktplatz
- ▶ Erzeugungsmanagement
- ▶ Messung und Abrechnung
- ▶ Objekt- und Verbrauchsmanagement
- ▶ Speicherung
- ▶ Verteilnetz

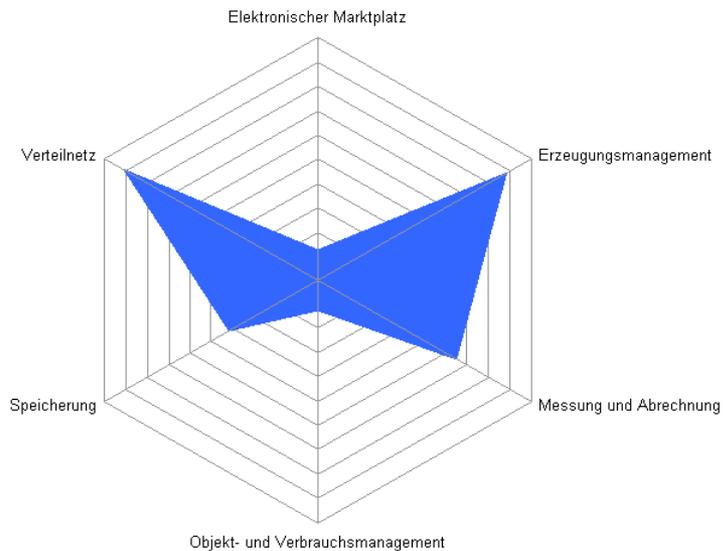
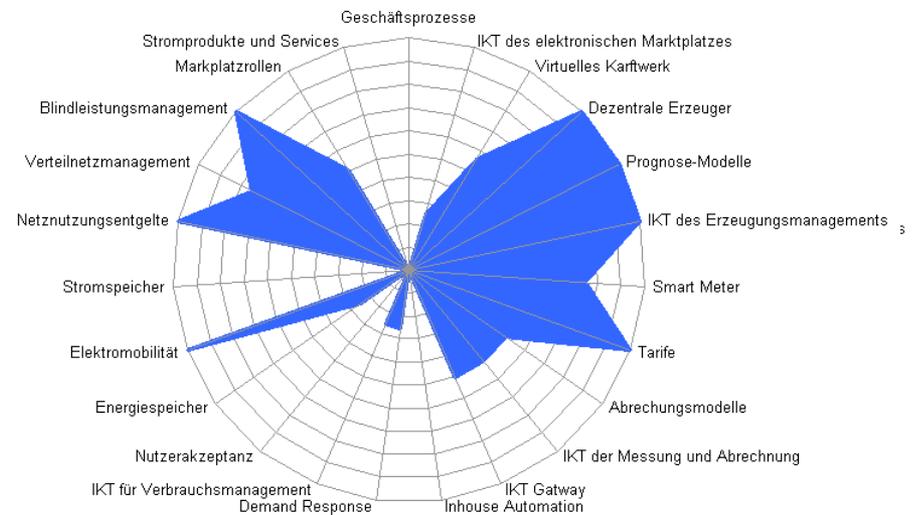
Untersuchungsgegenständen

- ▶ Elektronischer Marktplatz
- ▶ Erzeugungsmanagement
- ▶ Messung und Abrechnung
- ▶ Objekt- und Verbrauchsmanagement
- ▶ Speicherung
- ▶ Verteilnetz

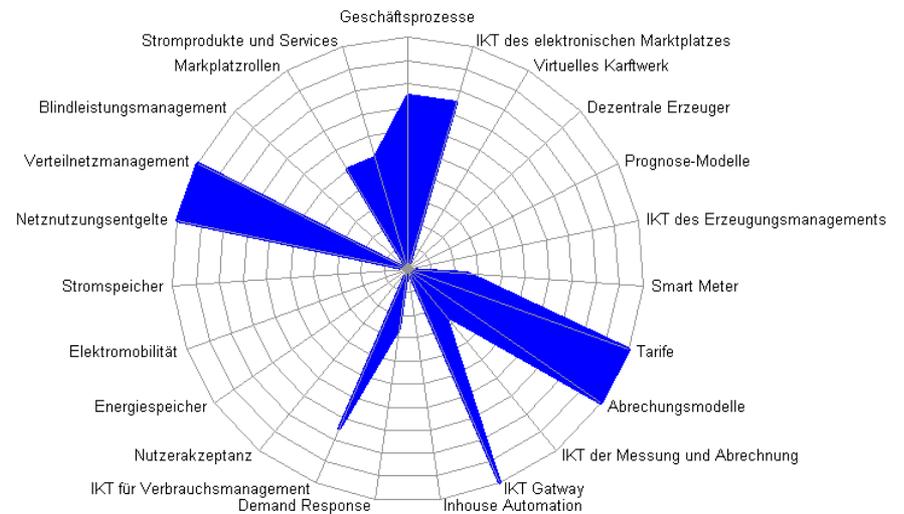
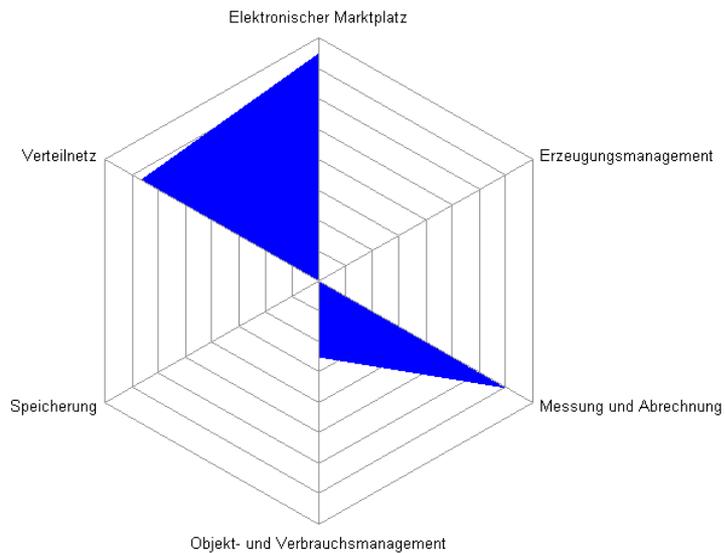
Aktivitäten RegModHarz



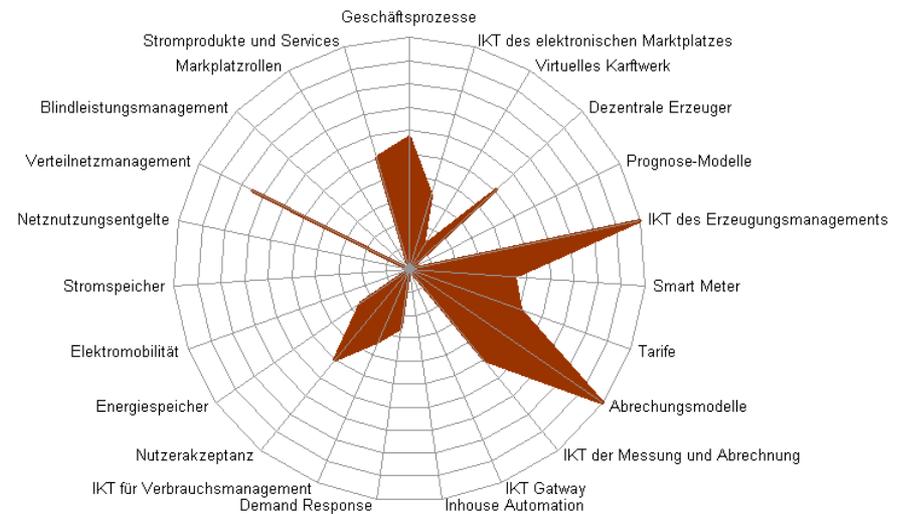
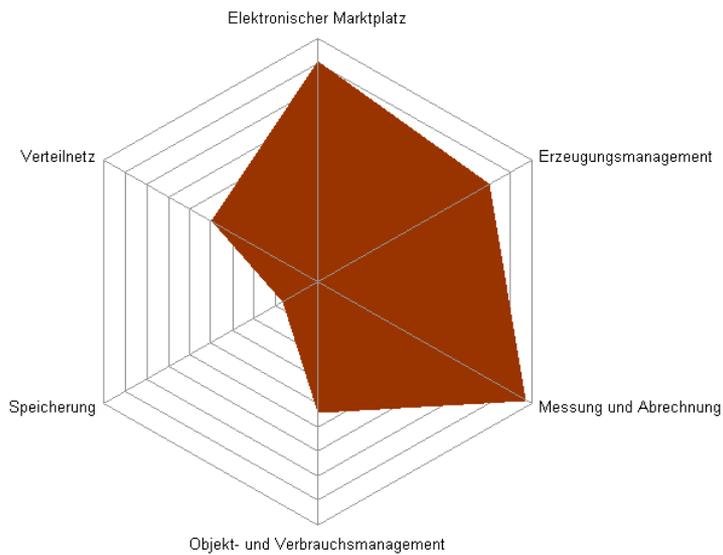
Aktivitäten eTelligence

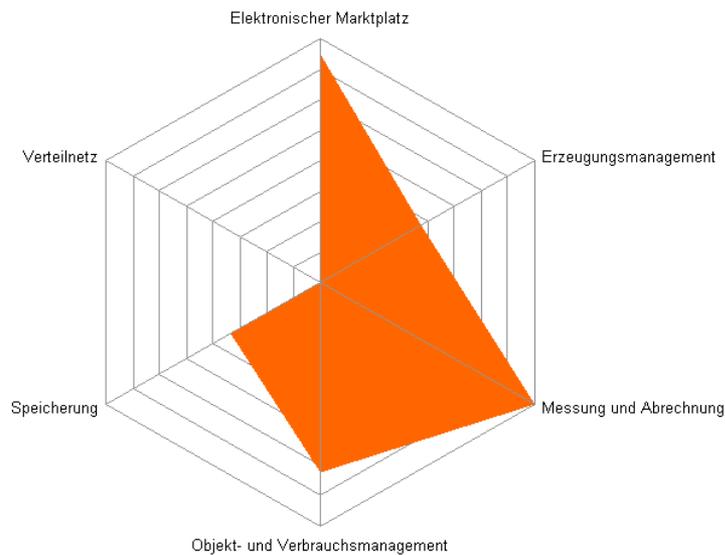
Aktivitäten E-DeMa



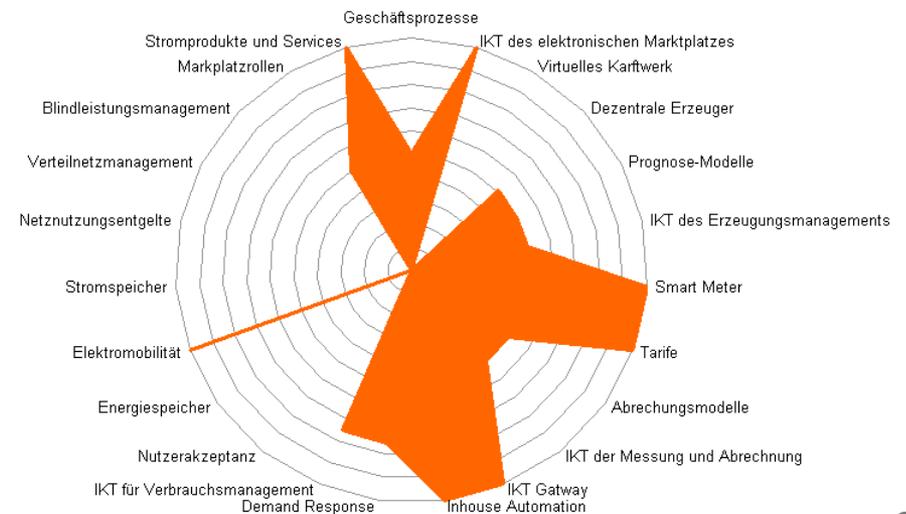
Aktivitäten moma



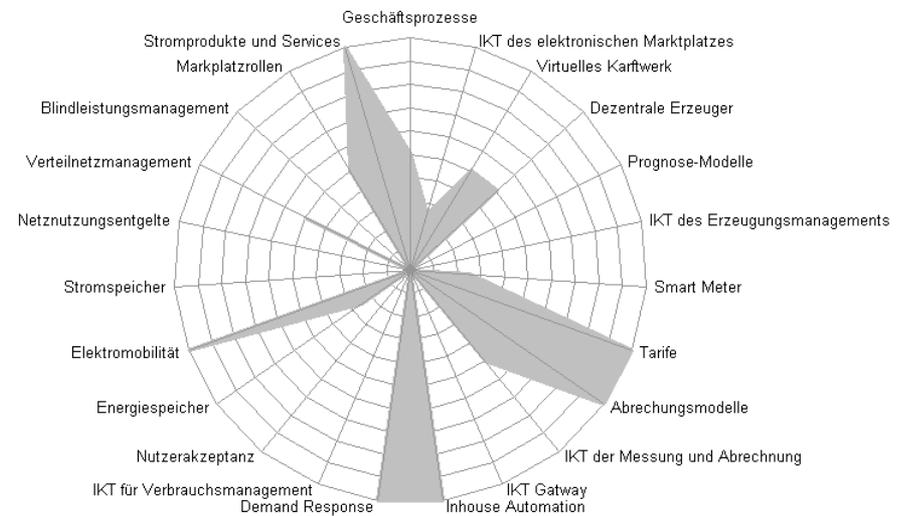
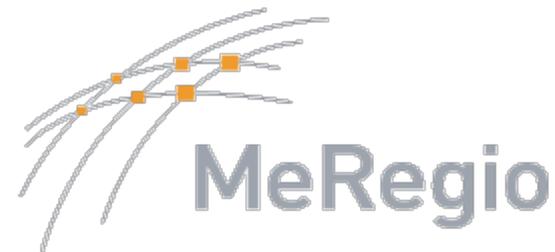
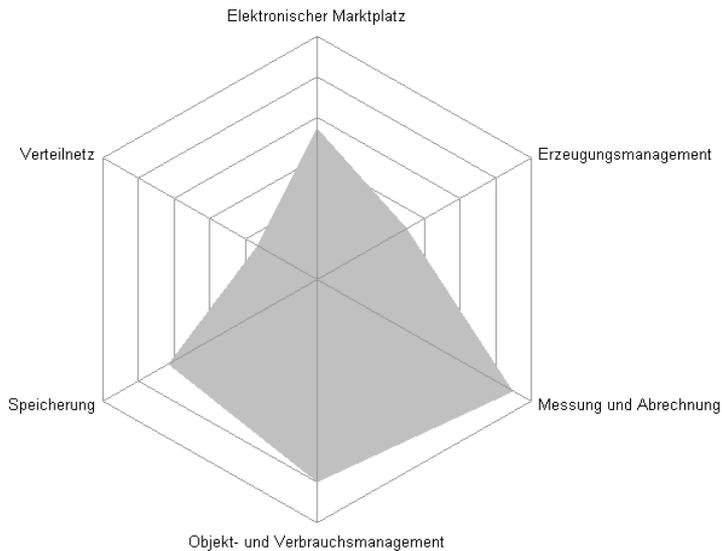
Aktivitäten smart-watts



Smart @ Watts



Aktivitäten MeRegio

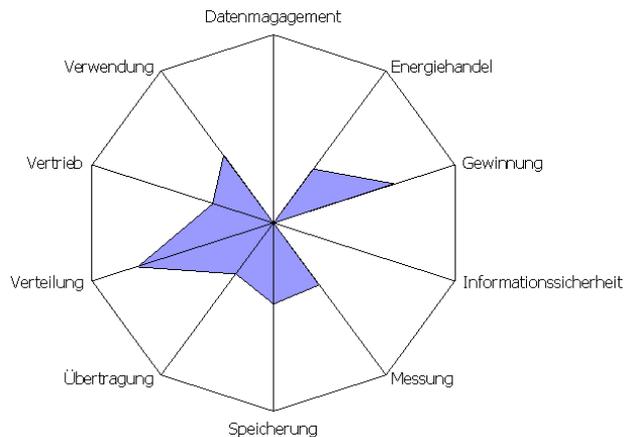


Vergleich der Projekte „eTelligence“ und „E-DeMa“ nach der Auswertungsdimension „Energiewirtschaftliche Domänen“



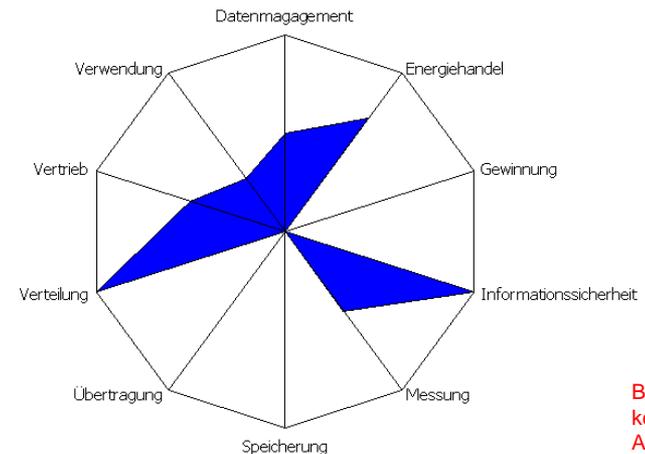
Land Deutschland
Region Cuxhaven

EWE AG (Konsortialführer)
BTC AG, energy & meteo systems GmbH,
Fraunhofer-Verbund Energie, OFFIS - Institut
für Informatik, Öko-Institut e.V.



Land Deutschland
Region Rhein Main

RWE Rheinland Westfalen Netz AG (Konsortialführer),
FH Dortmund, Miele, ProSyst, Ruhr-Universität Bochum,
Siemens AG, Stadtwerke Krefeld, TU Dortmund,
Universität Duisburg-Essen



Beispieldaten,
keine realen
Aussagen

Energiepolitisches Dreieck

- ▶ Die **Umweltverträglichkeit** soll gestärkt werden, indem mehr erneuerbare Energien im „Smart Grid“ integriert werden können und der CO₂-Ausstoß zusätzlich durch verbesserte Netzführung und Sensibilisierung für Einsparung und Effizienzmaßnahmen beim Verbraucher reduziert werden kann.

Energiepolitisches Dreieck

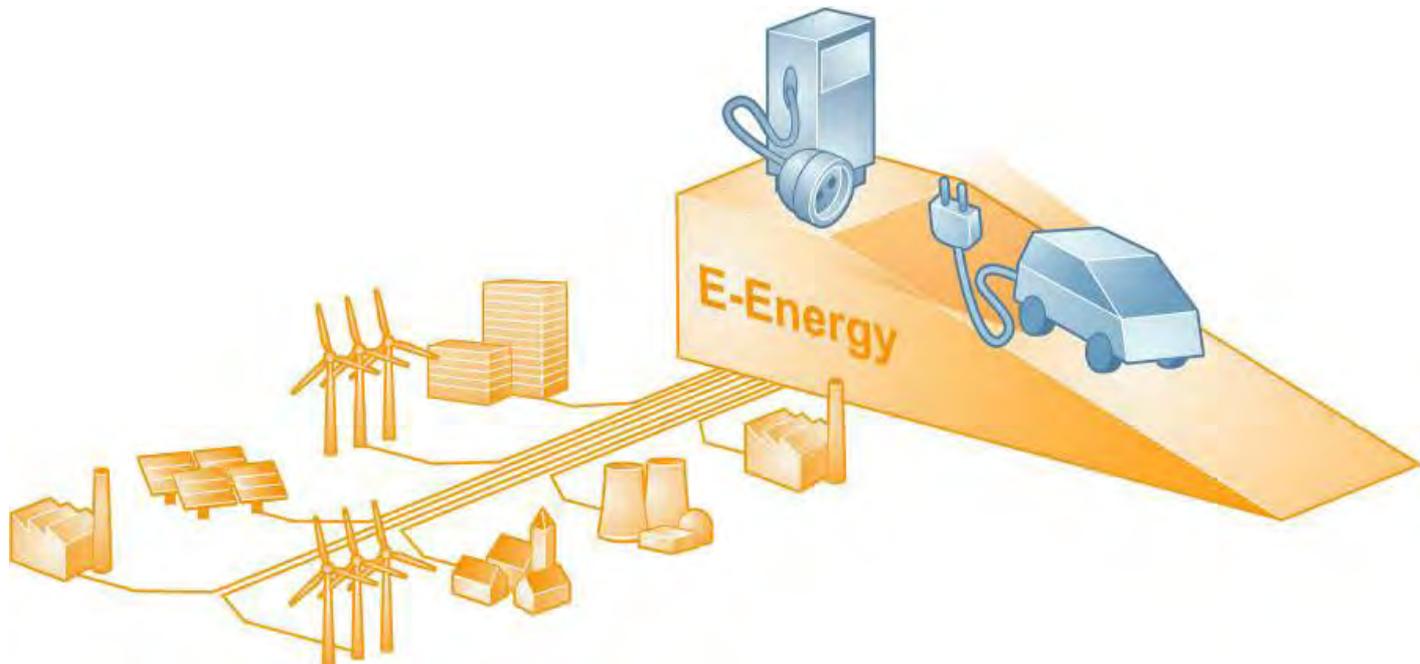
- ▶ Die **Versorgungssicherheit** soll bzgl. der Verfügbarkeit der Primärenergien auf nationaler Ebene (Problem der Importabhängigkeit, Endlichkeit der Ressourcen usw.) gestärkt werden durch eine Diversifizierung und Regionalisierung der Energiebeschaffung (regionale erneuerbare Energien).
Demgegenüber sollte die **Versorgungszuverlässigkeit** im Sinne der zeitlichen Verfügbarkeit elektrischer Energie am Endkundenanschluss trotz der Dezentralisierung nicht vermindert werden und durch E-Energy mittels intelligenter Steuerungsmechanismen (geregelte Einspeisung, bessere Prognosen, Demand-Side-Management, Speicherung, stabile Architekturen) weiterhin ein hinreichendes und zukunftsicheres Netzlastmanagement erlauben.

Energiepolitisches Dreieck

- ▶ Die **Wirtschaftlichkeit** wird trotz steigender und bidirektionaler Anforderungen an Transportleistung mit Hilfe von E-Energy-Maßnahmen gewahrt
 - weniger Infrastrukturbedarf auf Verteilnetzebene, wie Trafos und Schaltanlagen und Leitungen ;
 - weniger Ausbaubedarf im Übertragungsnetz durch effizientes Netzmanagement ;
 - vermeidbare Reinvestitionen in konventionelle Kraftwerke.
- Der Verbraucher kann sich durch E-Energy-Produkte marktgerechter verhalten (Liberalisierung) und zum aktiven Marktteilnehmer werden. Ebenso können dezentrale Erzeuger ihre Stromprodukte aktiv am Strommarkt vertreiben.

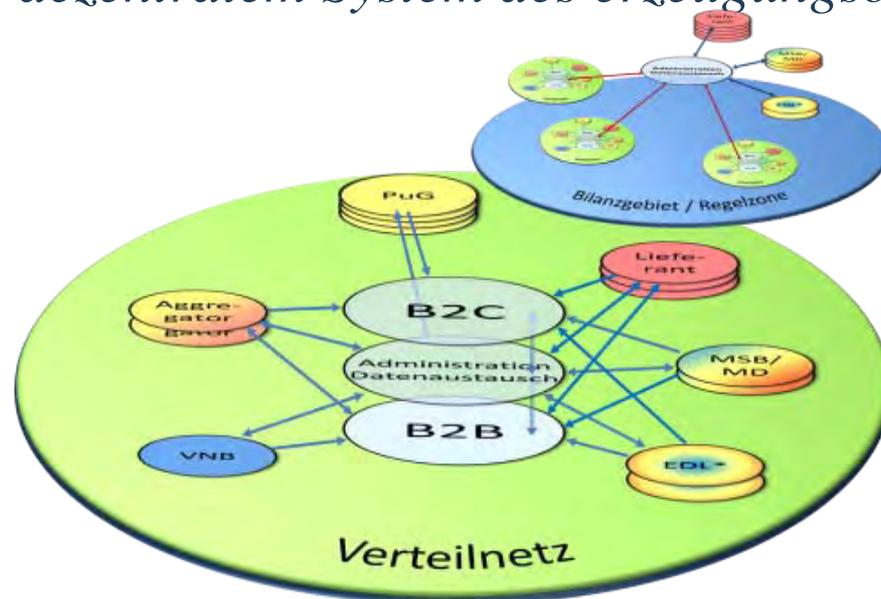
Evaluation: Fingerprint der Modellregionen

- ▶ Integration erneuerbarer Energien und Elektromobilität,
Was leisten die Lösungsansätze der jeweiligen Modellregionen?
RegModHarz



Evaluation: Fingerprint der Modellregionen

- ▶ Dezentralisierung der Energieerzeugung und Sicherung der künftigen Versorgung (Netzausbau),
Welche Lösungen bieten die MR für den Umbau einer Architektur (Wechsel vom System der verbrauchsorientierten zentralen Erzeugung hin zum dezentralem System des erzeugungsorientierten Verbrauchs) ?
MoMa, Edema

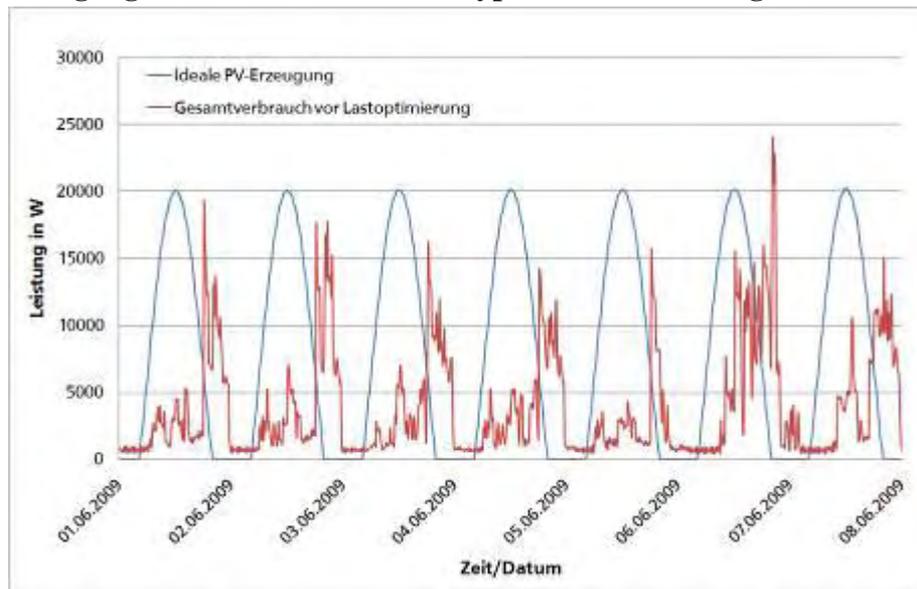


Evaluation: Fingerprint der Modellregionen

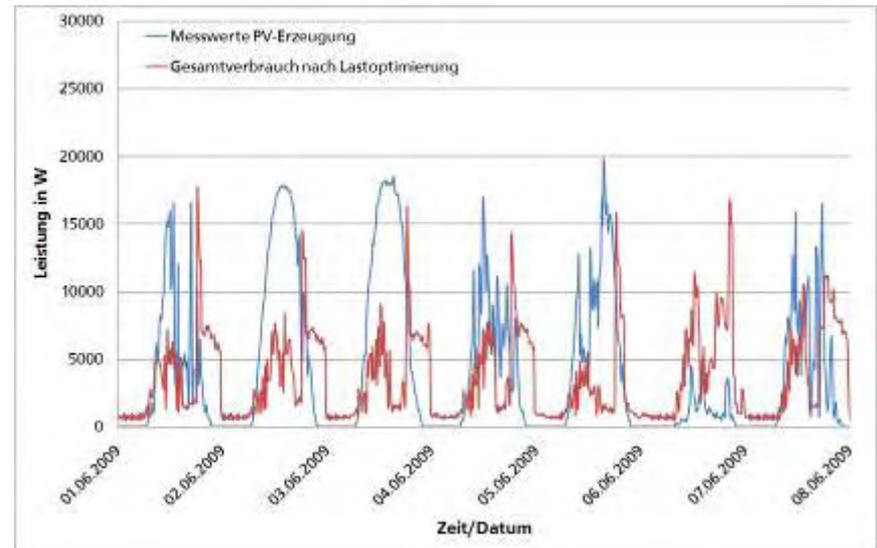
- ▶ **Steigerung der Energieeffizienz**
Können CO₂-Reduktionseffekte (netto) durch weniger, bzw. effizienteren Verbrauch und Integration zusätzlicher erneuerbarer Energie ausgemacht werden?
Kann durch Lastverschiebung hinreichende Anpassung der Lastkurve und strukturelle Veränderungen des Kraftwerksparks erreicht werden?
eTelligence

Simulierte Balance zwischen Erzeugung und Verbrauch

**ideale Erzeugung PV,
Lastgang von 10 Haushalten mit typischer Ausstattung**



**reale Erzeugung PV,
erzeugungsoptimierter Lastgang der gleichen Haushalte**



Ergebnis: Reduktion der Lastspitzen um 26 %

Verbrauch außerhalb Erzeugung reduziert um 23 %

Evaluation: Fingerprint der Modellregionen

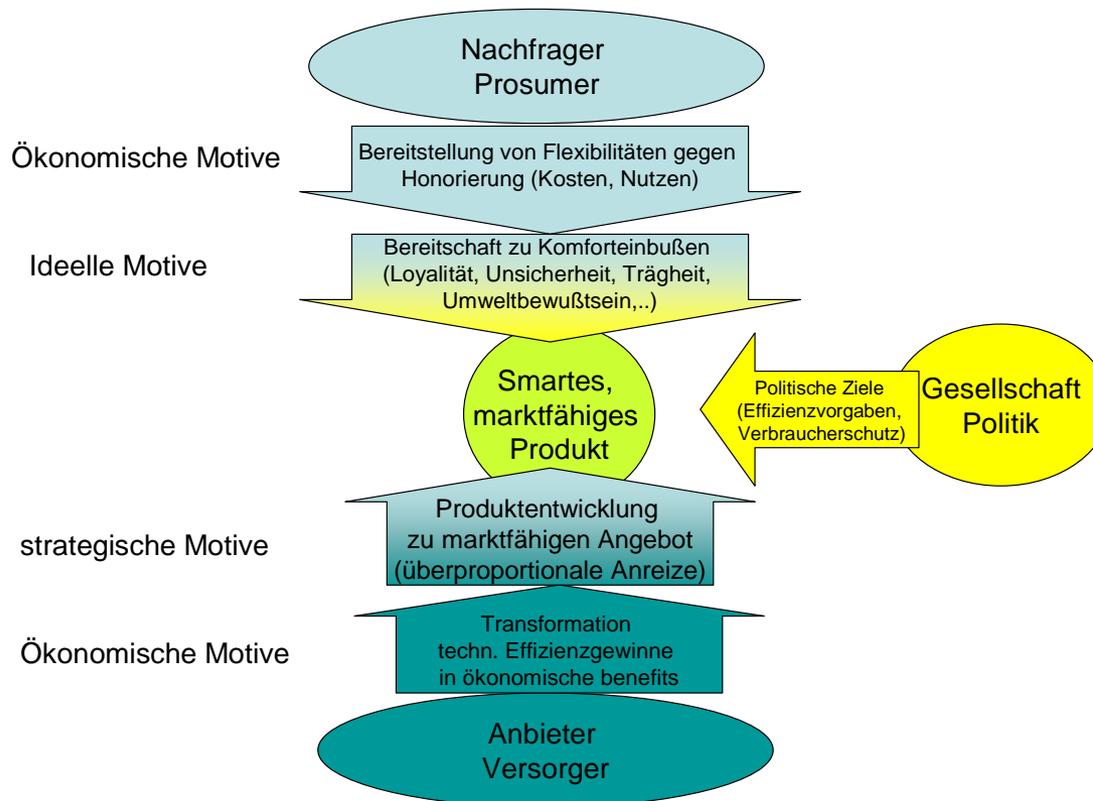
▶ Marktliberalisierung

Inwieweit lässt sich der Umbau des Energiesystems marktwirtschaftlich gestalten (marktfähige Produkte, Kundenakzeptanz, neue Marktakteure, Kosten-Nutzenverteilung in der WSK), MeRegio, Smart Watts inwieweit sind regulierende Maßnahmen förderlich oder hemmend?

Finden Lastverschiebungsanstrengungen in privaten Haushalten Akzeptanz?

Kann eine ausreichende Flexibilität (DSM, Erzeugung, Speicherung) durch Marktanreize mobilisiert werden?

Einflussgrößen für marktfähige E-Energy-Produkte



Vergleich unterschiedlicher Flexibilitäten über Kosten-Nutzen-Analyse

Spezifische System(-integrations-) kosten

unterschiedlicher Flexibilitätsoptionen
in €/kW Residuallast

- ▶ Speicherkapazitäten
- ▶ Verschiebbare Lasten
- ▶ Regelbare Einspeisung

Spezifischer Systemnutzen

verschiedener Dienstleistungsoptionen in €/kW

- ▶ Reserveenergie
- ▶ Regelernergie
- ▶ Systemdienstleistung
- ▶ Infrastruktureffekte (indirekt)

Preis (€/kWh)

Nachfrage auf Kundenseite

- Nutzen in €/kWh (ökonomisch)
- Akzeptanz (psychologisch)

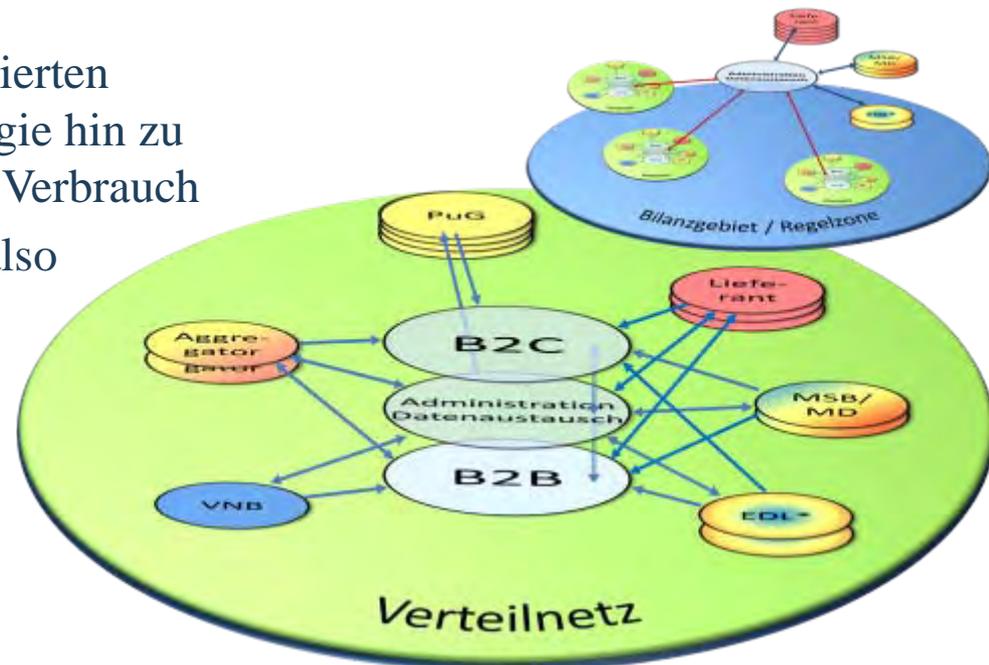
Wenn Stromabnehmer Strom erzeugen

► Vision:

- Weg von der verbrauchsorientierten Einspeisung elektrischer Energie hin zu einem erzeugungsorientierten Verbrauch
- Kunde wird zum Prosumer - also gleichzeitig Produzent und Konsument.

► Akteure:

- RWE Rhein-Ruhr AG
- Stadtwerke Krefeld AG, Siemens AG, ef.ruhr GmbH, Miele & Cie. KG, Prosynt Software GmbH



Akteure des Marktplatzes

Marktplatzbetreiber

- organisiert, betreibt und verantwortet den E-Energy-Marktplatz
- bietet B2B und B2C-Geschäftsbeziehungen an
- erhebt Beiträge / Transaktionsgebühren

Verteilnetzbetreiber (VNB)

- unterstützt durch z.B. durch netztopologie-spezifische Anreizmodelle zur erhöhten / verringerten Wirk- / Blindleistung
- Nutzung der Netzauslastung zur Netzsteuerung

Kunde, Prosumer

- bieten Eigenerzeugung und Flexibilitäten dem Marktplatz an
- ermöglichen Providern den Zugriff auf ihre IKT-Gateways
- verhalten sich überwiegend rational

vK-Betreiber, Aggregator Energieerzeuger

- vK-Betreiber bündeln dezentrale Erzeugung zur verbesserten energiewirtschaftlichen Vermarktung der Einzelanlagen
- bietet dem DSO / TSO Netzdienstleistungen an

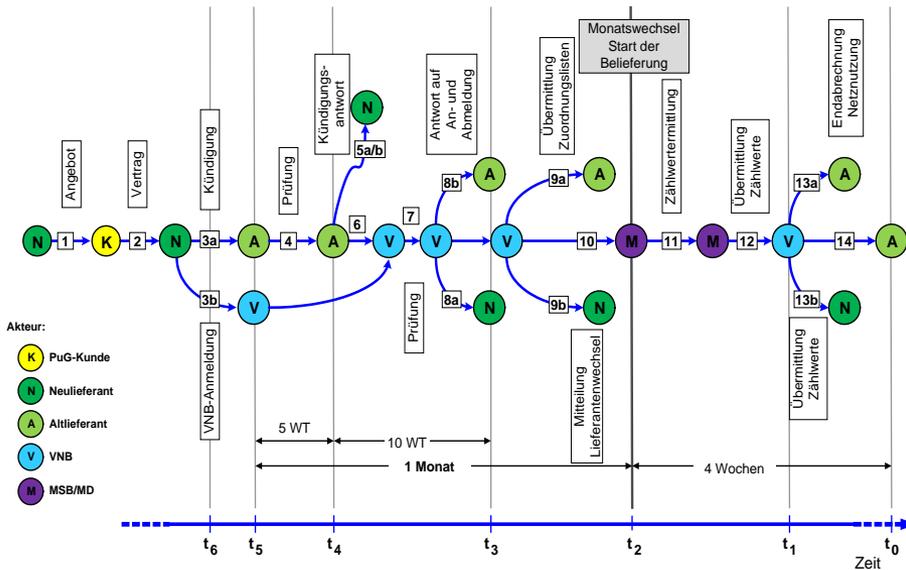
Energiehändler, Lieferanten

- platzieren flexible Kaufangebote durch dynamische Tarife auf unterschiedlichen Marktplätzen
- schaffen Anreizoptionen für effizienten Energieverbrauch

Messstellenbetreiber, Messdienstleister

- bilden Datendrehscheibe von Zähler- / Verbrauchsdaten
- bereiten Marktteilnehmern nach Gesichtspunkten des Unbundling und Datenschutzes Informationen auf

Lieferantenwechsel

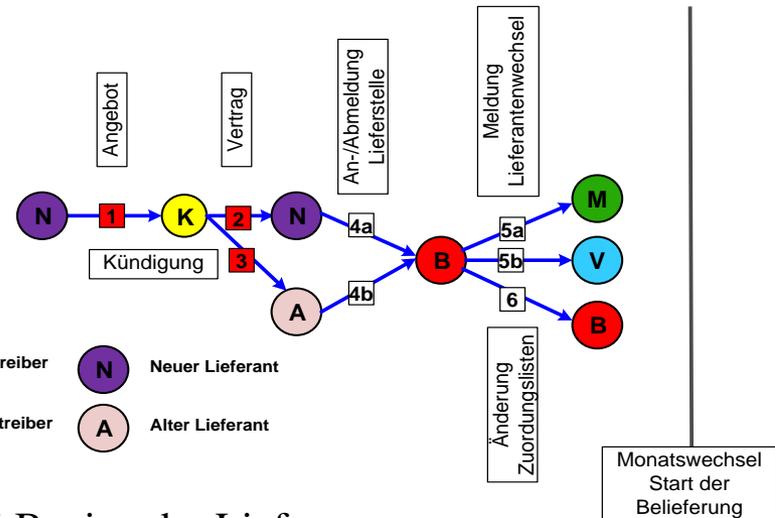


- Akteur:
- PuG-Kunde
 - Neulieferant
 - Altlieferant
 - VNB
 - MSB/MD

im bisherigen System: Abschluss mehrere Wochen nach Start der Belieferung durch den neuen Lieferanten

Akteur:

- PuG- Kunde
- Marktplatzbetreiber
- Verteilnetzbetreiber
- Neuer Lieferant
- Alter Lieferant



mit elektronischem Marktplatz: abgeschlossen bei Beginn der Lieferung

Ergebnisse, Erkenntnisse und Effekte

- ▶ Marktplatzinfrastruktur erschließt zusätzliche Wertschöpfungspotentiale
- ▶ E-Energy-Marktplatz als Tool für eine Transformation des Energiemarkts
- ▶ Senken der Verbrauchskosten durch energieeffizientes Verhalten
- ▶ Anreize zur Errichtung von μ -KWK, Photovoltaik und Biomasseanlagen durch Aggregatoren

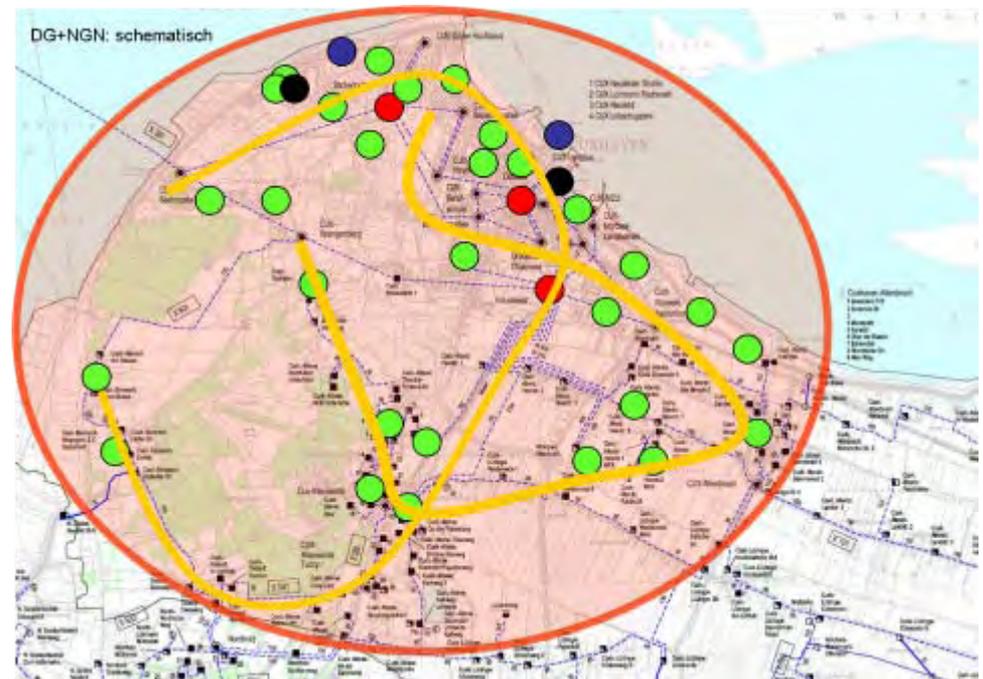
Eine ganze Region als Virtuelles Energiesystem

► Vision:

- Großkunden – wie z. B. Kühlhäuser - im regionalen Stromnetz gleichen Schwankungen bei der Einspeisung erneuerbarer Energien aus.
- Durch intelligente Betriebsführung von dezentralen Kraft-Wärme-erzeugern (z. B. Ahoi-Bad) können diese am eTelligence Marktplatz teilnehmen.

► Akteure:

- EWE AG
- OFFIS e.V., energy & meteo systems GmbH, BTC AG, Fraunhofer-Verbund Energie



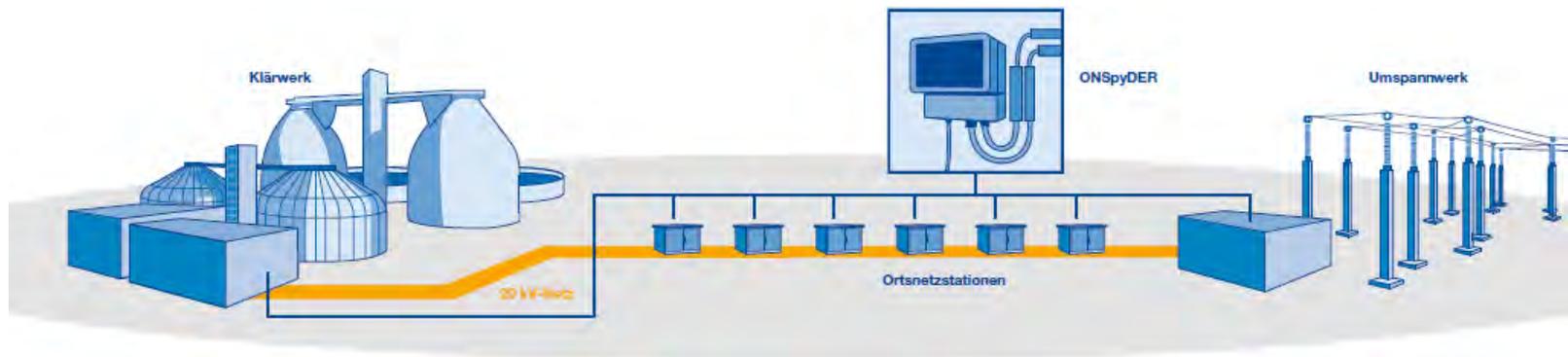
Lösungsansätze

- ▶ Virtuelles Kraftwerk im Raum Cuxhaven bestehend aus Biogasanlage, Windpark, Solaranlage und KWK-Anlage im Schwimmbad
- ▶ Ansteuerung der Aggregate im Kühlhaus abhängig von der Erzeugung im Virtuellen Kraftwerk



Das Verteilnetz wird aktiv

- ▶ Messtechnik im Verteilnetz (20 kV und 1 kV)
 - ▶ Online-Messung von Strom (Wirk+Blind) und Spannung
 - ▶ Integration in die Netzführung
- ▶ Reduktion von Infrastrukturkosten und weiterer Ausbau der Erneuerbaren
- ▶ Optimierter Betrieb des Verteilnetzes
 - ▶ Interaktive Steuerung (z.B. von Spannungsgradienten)



Ergebnisse, Erkenntnisse und Effekte

- ▶ Durch die intelligente Integration von Strom aus Windenergieanlagen in die Netze und Märkte kann die bekannt hohe Versorgungssicherheit bei weiter verbesserter Wirtschaftlichkeit garantiert werden.
- ▶ erforderliche Smart Meter sind noch nicht am Markt verfügbar, sondern benötigen noch technische Entwicklungszeit
- ▶ Zielgrößen bzgl. Marktausrollung könnten leicht überschätzt werden:
 - ▶ Kundenakquisition über Mailings wenig erfolgreich (Interesse <10%)
 - ▶ Erfolg persönlicher Einzelgespräche Erfolgsquote nahezu 100%.

Das Haus im Netz



► Vision:

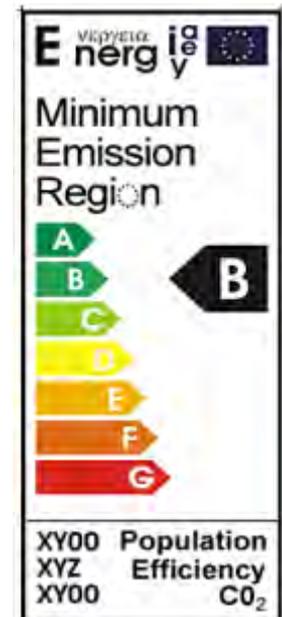
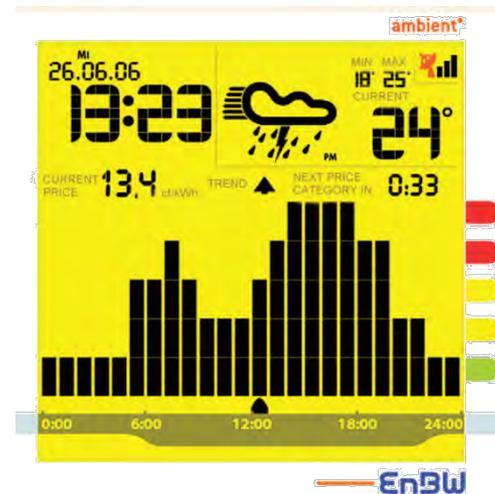
- Intelligentes Netz und Intelligentes Haus – inkl. Elektromobil – sichern eine effiziente Nutzung der vorhandenen Ressourcen

► Akteure:

- EnBW AG
- ABB AG, IBM Deutschland GmbH, SAP AG, Systemplan GmbH, Universität Karlsruhe (TH)

Lösungsansätze

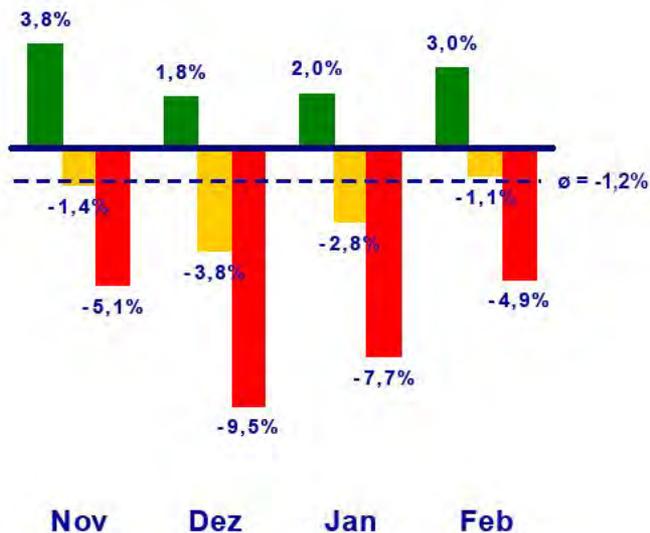
- ▶ Intelligenter Stromzähler: Übertragen der Messwerte an ein Messdaten-Managementssystem
- ▶ StromAmpel (am Stromzähler): Anzeigen des aktuellen Strompreises
- ▶ StromRadar©: Anzeigen des Energieverbrauchs im Sekundentakt auf dem PC-Bildschirm des Kunden
- ▶ Steuerbox: Ansteuern von verschiebbaren Lasten im Haushalt
- ▶ Speicherung von dezentral erzeugtem Strom vor Ort
- ▶ spezielle Angebote zum Lastmanagement in Betrieben
- ▶ Marktplatz zur transparenten Koordination von Energieangebot, -nachfrage und komplementären Dienstleistungen
- ▶ Erfolgsmessung: „Minimum Emission Zertifizierung“ für Regionen



Reaktion der Verbraucher auf ein dynamisches Preissignal

- Zur Ermittlung der Preiselastizität anhand von Strompreissignalen auf Stundenbasis zum Test von Sensitivitäten bei Standardlastprofil-Kunden. Für den Feldtest wurden 90 B2C Kunden und 10 B2B Kunden ausgewählt.

Ø-Lastveränderung MeRegio-Kunden



- Ergebnisse der Untersuchung:
 - MeRegio-Kunden reduzierten ihren Stromverbrauch stärker in HT-Phasen als in NT-Phasen.
 - Im Schnitt wurde die Energieeffizienz erhöht und der Gesamtverbrauch um 1,2% reduziert.
 - Ausgewertet wurden 88 Testkunden mit einem durchschnittlichen Normverbrauch von 4.851 kWh
 - vorläufige Ergebnisse mit 100 Testkunden; aktuell noch in wissenschaftlicher Überprüfung durch das KIT!

Ergebnisse, Erkenntnisse und Effekte

- ▶ Kraftwerke und dezentrale Erzeugungsanlagen werden optimal ausgelastet und teure Regelenergie zum Ausgleich von Spitzenlasten kann eingespart werden.
- ▶ Erneuerbare Energien können besser im Netz untergebracht werden. Dadurch werden CO₂-Emissionen reduziert.
- ▶ Lokale Optimierung: überschüssiger Strom (z.B. aus einer Photovoltaikanlage) wird direkt zu Hause gespeichert, z.B. in einem Elektrofahrzeug oder in einem stationären Speicher.

Schwarmintelligenz mit Butlern und Agenten

► Vision:

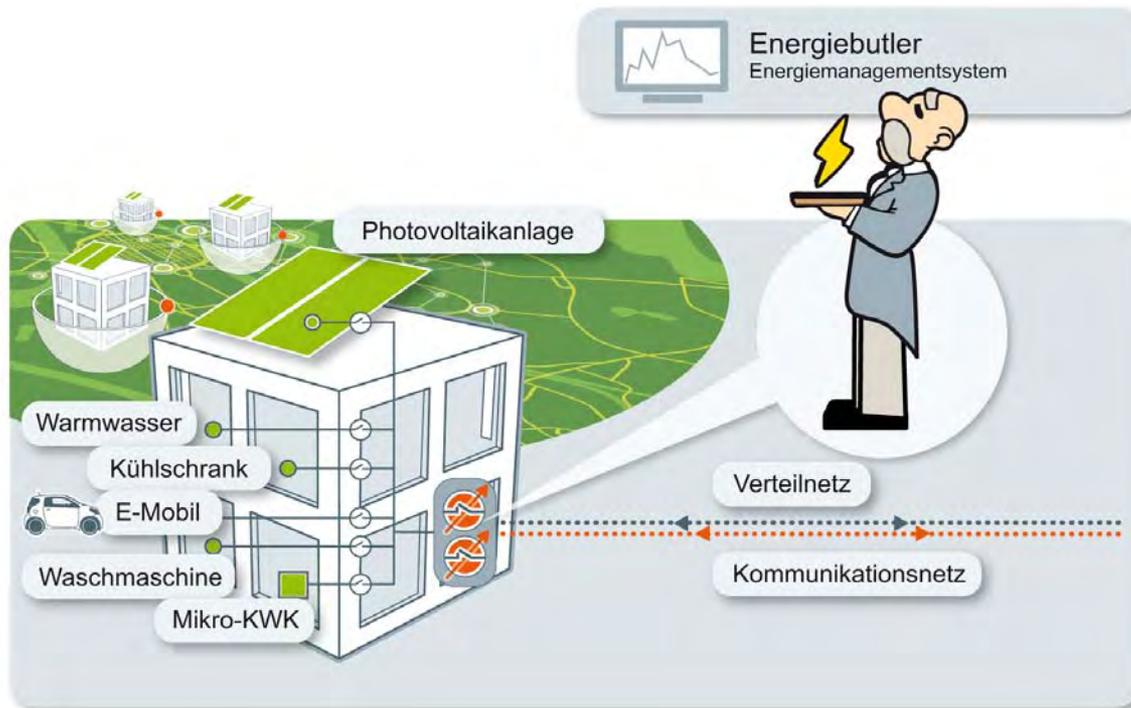
- ein vermaschtes System von Netzzellen, in denen Erzeuger und Verbraucher mit dem Stromnetz und dem Datennetz verbunden sind. Die Zellen sollen in sich stabil sein und gemeinsam mit ihrer „Schwarmintelligenz“ sicherstellen, dass die Ressourcen optimal genutzt werden.

• Akteure:

- MVV Energie AG
- IBM Deutschland GmbH, Power PLUS Communications AG, Papendorf Software Engineering GmbH, DREWAG - Stadtwerke Dresden GmbH, Universität Duisburg-Essen



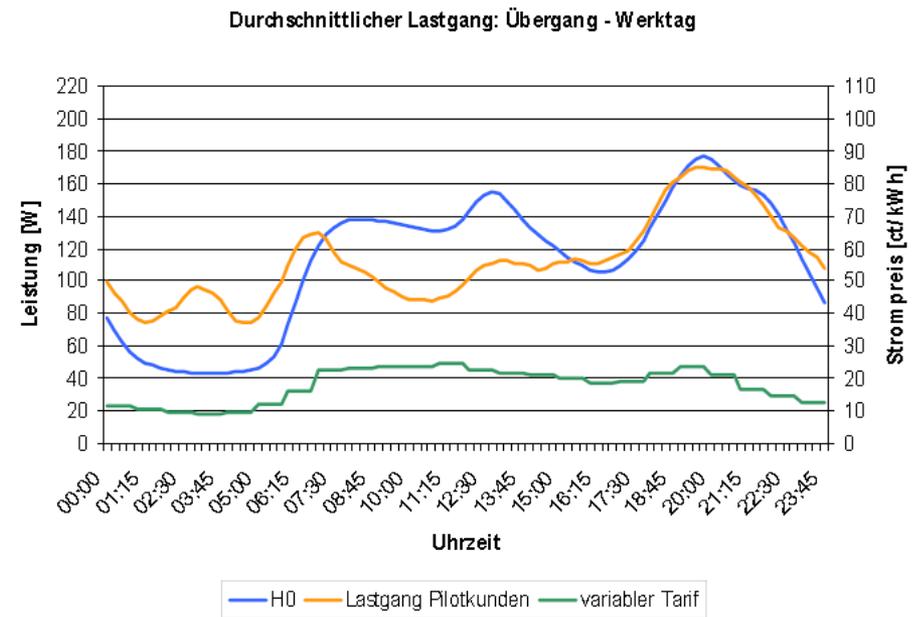
Der „Energiebutler“



- ▶ Der „Energiebutler“ fungiert als Softwareagent in Gebäuden (Objektnetzteilen) zur Ausbildung einer Schwarmintelligenz im Energieorganismus

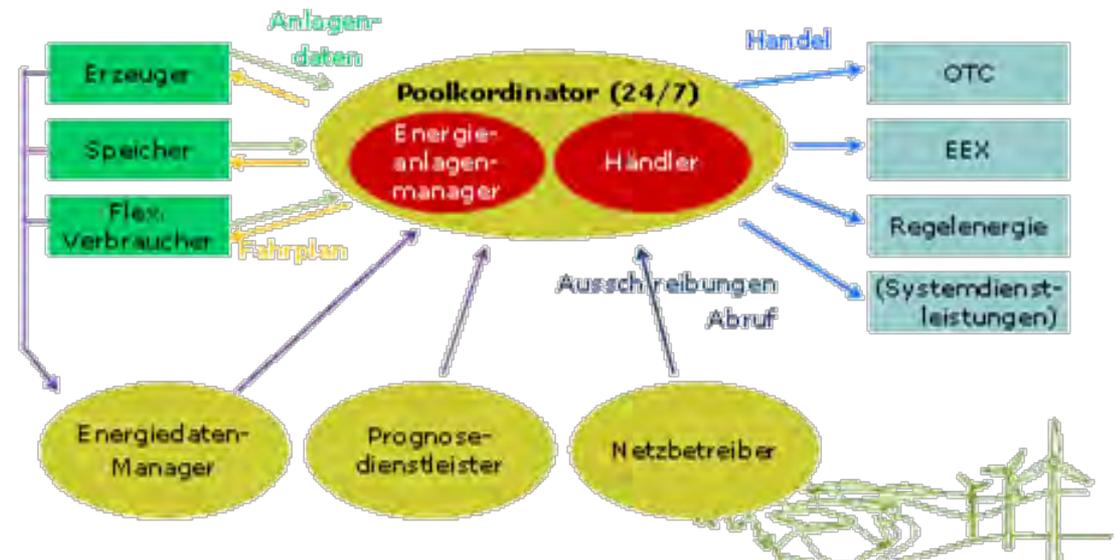
Ergebnisse, Erkenntnisse und Effekte

- ▶ Dezentrale Datenhaltung und dezentrale Entscheidungen gewährleisten ein Höchstmaß an Datenschutz im Internet der Energie und Liberalität im Sinne von Entscheidungshoheit des einzelnen Kunden.
- ▶ Test mit 20 Haushalten:
 - vollvariabler Tarif mit Einsparmöglichkeiten von bis zu 50 Euro pro Jahr stellt einen wirksamen Anreiz zum eigenen Energiemanagement dar
 - Kundenakzeptanz steigt mit der Automatisierung der Prozesse



Realisierung

- ▶ Entwicklung des Geschäftsmodelles eines Pool-Koordinators und Realisierung auf einer Marktplattform
- ▶ weltweit einzigartiges GPS-synchronisiertes Monitoring-system
- ▶ Windpark-Cluster-Management-Systems (WCMS, realisiert von IWES) zum Management der Lastgänge innerhalb der Region



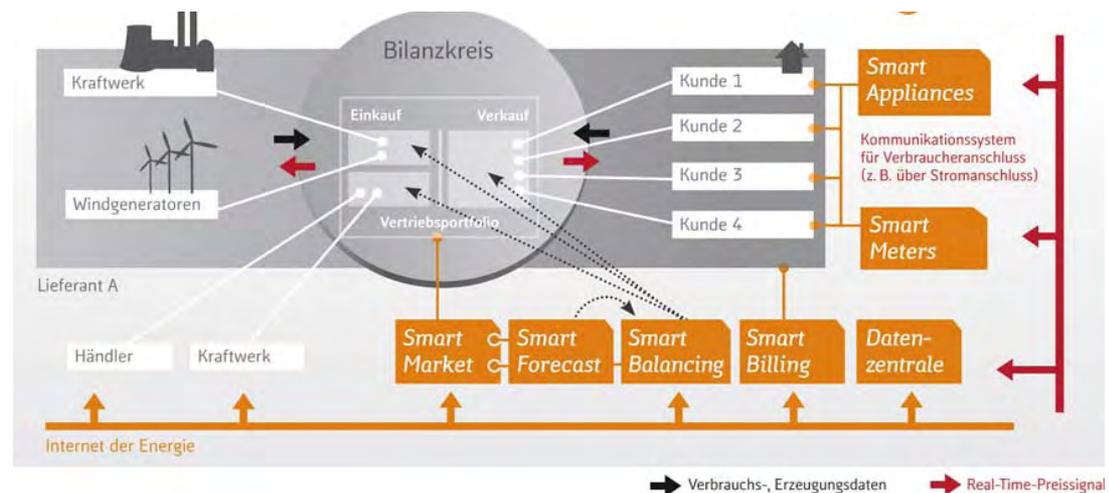
Ergebnisse, Erkenntnisse und Effekte

- ▶ Regionalstrom erlaubt als vollwertiges Regionales Stromprodukt eine nachhaltige Kundenbindung vor Ort.
- ▶ Tarifgestaltung kann sich komplett auf die regionalen Gegebenheiten einstellen
- ▶ Bündelung der regionalen Stromerzeugung macht die Region – sowohl Verbraucher als auch Energieverteiler - unabhängig(er) von Preisschwankungen des überregionalen Strommarktes. Die gesamte Wertschöpfung verbleibt in der der Region
- ▶ Einbindung erneuerbarer Energien mit dem Ziel einer Echtzeit-Vollversorgung reduziert den Bedarf an Grundlast-Bereitstellung von nicht erneuerbaren Energien und den Bedarf an externen Regellastkapazitäten
- ▶ Durch die Entlastung der Übertragungsnetze kommt es zur Vermeidung weiteren Leitungsausbaus

Signale für die Steckdose

► Vision:

- vollständiges Marktmodell für einen dezentralisierten Energiemarkt
- schrittweise Heranführen der Kunden an das komplexe Thema des intelligenten Stromverbrauchs

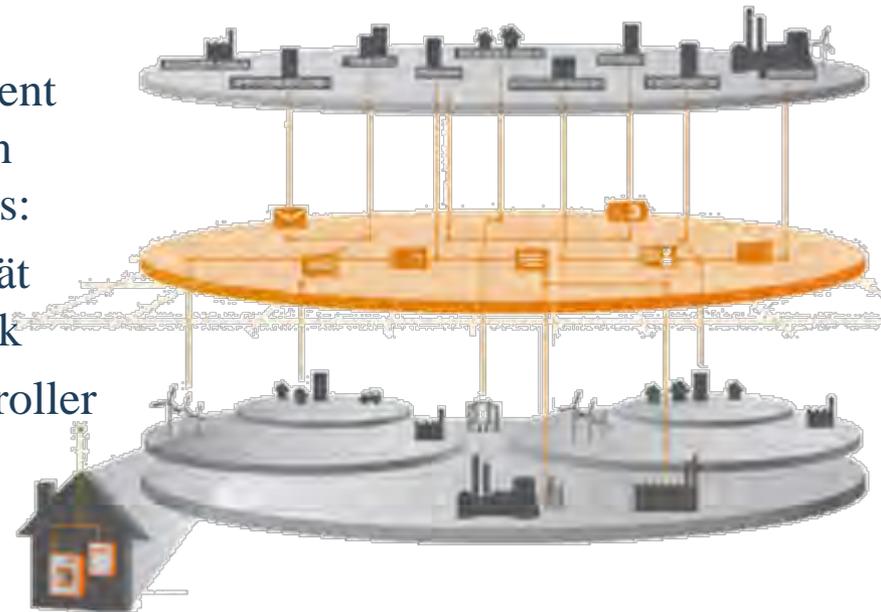


► Akteure:

- Utilicount GmbH
- Stadtwerke Aachen AG, Soptim AG, Forschungsinstitut für Rationalisierung an der RWTH Aachen, PSI Büsing & Buchwald GmbH, Kellendonk Elektronik GmbH,

Lösungsansätze (2)

- ▶ Einstieg in das Haus- und Energiemanagement des Internetzeitalters mittels eines modernen Energiezähler- und Hausvernetzungssystems:
 - Kombiniertes Anzeige- und Bediengerät für Energieversorgung und Haustechnik
 - Internetfähiger Kommunikations-Controller
 - Intelligente, kommunikationsfähige Energiezähler für Strom, Gas, Wasser und Wärme
- ▶ Marktplattform mit neuen Dienstleistungen im Zusammenspiel von Energiewirtschaft und Geräteherstellern
- ▶ Konzept des EE-Bus zur „Überwindung des letzten Meters“ vom Kommunikations-Controller zum Endgerät



Ergebnisse, Erkenntnisse und Effekte

- ▶ Technik-Affinität der Bürgerschaft von Aachen lässt gute Akzeptanz erwarten.
- ▶ Information wird zum Produktionsfaktor entlang der gesamten Wertschöpfungskette.
- ▶ unterschiedliche Innovationszyklen von Verarbeitungstechnik, Kommunikationstechnik und Messtechnik >>> Überwindung des Innovationsrisikos durch Modularität

E-Energy: E-Energy Jahreskongress 18.19.Nov. 2010

Danke für Ihre Aufmerksamkeit



Instrumente der Lastverschiebung

Aktion	Effekt	Wirtschaftlichkeit	Nachhaltigkeit
Messung über Smartmeter mit Feedback-Display	Feedback führt zu Verbrauchsbewusstsein, dies zu Einsparung und Effizienzsteigerung (z. B. Kauf neuer Geräte)	Smartmeterkosten finanziert durch Einsparungen in den Jahren 1-3	nachlassendes Interesse, hohe Kundenbindung
Tarifliche Anreize (Last / Zeit / Event), verarbeitet durch menschliche Aktion	Feedbacksystem und Preissignale lösen marktkonformes Verhalten aus (seitens Verbrauch),	Systemkosten amortisiert durch Einsparungen in den Jahren 1-3; manueller Aufwand hoch im Vergleich zu erzielbaren Ergebnissen	Gefahr des nachlassenden Interesses, nachhaltig nur bei „Profi-Kunden“ / „EcoWarrior“
Tarifliche Anreize (Last / Zeit / Event), automatisch verarbeitet mittels Energie-Manager /Demand Response)	Preissignale lösen (im Rahmen eingestellter Parameter) marktkonformes Verhalten aus (seitens Verbrauch & Einspeisung)	erst zusätzliche Applikationen bringen attraktive Wertschöpfung	... ist gegeben, wenn E-Manager mehr bietet als das Steuern nach Tarifsignalen
Direktsteuerung von Geräten (Demand Control, Bsp. Kühlhaus)	Automatische Regelung nach Vorvereinbarung entsprechend Netzerfordernissen Lastspitzereduktion 10 %	Integrationskosten gewerblicher Anlagen < Netznutzen	Erfolgversprechend im gewerblichen Bereich und im Haus-haltsverbund

Systemkosten und Preisbildung

Spezifische System(-integrations-) kosten

unterschiedlicher Flexibilitätsoptionen
in €/kW Residuallast

- ▶ Speicherkapazitäten
- ▶ Verschiebbare Lasten
- ▶ Regelbare Einspeisung

Spezifischer Systemnutzen

verschiedener Dienstleistungsoptionen in €/kW

- ▶ Reserveenergie
- ▶ Regelernergie
- ▶ Systemdienstleistung
- ▶ Infrastruktureffekte (indirekt)

Preis (€/kWh)

Nachfrage auf Kundenseite

- Nutzen in €/kWh (ökonomisch)
- Akzeptanz (psychologisch)