

# En Bacher gie

A thin, dark green vertical line positioned to the right of the text.

# Swiss2G Measurement Concept Phase 1

## Deliverable T1.2

---

30. Sept 2010

(Revision 28.11.2011)

### **Swiss2G deliverable T1.2 of WP1**

- WP1: Set-up and site selection
- T1.2: Grid measurement including instructions, specification and purchase of required instrumentation.

# Swiss2G (ursprünglich: SwissV2G)



Das Projekt Swiss2G ist in Phasen aufgeteilt.

## Swiss2G Projekt

Vorarbeiten: Juli 2009- Juni 2010

Phase 1: Juli 2010 – Okt. 2011

Phase 2: Nov. 2011 – Anfangs 2013

## Projektpartner (Leiter: KWO)

### Co-funding institutions

- Swiss Federal Office of Energy
- Swiss Electric (Research)

### Swiss partners

- SUPSI
- KWO
- BFH
- Battery Consult Sagl
- drivetek AG
- BACHER ENERGIE AG

## Projektziele

- Optimaler Einsatz verteilter Erzeuger, Verbraucher und Speicher
  - angeschlossen im 400V-Verteilnetz
- Dezentral einsetzbarer Algorithmus
  - in Elektroauto, in Waschmaschine, in Boiler, etc.
- Stromsystem
  - lokale, regionale, nationale und Systemstabilität erhalten
- Systemlösung
  - skalierbar, konfigurierbar, offen
  - tiefe, verteilte Zusatzkosten; hoher ökonomischer Nutzen
  - so wenig bidirektionale Kommunikation mit Zentrale wie möglich

# Contents



Situation & Goals

European Power System

Power Frequency Control

Limits/Goals of electricity  
grid

Voltage Phase Angle

Swiss2G Concept

Measurement Concept

Metering device and results

Appendix

- Der Klimawandel und das allmähliche Ausgehen der fossilen Energieträger bestimmen die Zukunft sowohl der Stromproduktion als auch der Mobilität
- Bei der Stromproduktion wird der Anteil der neuen erneuerbaren Produktionsanlagen in den nächsten Jahren markant zunehmen - in der Mobilität der Anteil der Plug-In-Hybridfahrzeuge bzw. Elektromobile
- Die Stromeinspeisung durch Batterie der Plug-In-Hybridfahrzeuge und Elektromobile, die „Vorspeicherung“ von Energie in Kühlschränken, die Verzögerung des Waschens mit Waschmaschinen etc. kann dabei auch für die intelligente, kontrollierte Nutzung des Netzes verwendet werden.
- Bei einer steigenden Anzahl von Elektrofahrzeugen wird es deshalb immer wichtiger, dass die Batterie „zum wichtigen Zeitpunkt das Richtige macht“. Analoges gilt für Haushalts- und Industriegeräte mit eingebauter Stromnutzung-Intelligenz.



Beispiel einer zentralen Frage: Zu welchem Zeitpunkt soll eine Batterie Strom ins Netz einspeisen und wann soll sie sich aufladen, damit die Netzversorgungssicherheit in Zukunft gezielt erhöht wird?

Um solche Fragen zu beantworten, muss zuerst die Funktionsweise des heutigen Stromsystems verstanden werden. Darauf kann ein zukünftiges, verteiltes System aufgebaut werden.

# Swiss2G: Von zentralen Ansätzen hin zur Dezentralität



Situation & Goals

Der Wechsel von der bisherigen Zentralität im Kontrollieren und Steuern des Netzes auf dezentrale Systeme wirft viele neue Fragen auf

Die wachsende Durchdringung des Strommarktes durch verteilte Energieressourcen (erneuerbare Energien, aktive Konsumenten, verteilte Speicher) im Laufe der nächsten Jahrzehnte wird von einem Wandel weg von zentralen hin zu dezentralen Strukturen begleitet



Der Swiss2G-Ansatz versucht Dezentralität in den Vordergrund zu stellen. Es stellen sich viele Fragen:

- Wie kann das bisherige zentrale Netzregelungs- und Versorgungssicherheitskonzept durch regionale, lokale, dezentrale Steuerungsstrukturen ergänzt bis sogar ersetzt werden?
- Welche Informationen braucht eine lokale, dezentrale Intelligenz bei den stromverbrauchenden und –erzeugenden Geräten?
- Wieweit braucht ein dezentrales Konzept noch bidirektionale Kommunikation zu „dezentral organisierten Chefs“?

# Netzausregelung heute: Die 5 europäischen Verbundsysteme

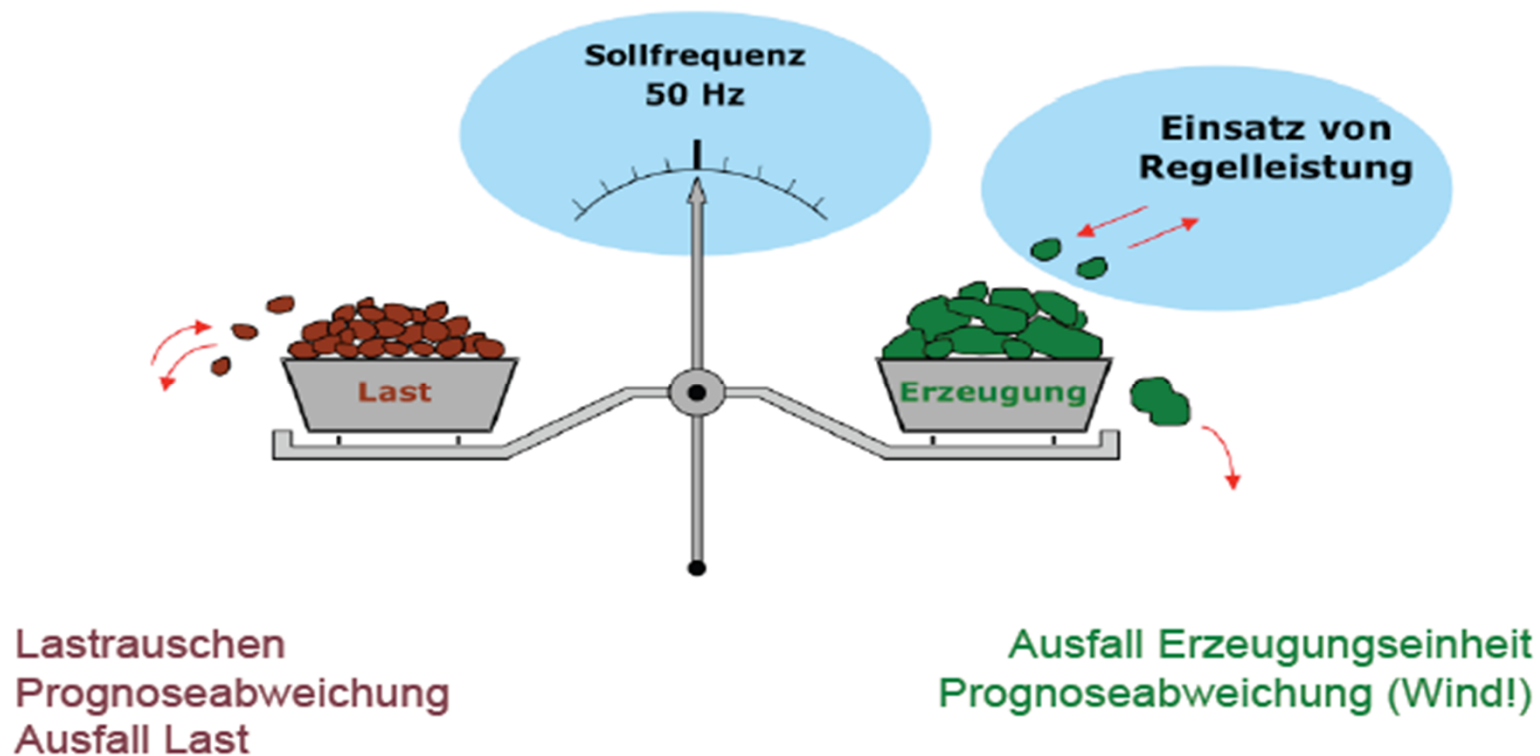


European Power  
System

Das europäische Stromnetz ist in fünf autarke Verbundsysteme unterteilt. Innerhalb eines Verbundsystems gibt es überall die gleiche Systemfrequenz

Verbundsysteme	Bemerkungen
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Das Energieübertragungsnetz ist in Europa in die folgenden fünf Verbundsysteme aufgeteilt<ul style="list-style-type: none"><li>• ENTSOE (ehemalig UCTE)</li><li>• IPS/UPS</li><li>• NORDEL</li><li>• UKTSOA</li><li>• ATSOI</li></ul></li><li>• Ein solches Verbundsystem funktioniert vollkommen autark., d.h. innerhalb eines Verbundsystems<ul style="list-style-type: none"><li>• muss stets ein Gleichgewicht zwischen produzierter (Kraftwerke) und verbrauchter Leistung (Kunden &amp; Netzverluste) herrschen</li><li>• müssen gewisse Normen (z.B. Amplitude der Spannung, etc.) eingehalten werden</li></ul></li><li>• In einem synchronen Verbundsystem ist im Normalzustand an allen Netzknoten die Systemfrequenz identisch.</li></ul>

Entso-e-Ziele: Der Frequenzmittelwert muss über die Zeit gesehen bei exakt 50 Hz liegen; die absoluten Schwankungen sollen normalerweise max. 0.2 Hz betragen  
Das Halten von 50Hz ist ein Balance-Akt zwischen Verbrauchs- und Erzeugungsveränderungen in jeder Regelzone



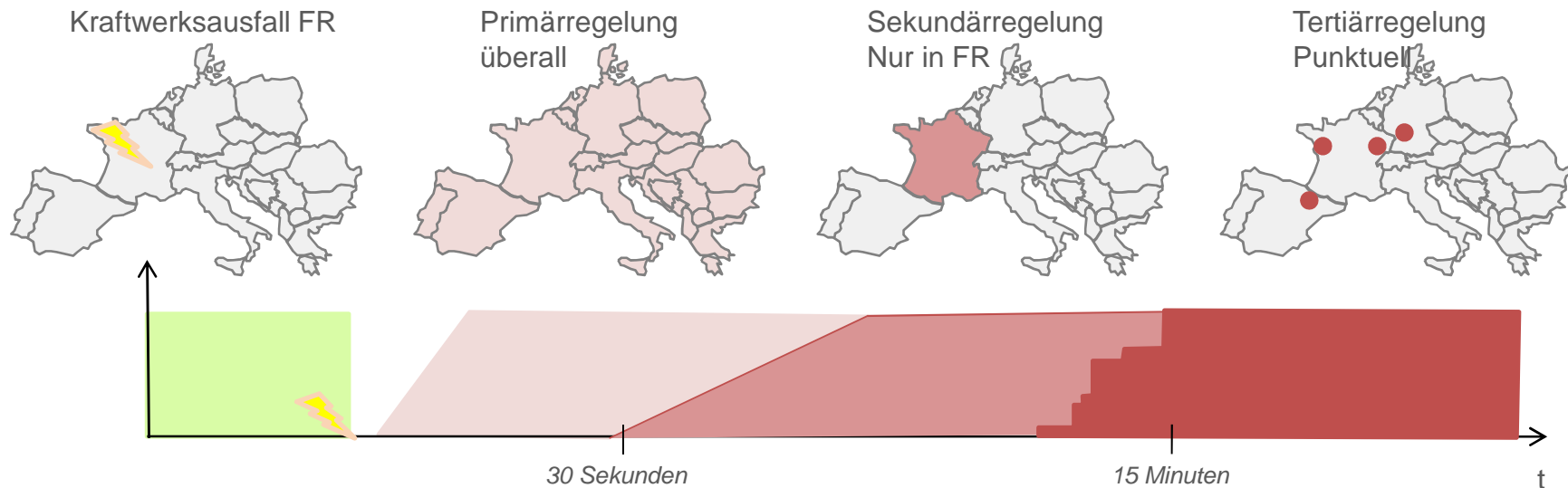


# System heute: Frequenzleistungsregelung



Power Frequency  
Control

Nach einem KW-Ausfall (z.B. in FR) helfen zuerst alle Kraftwerke in Europa das Einspeisedefizit zu beheben; danach wird das Problem schrittweise wieder lokal gelöst



## Primärregelung

- Wiederherstellung des Gleichgewichts zwischen Erzeugung und Verbrauch innerhalb von Sekunden

## Sekundärregelung

- Dient zur Wiederherstellung des gewollten Energieaustausches

## Tertiärregelung

- Wird vor allem bei längeren Ausfällen eingesetzt, so dass die Sekundärregelreserve für einen allfälligen weiteren Einsatz wieder zur Verfügung steht
- Ist ein Teil des Intradaymarktes

Quelle: Swissgrid

# System heute: Primärregelung



Power Frequency  
Control

Schnelle Wiederherstellung des Gleichgewichts zwischen Erzeugung und Verbrauch nach Störeinwirkungen



## Ziel

- Wiederherstellung des Gleichgewichts zwischen Produktion und Verbrauch nach Störungen innerhalb von Sekunden

## Richtwert

- Netzfrequenz von 50 Hz (Europa)

## Funktionsweise

- Der Turbinenregler in speziell ausgestatteten Kraftwerken im ganzen ENTSOE-Verbundsystem überwacht permanent die Netzfrequenz und aktiviert bei einer zu grossen Abweichung zwischen der aktuellen Netzfrequenz und der Sollnetzfrequenz (50 Hz) automatisch die Primärregelenergie

## Bedarf

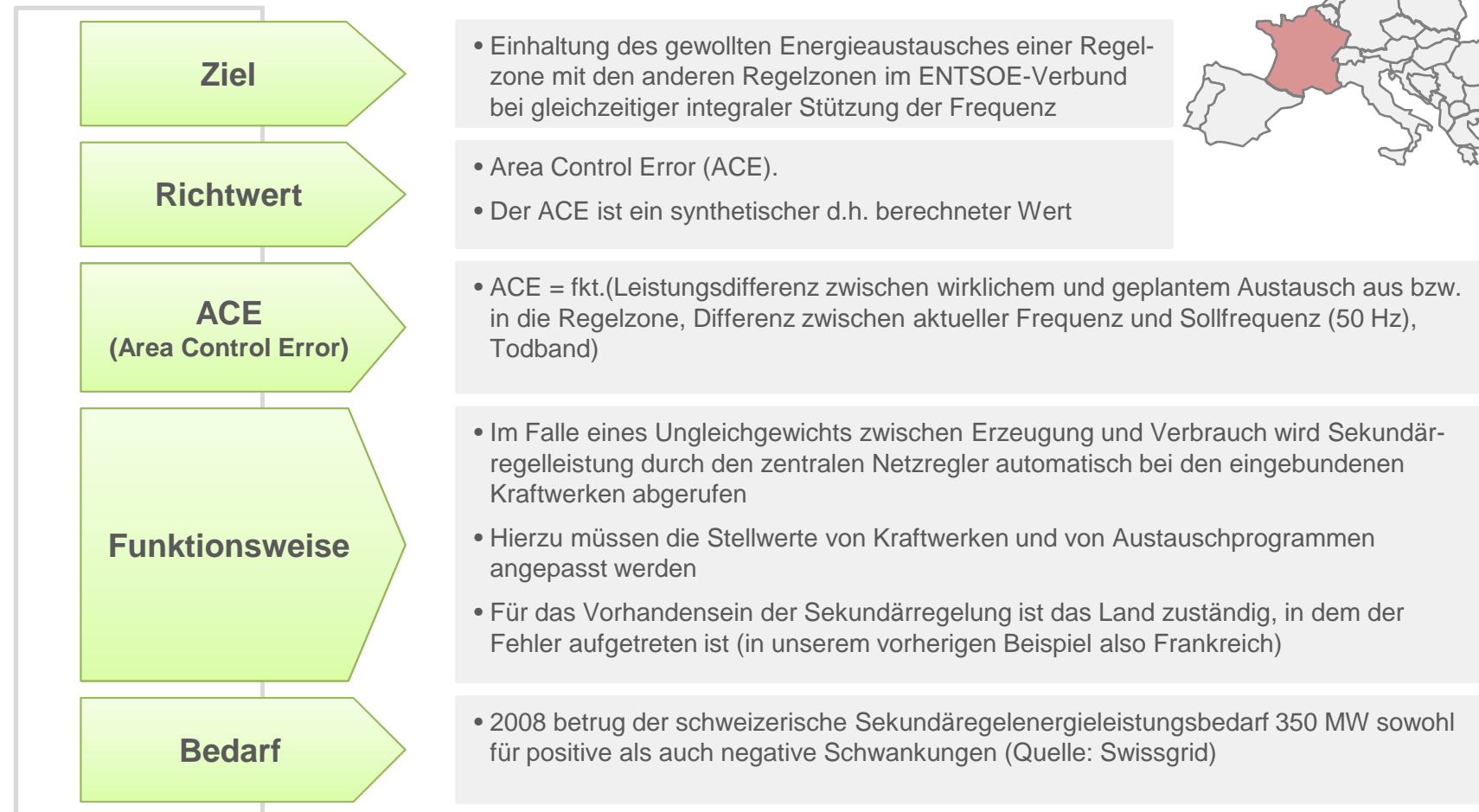
- Der gesamte Bedarf der Primärregelenergieleistung wird jährlich von der ENTSOE vorgegeben
- 2008 betrug der schweizerische Primärregelenergie-leistungsbedarf 70 MW (Quelle: Swissgrid)

# System heute: Sekundärregelung



Power Frequency  
Control

Die Sekundärregelung dient zur Wiederherstellung des gewollten Energieaustausches



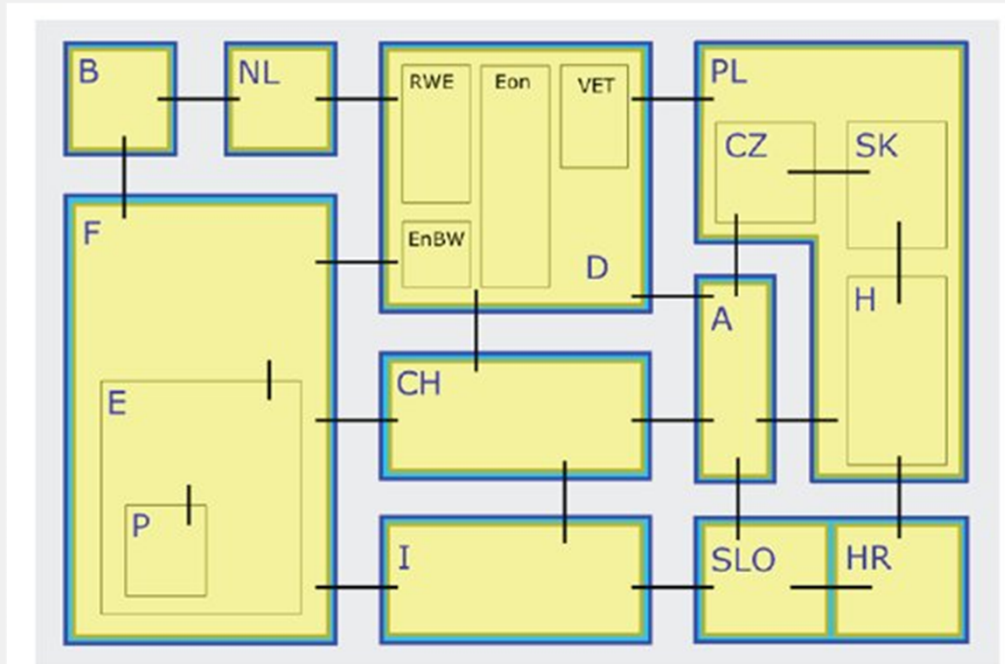
# Die Regelzonen in der entso-e (ucte)



Power Frequency  
Control

Entso-e vereinigt viele Netzbetreiber in Europa

## Gebiet der entsoe-e



## Bemerkungen

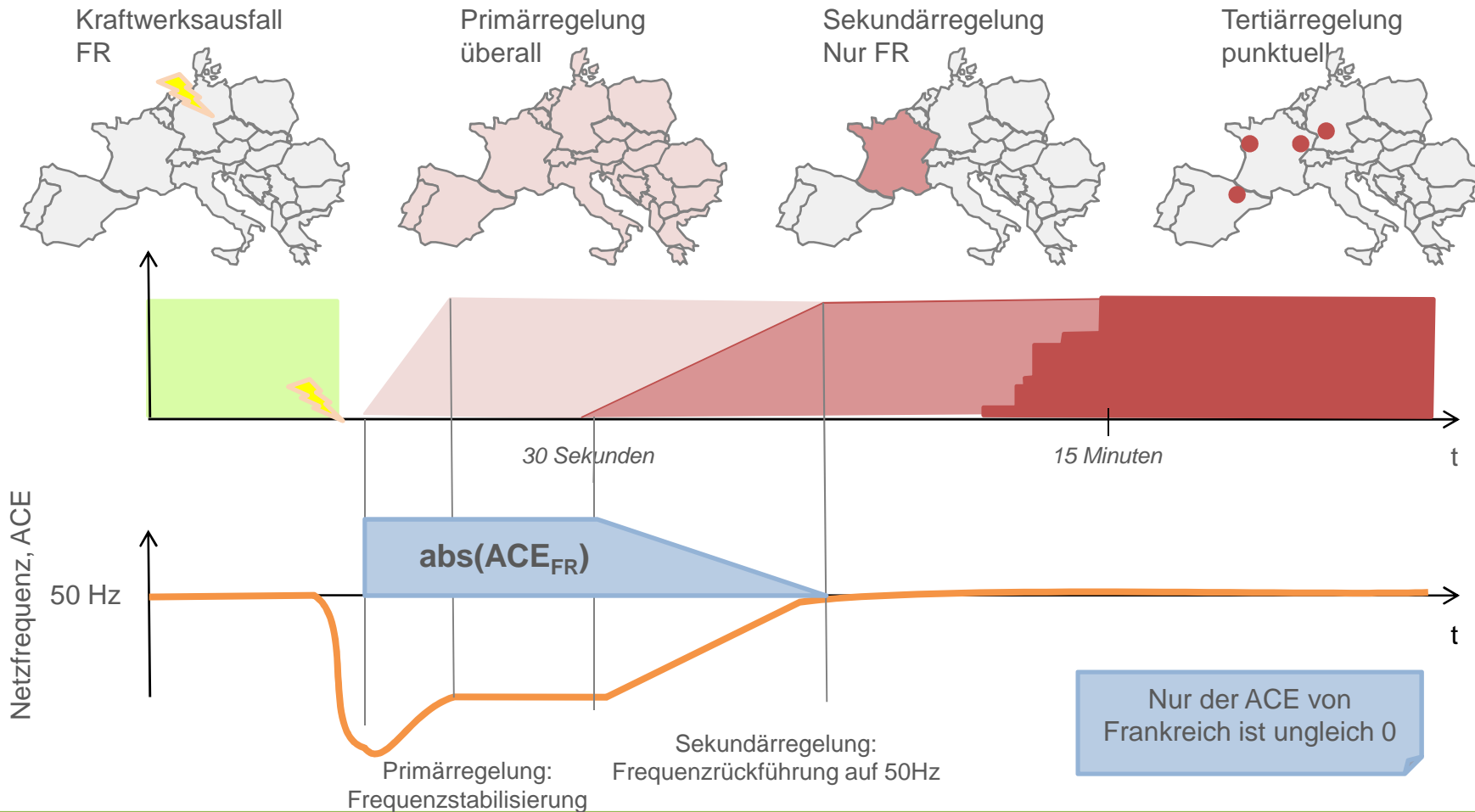
- Im Gebiet der entsoe-e sind heute Regelzonen mit teilweise Unter-Regelzonen festgelegt.
- Jede Regelzone führt die Sekundärregelung durch.
- Regelzonen sind über (oft schwache) Netze miteinander verbunden.
- Normalerweise sind die Übertragungsnetze innerhalb einer Regelzone aber nicht überlastet

# System heute: Frequenzverhalten bei Grossstörungen (schematisch)



Power Frequency  
Control

Solange die Sekundärregelung noch nicht zu 100% aktiviert ist, gibt es nach einem Störfall im Energienetz eine Frequenz, die von 50Hz abweicht



# System heute: Heisst Unterfrequenz, dass stets überall Leistung eingespeist werden soll? NEIN



Power Frequency  
Control

Mit dem heutigen Netzbetrieb bedeutet eine Unterfrequenz nicht automatisch, dass in jeder Regelzone mehr Leistung ins Netz eingespeist werden muss

## Primärregelung (überall)



### Frequenz und ACE

- Mit dem Ausfall des KWs in Frankreich (FR) sinkt die Netzfrequenz sofort
- Hat die Primärregelung leistungsmässig den KW-Ausfall kompensiert, pendelt sich die Netzfrequenz auf einem tieferen Niveau ein
- Der ACE von FR wird sofort mit dem KW-Ausfall ungleich „0“, alle anderen ACE im ENTSOE-Netz bleiben 0

### Elektro- auto

- Die Batterie der Elektroautos, die am Stromnetz hängen, können durch kurzfristige Energieeinspeisung nach einem Frequenzabfall mithelfen, die Netzfrequenz im ENTSOE-Netz auf einem Frequenzniveau unter 50 Hz zu stabilisieren

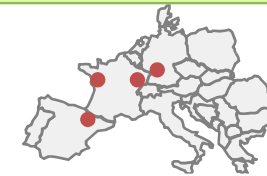
## Sekundärregelung (nur FR)



- Durch die Aktivierung zusätzlicher Kraftwerksleistung in der fehlerverursachenden Regelzone beginnt die Netzfrequenz zu steigen
- Kompensiert die neue dazu geschaltete Kraftwerksleistung vollständig die ausgefallene Kraftwerksleistung in der franz. Regelzone, so ist die Netzfrequenz wieder 50 Hz und der ACE von Frankreich wie alle anderen ENTSOE-ACE „0“

- Während der Sekundärregelung dürfen HEUTE aber nur noch die Batterien der französischen Elektromobile noch mehr Energie ins Netz einspeisen.
- Eine Einspeisung von einer Batterie ausserhalb von Frankreich würde eine ACE-Abweichung im entsprechenden Land bewirken und dort die Sekundärregelung fälschlich auslösen

## Tertiärregelung (punktuell)



- Die europäische Netzfrequenz beträgt wieder 50Hz
- Der ACE in allen europäischen Regelzonen ist wieder bei „0“

- Die Elektroautos würden im Ruhezustand verharren

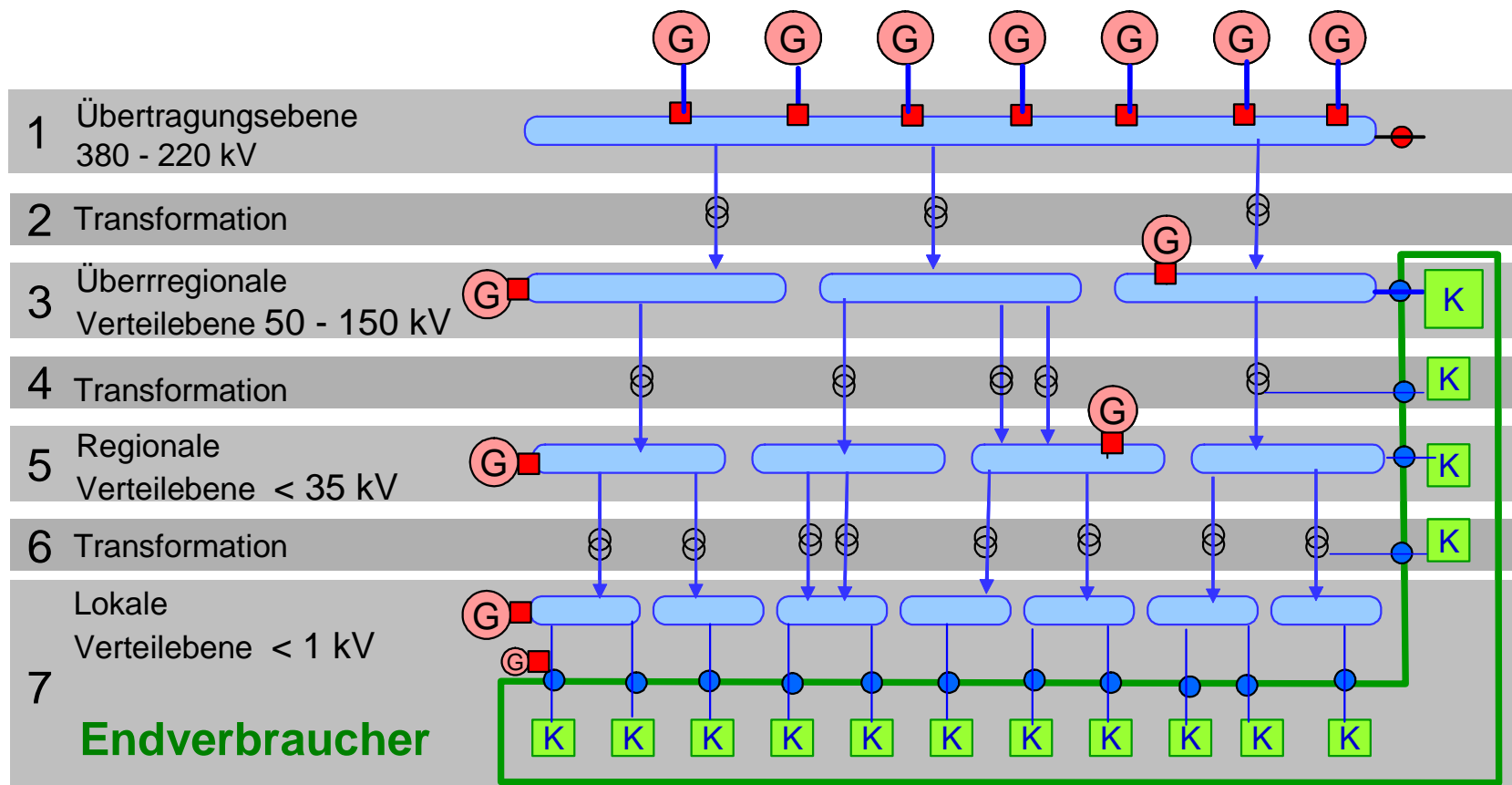
# Das Netzbasierte Stromsystem heute



Limits/Goals of  
electricity grid

Aus Netzsicht setzt es sich aus sieben Ebenen zusammen. Ebene 1 und 2 gehören zur Übertragungsebene, alle anderen sind Verteilnetzebenen

**Gros der Produktion**



# Limiten des netzbasierten Stromsystems



Limits/Goals of  
electricity grid

Die max. durch eine Leitung fließende Leistung wird durch den Strom begrenzt, der bei einem ohmschen Widerstand zu Verlustwärme führt

## Energieübertragung

## Energieverteilung

### Thermische Limite

- Das schwächste Element bei einer Leitung / einem Kabel (z.B. Trenner) ist die thermische Limite. Viele im Verteilnetz angeschlossene Elektroautos (EV) und Erzeuger können zu hohen Übertragungsnetzflüssen führen, sowohl im Lade- wie auch im Einspeisemodus von EV.

- Eine Freileitung kann kurzfristig im Notfall für einige Minuten wegen der thermischen Trägheit oberhalb der thermischen Limite betrieben werden.
- Speziell der ungeplante Ausfall einer Leitung kann bei anderen Leitungen hohe Ströme bewirken, die gegen oben begrenzt sein müssen.

- Da ein Kabel durch Überbeanspruchung schneller altert und zudem wesentlich teurer als eine Freileitung ist, wird keine kurzfristige Überbeanspruchung erlaubt.

### Spannungs- grenzen

- Spannungen müssen im Normalbetrieb an den Sammelschienen innerhalb von +/- 5% der Nennspannung liegen

- Die Spannung am Hausanschluss muss 230V +/- 10 % betragen



# Model of flows in electricity lines using voltage phase angles, voltage magnitudes and line parameters



Voltage Phase  
Angle

The flows between two connected nodes k and m of the grid can be modelled with high accuracy

## Assumptions

- Assumption: perfect 50 Hz voltage and current signals
- Active ( $P_{km}$ ) and reactive ( $Q_{km}$ ) power flow between nodes k and m; The flows can be modelled as a non-linear combination of phase angles ( $\Phi_{km}$ ) between voltages at nodes k and m and the voltage magnitude  $V_k$  and  $V_m$  at the nodes k and m.
- $g_{km}$  and  $b_{km}$  and  $b_{km}^{sh}$  are line model parameters of a line between nodes k and m.

## Equations

$$P_{km} = U_k^2 g_{km} - U_k U_m g_{km} \cos \phi_{km} - U_k U_m b_{km} \sin \phi_{km}$$

$$Q_{km} = -U_k^2 (b_{km} + b_{km}^{sh}) + U_k U_m b_{km} \cos \phi_{km} - U_k U_m g_{km} \sin \phi_{km}$$

## Example values

$$g_{km} + j b_{km} = 1/(r_{km} + j x_{km}) = (r_{km} - j x_{km}) / (r_{km}^2 + x_{km}^2)$$

380 kV Transmission Grid:  $r_{km} + j x_{km}$

$$= 0.03 + j 0.26 \Omega/\text{km pro Leiter}$$

0.6/1kV Distribution Grid (Cu, 95mm<sup>2</sup>):  $r_{km} + j x_{km}$

$$= 0.2 + j 0.08 \Omega/\text{km pro Leiter}$$

# Das neue Swiss2G Konzept



Swiss2G  
Concept

Das Swiss2G Konzept berücksichtigt alle Limiten des Energieübertragungs- und -verteilnetzes und strebt eine Erhöhung der Versorgungssicherheit an

## Lokale Kontrolle

- So viel wie möglich und so viel wie sinnvoll soll dezentral entschieden werden.

## Hohe Versorgungssicherheit

- Berücksichtigung sämtlicher Limiten und Qualitätsziele des Energieübertragungs- und -verteilnetzes (insb. Spannung an Knoten und Strom in Leitungen innerhalb Grenzwerten; n-1-Sicherheit; Kleine Abweichungen Fahrplan-Istwerte)
- Frequenz soll weiterhin in einem ganz schmalen Band um 50 Hz gehalten werden

## Technische und ökonomische Mittel

- Zuhilfenahme aller möglicher intelligenter technischer und ökonomischen Mitteln bei den Konsumenten und Erzeugern um die Versorgungssicherheit zu steigern.

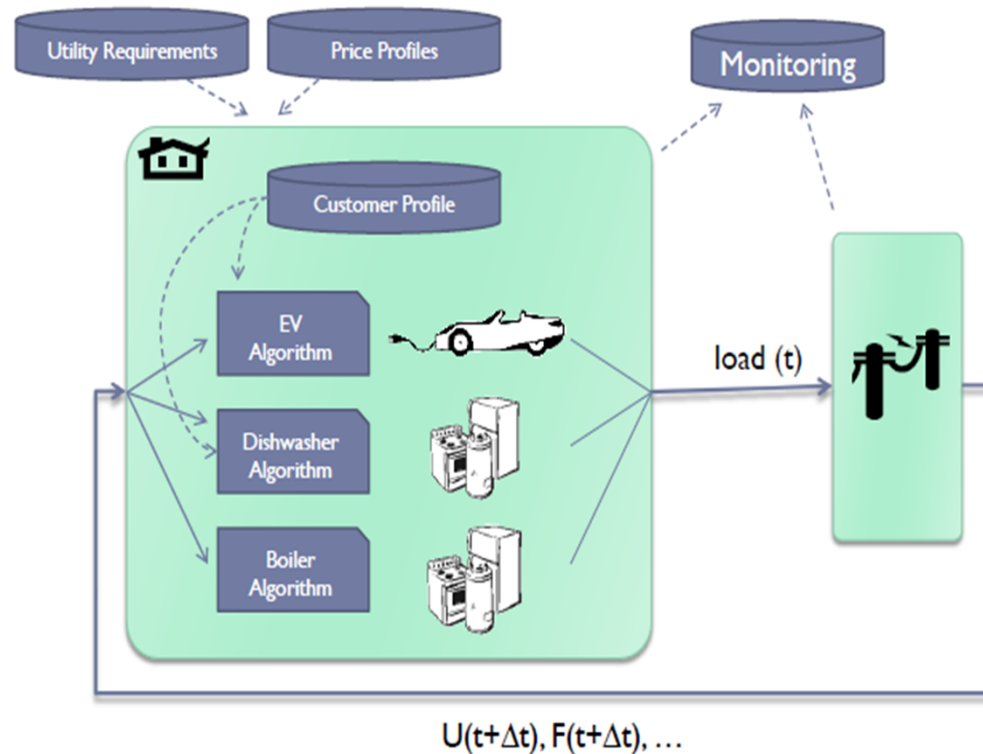
# Swiss2G – concept – Distributed intelligence at the home devices (Source: SUPSI)



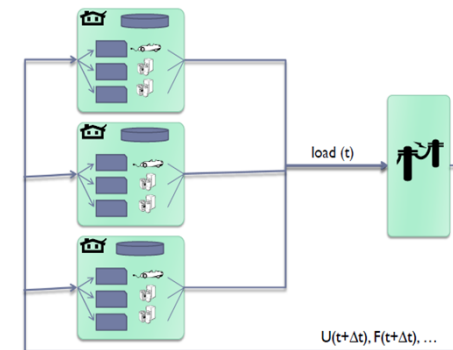
Swiss2G  
Concept

A fundamental goal of Swiss2G is the use of local information as much as possible. Deviate from this principle only where absolutely necessary.

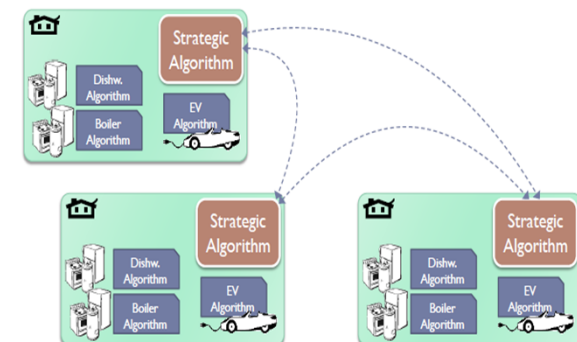
Distributed principle: Intelligence at the „home node“



Scalability: Consider millions of nodes



Use minimal communication

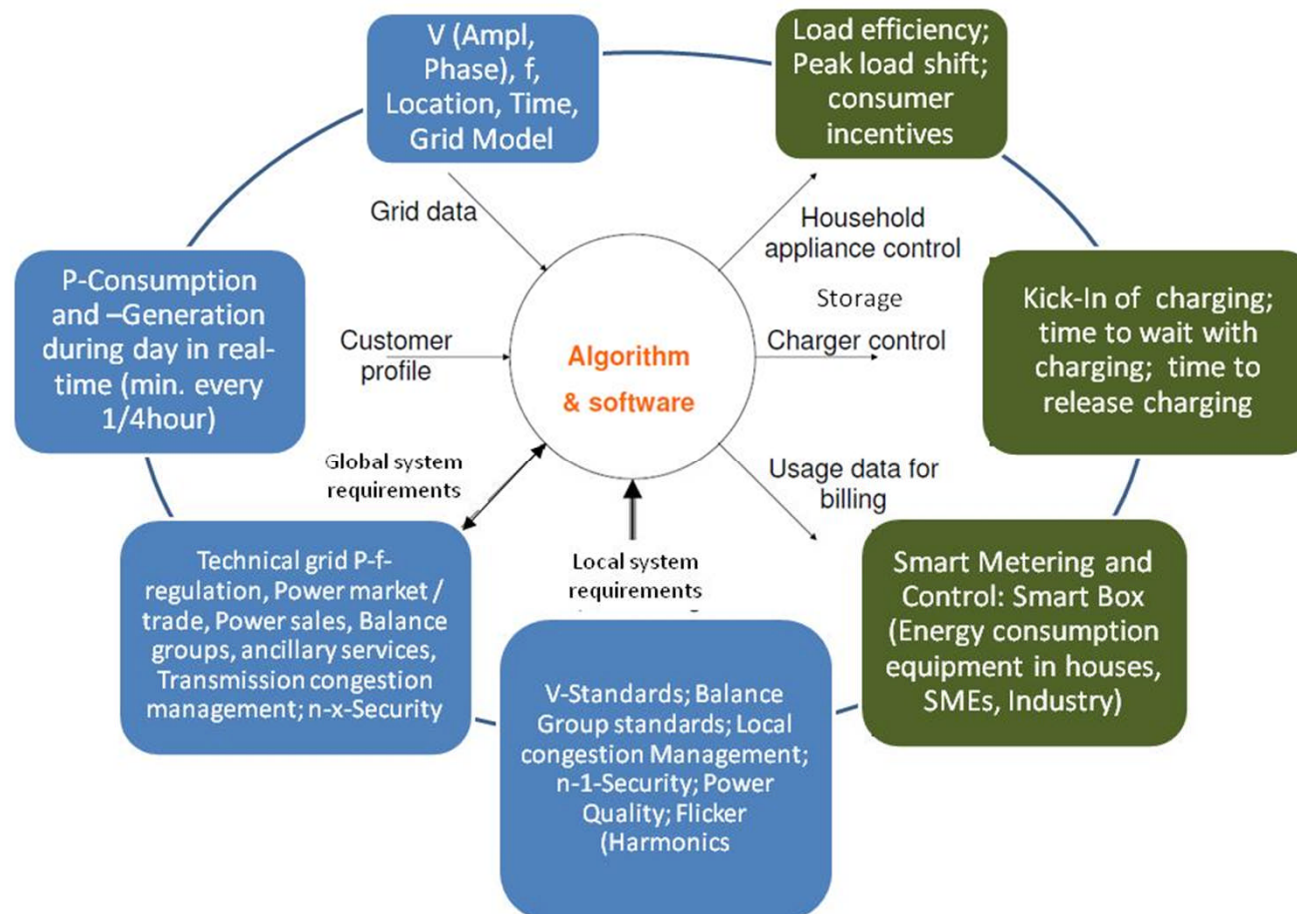


## The distributed algorithm considers the state of the grid at all levels: local, regional, national, entso-e



Swiss2G  
Concept

Possible distributed algorithm input and output including elements which cannot be sensed locally without communication



# Hypothese für die Unterstützung des verteilten Algorithmus zur Erhöhung der Versorgungssicherheit



Measurement  
Concept

Hypothese: Durch dezentrale Messung der Spannungsamplituden- & Phasenwinkel-differenz als Input für den Algorithmus kann die Versorgungssicherheit erhöht werden.

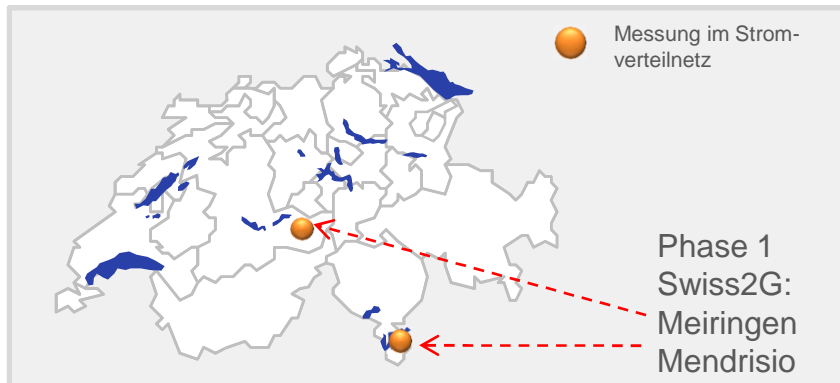
## Funktionsweise

- Jede Spannung im Stromnetz hat einen bestimmten Phasenwinkel, d.h. die maximale Amplitude der sinusförmigen Spannung tritt - gemessen relativ zu einem willkürlich festgelegten Nullpunkt - zeitlich verzögert auf (Synchronisation mittels GPS-Zeitsignal)
- Die Differenz der Phasenwinkel und –amplituden der Spannungen an den Enden einer Leitung verändern sich abhängig vom Leistungsfluss über die Leitung.
- Die Phasenwinkeldifferenz der Spannung gibt regional, überregional und pro Regelzone Auskunft über die Netzbelastung.

## Neue Fragen

- Wie stark verändert sich der Phasenwinkel sowie die Amplitude im Verteilnetz?
  - Hinweise auf Netz-Belastung an der Steckdose durch PV, EV, Verbraucher
- Wie gross ist die Phasenwinkeldifferenz zwischen Höchstspannungs-, Mittelspannungs- und Verteilnetz?
  - Hinweise auf grossräumige Flüsse und Netzbelastungs-Sensitivität durch PV, EV und Verbraucher

## Standorte der Messgeräte (Phase 1)



## Die Flüsse im Netz

$$P_{km} = U_k^2 g_{km} - U_k U_m g_{km} \cos \phi_{km} - U_k U_m b_{km} \sin \phi_{km}$$

$$Q_{km} = -U_k^2 (b_{km} + b_{km}^{sh}) + U_k U_m b_{km} \cos \phi_{km} - U_k U_m g_{km} \sin \phi_{km}$$

## Hypothesis: Support of security of supply by the distributed algorithm



Hypothesis: Security of supply can be increased by use of decentral measurements of voltage amplitude and voltage phase difference as input to the decentral algorithm

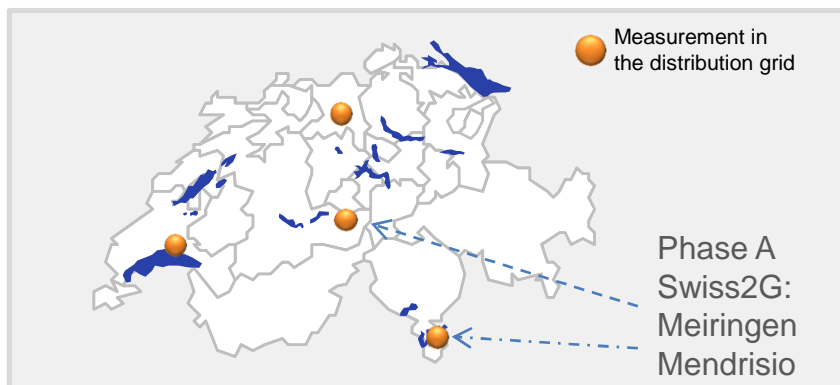
### Functional behaviour

- Each voltage in the electricity grid has a main frequency phase angle and amplitude; the maximum amplitude of the measured sinusoidal voltage signals occurs at a slightly different time (time measured via GPS-time signal) at each node.
- The difference of phase angles und –amplitudes of voltages at any two nodes change depending on the line flow
- The difference of voltage signals at regional, super-regional at the level of the frequency control zone indicates the degree of grid loading.

### New questions

- How large is the change of phase angle and amplitude in the distribution grid depending on grid loads and in-feeds?
  - Indication of grid use at the plug
- How large is the phase angle difference between high, medium and low voltage distribution grids?
  - Indication for large area flows and grid loading sensitivity by PV, EV and other electricity consumers

### Places of measurements (Phase A and B)



### The flows in the grid

$$P_{km} = U_k^2 g_{km} - U_k U_m g_{km} \cos \phi_{km} - U_k U_m b_{km} \sin \phi_{km}$$

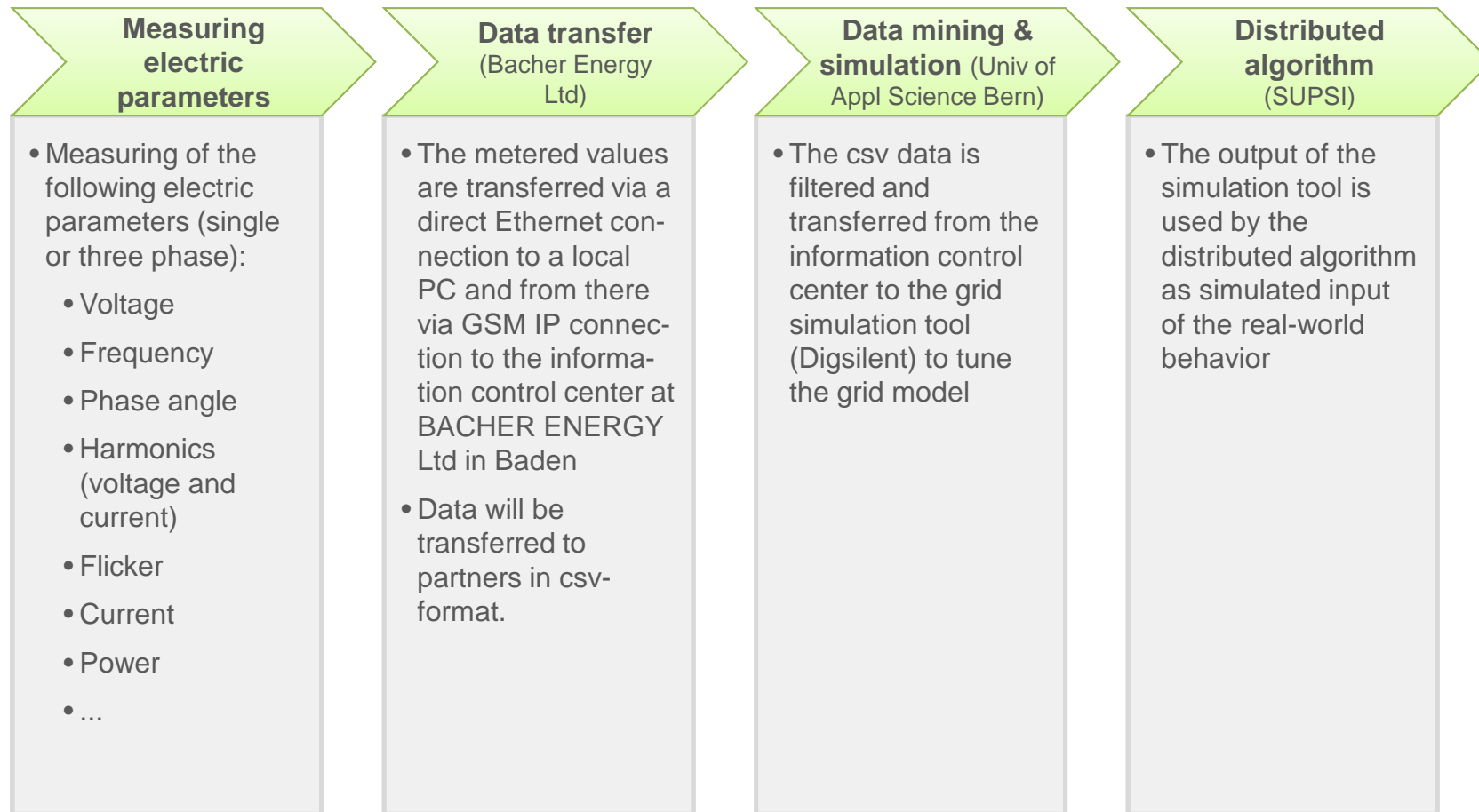
$$Q_{km} = -U_k^2 (b_{km} + b_{km}^{sh}) + U_k U_m b_{km} \cos \phi_{km} - U_k U_m g_{km} \sin \phi_{km}$$

# Measuring & algorithm concept



Measurement  
Concept

The work of BACHER ENERGY Ltd (measuring), University of Applied Science Bern (Simulation) and SUPSI (distributed algorithm) can be divided into four parts.



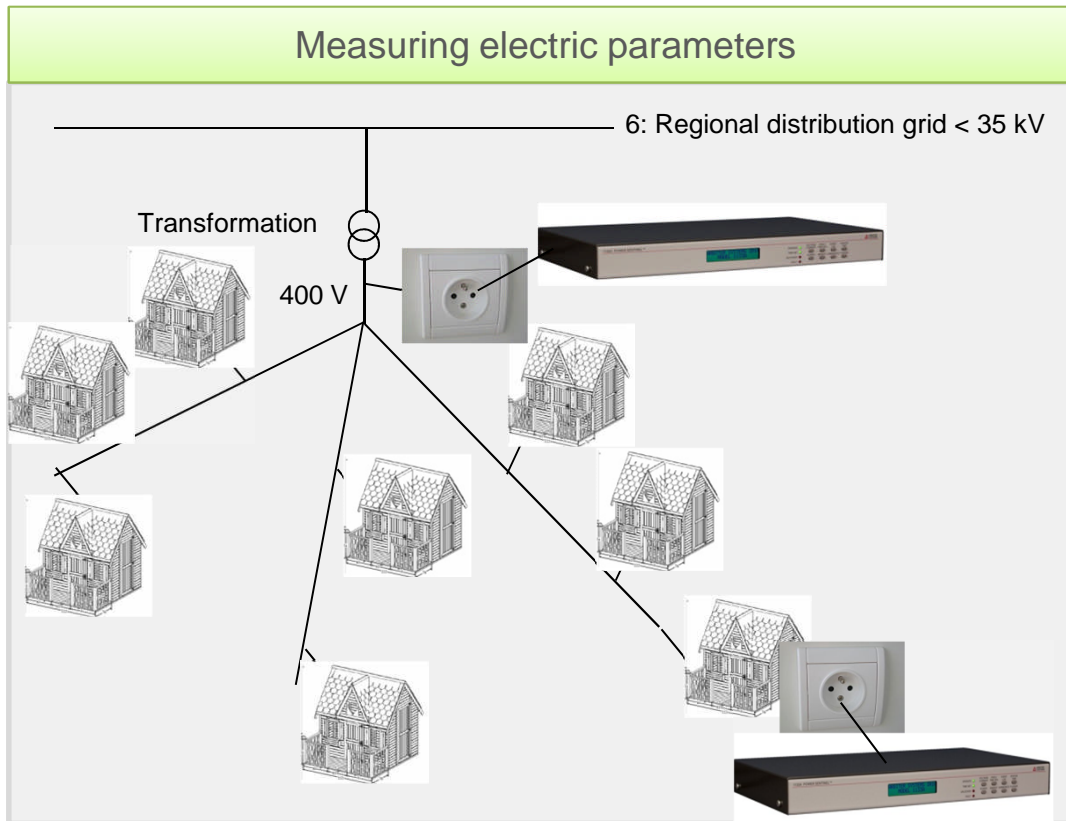
# Measuring electric grid states and parameters



Measurement  
Concept

The measuring device uses a GPS signal in order to get a highly accurate time stamp



Measuring electric parameters	Remarks
	<ul style="list-style-type: none"><li>• The single phase or three phase voltage signal is measured with very high accuracy at the 230V-plugs of electricity prosumers (producer and/or consumers)</li><li>• Ideally, the voltage just behind a level 6 transformer (at 400V) and the 400V voltages at the far end of a radial line are measured simultaneously</li><li>• The GPS signal gives the exact time to allow exact voltage phase and frequency detection</li></ul>



# Measurement and data transfer



Measurement  
Concept

Data transfer from measurement equipment to PC and from PC to internet occurs in parallel



## Raw measurement data transfer



## Remarks

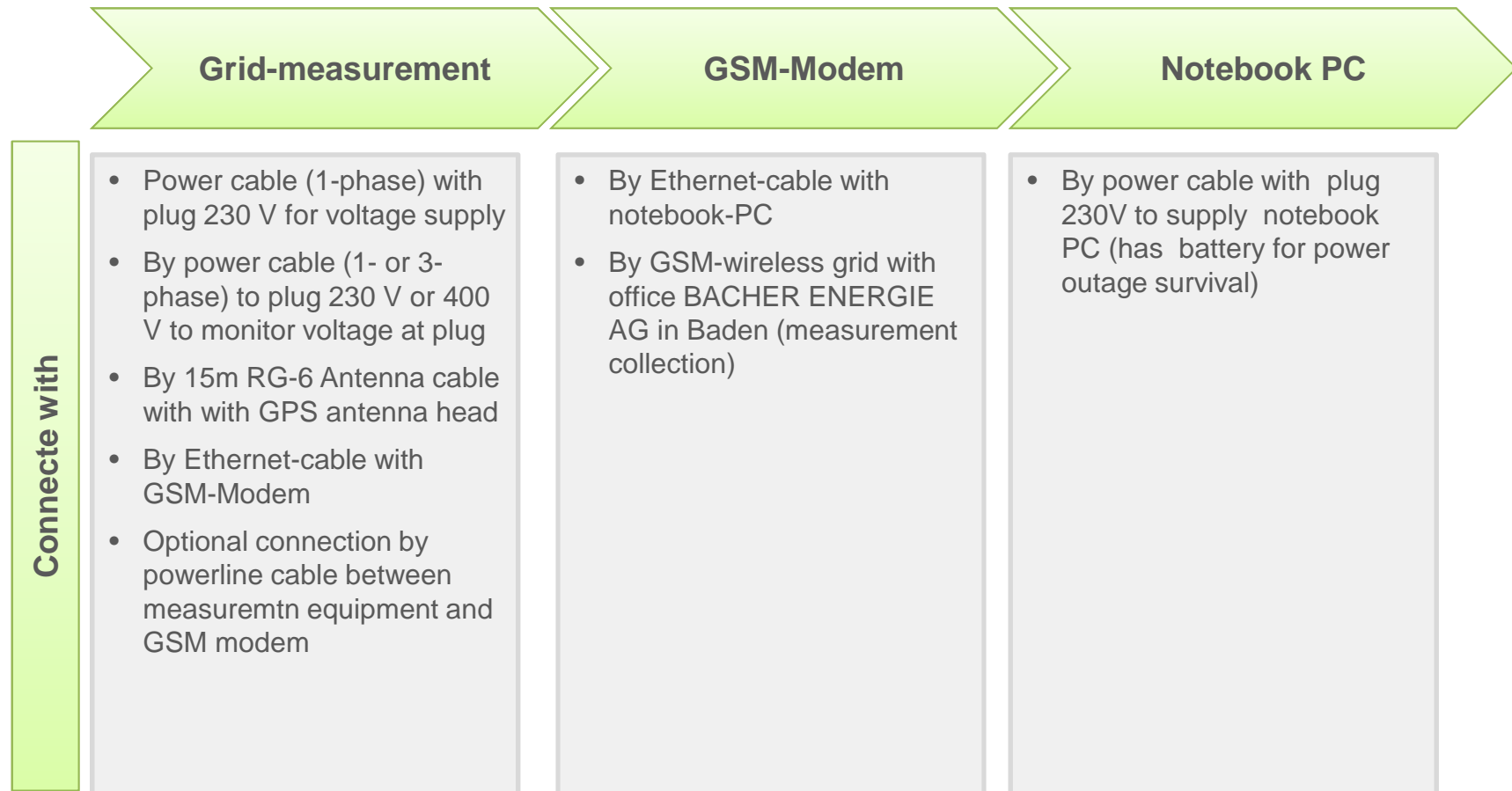
- The metered voltage data is transferred via a direct Ethernet connection to a local PC and from there via GSM IP connection to the information control center at BACHER ENERGY Ltd in Baden
- The PC records all values in raw format
- The information centre converts all raw data into csv data format

## Measurement Concept – connections grid – metering equipment, GSM-Modem, notebook-PC, antenna-head



Measurement  
Concept

The measurement equipment needs an exact time stamp obtained by GPS-Signal via an antenna whose head is outside of the measurement room (Connection with Coax-cable to the measurement equipment)



# Data mining & simulation



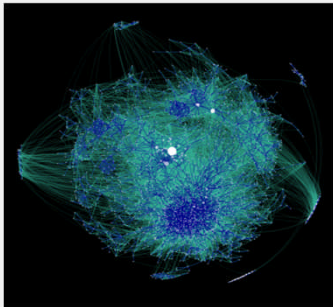
Measurement  
Concept

In order to model the distribution grid, data is necessary of the local electricity distribution grid and for all connected electricity consumers and generators.

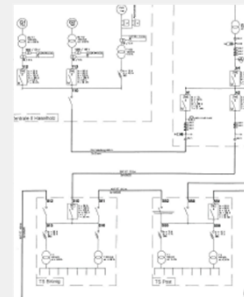


## Data mining & simulation

Data mining



**SILENT  
DIG**



*Grid model*

## Remarks

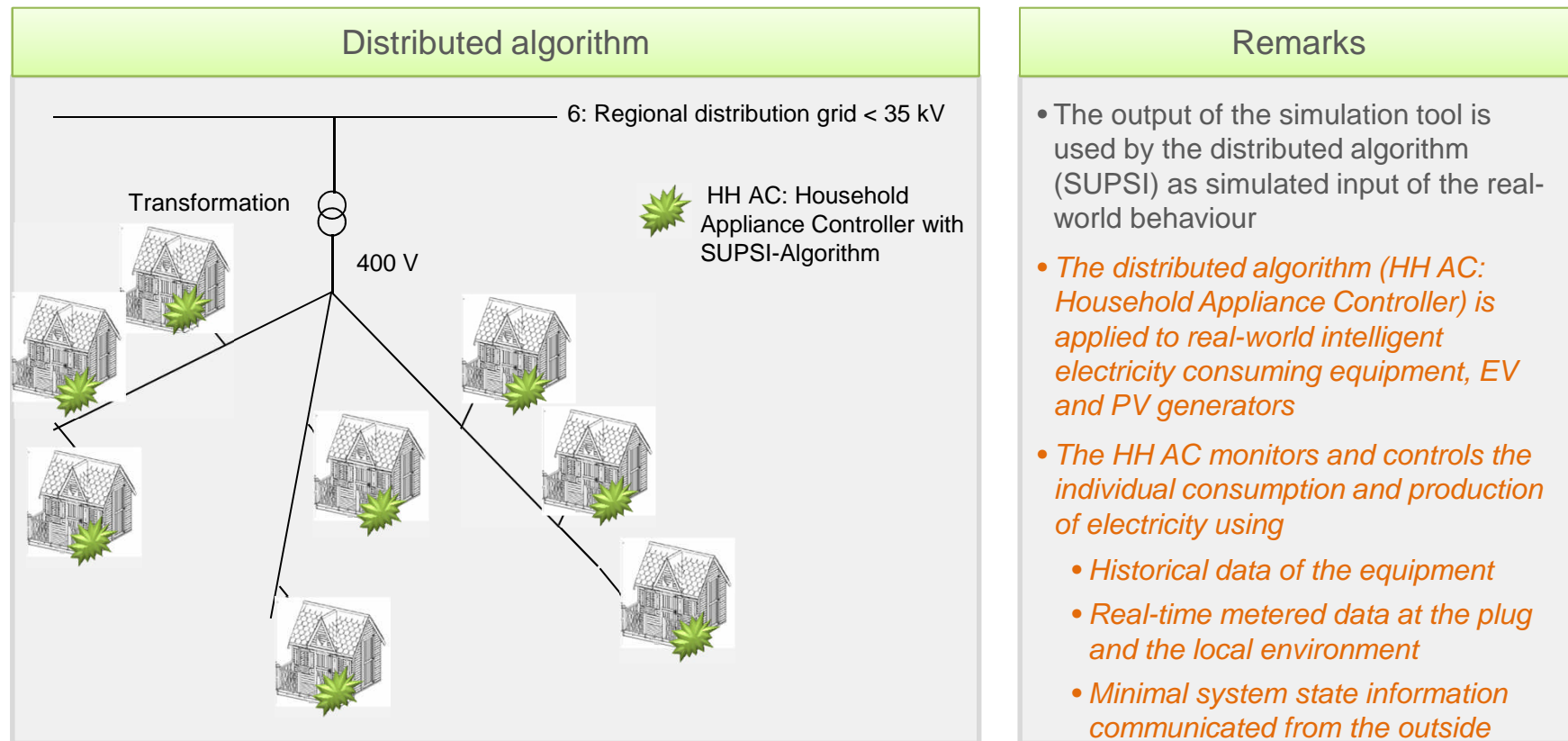
- The csv data is filtered and transferred from the information control centre to the grid simulation tool (Digsilent) to tune the grid model
- The simulation tool needs as further input the grid system data of Meiringen and Mendrisio (possibly also higher voltage data from AET and BKW)

# Distributed algorithm



Measurement  
Concept

The output of the simulation tool (Digsilent) is used by the distributed algorithm (SUPSI) as simulated input of the real world behavior



Phase B Swiss2G

# Cooperation between BACHER ENERGIE Ltd, University of Applied Science and SUPSI



Measurement  
Concept

The goal is a distributed algorithm to control and incentivize the optimal individual consumption & production of electricity in the distr. grid supporting high security of supply.

	BACHER ENERGY Ltd	University of Applied Science Bern	SUPSI
Goal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metering of relevant electric parameters without and with distributed generation, electric vehicles and controllable electric loads</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Based on the grid data and the measurements of BACHER ENERGY Ltd the challenge is to model the distribution grid with and without distributed generation, electric vehicles and controllable loads</li> <li>Simulation of the mass rollout of distributed generation, electric vehicles and controllable loads in the distribution grid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A tailor-made distributed algorithm which monitors, controls and incentivises the individual consumption and production of electricity in the distribution grid with the help of the household appliance controller</li> </ul>
Input / output	<div> <div>Input data</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Voltage and current from the electric grid via household 220V or 400 V plugs</li> </ul> </div> <div> <div>Output data</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Measured grid values in the csv data format</li> </ul> </div>	<div> <div>Input data</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Grid data of Mendrisio &amp; Meiringen from the local electricity companies</li> <li>Load and generation data</li> <li>Measured grid values from (BACHER ENERGIE AG)</li> </ul> </div> <div> <div>Output data</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Simulation results</li> <li>State today without and with new equipment</li> <li>State tomorrow: e mass rollout of distributed generation and electric vehicles in the distribution grid</li> </ul> </div>	<div> <div>Input data</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Simulation results of the mass rollout of distributed generation, electric vehicles and controllable loads</li> </ul> </div> <div> <div>Output data</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tailor-made distributed algorithm in order to monitor and control the individual consumption and production of electricity in the distribution grid</li> </ul> </div>

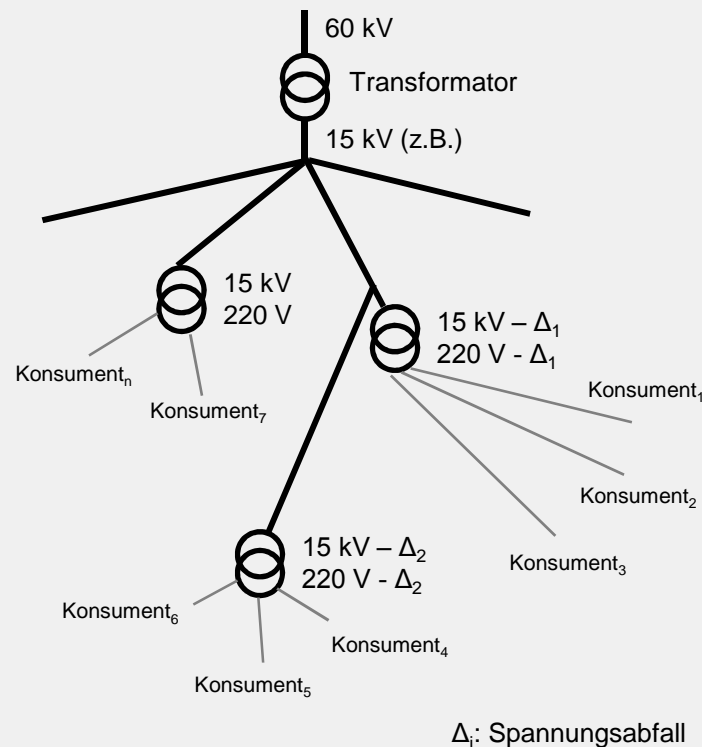
# Die Messung der Spannungsamplitude der Hauptfrequenz als Netzzustandsindikator?



Measurement  
Concept

Der Vergleich der einphasigen Sollspannung (230 V) mit dem aktuellen, lokalen Spannungsmesswert ist meist ungenügend für eine Aussage über den Netz-Zustand

## Radiales Netz



## Bemerkungen

- Die meisten Verteilnetze in der Schweiz werden radial betrieben.
- Radiales Netz: Zentral gelegen sind mindestens zwei Anbindungen zum übergeordneten Netz<sup>1)</sup> und vom Zentrum des Netzes aus gehen einzelne Leitungsstränge zu den Transformatoren bzw. Schaltkästen woran die Endkunden angeschlossen sind
- Entlang eines solchen Leitungsstranges nimmt - ohne einspeisende Erzeuger – gemäss physik. Gesetzen die Spannung kontinuierlich ab – einerseits bedingt durch die Konsumenten und andererseits durch die Leitungsimpedanz
- Folglich hängt die gemessene Spannungsamplitude an der Steckdose nicht nur vom Zustand im Netz ab (grosser Fluss senkt die Spannung) sondern auch vom Ort der Spannungsmessung im Netz (wie weit entfernt ist der nächste Koppeltransformator zum Netz mit der höheren Betriebsspannung (z.B. 16 kV / 110 kV?))
- Für eine relevante Aussage der Differenz zwischen gemessener Spannung und Sollspannung (230 V) ist somit insb. die zusätzliche Information bzgl. der „geographischen Lage der Messung im Verteilnetz“ essentiell.

<sup>1)</sup>: Um das n-1 Sicherheitskriterium zu erfüllen, braucht es mindestens zwei Anschlusspunkte

# Die richtigen dezentral erfassbaren Messwerte als Schlüsselherausforderung von S2G zur sicheren Versorgung



Measurement  
Concept

Mit der lokalen Messung der Spannung und der Frequenz an der Steckdose erhält man ungenügende Informationen über Netzenspässe, Netzzustände

## Kritische Netzgrösse

Abweichung von der Sollspannung (230 V)

Abweichung von der Sollfrequenz (50 Hz)

Netzenspass (Überlastung eines Elements, z.B. Kabels)

## Messung von U und f an der 230 V Steckdose (ohne jeglichen Datenaustausch)

- Je nach geographischer Lage des Messorts und Tageszeit kann die Spannung unter oder über 230 V liegen.
- Messungen in Baden haben ergeben, dass zum gleichen Zeitpunkt die Spannung in der Nähe des Bahnhofs 230 V und am Stadtrand (am Ende einer Stickleitung) lediglich 219 V war
- Aufgrund der Frequenzmessung allein ist unklar, ob bei einer Abweichung der Frequenz vom Sollwert nur die Primärregelung (verteilt bei jedem Erzeuger) oder auch die Sekundärregelung (zentral von der swissgrid) gesteuert aktiv ist.
- Die Netzenspass-Problematik auch in den regionalen, überregionalen und Übertragungs-Netzen wird durch Frequenz- und Spannungsamplitudenmessung allein nicht oder ungenügend berücksichtigt.

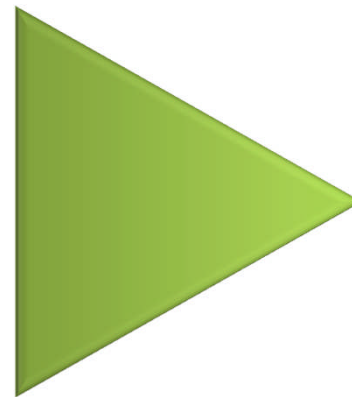
## Schlussfolgerung

- Mit der Messung der Spannung (und der Frequenz) an einer Steckdose ohne Kenntnis des Messorts im Netz können falsche Schlussfolgerungen gezogen werden
- Speist die Batterie eines EV in der Sekundärregelphase in eine Regelzone ein, wo kein Fahrplansollwert vorliegt, so kann die Einspeisung das heutige Netzregime destabilisieren
- Verwendet man nur die Messwerte V, f an der Steckdose als Input zur Logik der Batterieeinspeisung (V2G), kann ein Netzenspass noch verschlimmert werden (insb. Schutzauslösung)

Im Projekt werden Messgeräte mit einer hohen Messgenauigkeit verwendet, um damit belastbare Messwerte für die Simulation zu erzielen

## Eingangssignale

- Wechselspannung  
(ein- oder dreiphasig)
- Strom



## Messwerte bzw. in Echtzeit errechnete Werte

- Spannungssignal
- Haupt-
  - Frequenz
  - Phase
- Oberwellen
  - Amplituden
  - Frequenzen
  - Phasen
- Exakte Zeit, Ort
- Leistung
- Stromsignal



# Metering Equipment Swiss2G



Metering device  
and results

## Model 1133A Power Sentinel™

- Synchronized via GPS
- Power Quality: Harmonics, Flicker, Interruptions
- Phasor Measurements for Stability & Flow Analysis
- System Time & Frequency Deviation
- Internal Data/Event Logging



# Measurement Principles – Recording of metered values (basic values)



Metering device  
and results

Basic ... Availability in second intervals

		09:30:47 UTC	1 minute	09:31:47 UTC
A V MAG		98.313		98.298
A V PH		-100.59		-29.127
B V MAG		101.60		101.61
B V PH		144.75		-143.84
C V MAG		105.34		105.26
C V PH		19.863		91.279
		POWER A W		
		W		
UTC Time	0 V SEQ MAG	POWER A VAR		
A V MAG	0 V SEQ PH	POWER A VA		
A V PH	1 V SEQ MAG	POWER A PF		
B V MAG	1 V SEQ PH	POWER A Q		
B V PH	2 V SEQ MAG	POWER B W		
C V MAG	2 V SEQ PH	POWER B VAR		
C V PH	0 I SEQ MAG	POWER B VA		
A I MAG	0 I SEQ PH	POWER B PF		
A I PH	1 I SEQ MAG	POWER B Q		
B I MAG	1 I SEQ PH	POWER C W		
B I PH	2 I SEQ MAG	POWER C VAR		
C I MAG	2 I SEQ PH	POWER C VA		
C I PH		POWER C PF		
		POWER C Q		
		POWER TOTAL		
		POWER TOTAL VAR		
		POWER TOTAL VA		
		POWER TOTAL PF		
		POWER TOTAL Q		
		FREQ		
		FREQ DEV		
		FREQ RATE		
		TDEV SEC		
		TDEV CYC		
		FLICKER A V		
		FLICKER A I		
		FLICKER B V		
		FLICKER B I		
		FLICKER C V		
		FLICKER C I		

# Measurement Principles – Recording of metered values (Voltage Harmonics)



Metering device  
and results

Harmonics ... Availability in second intervals

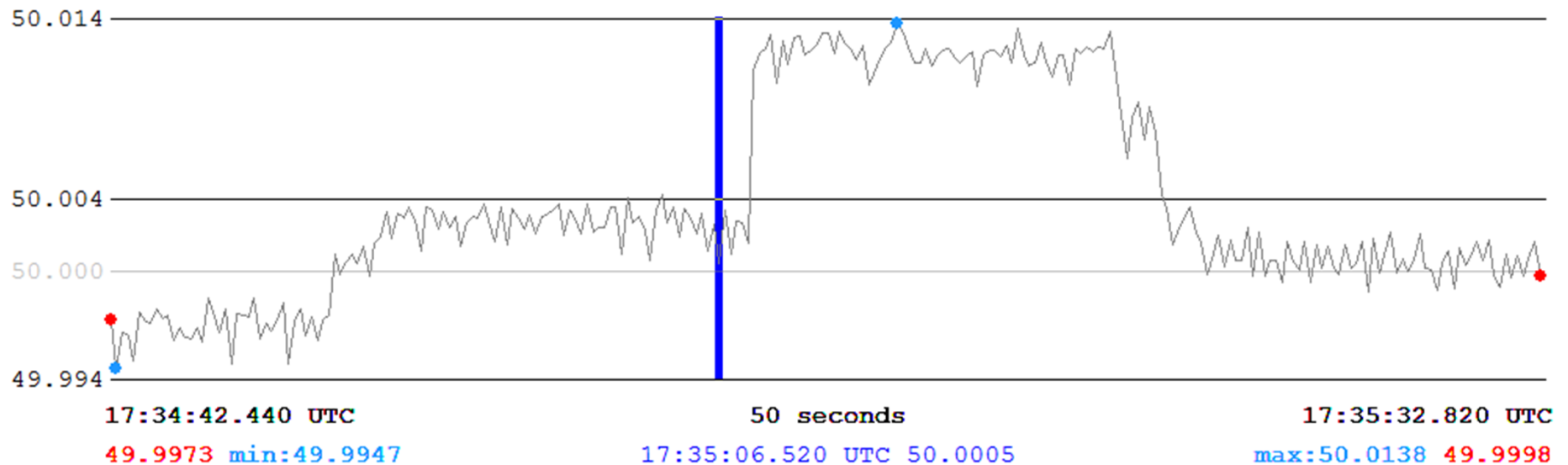
	17:22:10 UTC	1 minute	17:23:38 UTC	minimum	maximum
Fundamental A V mag	237.24		236.66	234.68	237.52
Fundamental A V ph	14.386		69.386	-178.98	178.14
A V 2 mag	.06344		.05587	.05354	.09764
A V 2 ph	56.633		177.59	-166.68	177.59
A V 3 mag	2.1979		2.1150	2.1002	2.3117
A V 3 ph	-59.173		103.11	-165.79	176.48
A V 4 mag	.05372		.05885	.04071	.09961
A V 4 ph	-110.26		134.97	-177.58	153.66
A V 5 mag	1.8256		1.7867	1.4573	1.8796
A V 5 ph	-44.110		-127.83	-171.72	178.61
A V 6 mag	.02492		.02638	.01889	.13604
A V 6 ph	80.380		100.50	-177.56	177.50
A V 7 mag	3.3500		3.3151	3.1099	3.4529

# Measurement Principles – Recording of metered values (Frequency)



Metering device  
and results

Frequency ... Availability in 20ms intervals



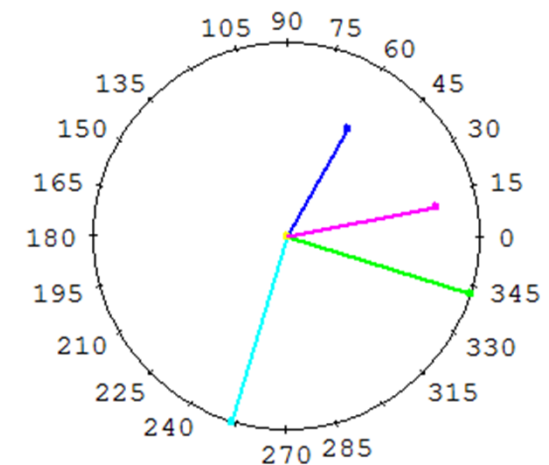
# Measurement Principles – Recording of metered values (Phase angle)



Metering device  
and results

Phase angle: Main frequency and harmonics ... available in 20 ms intervals

PMU-1	1133 PMU-1			
UTC	12-21-09 17:32:56.540000			
Freq. (Hz)	50.001			
- Input	Magnitude	Phase (deg)		
Ch A V	237.511	253.096		
Ch A I	0.000	60.323		
Ch B V	0.007	220.650		
Ch B I	0.000	342.500		
Ch C V	0.004	116.083		
Ch C I	0.000	11.604		
+ Sequences	Magnitude	Phase (deg)		
+ Energy	A	B	C	Total



## Additional information



# Metering Principles – Metered values (configuration choice)



Appendix

## Configuration

- 3Ø
- 1Ø

## Voltage

- Range (3Ø/1Ø) 0 to 69, 120, 240, or 480 Vrms
- Overrange 88, 175, 350 or 700 Vrms, nominal

## Current

- Range (3Ø/1Ø) 2.5, 5, 10, or 20 Arms, selectable per element
- Overrange 2.9, 5.9, 11.7, or 23.5 Arms, nominal (maximum continuous input current: 20 Arms per element, all ranges)

## VA, W, VAR

- Range Product of rated voltage and current ranges and number of elements

## Frequency

- Range 45 to 65 Hz, for specified accuracy
- Harmonics To 3 kHz

# Metering Principles - Accuracy



Appendix

- **Watts**, Wh 0.025% of reading, 10% of range or greater and PF > 0.2;
  - 0.005% of VA for PF < 0.2
  - Underrange 0.0025% of range, below 10% of range
- **VA, VAh** Same as W, Wh except no PF effect
- **VAR, VARh** Same as W, Wh except replace PF with  $(1 - PF^2)^{0.5}$
- **Vrms** 0.02% of reading or 0.002% range, whichever is greater
- **Arms** 0.03% of reading or 0.003% range, whichever is greater
- **V2h** 0.04% of reading or 0.004% range, whichever is greater
- **A2h** 0.06% of reading or 0.006% range, whichever is greater
- **Phase Angle**,  $\varnothing$  0.01°,
  - phase-to-phase or voltage-to-current, 10% of range minimum
- **Power Factor** 0.0002 •  $\sin(\varnothing)$ , 10% of range min.
- **Harmonics** 0.05% THD or 5% of reading, whichever is greater
- **Frequency** < 1 ppm (0.0001%) of reading, 50 nominal, plus timebase error
- **System Phase** 0.03° plus [timebase error • 360° • frequency]
- **System Time** 1  $\mu$ s plus timebase error
- **Event Inputs**  $\pm 10$   $\mu$ s (typical)



## Communications

- Serial
  - Port 1 RS-232 (1133opt10)
  - RS-422/485 half-duplex (1133opt11)
  - Modem (V.34bis, 33.6k) (1133opt12)
- Port 2 RS-232 (1133opt20)
  - RS-422/485 half-duplex (1133opt21)
  - Modem (V.34bis, 33.6k) (1133opt22)
  - Connectors RJ-11 modular; two
- **Ethernet One, 10Base-T per IEEE 802.3i**
  - Connector RJ-45 modular

## Protocols

- Proprietary PowerSentinel CSV (PSCSV)
- Standard DNP 3.0, MODBUS, PQ-DIF,

# Metering Principles – Monitoring time, phase, frequency



Appendix

## Time, Phasor, Frequency

- System Time Unlimited accumulation with  $\pm 1 \mu\text{s}$  resolution
- Frequency 7 digits, xx.xxxxx Hz
- System Phase 0 to  $360^\circ$  with  $0.01^\circ$  resolution
- Effect of DC None; Rejected by narrow-band digital & Harmonics filtering

## Phasors

1. Standard Per IEEE Standard 1344 or PSCSV
2. Rate 20 measurements/second. Including frequency (f) and  $df/dt$ .

## Harmonics Measurement

- Standard Per IEC 61000-4-7, 100 ms overlapping data window
- Measurements THD, K-factor, rms harmonic current and voltage, rms harmonic current and voltage with K-factor compensation
  - each harmonic magnitude is multiplied by the square of the harmonic number before summing, individual magnitude and phase
- Logged Data Selectable, may be regularly logged or registered; or event-logged when user-specified limits are exceeded

## Interruptions

- Logged Data Selectable, may be regularly logged or registered; or event-logged when user-specified limits are exceeded

## Flicker

- Standard Per IEC 61000-4-15, Pst and Instantaneous
- Logged data Selectable, may be regularly logged or registered; or event-logged when user-specified limits are exceeded

## DigSilent as Grid Modeling Tool (BFH) uses the metered values



Appendix

### Key Features

- Single- and multi-user project data administration environment
- Database with historical data storage and auditing functionality.
- Time-stamped data model
- Management of operational scenarios
- Baselineing, versioning and publishing of models
- Integrated node and branch, and switch and component modelling
- Integrated overview diagrams, simplified and detailed single line diagrams
- Fast contingency analysis tools (AC and DC load flow)
- Contingency-constrained economic dispatch including quad booster optimization
- Distributed/embedded power generation modelling
- New models for wind power and virtual power plants

# Digsilent Basic Features (1/2)



Appendix

## Grid Models

- Meshed and radial AC systems with 1-, 2-, 3-, and 4-phases , Meshed and radial DC systems , Combined AC and DC system modelling , Model validity from LV up to ultra-high voltage

## Phase Technologies

- Single phase with/without neutral , Two-phase with/without neutral , Bi-phase with/without neutral , Three-phase with/without neutral

## Substations

- Simple terminal models to be used for “node and branch” representation, marshalling panels, terminal blocks, terminal strips, clamping bars, joints and junctions.
- Complex substation models with the provision of various standard busbar configurations such as single- and double busbars with/without tie-breakers, bypass busbars, 1½ busbar systems and flexible busbar configurations according to user-specific needs.
- Templates for holding any type of user-specific busbar configuration, including pre-configured protection schemes

## Generators and Sources

- Synchronous and asynchronous generator , Doubly-fed induction generator , Static generator (for PV, fuel cell, wind generator, battery storage, etc.)
- External grid , AC voltage source , AC current source , 2-terminal AC voltage source

## Loads

- General load model (for HV and MV-feeders) , Complex load model (for feeders with a large number of induction motors) , Low voltage load (can be assigned across line and cable sections)

## Reactive Power Compensation

- Static Var Compensator (SVC) , Shunt/Filter (RLC, RL, C, RLCRp, RLCCRp)

## Branch models

- Overhead line and cable models (p-models and distributed parameter models) , Circuits and line sub-sections , Mutual data, line couplings, tower geometries
- 2-, 2-N-winding transformer and auto transformer , 3-winding transformer, booster transformer
- Series reactor, series capacitor and common impedance

# Digsilent Basic Features (2/2)



Appendix

## DC Models

- 1-terminal and 2-terminal DC voltage source and DC current source, DC/DC converter . Inductive DC-coupling

## Power Electronics Devices

- Thyristor/Diode converter models , Self-commutated converter models (VSC-converter) , DC valve (for building individual converter topologies) , Softstarter

## Switches and Substation Equipment

- Circuit Breaker and Disconnecter, Load-Break-Disconnecter , Load-Switch, Grounding Switch. Fuse , NEC/NER, grounding devices . Surge arrester

## Composite Models

- Composite node models, e.g. representing complex substations , Composite branch models Template library for handling composite models

## Parameter characteristics

- Time characteristics and discrete characteristics • Scalar, vector and matrix characteristics , File references and polygons , Continuous and discrete triggers
- Frequency and time scales

## Controllers

- Station controller, secondary controller (SCO), virtual power plant , Tap controller, shunt controller ,
- User-definable capability diagrams and controllers

## Organisation and Grouping

- Site, station, substation, area, zone , Feeder, branch, bay , Operator, owner , Boundaries

## Operational Library

- Substation running arrangements, CB ratings .Thermal ratings , Library of faults/contingencies . Library of (planned) outages

## Others

- Protection relays with over 30 basic protection function blocks , Manufacturer-specific relay library with relay models from all major manufacturers
- CT, VT and various measurement transducers (P, Q, f, etc.) .
- Fourier source, harmonic source, FFT
- Clock, sample & hold, sample & hold noise generator