

## Anforderungen an die zukünftigen Schaltanlagen im Übertragungsnetz

Philippe H. Meuli, Swissgrid AG, Frick

## Von kompakt bis unsichtbar: HS-Anlagen in kompakter Bauweise

Bernd Ehrich, Siemens AG, Nürnberg

## Haben Verteilnetzbetreiber auch einen Nutzen vom Smart Grid?

Lukas Küng, ewz, Zürich

## Erfahrungen im Umbau von bestehenden Schaltanlagen

Emanuel Schneiter, BKW Energie AG, Ostermundigen

## Einführung: Lebenszyklus der Komponenten

Reinhold Bräunlich, FKH, Zürich

## Asset Management von Schaltanlagen in Zeiten des Wandels

Philipp Schütt, Axpo Power AG, Baden

## Abnahme- und Diagnoseprüfungen von GIS vor Ort

Stefan Neuhold, FKH, Däniken

## Der Schalter als Motor für die Entwicklung neuer Schaltanlagentechnologien

Martin Kriegel, ABB Schweiz AG, Baden

## Benutzer- und designoptimierte GIS-Schaltanlagen

Robert Lüscher, ALSTOM Grid AG, Oberentfelden

## Alternative Isoliergasmischungen für gekapselte Schaltanlagen: neuer Anlauf

Christian Franck, ETH Zürich

Moderation: Martin K. Schumacher, ABB AG, Mannheim

# Rahmenbedingungen für den Schaltanlagenbau



Philippe Hans Meuli, Leiter Projektierung  
Baden, 25. September 2013

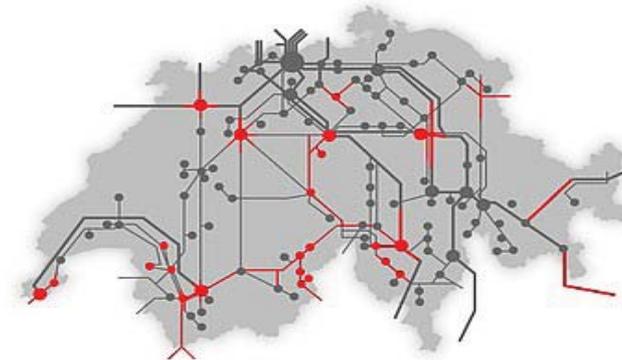


# Allgemeine Bestimmungen

*StromVG Art. 1 Abs. 2*

*Es soll ausserdem die Rahmenbedingungen festlegen für:*

- a. eine **zuverlässige und nachhaltige Versorgung mit Elektrizität** in allen Landesteilen;*
- b. die **Erhaltung und Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit** der Schweizer Elektrizitätswirtschaft.*



# Sicherstellung der Versorgung

*StromVG Art. 8 Abs. 1*

*Die Netzbetreiber koordinieren ihre Tätigkeiten. Ihnen obliegt insbesondere:*

*a. die Gewährleistung eines **sicheren, leistungsfähigen und effizienten** Netzes;*

*b. die Organisation der Netznutzung und die Regulierung des Netzes unter Berücksichtigung des Austausches mit anderen Netzen;*

*c. die Bereitstellung der benötigten **Reserveleitungskapazität**;*

*d. die Erarbeitung der **technischen und betrieblichen Mindestanforderungen** für den Netzbetrieb. Sie berücksichtigen dabei **internationale Normen und Empfehlungen anerkannter Fachorganisationen***



# Massnahmen bei Gefährdung der Versorgung

*StromVG Art. 9 Abs. 1*

*Ist die sichere und erschwingliche Versorgung mit Elektrizität im Inland trotz der Vorkehren der Unternehmen der Elektrizitätswirtschaft mittel- oder langfristig erheblich gefährdet, so kann der Bundesrat unter Einbezug der Kantone und der Organisationen der Wirtschaft Massnahmen treffen zur:*

- a. Steigerung der **Effizienz der Elektrizitätsverwendung**;*
- b. Beschaffung von Elektrizität, insbesondere über langfristige Bezugsverträge und den Ausbau der Erzeugungskapazitäten;*
- c. Verstärkung und zum Ausbau von Elektrizitätsnetzen.*

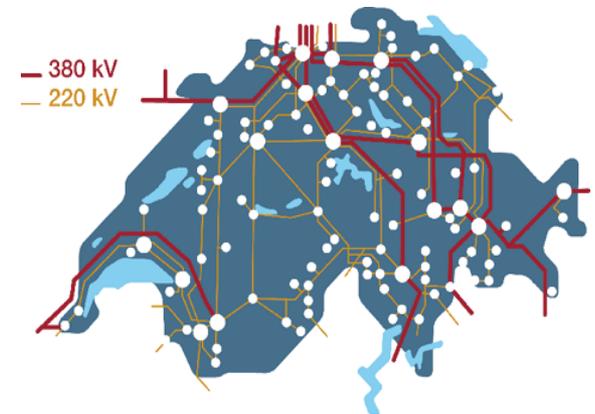


# Statuten der nationalen Netzgesellschaft

*StromVG Art. 19 Abs. 2*

*Der Bundesrat prüft dabei insbesondere, ob die Statuten oder deren Änderung gewährleisten:*

- a. die **Versorgungssicherheit der Schweiz** beziehungsweise der einzelnen Landesteile;*
- b. die **Unabhängigkeit der Netzgesellschaft**; und*
- c. den **diskriminierungsfreien Netzbetrieb**.*



# Netzzugang

*StromVG Art. 13 Abs. 1*

*Die Netzbetreiber sind verpflichtet, Dritten **diskriminierungsfrei** den Netzzugang zu gewähren.*



## Fazit

- » Sicherstellung der Verfügbarkeit / Versorgungssicherheit
- » Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit / Wettbewerbsfähigkeit
- » Steigerung der Effizienz
- » Berücksichtigung internationaler Normen & Empfehlungen

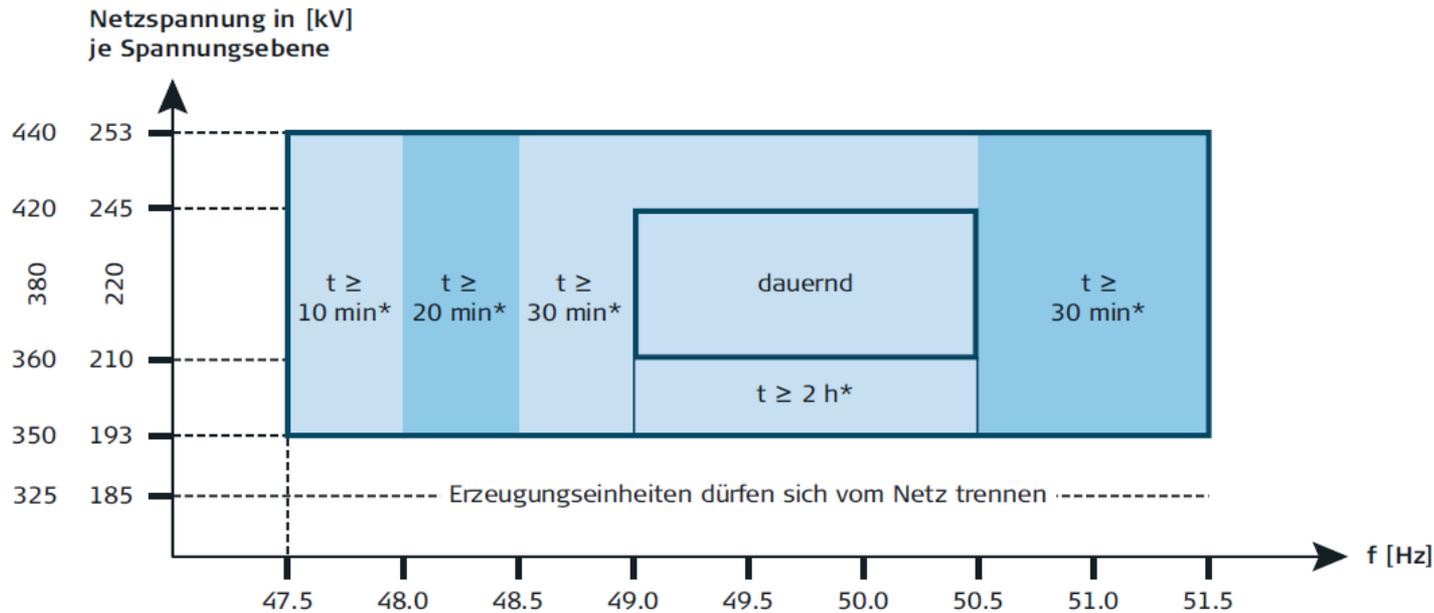


## Trends bei der Standardisierung

- » Standardisierung in der Fertigung (bei Herstellern bzw. Lieferanten)
- » Funktionale Standardisierung statt Produktvorgaben in der Beschaffung
  
- » Modularisierung
  - » Handling von standardisierten Schnittstellen zwischen Betriebsmitteln
  - » Kostenoptimierung durch standardisierte Assets
  - » Reduktion der Typenvielfalt
  - » Steigerung der Effizienz und Effektivität bei Unterhalt
  - » Optimierung der «spare parts»
  - » Positive Auswirkungen auf den «life cycle»

# Spannungsvorgaben / Spannungsgrenzen

## Transmission Code



\*  $\geq$  bedeutet «mindestens»

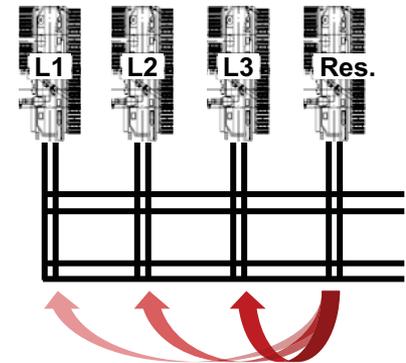
© 2009 swissgrid ag

- Umsetzung internationaler Vorgaben für den Betrieb des europäischen Verbundnetzes
- Einheitliches Verhalten aller Netzelemente = Sicherstellung der Netzstabilität = Sicherstellung der Versorgungssicherheit
- Sicherstellung der Diskriminierungsfreiheit

# Standard Transformatoren

## Einsatz standardisierter Transformatoren; Kenngrößen

- 2 standardisierte Baureihen der Klassen 400 MVA und 800 MVA
- Einsatz 3 Hauptpole und 1 Reservepol
- Regelbereiche: Querregelbereich  
Definition NE 1 -> 9 und 11 Grad
- Längsregelbereich:  
12 Stufen, eventuell 10 Stufen



### Nutzen:

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigerung der Nutzungsdauer</li> <li>• Steigerung der Verfügbarkeit</li> <li>• Senkung der Kosten</li> <li>• Senkung der Verluste</li> </ul> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherstellung der Versorgungssicherheit</li> <li>• Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit</li> <li>• Steigerung der Effizienz</li> </ul> |
|--|--|---|

# Standard Schaltanlagen

## Einsatz standardisierter Schaltanlagen

### Technische Lösungen:

- Eingesetzt werden AIS- und GIS-Anlagen
- Entscheidungskriterien:
  - » Sicherstellung der Verfügbarkeit / Versorgungssicherheit
  - » Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit / Wettbewerbsfähigkeit
  - » Steigerung der Effizienz
  - » Berücksichtigung internationaler Normen & Empfehlungen
- » Sicherstellung der Verfügbarkeit erfolgt:
  - » Bei AIS durch Gestaltung und Flexibilität Anlagenlayout
  - » Bei GIS Anlagen durch Anlagenlayout und Bewertung anhand der MRE-Kriterien

# KVP<sup>1</sup> Betriebsmittelstandard

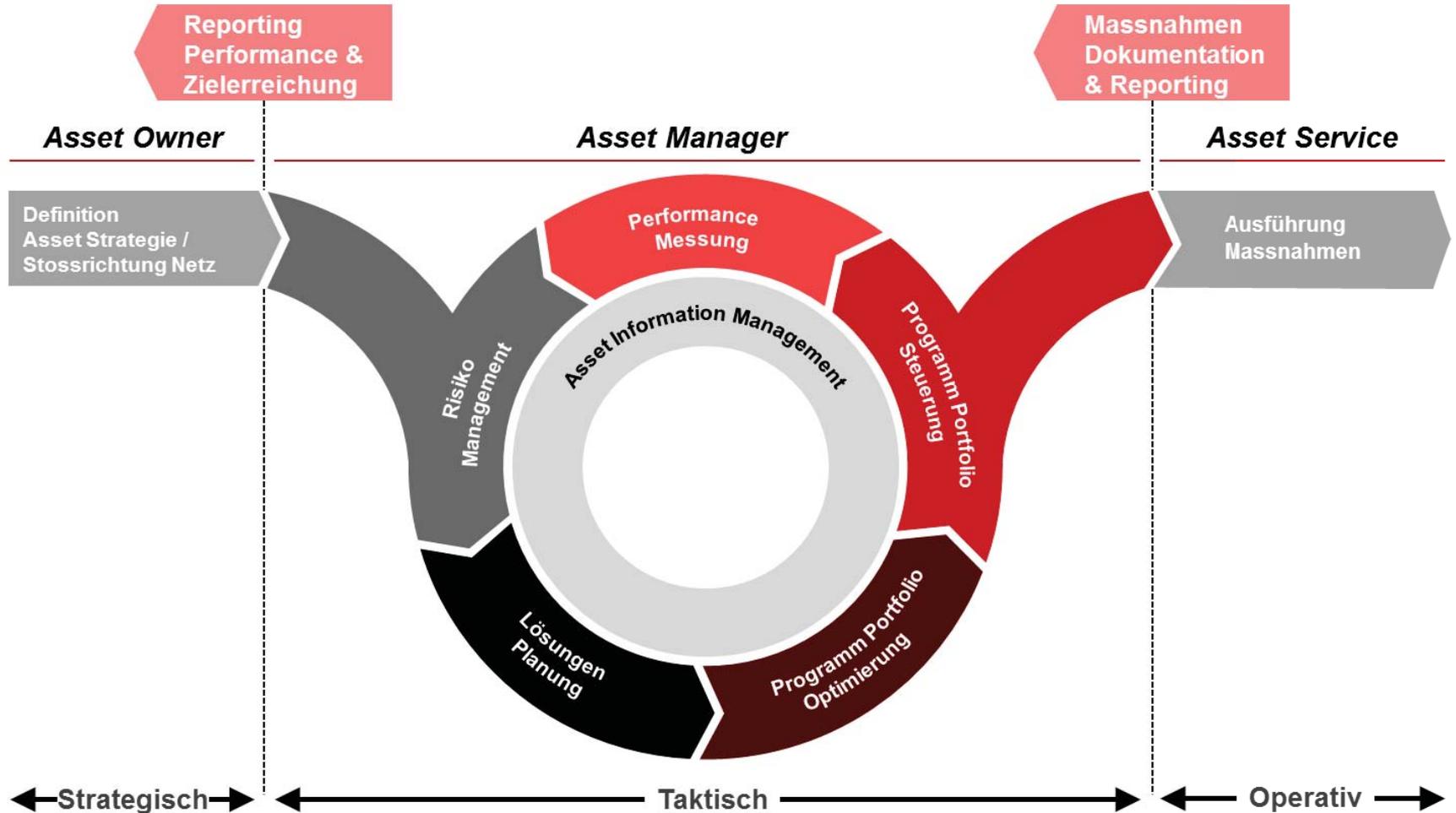


- Einhaltung von Gesetzen, Regularien, Normen und Anforderungen von Stakeholdern (internen und externen)
- Konsequente Anwendung des Standard in Projekten
- Weiterentwicklung des Standard in einem Feedback-Prozess = KVP
- Prüfung und Implementierung neuer Technologien für die Anwendung in Projekten

<sup>1</sup> KVP = Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

<sup>2</sup> SAS = Stationsautomatisierungssystem

# Swissgrid verwendet das "Value Based Asset Management" Modell



# Die Asset Strategie wird im Asset Investment Decision Framework festgelegt



## SG-Strategie (BSC)



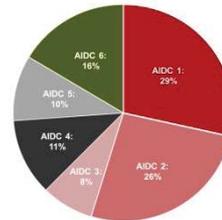
## AIDC & Erfolgsfaktoren/KPIs

AIDC	Definieren
Personensicherheit	Wahrnehmung der Verantwortung betreffend Gefährdungen gegenüber Dritten und am AIDC
Versorgungssicherheit	Personensicherheit Unfallschwere an Personen (Bevölkerung, Mitarbeitende, Dienstleister) Wahrung eines sicheren Systems ( <b>Netzsicherheit / Netzverfügbarkeit</b> )
Wirtschaftlichkeit	Versorgungssicherheit Bereitstellen eines adäquaten Übertragungsnetzes für heutige und zukünftige Transportaufgaben ( <b>Netzverfügbarkeit</b> )
Compliance	Wirtschaftlichkeit Finanzielles Risiko für Kosten (Schaden, Übertragungsnetzverluste, Redispatch, Bussen etc.)
Gesellschaftliche Verantwortung	Wirtschaftlichkeit Die Auswirkung auf die gesamte Volkswirtschaft
Umwelt- & Landschaftsschutz	Compliance Innerhalb der schweizerischen und europäischen Stromversorgungsgesetze und -verordnungen agieren
	Gesellschaftliche Verantwortung Zufriedene Stakeholder Medien Echo
	Umwelt- & Landschaftsschutz Anforderungsrechte Vorsorgemaßnahmen zur Minimierung negativer Folgen für Umwelt und Landschaft

## Risikoakzeptanzlevel

Asset Investment Decision Criteria (AIDC)	Vermehrbearbeitbar	Akzeptierbar		Nicht akzeptierbar			Muss ausgeführt werden		
		Sehr klein	Klein	Klein	Mäßig	Beträchtlich	Ermäßig	Katastrophal	
<b>Sehr oft</b>	> 10 mal pro Jahr	N	M	H	SH	EH	EH	EH	
<b>Oft</b>	> 1 mal pro Jahr	SN	N	M	H	SH	EH	EH	
<b>Regelmäßig</b>	> 0.1 pro Jahr, einmal pro 10 Jahre bis einmal pro Jahr	SN	SN	N	M	H	SH	EH	
<b>Wahrscheinlich</b>	> 0.01 pro Jahr, Einmal pro 10 bis 100 Jahre	SN	SN	SN	N	M	H	SH	
<b>Möglich</b>	> 0.001 pro Jahr, Einmal pro 100 bis 1.000 Jahre	SN	SN	SN	SN	N	M	H	
<b>Unwahrscheinlich</b>	> 0.0001 pro Jahr, Einmal pro 1.000 bis 10.000 Jahre	SN	SN	SN	SN	SN	N	M	
<b>Sehr unwahrscheinlich</b>	> 0.00001 pro Jahr, Weniger als einmal pro 10.000 Jahre	SN	SN	SN	SN	SN	SN	N	

## Gewichtung der AIDC



## Risikomatrix

AIDC	Beschreibung	Schweregrade der Auswirkung (B) Dimension												
		Sehr klein	Klein	Mäßig	Beträchtlich	Ermäßig	Katastrophal	Sehr klein	Klein	Mäßig	Beträchtlich	Ermäßig	Katastrophal	
Personensicherheit	Unfallschwere an Personen (Bevölkerung, Mitarbeitende, Dienstleister)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Versorgungssicherheit	Wahrung eines sicheren Systems (Netzsicherheit / Netzverfügbarkeit)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Wirtschaftlichkeit	Bereitstellen eines adäquaten Übertragungsnetzes für heutige und zukünftige Transportaufgaben (Netzverfügbarkeit)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Compliance	Finanzielles Risiko für Kosten (Schaden, Übertragungsnetzverluste, Redispatch, Bussen etc.)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Gesellschaftliche Verantwortung	Die Auswirkung auf die gesamte Volkswirtschaft	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Umwelt- & Landschaftsschutz	Innerhalb der schweizerischen und europäischen Stromversorgungsgesetze und -verordnungen agieren	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

**swissgrid**

# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

ETG Fachtagung 25. September 2013 Baden

# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Inhaltsverzeichnis



- Entwicklung der Schaltanlagen und Bauformen 3
- Anforderungen und Randbedingungen für die Erneuerung 10
- Beispiele aus der Praxis 11

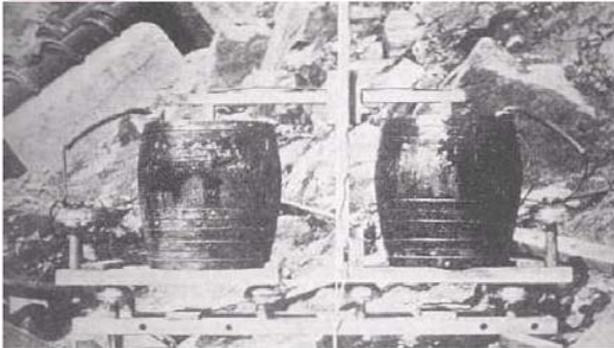
# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Entwicklung der Schaltanlagen und Bauformen

### Geschichte Hochspannungs-Leistungsschaltertechnik

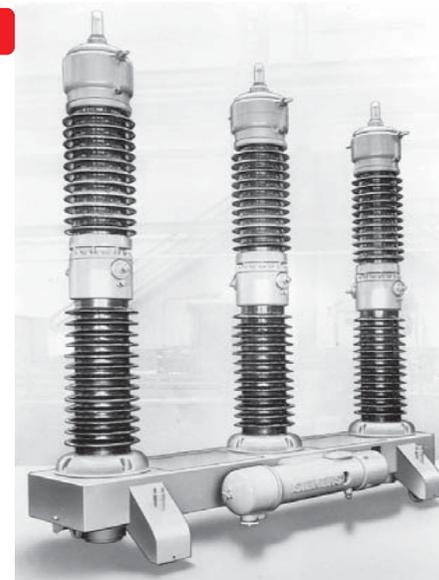
#### Expansionschalter mit Öl

1897



Lichtbogenmischung aus Öl;  
Antrieb Druckluft

1941



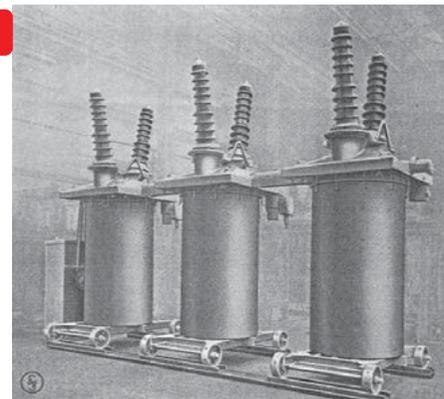
Ölarmer Expansionschalter  
R620 für 110 kV

1910



3-poliger Ölschalter R40  
bis 40 kV; Antrieb von  
Hand

1920



3-poliger Ölschalter  
R49 für 100 kV

1956

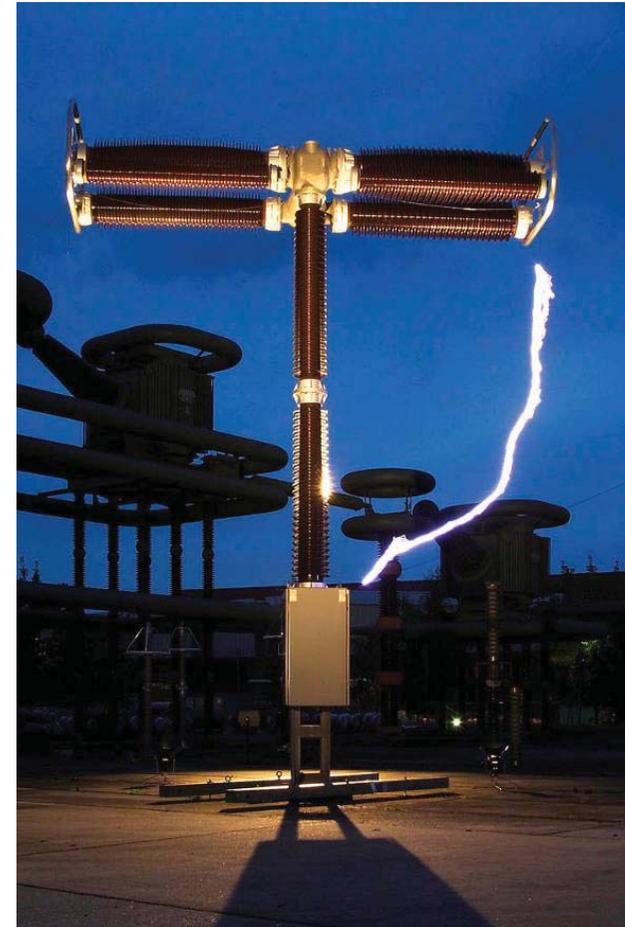


Ölarmer  
Expansionschalter  
H800 für 380 kV

# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

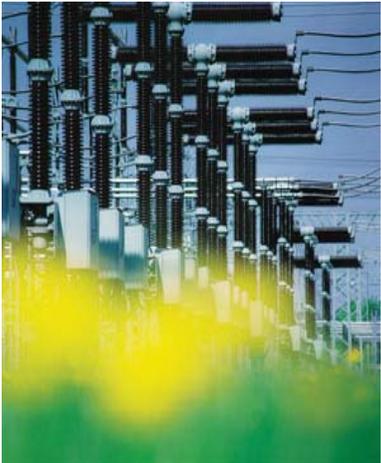
## Entwicklung der Schaltanlagen und Bauformen

### Verminderung der Anzahl der Schaltkammern



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Entwicklung der Schaltanlagen und Bauformen



Erdbeben



Hohe  
Temperaturen



Standard  
Konditionen

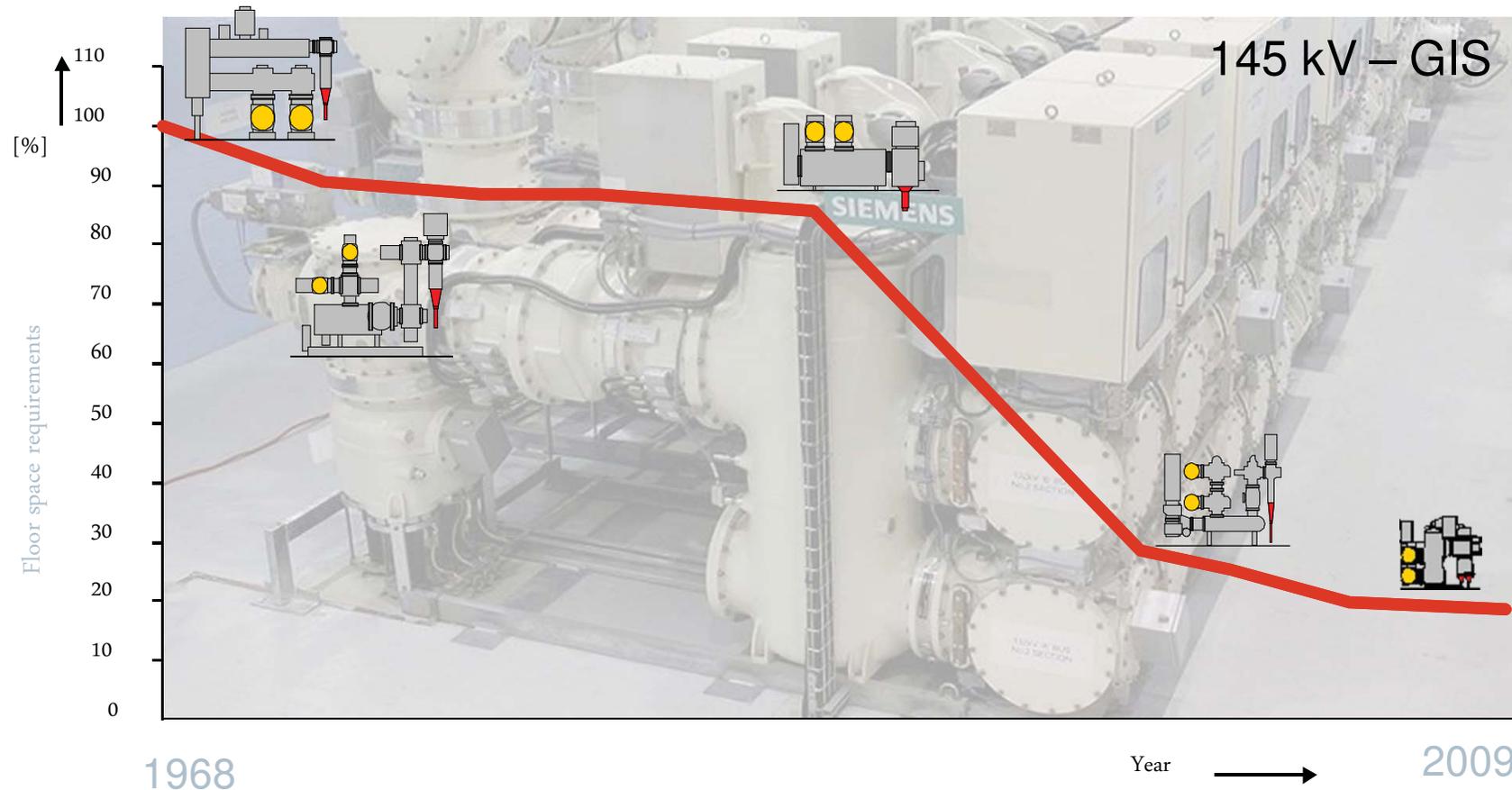


Tiefe  
Temperaturen



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

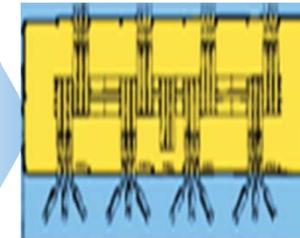
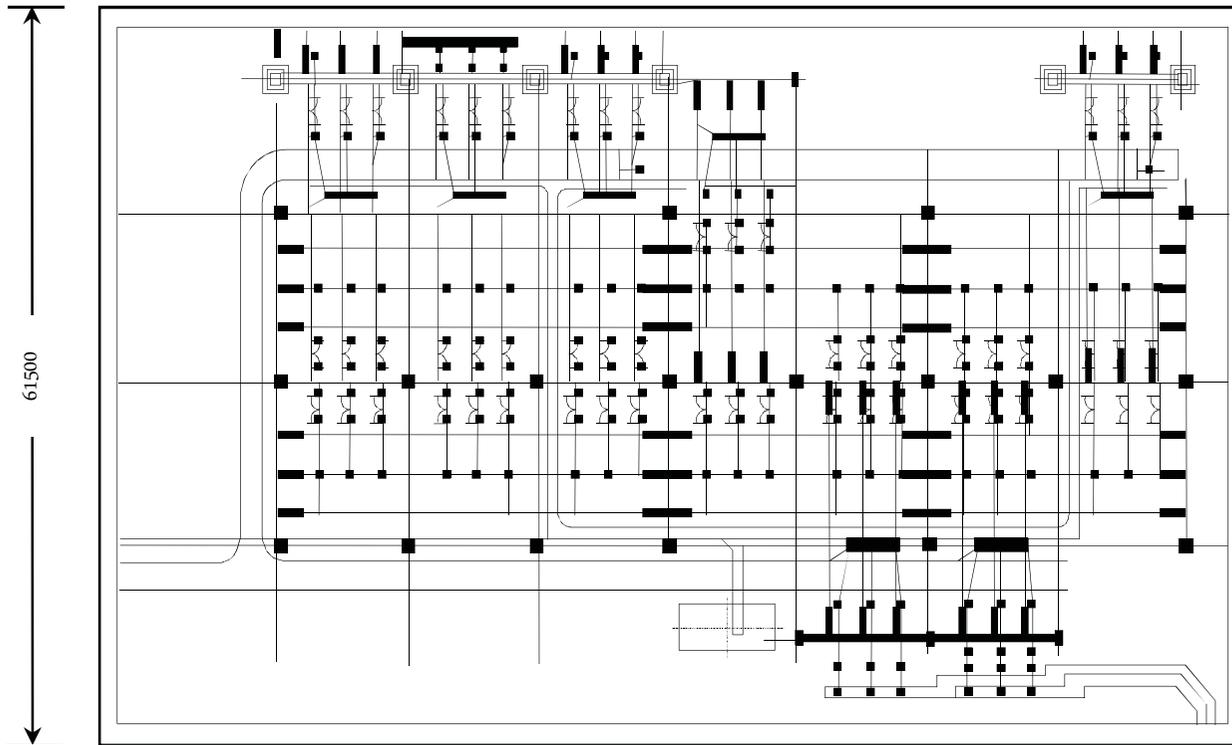
## Entwicklung der Schaltanlagen und Bauformen



Innovatives Design ermöglicht platzsparende Lösungen und erhebliche Reduzierung der Materialien und SF<sub>6</sub> Gasmenge

# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

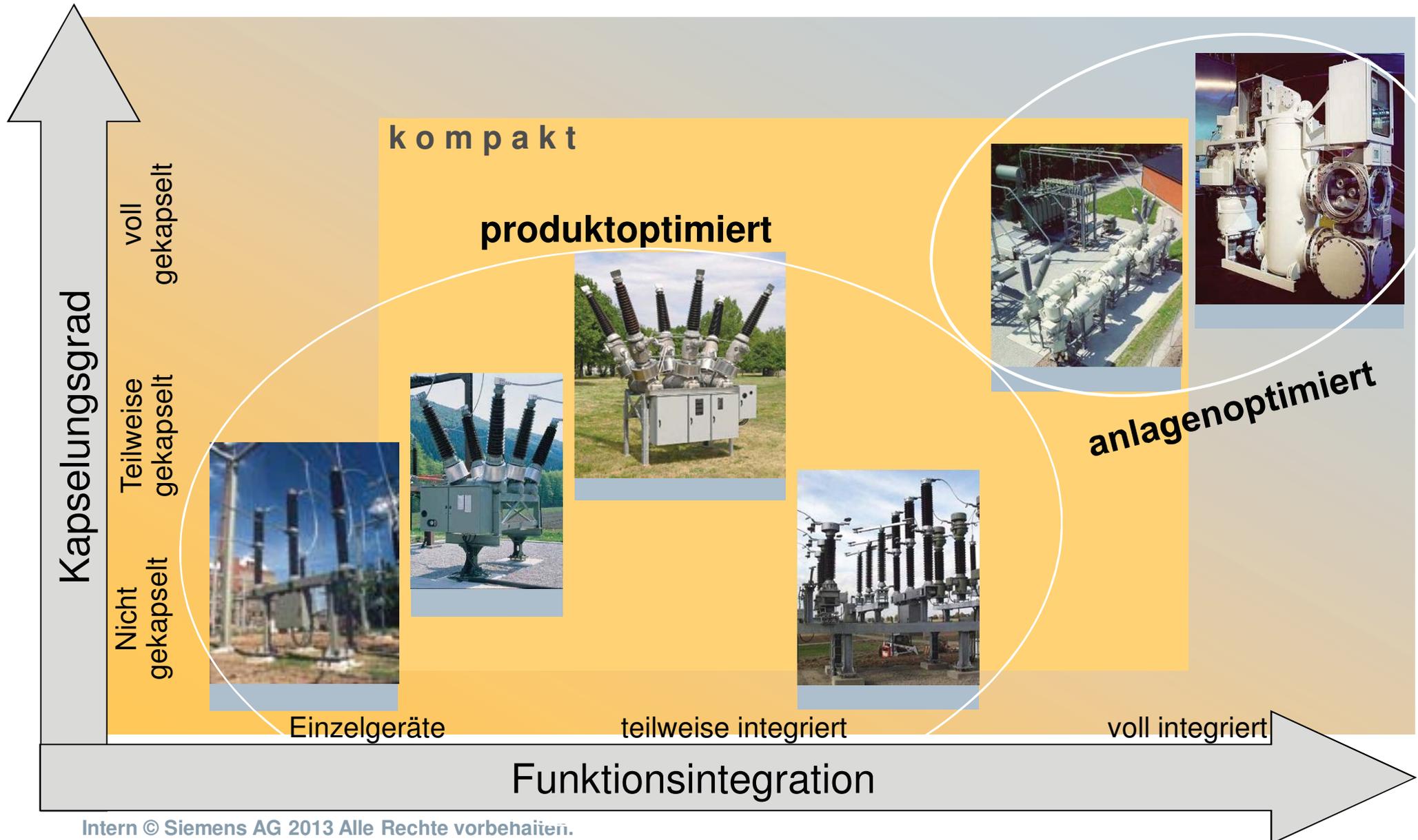
## Entwicklung der Schaltanlagen und Bauformen



AIS / GIS Anlage 50:1  
 245 kV - Innenraum  
 Vergleich Flächenbedarf

# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Entwicklung der Schaltanlagen und Bauformen



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Entwicklung der Schaltanlagen und Bauformen

### Luftisolierte Schaltanlagen



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Anforderungen und Randbedingungen für Erneuerung

Zusätzlich zu den vorher genannten Anforderungen sind bei Erneuerung nachfolgende Kriterien zu berücksichtigen:

### GIS

- Gebäudesubstanz
- Tragfähigkeit bei Decken
- Zugang und Einbringungsmöglichkeit
- Freischaltmöglichkeiten und / oder teilweiser Rückbau
- HS-Kabel
- Neustrukturierung der Leittechnik
- Gegebenenfalls Mittelspannungsanlage
- Umwelt- und Bauauflagen
- Prüfmöglichkeiten

# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Anforderungen und Randbedingungen für Erneuerung

### AIS

- Fundamente und Portale
- Erdungsanlage
- Provisorien
- Kabelkanäle
- Struktur (ZRH oder ERH)
- Freischaltmöglichkeiten und / oder teilweiser Rückbau
- HS-Kabel / Freileitung
- Gegebenenfalls Mittelspannungsanlage
- Umwelt- und Bauauflagen
- Trafostandorte / -fundamente

# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

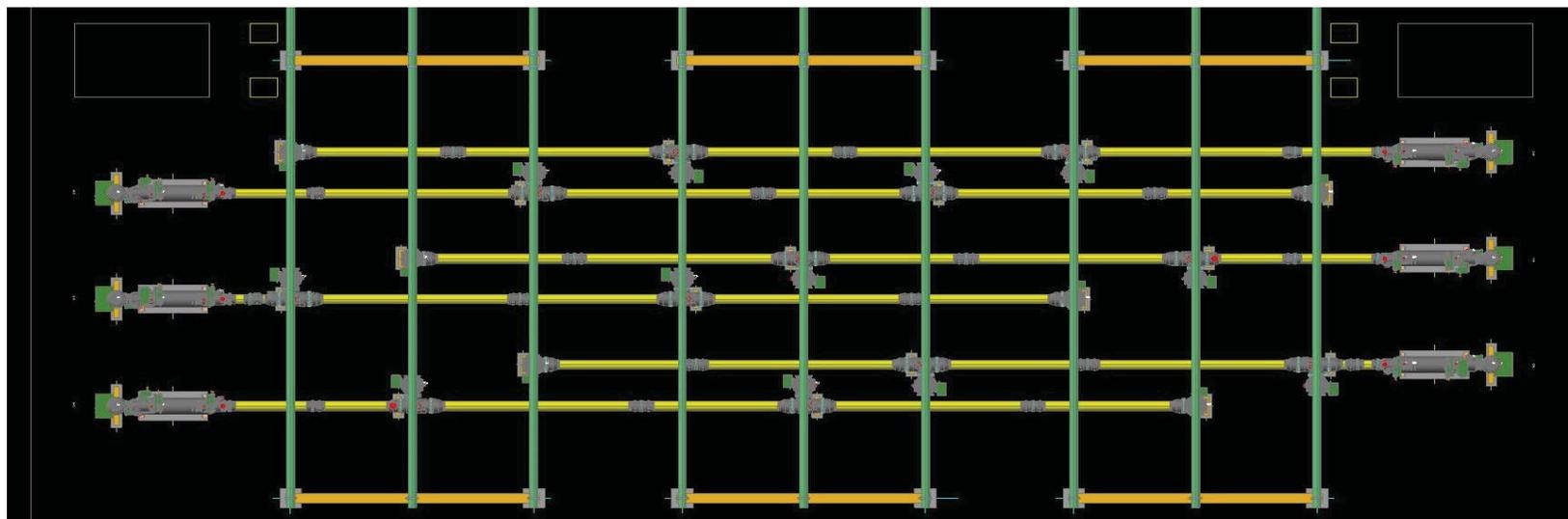
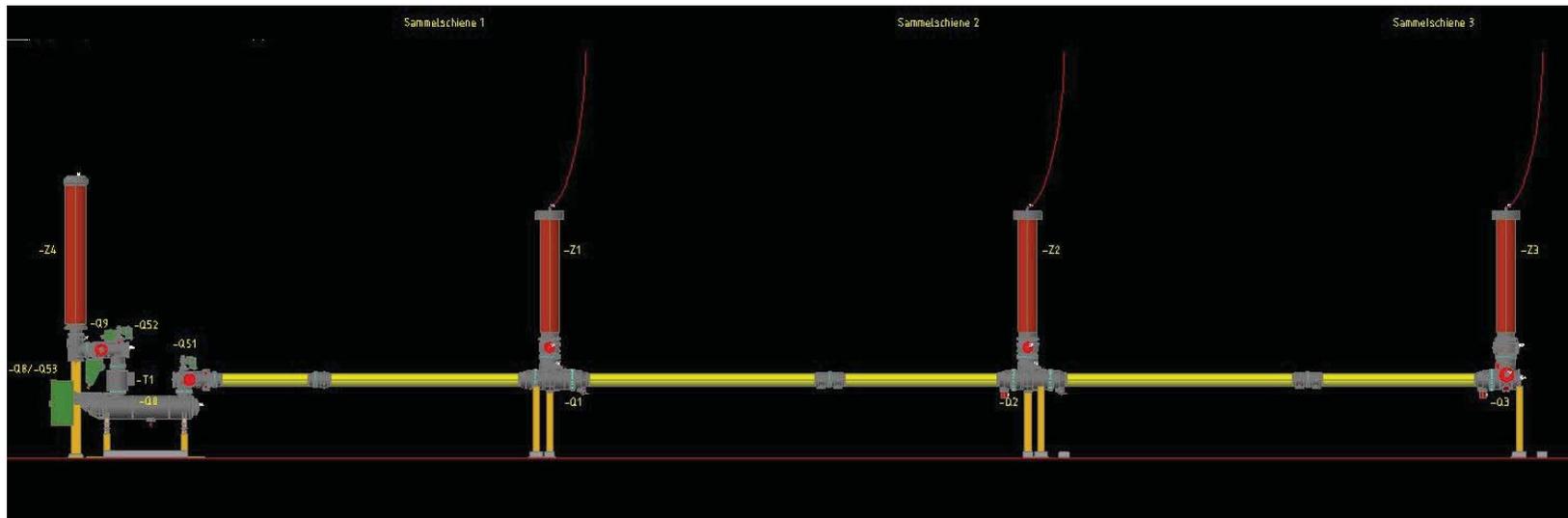
## Beispiel: HIS 110 kV

### 110 kV HIS mit 3-fach Sammelschiene



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Beispiel: 420 kV verschachtelte Hybridanordnung



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Beispiel: DTC 110 kV

### 110 kV DTC – Anlage mit zweifach Sammelschiene



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Ersatz konventioneller 50 kV Innenraumanlage mit GIS



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Beispiel: 110 kV HIS Erweiterung auf dem Dach



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Beispiel: 110kV HIS im Industriepark



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

Beispiel: 69 kV-Anlage im Freizeitpark

Umfang:

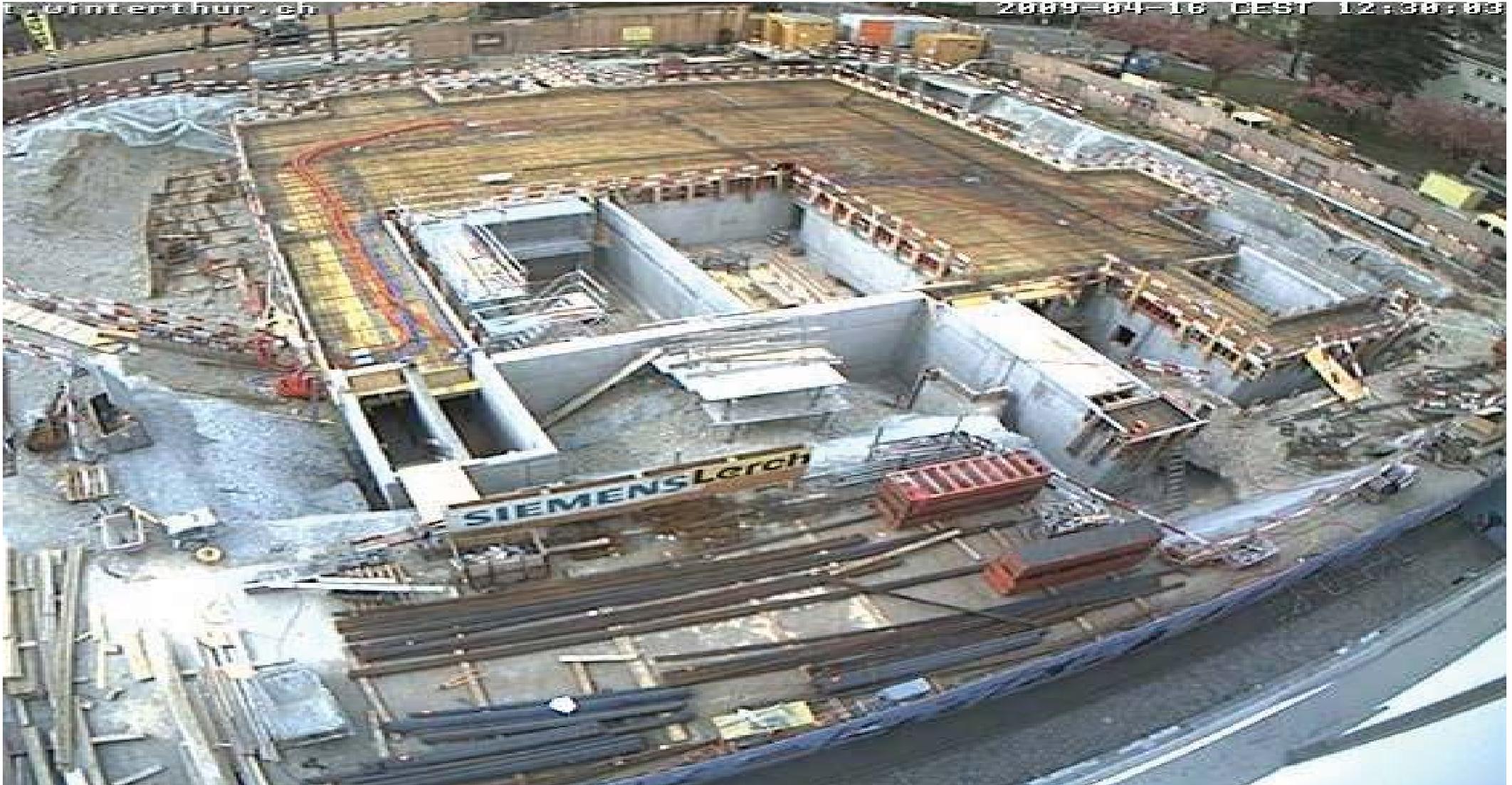
8 x Schaltfeld GIS Type 8DN9 / 69 kV  
2 x 69/12 kV 50 MVA Transformatoren  
20 x 12 kV Mittelspannungsschaltfeld



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Beispiel: Unterwerk unterhalb eines Schulsportplatz

In der Bauphase



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

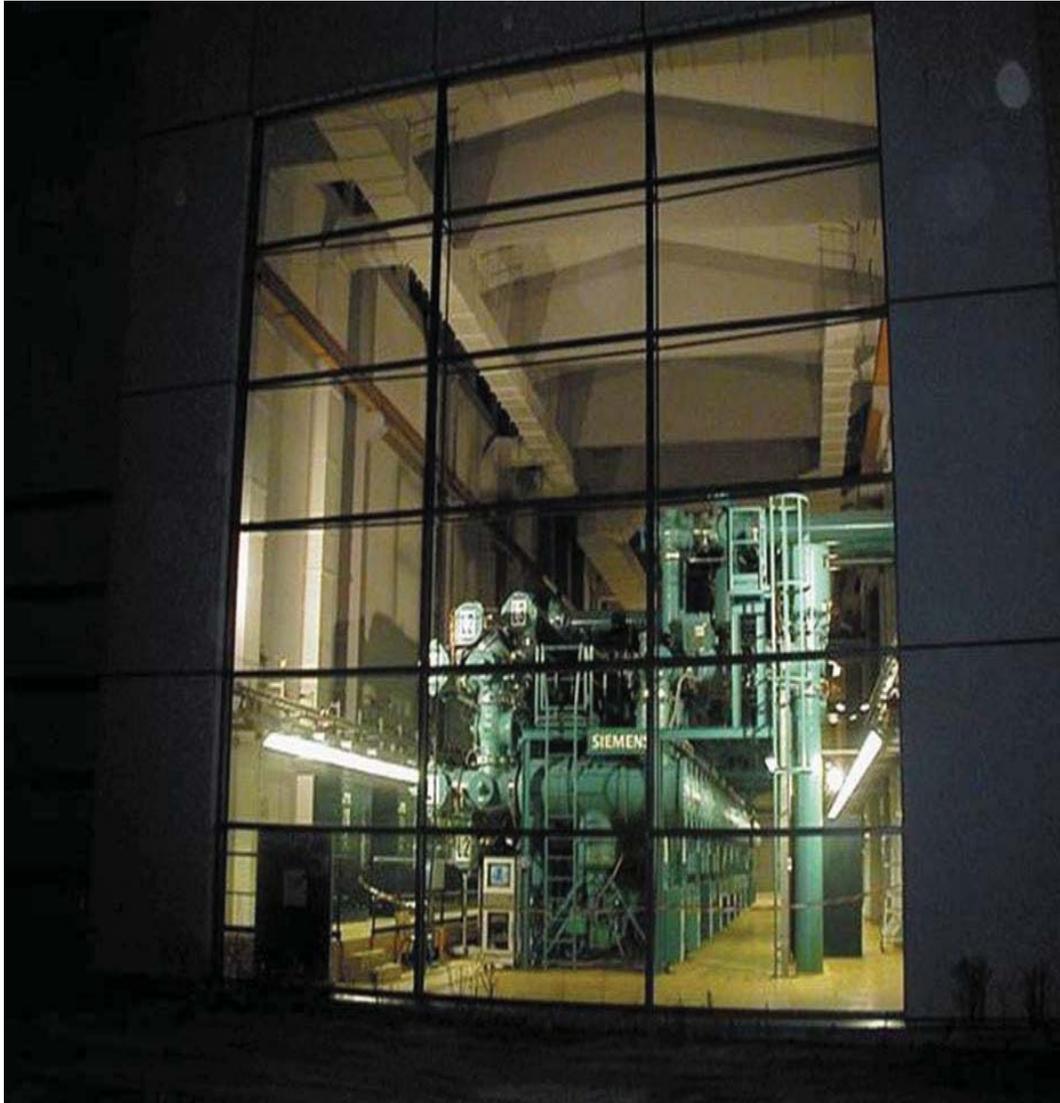
## Beispiel: Unterwerk unterhalb eines Schulsportplatz

Nach Fertigstellung



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Kontaktseite



**Dipl. Ing. Bernd Ehrich**

Vertriebsleiter

GER ET

Von-der-Tann-Straße 30

90439 Nürnberg

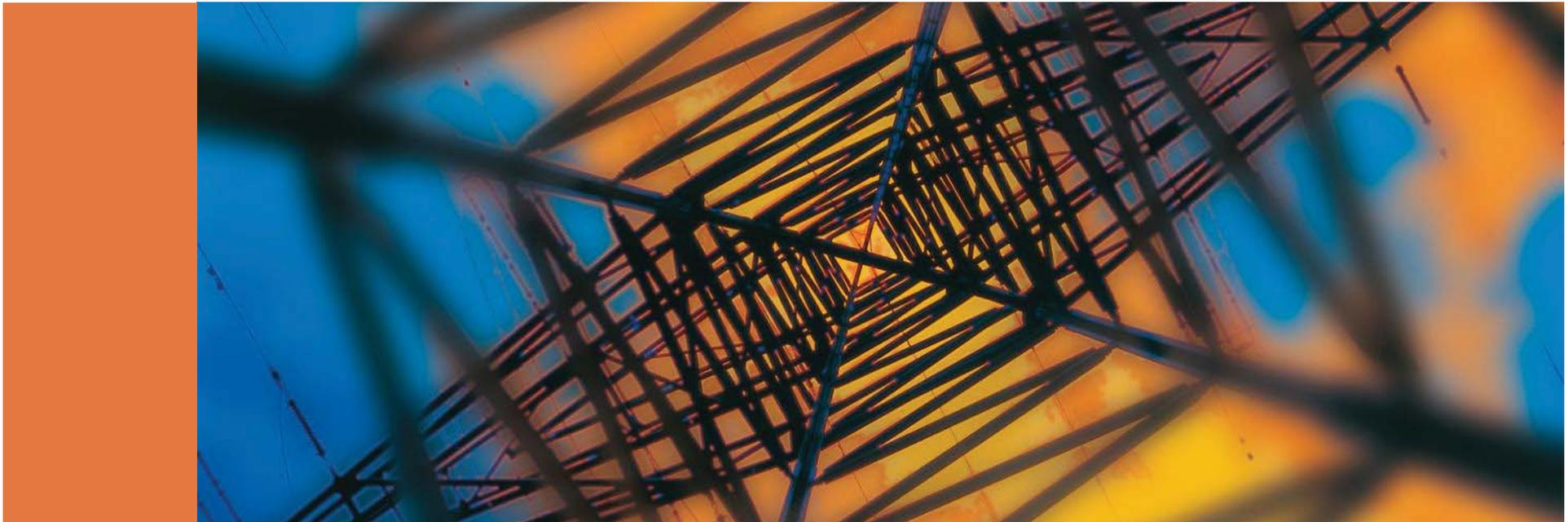
Telefon: +49 (911) 654-2206

Fax: +49 (911) 654-2058

Mobil: +49 (172) 3157-303

E-Mail:

[bernd.ehrich@siemens.com](mailto:bernd.ehrich@siemens.com)



# Haben Verteilnetzbetreiber auch einen Nutzen von Smart Grid-Lösungen?

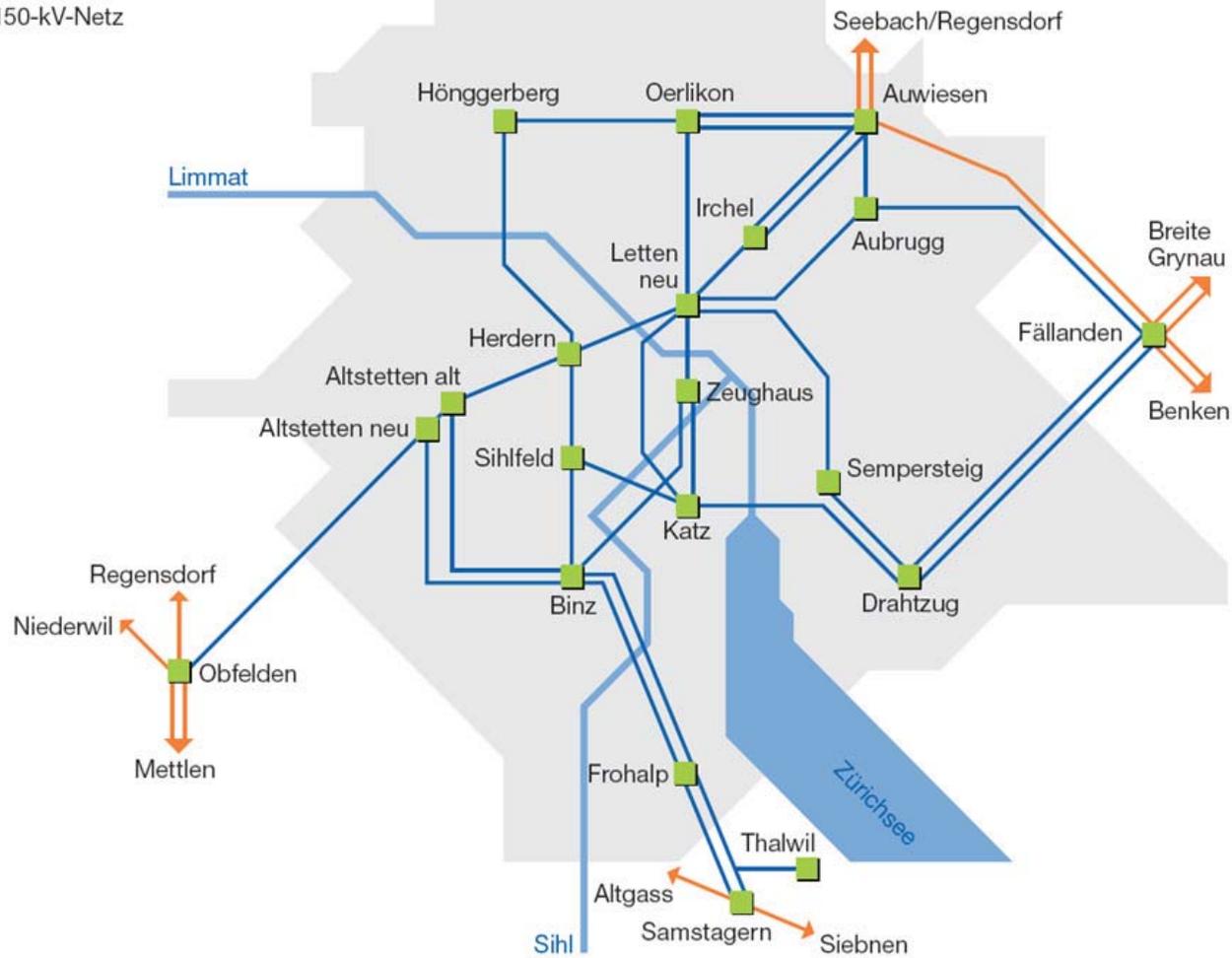
Dr. Lukas Küng  
25. September 2013

# Inhalt der Präsentation.

- Smart Metering
- PV Last
- Energiespeichersystem (ETES)
- Batteriespeichersystem (BESS)
- Neue Konkurrenz auf dem Energiemarkt?
- Elektromobilität

# Verteilnetze Zürich.

- Unterwerke
- 220-kV-Netz
- 150-kV-Netz



## Smart Metering

**ewz-Studie Smart Metering**

**Smart Monitoring**

**Systemautomatisierung**

**Technik**

**Vorkassenzähler**

**Zukunftsideen**

# Entwicklung der Stromzähler.

**Gestern**



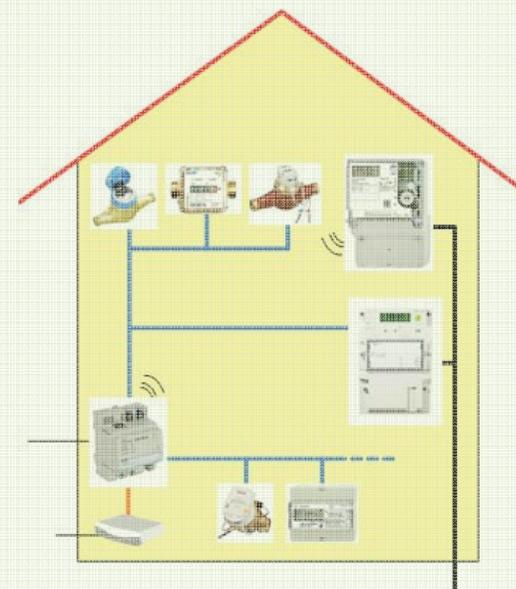
**Mechanische Zähler**

**Heute**



**Elektronische Zähler**

**Morgen**

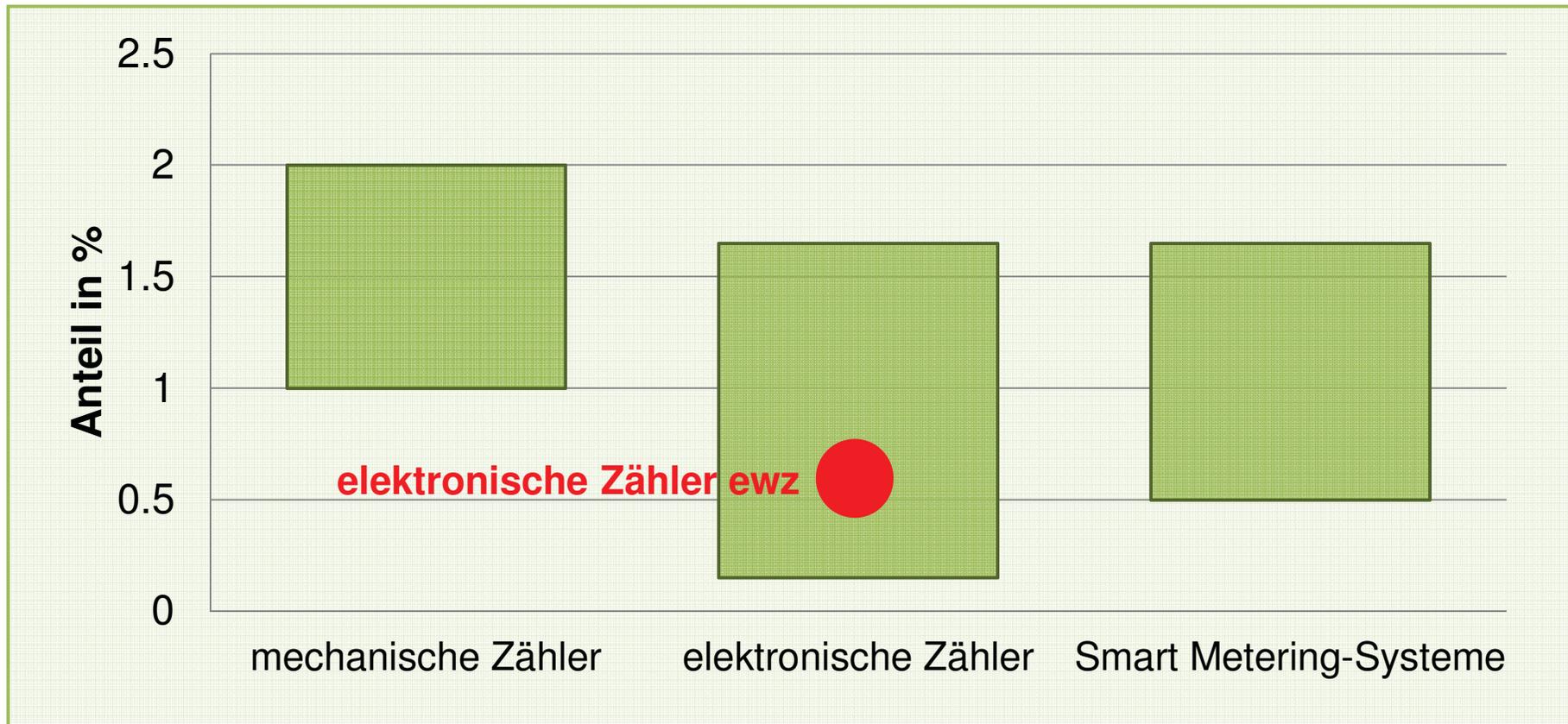


**Smart Metering-Systeme**

# Smart Metering-Systeme.

- Kein Smart Metering-Standard
  - Kein Standard Smart Meter-Zähler
  - Kein Standard Smart Metering-System
  - Unterschiedliche Technologien und Protokolle
- Häufigkeit der Datenübertragung und deren Nutzen
  - Jährlich/monatlich → Jahres-/Monatsrechnung
  - Täglich → Umzugsabrechnung + Tageslastgangmessung
  - Viertelstündlich → Stromhandel, Standardlastprofile
  - Sekündlich → Echtzeit Verbrauchsmessung
- Weiteres Potenzial für Smart Metering-Systeme
  - Rundsteuerersatz
  - Vorkasse
  - Flexible Tarife
  - ...

# Eigenstromverbrauch Smart Metering.



Prozentualer Anteil am Durchschnittsverbrauch  
von 2 700 kWh pro Jahr

## Einsparpotenzial mit Smart Meter-Anzeigen.

### Total Privathaushalte Stadt Zürich

▪ Totalstromabsatz Private 2012	534 600 MWh
▪ Potenzielle Einsparung 3.2 %	17 110 MWh
▪ Potenzielle Ersparnis	2 937 500 CHF

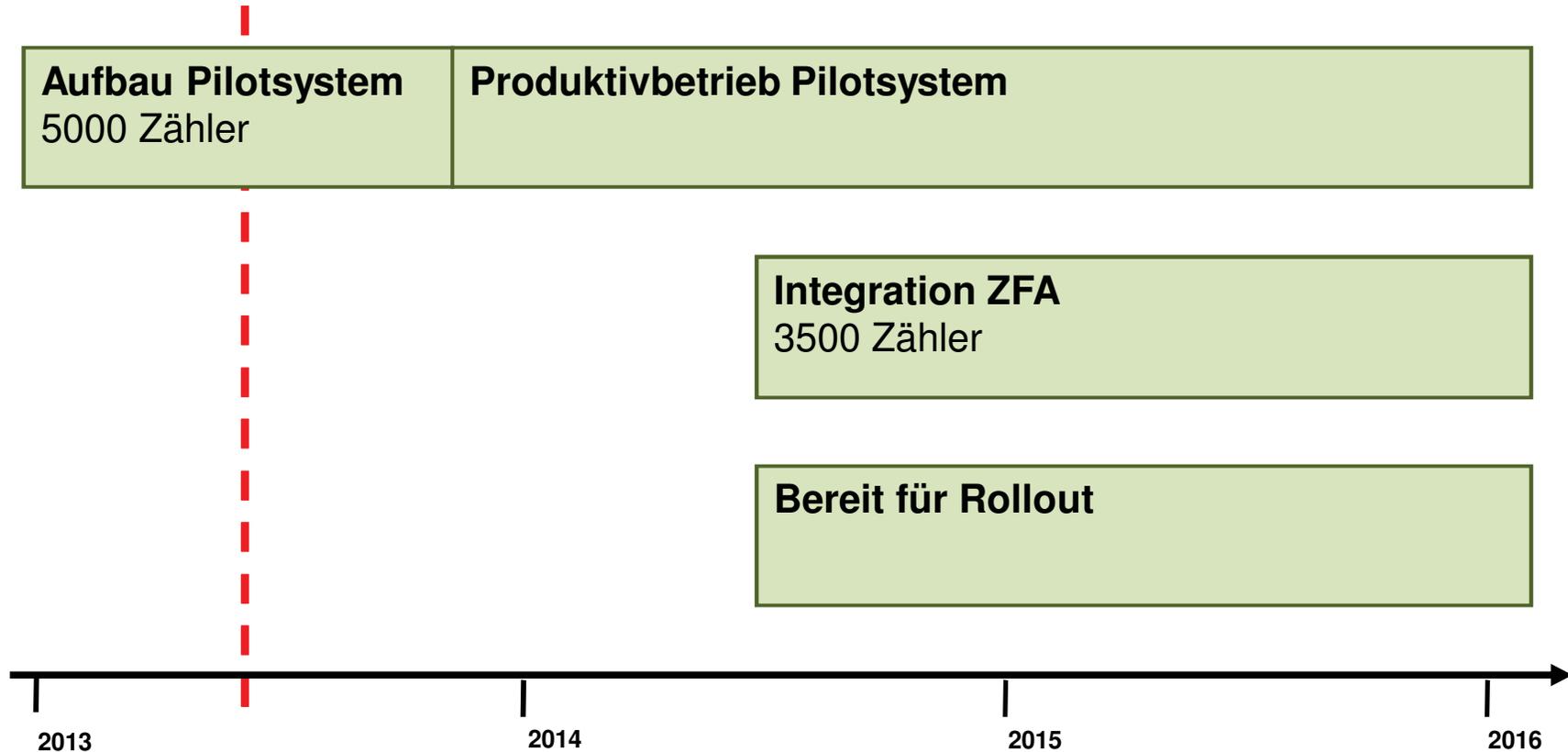
### Einzelhaushalt Stadt Zürich

▪ Ø-Jahresverbrauch Privathaushalt	2 700 kWh
▪ Potenzielle Einsparung 3.2 %	86 kWh
▪ Potenzielle Ersparnis	15 CHF

## Geschätzte Investitionskosten.

Anzahl Zähler	200 000	
Investitionskosten pro Messstelle	400–600	CHF
Total Investitionen	120 000 000	CHF

# Smart Metering-Roadmap von ewz.



# ewz-Studie Smart Metering.

- Studie im städtischen Umfeld
- Über 5000 engagiert teilnehmende Haushalte
- Wissenschaftlich signifikante Resultate
- Smart Meter im Vergleich zu anderen Informationssystemen
- Einbezug sozio-ökonomischer Faktoren und Psychologie

**Smart Meter-Anzeige (G1)**

**Sozialer Wettbewerb (G3)**

**Stromsparberatung (G2)**

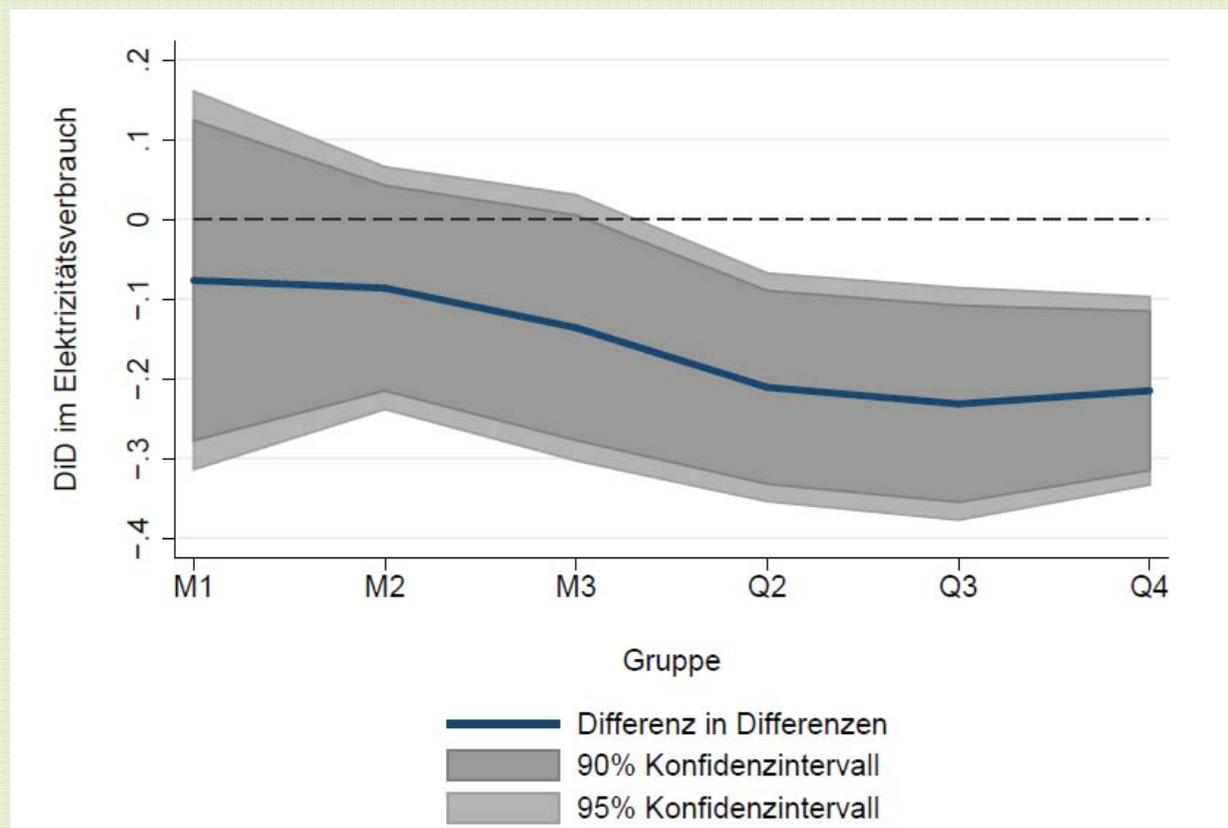
**Sozialer Vergleich (G4)**

# Resultate ewz-Studie Smart Metering. Smart Meter-Anzeige (G1).

- Teilnehmer/-innen nutzen die Smart Meter-Anzeige
- Information erlaubt Reduktion des Stromverbrauchs von 3–5 %
- Rückgang hält mittelfristig an
- Stärkster Rückgang in den Abendstunden, leichter Anstieg am frühen Morgen
- Vielnutzer sparen mehr Strom und Geld ein als Wenignutzer

# Smart Meter-Anzeige (G1). Effekte auf den Tageskonsum gemäss Zählerdaten.

- Signifikante Reduktion des Stromverbrauchs von rund 3.2 % des durchschnittlichen Tageskonsums

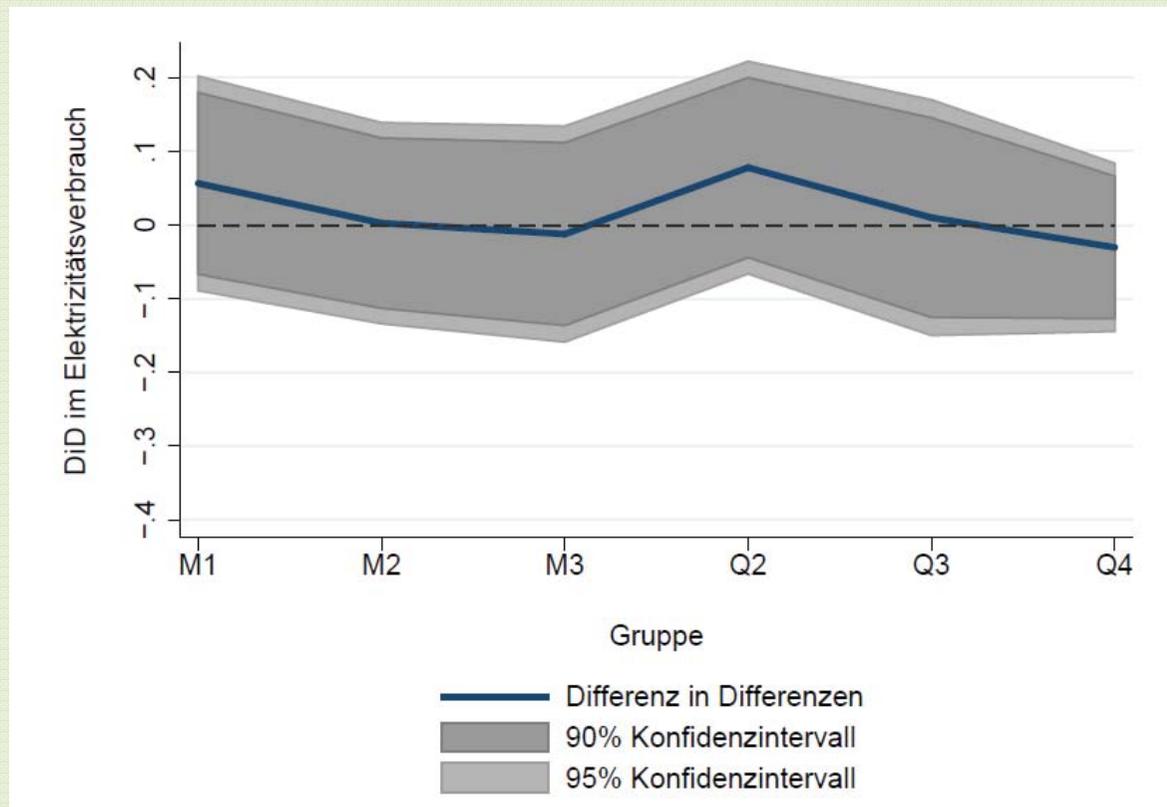


# Resultate ewz-Studie Smart Metering. Stromsparberatung (G2).

- Rund 1/3 der Studienhaushalte nahm das Angebot zur Stromberatung wahr.
- Beratungsgespräche verbessern die Einschätzung der Einsparmöglichkeiten.
- Keine Reduktion des Stromverbrauchs
  - Geringe Reduktion unter Teilnehmern überlagert von Nulleffekt für Nichtteilnehmer
  - Genauer ansehen: Weshalb erfolgt wenig Umsetzung des zusätzlichen Wissens?

# Stromberatung (G2). Effekte auf den Tageskonsum gemäss Zählerdaten.

- Insgesamt keine Reduktion des Stromverbrauchs

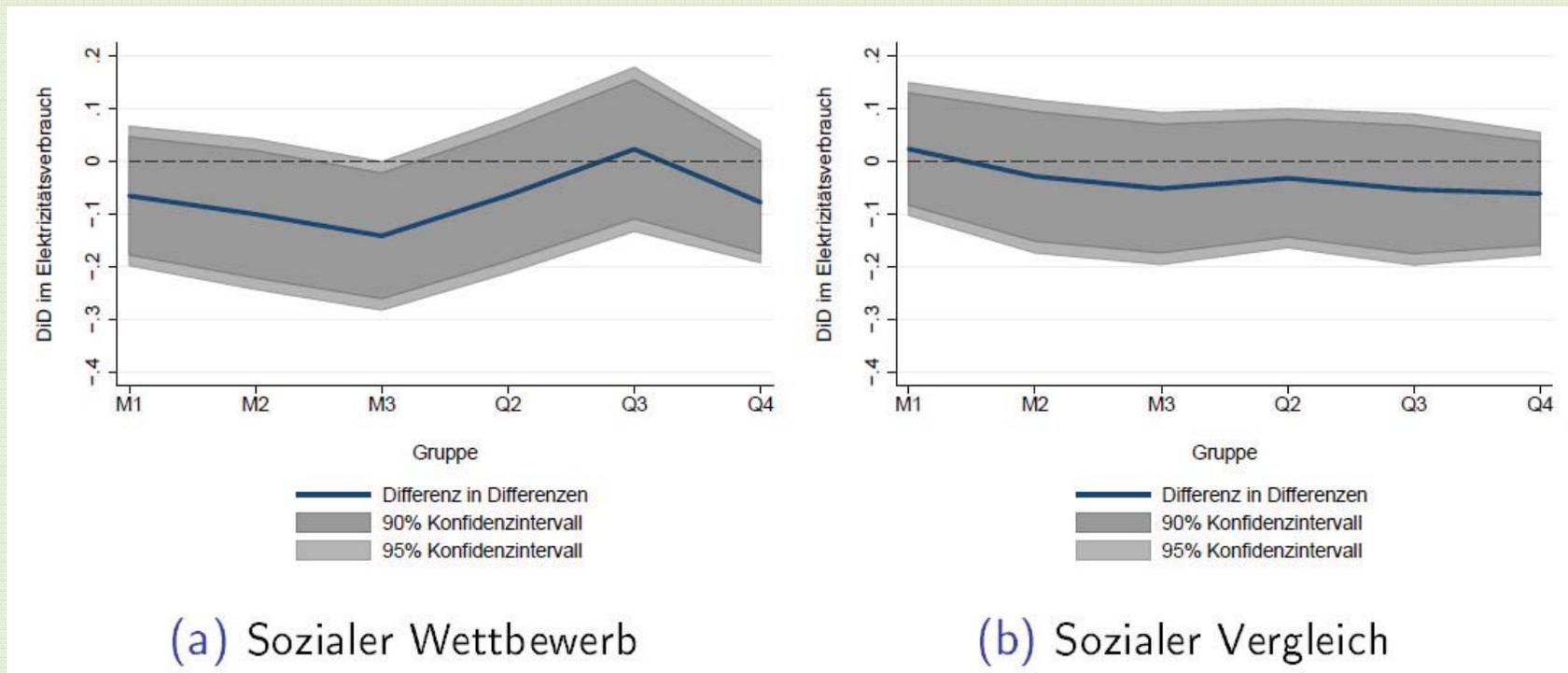


# Resultate ewz-Studie Smart Metering. Soziale Information (G3 und G4).

- Geringe Reduktion des Stromverbrauchs
- Reduktion etwas stärker bei monatlicher Rückmeldung (zu Beginn)
- Keine spezifische Wirkung auf Veränderungspotenzial und Wissen
  - Rückmeldung zu wenig häufig
  - Beurteilung des Vergleichs zu neutral

# Soziale Information (G3 und G4). Effekte auf den Tageskonsum gemäss Zählerdaten.

- Reduktionen im Bereich von 1 % des Tagesverbrauchs;  
Statistisch nicht gesichert belegbar



## Lehren aus der Studie.

- Regelmässige Vergleiche des Stromverbrauchs animieren zum Stromsparen.
  - Stromsparberatung verbessert Stromspareinstellung und gibt Hinweise für Einsparmöglichkeiten.
  - Rückmeldung zeitnah zum eigenen Verbrauch zeigt Wirkung der Sparmassnahmen.
- Kombination aus Beratung, sozialen Vergleichen und Kontrollmöglichkeit erlaubt wahrscheinlich noch grössere Einsparungen.

**wollen**

**können**

**tun**

# Schlussfolgerungen aus der Studie.

Kann man mit Information den Stromverbrauch reduzieren?

- Häufige Rückmeldung zu eigenem Verbrauch reduziert den Konsum oder verlagert ihn zu Niedertarifzeiten.
- Beratung verbessert die Stromspareinstellung; Stromverbrauch wird nicht anhaltend reduziert.
- Soziale Information ist kostengünstig und hat das Potenzial, den Stromverbrauch zu reduzieren.

→ Häufige Rückmeldung zum Verbrauch leistet einen wertvollen Beitrag zum effizienteren Umgang mit Strom.

# Smart Metering-Zukunft Stadt Zürich.

- Smart Meter-fähige Zähler bei Ersatz von Zählern und Neubauten
- Smart Meter-Systeme in ausgesuchten Überbauungen inkl. Smart Meter-Webportal/-Apps → «Enabler»
- Energieberatung und Messgeräte zur kostenlosen Ausleihe im ewz-Kundenzentrum
- Einführung von Smart Metering nach Vorgaben von Bund und Entscheid der Stadt Zürich
- Nutzung zusätzlicher Informationssysteme und Anreizmechanismen
  - Je nach Wirksamkeit über geeignete Kanäle

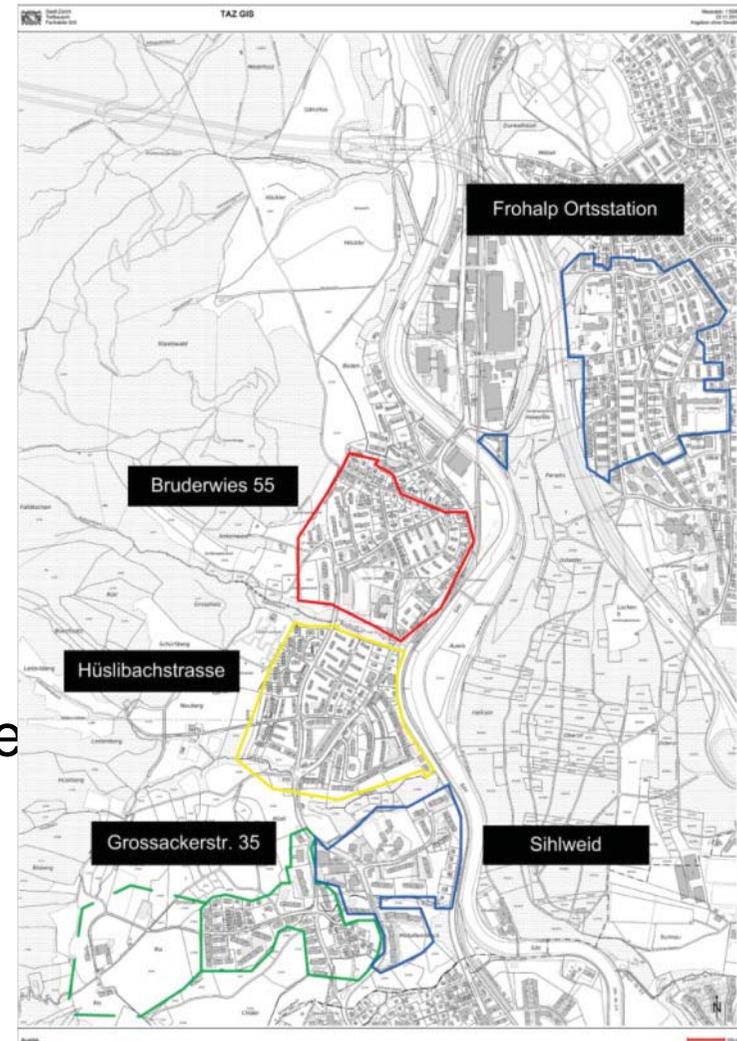
# Pilotprojekt Smart Metering-System. Wohnbauprojekt Freilager.

- 2000-Watt-Projekt mit der Zürcher Freilager AG
- Smart Metering-System für Wohnbauten – 800 Neuwohnungen – auf dem Freilager-Areal in Albisrieden
- Verbrauch von Strom, Wasser, Kälte und Wärme jeder Wohnung messen, visualisieren und optimieren
- Datenerfassung für Strom im 15-Minuten-Takt, für die anderen Energieformen stündlich
- Energieverbrauch für Mieterschaft über Internet sichtbar, um dank zeitnaher Info Energie bewusster zu nutzen
- Begleitung und Auswertung durch ewz-finanziertes Programm Energieforschung Stadt Zürich
- Befristet bis Ende 2019. Investition von knapp CHF 1 000 000.–
- Ziel: Erkenntnisse für neue Dienstleistungen und Grundlagen für künftigen Einsatz von Smart Meter gewinnen



# Flächenlast und PV-Potenzial. Beispiel Zürich-Leimbach.

- Versorgung über Mittelspannungsring des Unterwerks Frohalp mit sieben MS/NS-Trafo-Stationen
- Aussenquartier
- Relativ geringe Lastdichte, da überwiegend Wohngebiete (hauptsächlich Bauzonen W2 u. W3)
- Tagsüber sinkt Verbrauch auf ein Minimum
- Bestimmung des PV-Potenzials mithilfe des Solarkatasters *mapSolar* (Annahme: Durchschnittliche PV-Erzeugung 80 VA pro m<sup>2</sup> Dachfläche)



# Flächenlast und PV-Potenzial nach Bauzonen. Beispiel Zürich-Leimbach.

<b>Grossackerstrasse 35</b>	<b>Last/Fläche [VA/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Solar/Fläche [VA/m<sup>2</sup>]</b>
W3	7.30	13.88
W2	10.31	26.58
<b>Sihlweid</b>	<b>Last/Fläche [VA/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Solar/Fläche [VA/m<sup>2</sup>]</b>
W3	12.44	11.47
<b>Hüslibachstrasse</b>	<b>Last/Fläche [VA/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Solar/Fläche [VA/m<sup>2</sup>]</b>
W2	6.06	15.59
<b>Bruderwies 55</b>	<b>Last/Fläche [VA/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Solar/Fläche [VA/m<sup>2</sup>]</b>
W3	9.77	24.88
W2	4.11	13.69
<b>Frohalm Ortsstation</b>	<b>Last/Fläche [VA/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Solar/Fläche [VA/m<sup>2</sup>]</b>
W3	6.37	14.22
W2	7.15	11.06

# Flächenlast und PV-Potenzial. Beispiel Zürich-Leimbach.

- Fast alle Bauzonen mit PV-Potenzial grösser als Flächenlast
- Netzauslegung in Vergangenheit lastgetrieben, Flächenlast als massgebliches Planungskriterium
- Heutige Netzgebiete mit geringer Lastdichte:  
Begrenzte Aufnahmefähigkeit von dezentraler Erzeugung
- Verstärkter Ausbau von dezentraler Erzeugung in solchen Gebieten  
→ Überlastungen und Netzqualitätsprobleme
- Studie für Netzgebiet Zürich-Leimbach
  - Niederspannungsnetz von Leimbach modelliert und jedes Dach mit PV-Potenzial gemäss Solarkataster versehen
  - Erkenntnisse gewonnen, wo Leitungsüberlastungen und Überspannungen entstehen würden
  - Mögliche Anpassungsmassnahmen simuliert, um weiterhin ein stabiles Netz gewährleisten zu können

# Netzintegration von dezentraler Erzeugung. Auswahl möglicher Massnahmen.

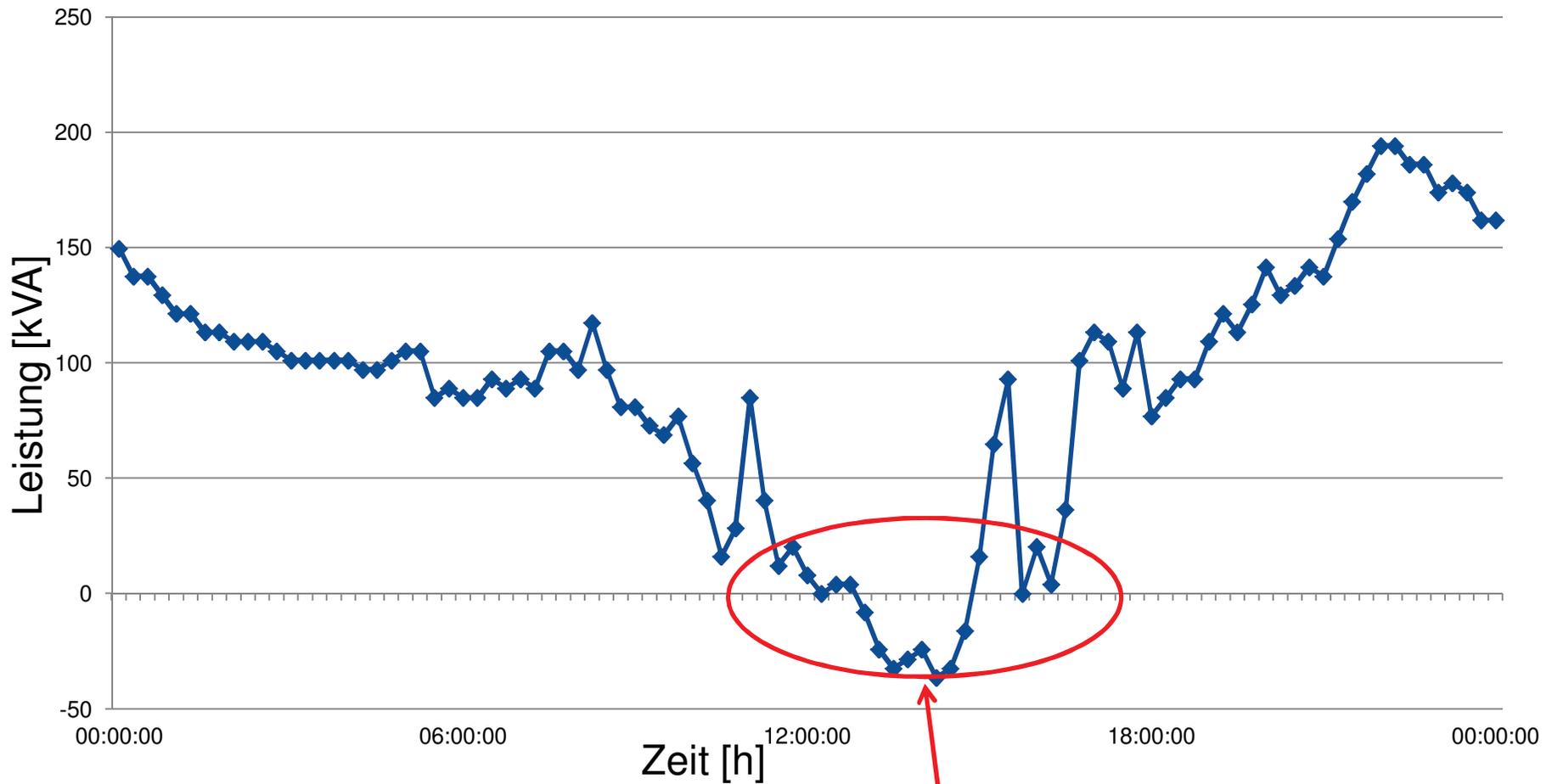
- Netzausbau (weitere Kabelstränge, grössere und weitere Trafo-Stationen)
  - Ist heutzutage die Standardlösung
- Reduktion der PV-Spitzenleistung (Einspeisemanagement)
  - Wesentlich erhöhte Aufnahmefähigkeit bei sehr geringen Energieeinbussen, aber von der Gesetzgebung in der CH (noch) nicht erlaubt
- Blindleistungsregelung bei PV-Anlagen
  - 4-Quadranten-WR in der CH noch nicht Standard bei PV-Anlagen, noch keine Messung oder Smart Meters vorhanden, um diese anzusteuern
- Leistungspeaks mit Hilfe weiterführender Projekte bereits in der unteren Spannungsebene kompensieren (z.B. Batteriespeicher)
  - Pilotprojekt BESS im NS-Netz in Planung (Baubeginn 2014)
- Umstellung der Mittelspannung von 11 kV auf 22 kV
  - Ist in Ausführung

# Elektro-Thermischer Energiespeicher (ETES). Motivation.

- Entwicklung einer weltweit neuen Technologie zur Energiespeicherung
- Nutzen allgemein:
  - Prototyp der ETES Technologie (5-MW-Anlage)
  - Sammeln von Erfahrungen im Betrieb, so dass eine Grossspeicheranlage (z.B. 60 MW) gebaut werden kann
  - Die Pilotanlage ist zu klein, um profitabel zu sein (d.h. um Einnahmen in der Höhe der Investitionskosten zu erzielen), daher handelt es sich um einen Technologiedemonstrator. Die Erkenntnisse der Produktionsanlage können auch für die **Geothermie** genutzt werden.
- Nutzen für Stadt Zürich:
  - Integration erneuerbarer Energien (Trafostation mit grosser unterliegender PV-Produktion speist bereits zurück)
  - Abwärmenutzung
  - Zusammenarbeit ERZ und ewz (Synergien, Vermeidung Doppelspurigkeiten)

# Motivation. Erneuerbare Energien in Zürich (1).

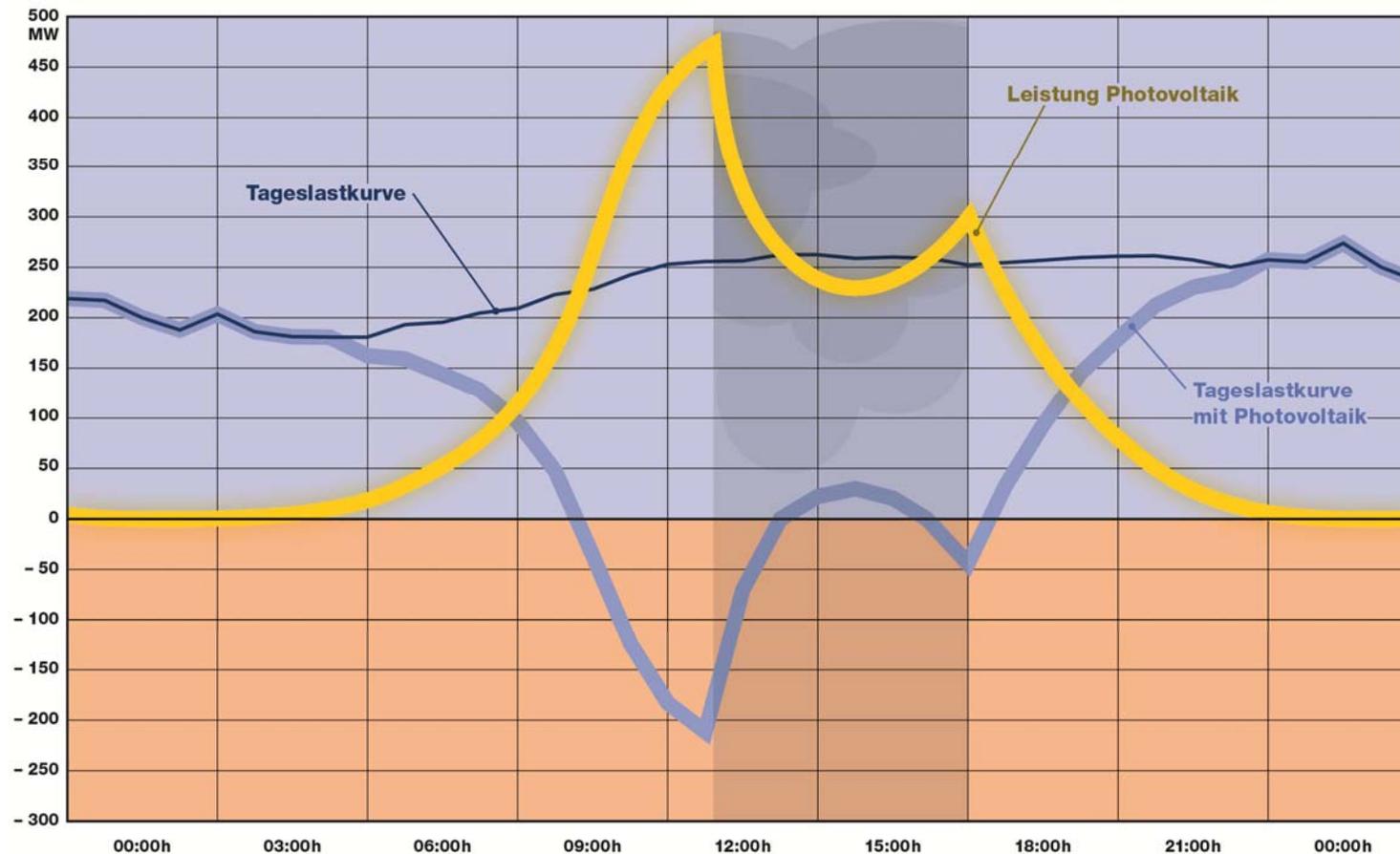
## Auslastung Trafostation



Trafostation speist ins Mittelspannungsnetz

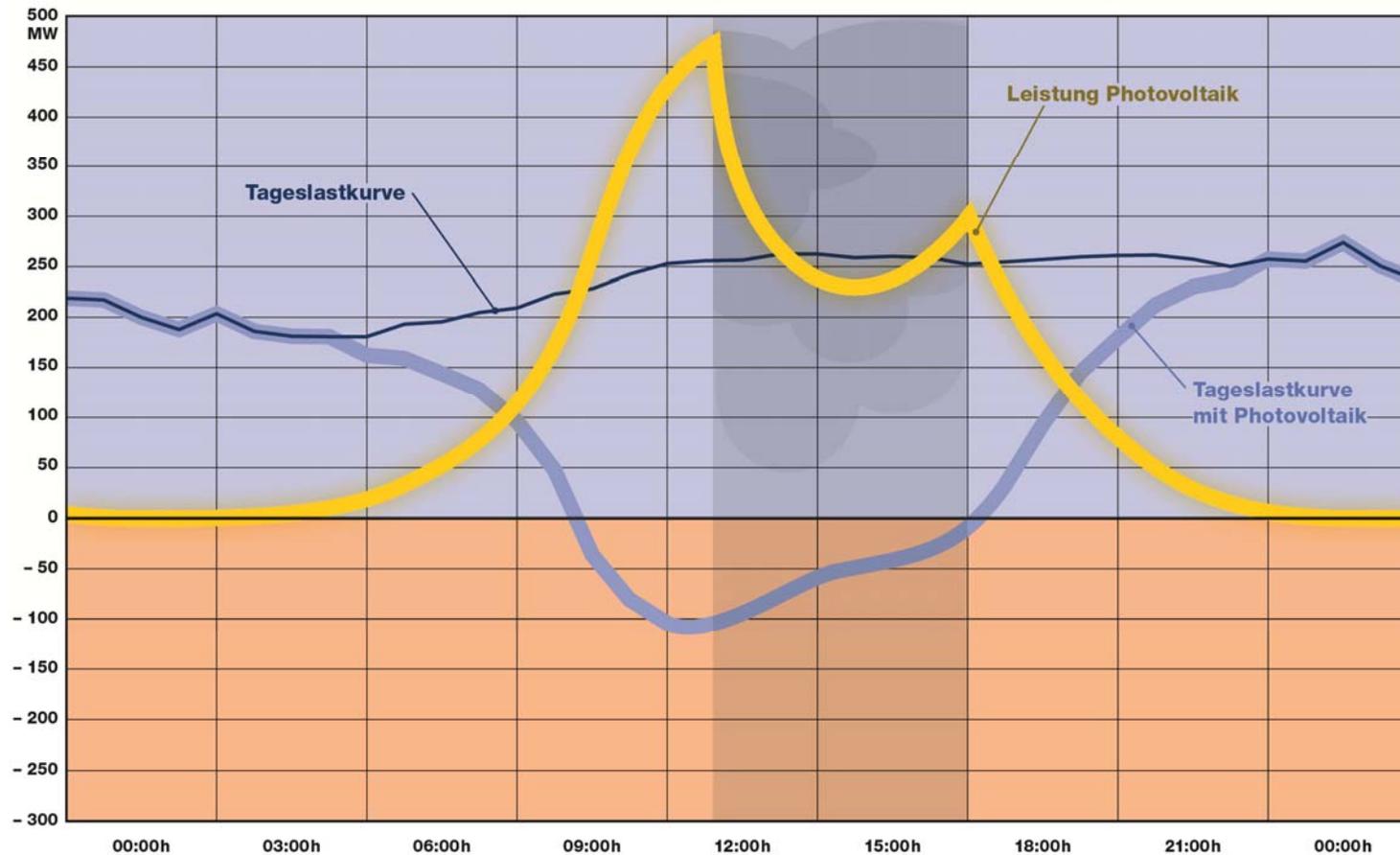
# Motivation. Erneuerbare Energien in Zürich (2).

## Leistung und Tageslast an einem bewölkten Tag. Ohne Speicher.

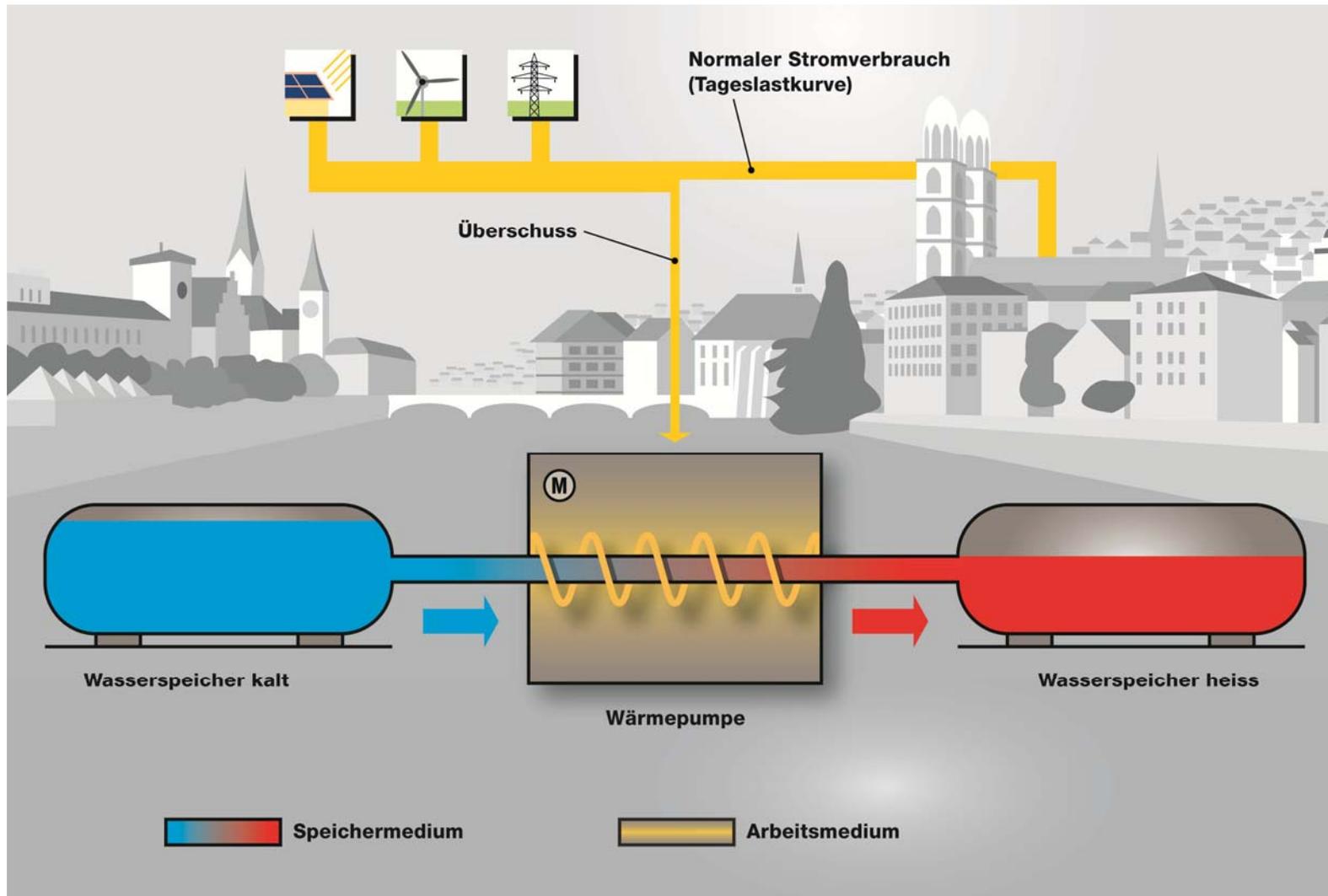


# Motivation. Erneuerbare Energien in Zürich (3).

## Leistung und Tageslast an einem bewölkten Tag. **Mit Speicher.**



# Technischer Ansatz des ETES. Wärmepumpe, Speicher, Wärmekraftmaschine.



# ETES Technologie.

## Eigenschaften

- Geografisch unabhängiges System, da CO<sub>2</sub>- und Wasserkreisläufe geschlossen sind
- Synergien mit Abwärmenutzung
- Skalierbarkeit („Lückenfüller“ zwischen Batterie- und Pumpspeicher)

## Ziele für Grossspeicher

- Wirkungsgrad Grossspeicher: 65 - 70%
- Kosten Grossspeicher: unter 1500 \$/kW

## Innovation

- Bekannte Komponenten neu kombiniert
  - Eisspeicher

# ETES Technologie. Erklärung Wirkungsgrad.

## Fazit

- Wirkungsgrad ist hoch, weil der CO<sub>2</sub>-Prozess vom Konzept her perfekt reversibel ist.
- Verluste entstehen vor allem beim Wärmeaustausch und in den Turbomaschinen.

# Mögliches Layout der ETES Pilotanlage.



# ETES Technologie. Risiken.

- Eisspeicherkonzept
- Wirkungsgrad
- Betrieb (Reaktionszeit)
- Komponenten
- Reversibler Betrieb Wärmetauscher
- Druck und Sicherheit CO<sub>2</sub>
- Kosten
- Verzögerung (Entscheidung, Lieferung Komponenten, Bau)

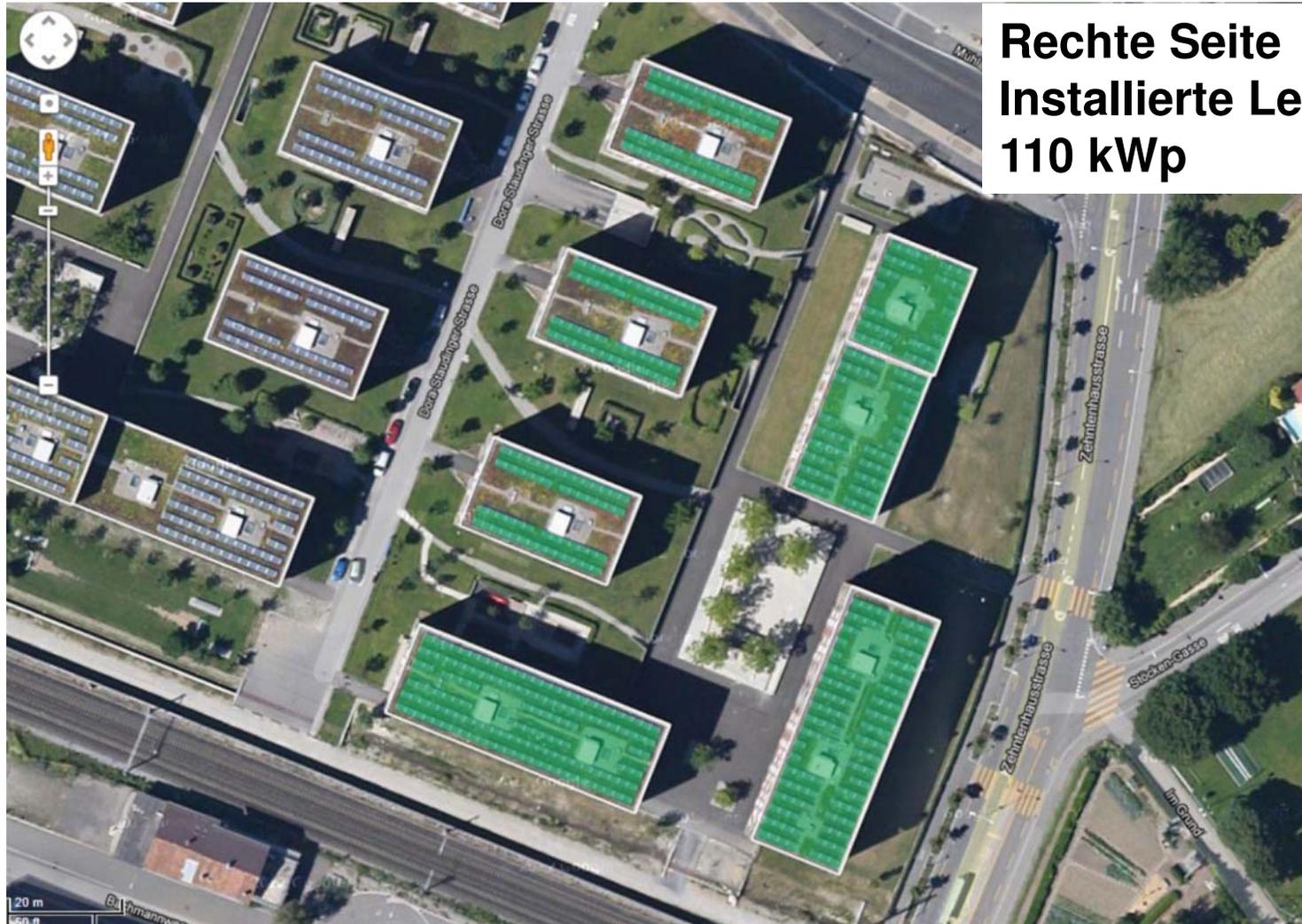
# Batterieenergiespeichersystem (BESS). Ziele Projekt.

- Know-How aufbauen, Erfahrungen sammeln
- Ist ein BESS eine Alternative zum Netzausbau?
- Was ist der Mehrwert mit einem Speicher im Netz?

# Standort Pilotprojekt BESS. Dora-Staudinger-Strasse.



# Standort Pilotprojekt BESS. Dora-Staudinger-Strasse.

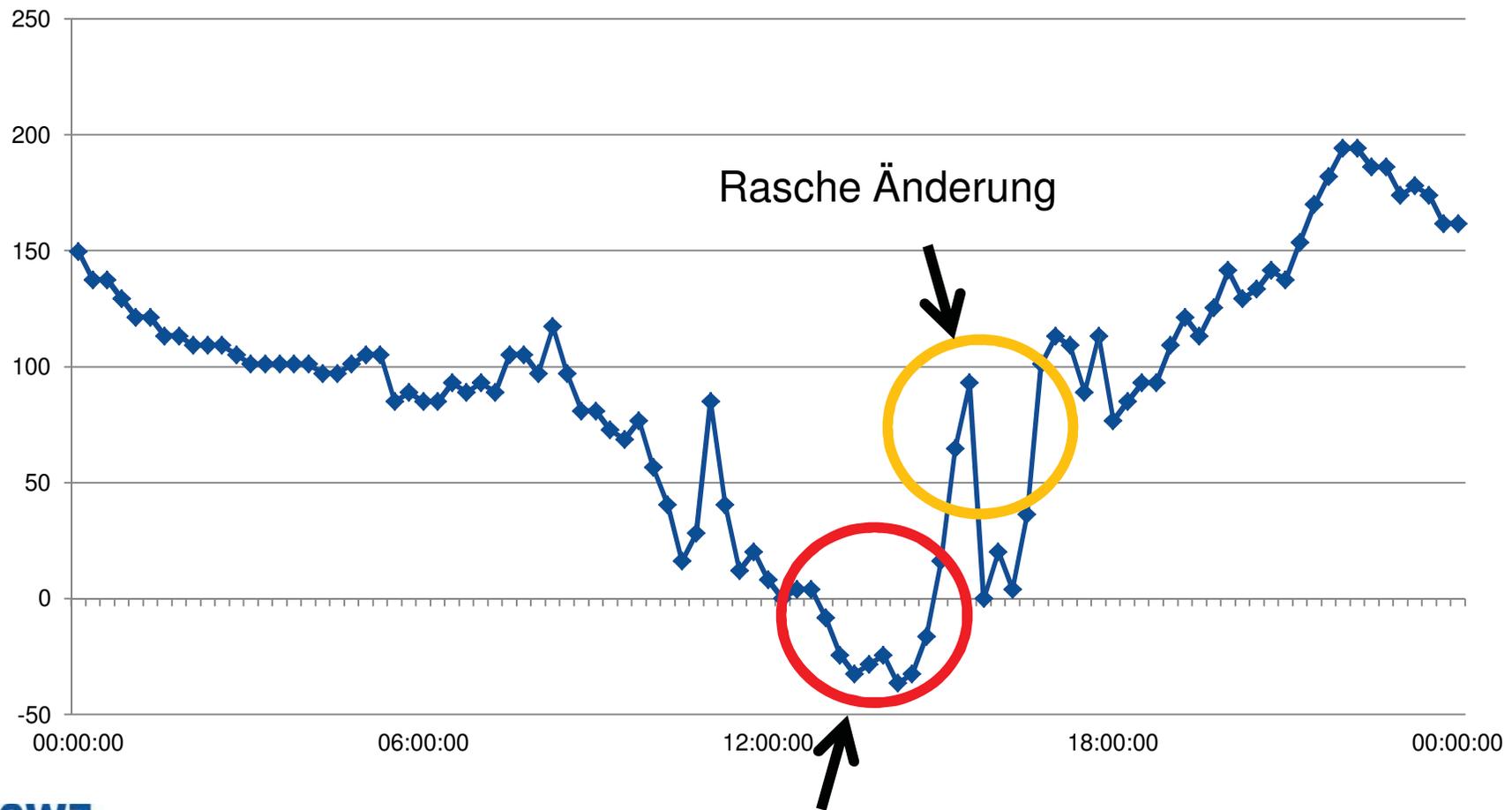


Rechte Seite  
Installierte Leistung  
110 kWp

# Standort Pilotprojekt BESS. TS Dora-Staudinger-Strasse.

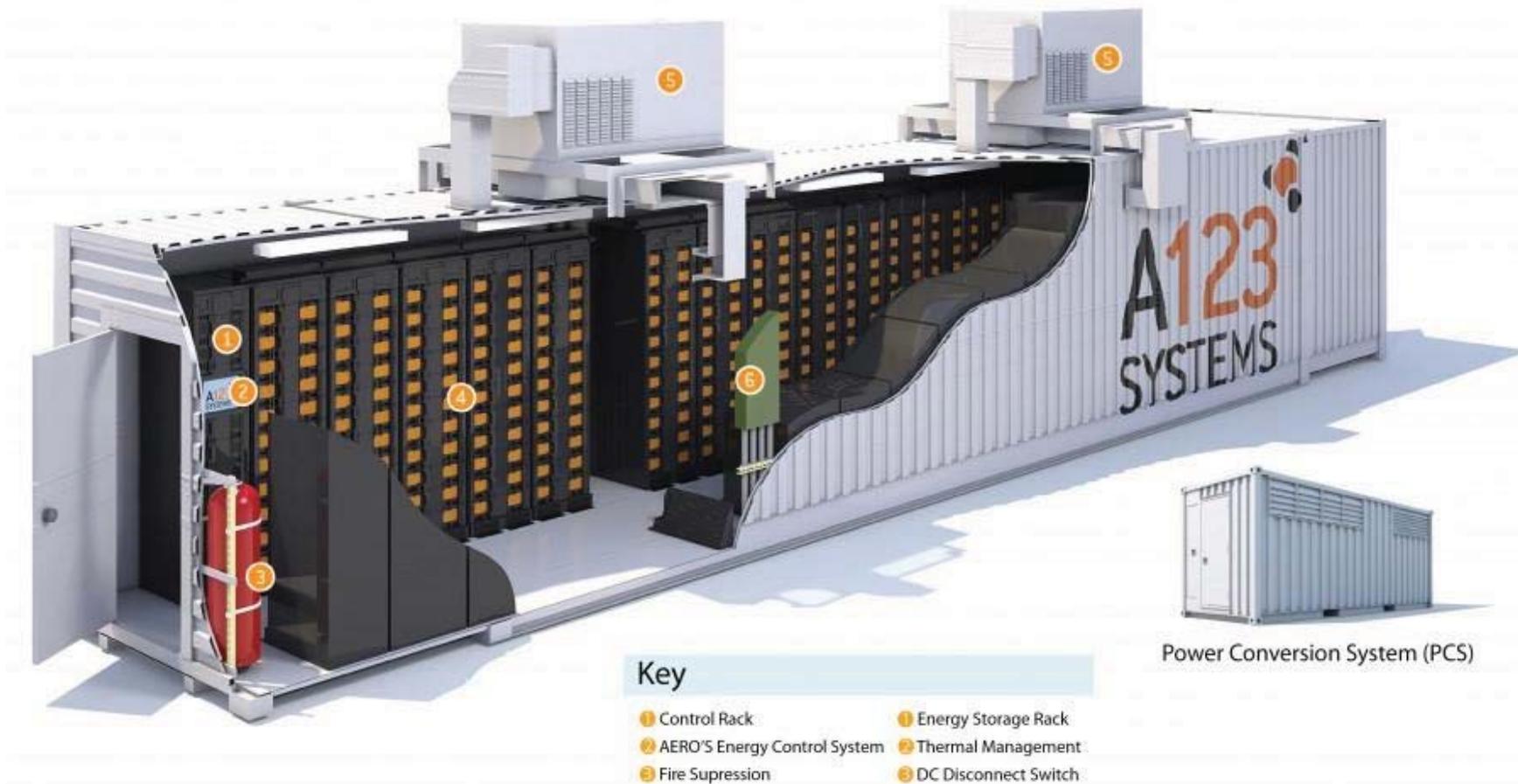
Rückspeisung ins MS-Netz an sonnige Schwachlasttage.

## Auslastung Trafostation

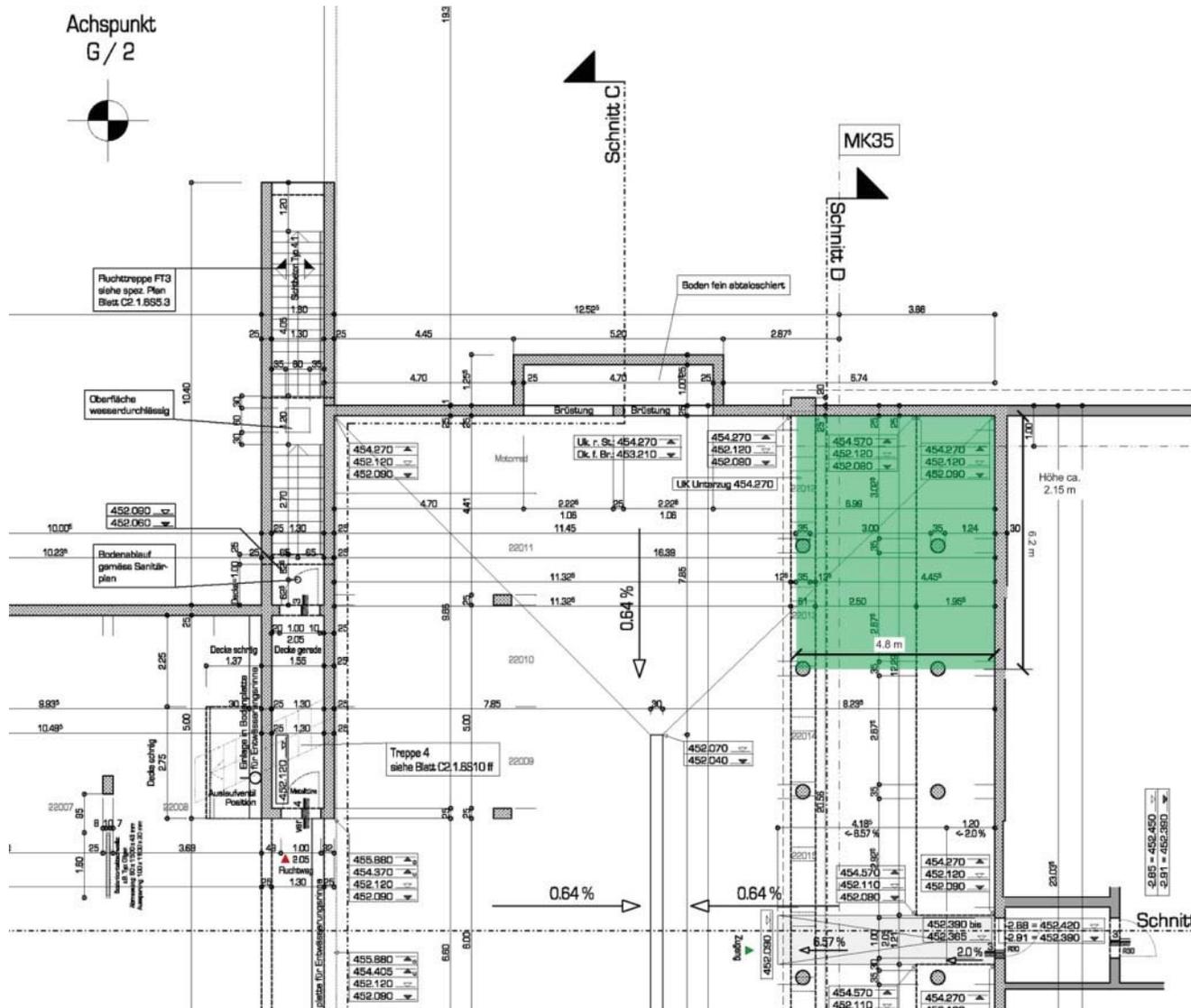


# BESS-Grösse.

- 120 kW / 500 kWh → 40 Fuss Container



# Platzierung Speicher. Gebäudeintegration.



# Platzierung Speicher.

In der Tiefgarage werden div. Rollerparkplätze gemietet.

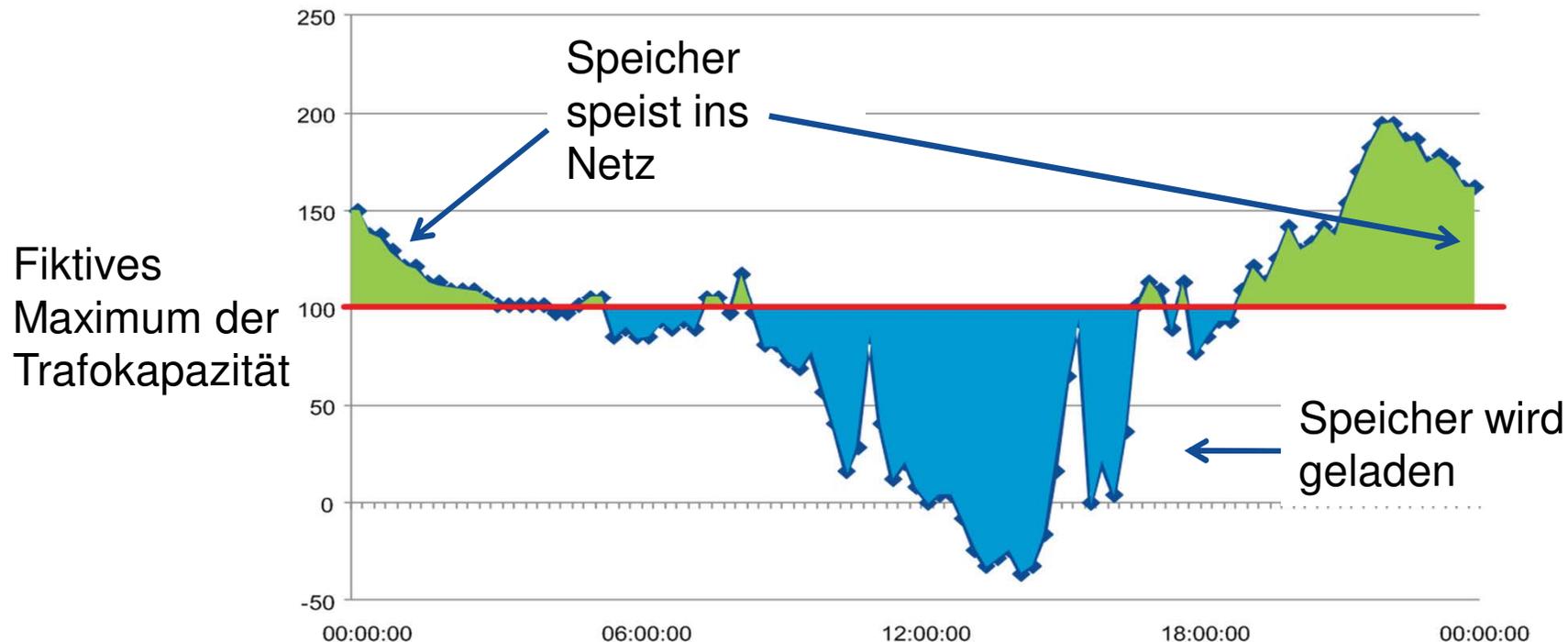


# Versuche.

## Peak-Shaving der TS Dora-Staudinger-Str.1.

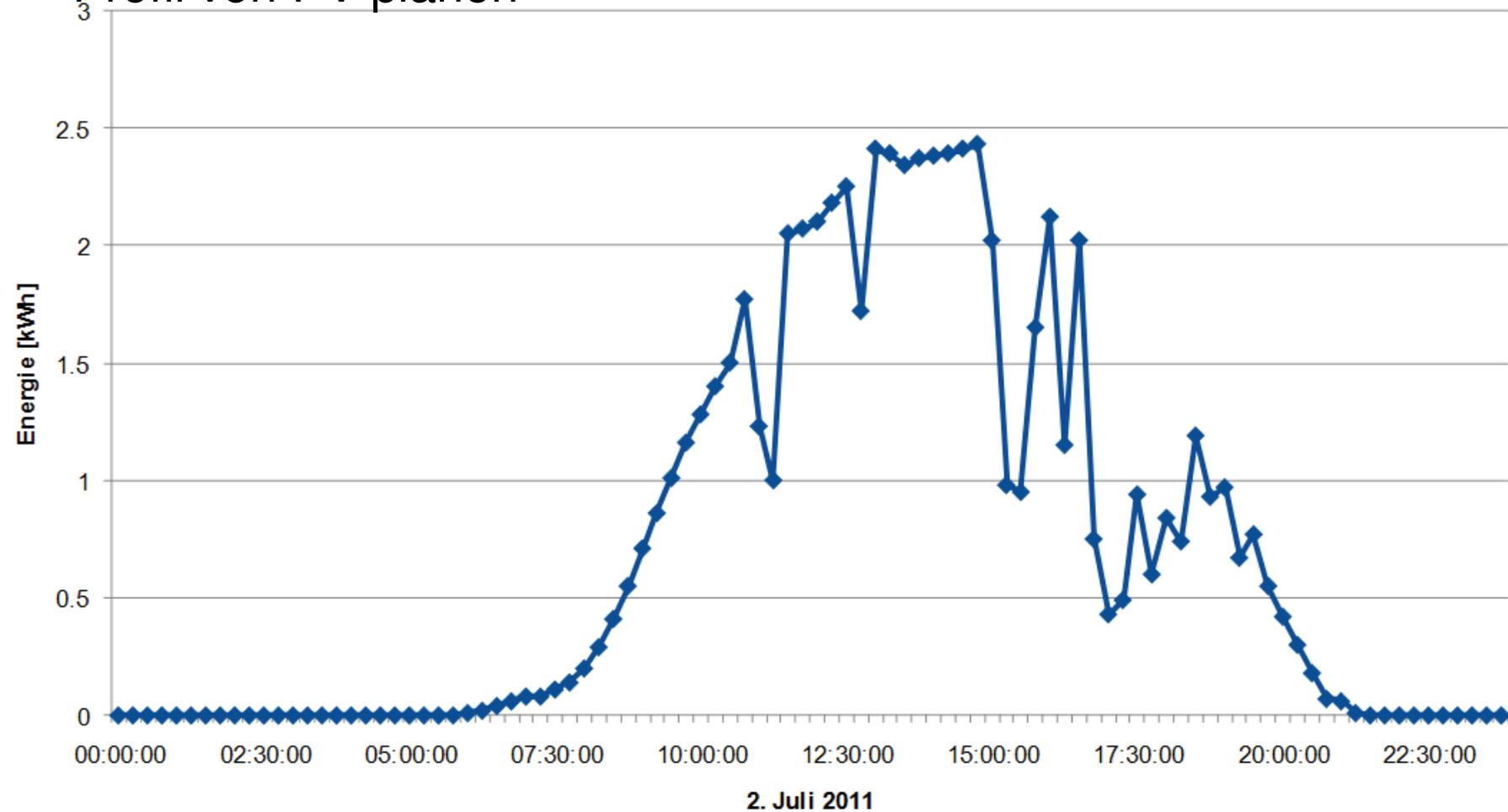
Mit einem Speicher soll ein Netzausbau verhindert werden.  
Ziel: Kosten – und Platzeinsparungen sowie positiver Umwelteffekt  
(weniger Material für die gleiche Anwendung)

**Auslastung Trafostation an einem Tag**



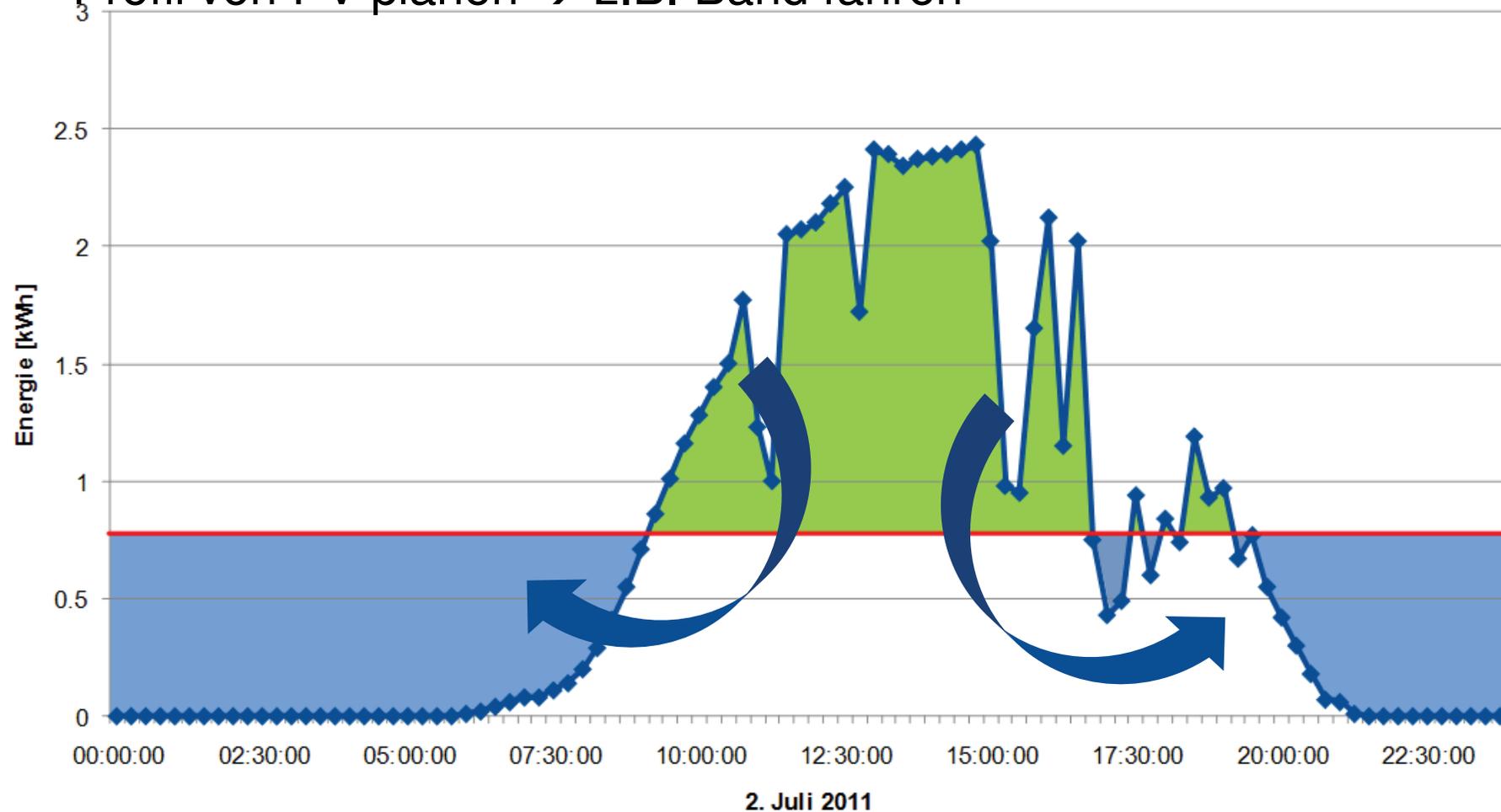
# Versuche. Profil von PV planen.

## ■ Profil von PV planen



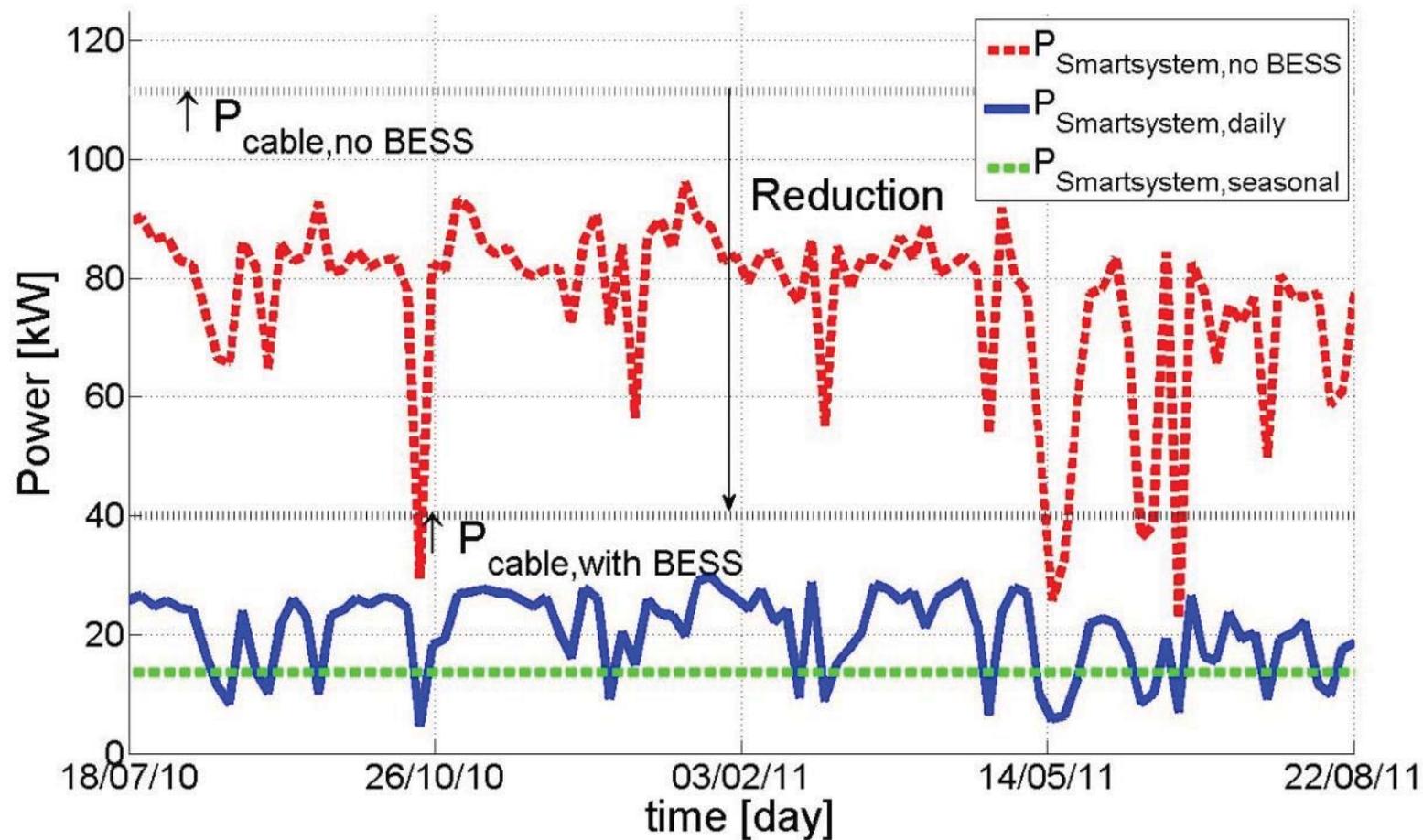
# Versuche. Profil von PV planen.

- Profil von PV planen → z.B. Band fahren



# Versuche. Profil von PV planen.

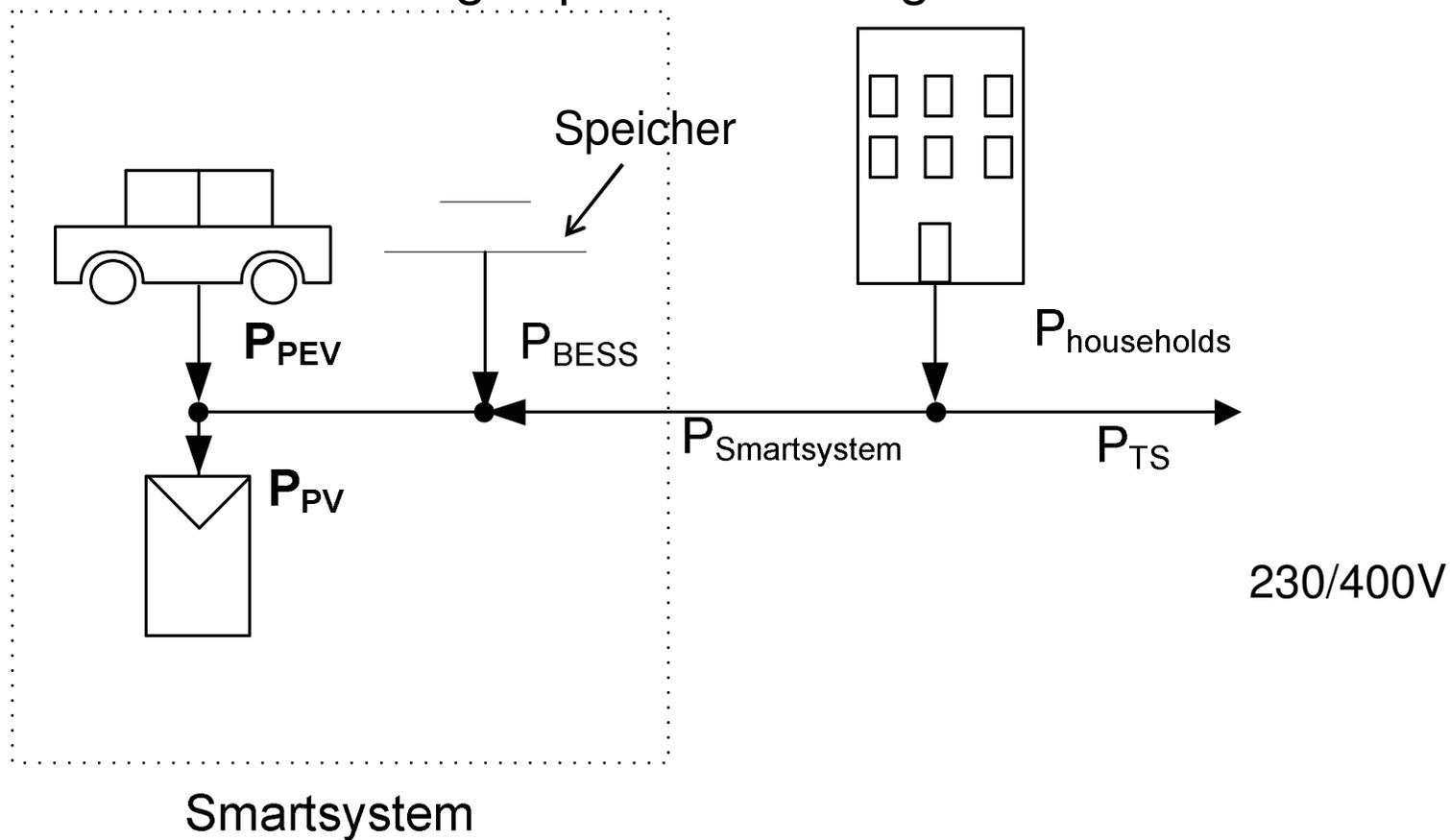
- MATLAB-Simulation über ein Jahr mit den Tagesmaxima



# Versuche.

## Ladung elektrischer Fahrzeuge. Normale/schnell Ladung.

Zusätzliche Lastspitze durch das Laden elektrischer Fahrzeuge am Abend mit dem Energiespeicher abfangen.



# BESS. Zusammenfassung.

- ewz sieht ein grosses Potential von Speichern im Verteilnetz.
- Es gibt viele verschiedene mögliche Massnahme zur Integration von dezentralen Erzeugungsanlagen und PEVs.
- Verschiedene Innovationsprojekte werden bei ewz durchgeführt, um Erfahrung mit Speichern im Verteilnetz und Informationen bis ins Niederspannungsnetz zu sammeln

# Swisscom drängt in den Energiemarkt\*.

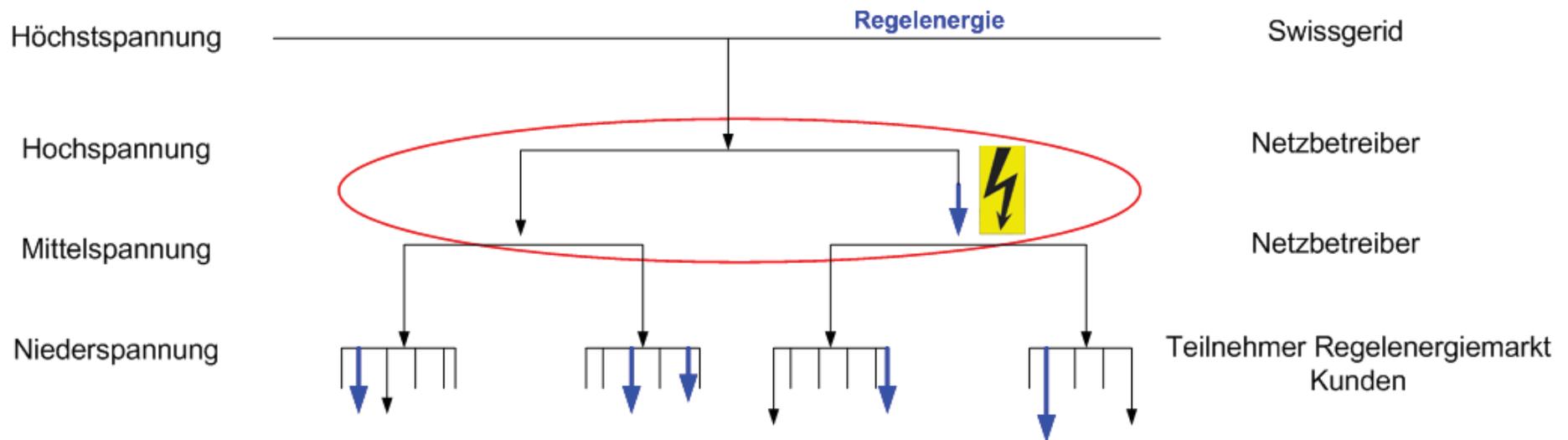
- Swisscom Energy Solution
  - Aufbau virtuelles Kraftwerk
  - Vernetzung von Boiler, Wärmepumpen und Elektroheizungen
  - Fern-Steuerung übers Mobilnetz
  - Kurzfristige Senkung oder Erhöhung des Energieverbrauches  
→ Eingriff in den Verbrauch = Regelenergie
- Zuständigkeit für Regelenergie heute: Swissgrid
- Sicherstellung Regelenergie heute: Stromkonzerne mit Pumpspeicherkraftwerken (PSKW)

\* SRF 10vor10 Beitrag vom 07. August 2013

# Konkurrenz für die Stromkonzerne!?

Spannungsebene

Zuständige Instanz



Unkoordinierte Regelenergie für NE1 belastet/gefährdet Verteilnetze  
 → Technischer «nonsense»

## Elektromobilität.

### Energie- & Leistungsbedarf durch 10 % Elektromobilität.

10 % Elektrofahrzeuge in der Stadt Zürich bewirken:

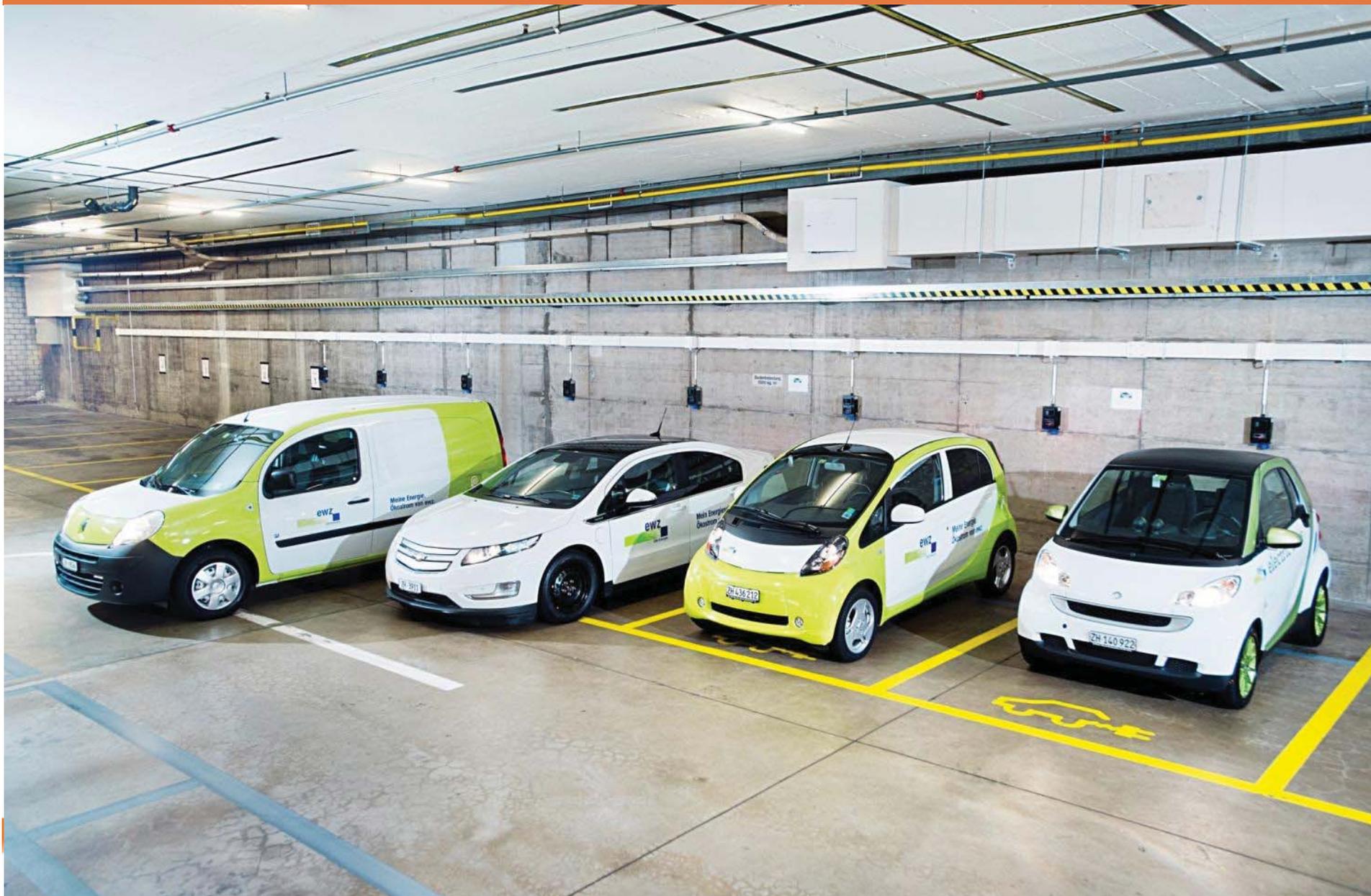
- Zusätzlicher Energiebedarf von **22,92 GWh ~ 1 %**
  - ist für die Energiebeschaffung bzw. Kraftwerksleistung von Bedeutung
  - kann über verstärkte Effizienzmassnahmen und den Zubau erneuerbarer Anlagen bereitgestellt werden
- Zusätzlicher Leistungsbedarf von **19.8 MVA ~ max. 4 %**
  - ist für das Verteilnetz von Bedeutung

**Lokale Überlastungen in der Niederspannungs-Feinverteilung**

## Erfahrungen aus der eigenen ewz Flotte.

- ewz Flotte fährt zu mehr als 10% elektrisch (26 Fahrzeuge)
- ewz tankt ausschliesslich Ökostrom → Ökostromvignette
- (Alters-)Ersatz konventioneller Autos durch Elektrofahrzeuge wird stetig vorangetrieben
- Aufladen während der Nacht reicht vollumfänglich für den Alltagsgebrauch
- ewz Betriebs-Tiefgaragen sind mit bis zu 20 Lademöglichkeiten ausgerüstet
- Laden alle Fahrzeuge gleichzeitig, stösst man an die Grenze → Intelligente Ladesäulen sind künftig zwingend notwendig

# Erfahrungen aus der eigenen ewz Flotte. Elektrischer Fahrzeugpark.



**Back to the Past.**

**«Ladestation Elektromobile» beim UW Selnau um 1900.**

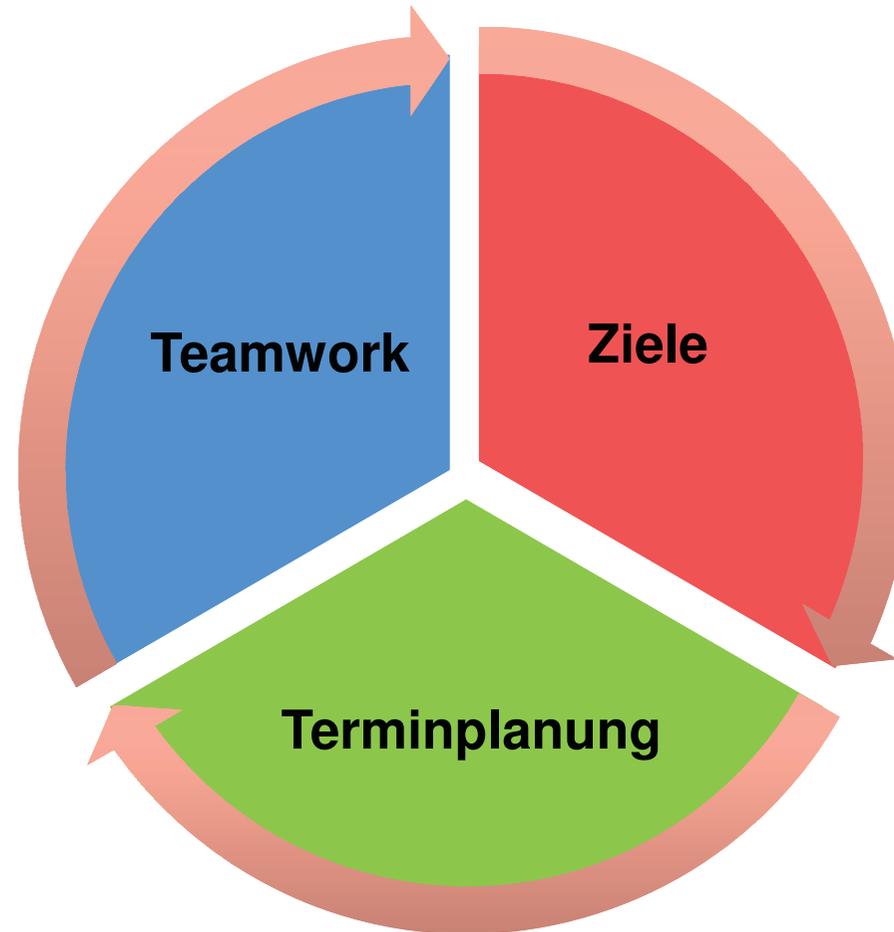


Vielen Dank.



# Erfahrungen im Umbau von bestehenden Schaltanlagen

Emanuel Schneiter, Engineering Netze, BKW AG



## Der Projektablauf gestaltet sich gemäss Vorgaben des SIA

- Vorprojekt
  - ➔ Ergebnis führt zu Entscheid was gebaut wird
- Bauprojekt
- Ausführungsprojekt

## Was für ein Gebäude ist vorhanden, notwendig oder gewünscht?

Bestehendes Gebäude oder Neubau?

Planung der Aufstellung aller Geräte und Apparate

- Sinnvolle, funktionelle Einteilung und Aufstellung
- Kabelkeller und oder Abspannportale?
- Ist ein Hallenkran vorhanden/geplant? Wird ein Hallenkran benötigt?

Reservematerial in UST?

- Anforderungen an die Lagerung





## Anlieferung

- Strassentransport
  - Strassenbreite, Brücken, LKW-Grösse
- Bahntransport
  - Verlad, Ablad, Verbindungen



## Anschluss Abgänge?

- Freileitung
- Kabel
- GIL

**Soll die Anlage später erweiterbar sein?  
Anforderungen des Betriebes**

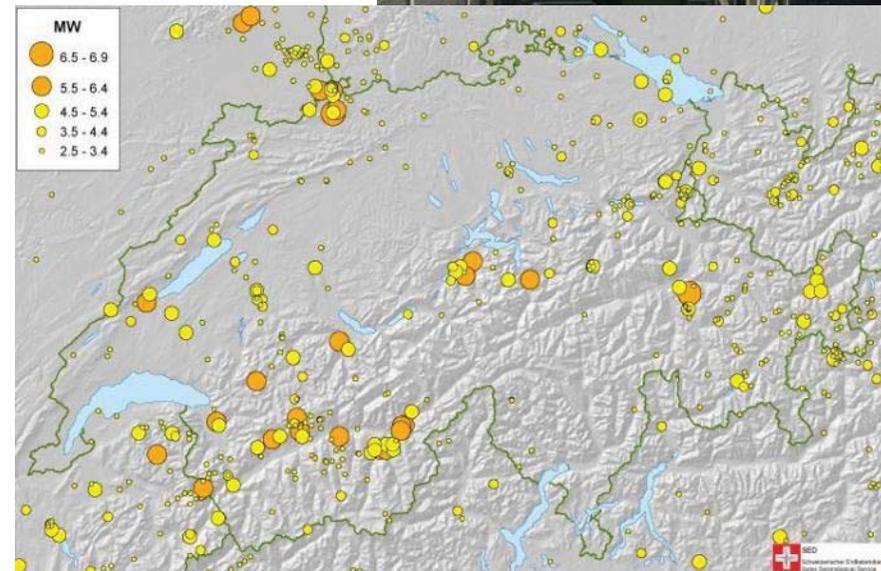


## Spezielle Anforderungen

- Höhe der Aufstellung
- Erdbebenzone
- Umgebungsbedingungen
- Konstellation der Abgänge
  - Leistungsschalter
- Hohe Schaltaufkommen

Havariebedingungen?

Sicherheitskonzepte?



## Möglichkeiten für Messungen

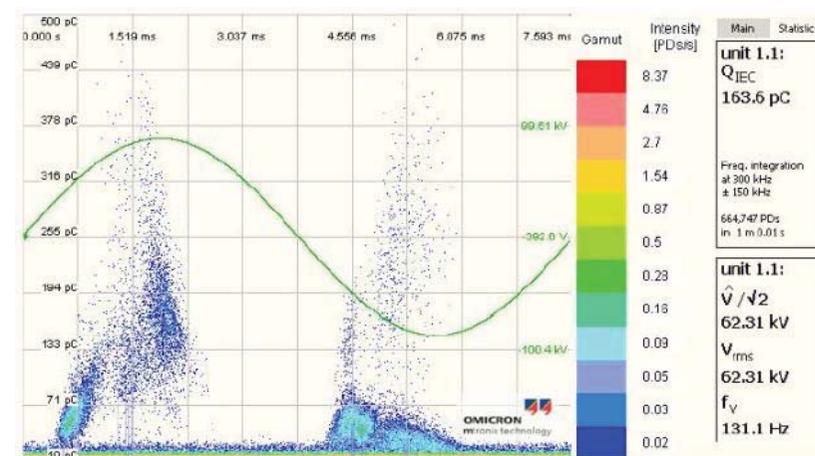


## Dichtewächter

- Art der Skalierung



## Monitoring



Messung bei 63 kV / 131.1 Hz (m109):

## Sekundärschränke

- Schnittstellen?
- Platz für Geräte und Schalter
- Vorgaben für Klemmen, Beleuchtung, Schrankausbau



lhr f  
**1to1**energy

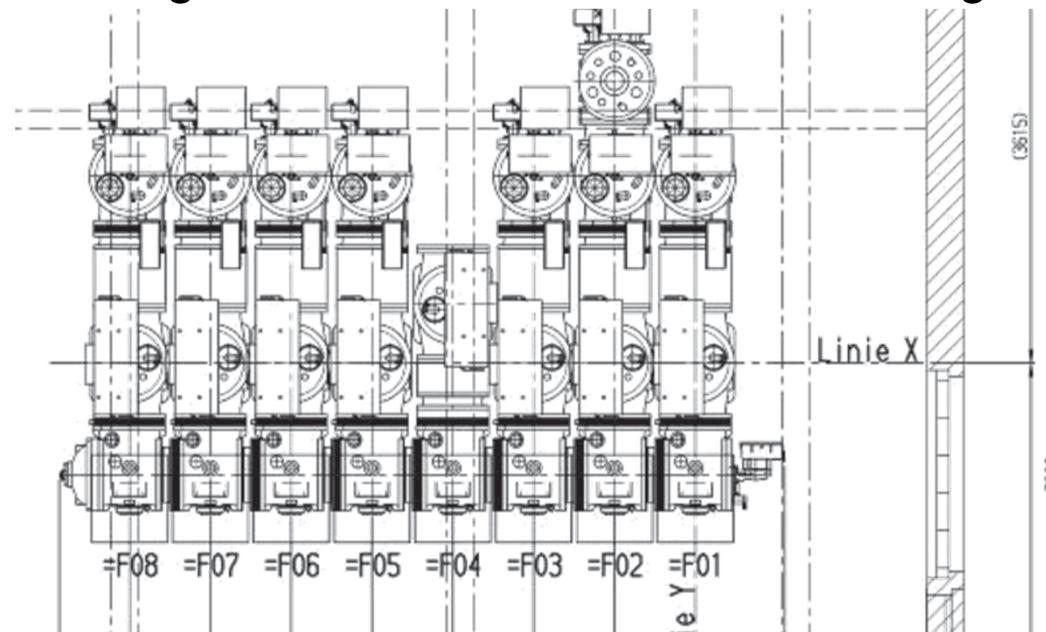


## Spezifikation der Wandler

- Anforderungen von Schutz und Messung erfüllt?
- Primärtechnische Anforderungen erfüllt?



- ➔ Technische Spezifikation
- ➔ Werkvertrag
- ➔ Verbindliche Angaben für die definitive Ausführung



## Dimensionierung der Gebäudeöffnungen

- Einbringung Anlage
- Luken in Boden nötig?
- Kabelzug?

## Gebäudeerdung und Erdnetz in Gebäude für Anlage



## Durchbrüche für Anlagen Verankerung der Anlagen

- Bodenrahmen
- Schienen
- Anker



## Druckentlastung in Gebäude Definitive Dimensionierung Hallenkran

## Freigaben der Konstruktionspläne

- Abmessungen
- Feldanordnung und Reihenfolge
- Gasraumaufteilung

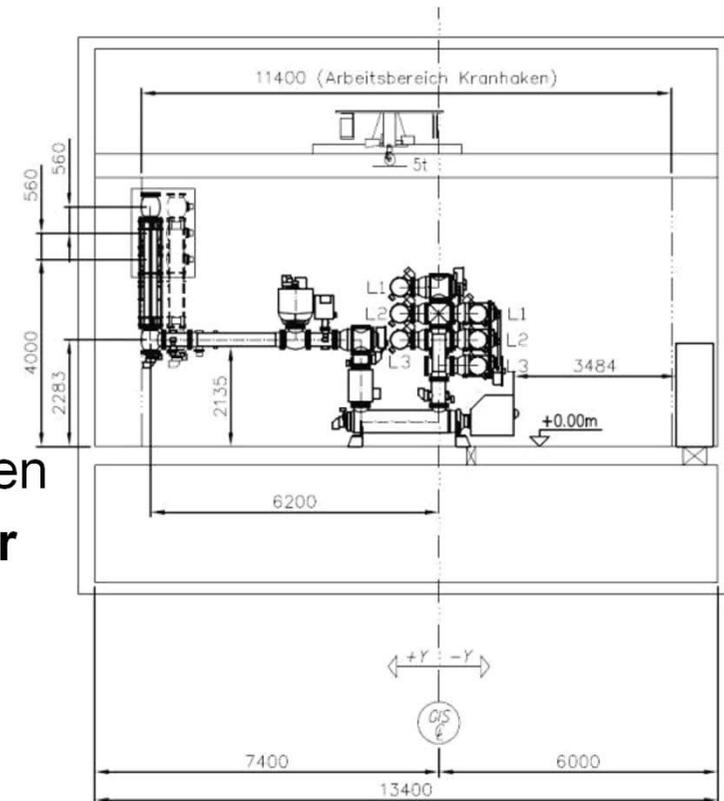
## Kontrolle der Bezeichnungen

- Feldbezeichnungen
- Apparatebezeichnungen
- Kennzeichnung der Schottisolatoren

## Bestätigen der Nennwerte der Schalter

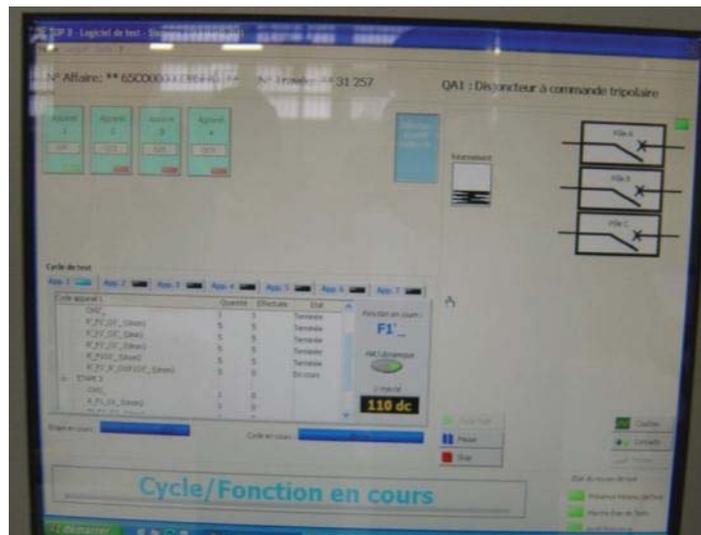
## Wandlerdaten

## Sekundärtechnik



Werksabnahme ist sinnvoll und empfehlenswert für:

- Anlage
- Wandler
- Sekundärschränke



## Vorbereiten

- Gebäude/Umgebung soweit fertiggestellt und bereit für Montage
- Sicherstellen, dass Montageleiter Umgebung, Team und Projektdaten kennt

## Anlieferung, Einbringung



# Montage



## Aufstellung

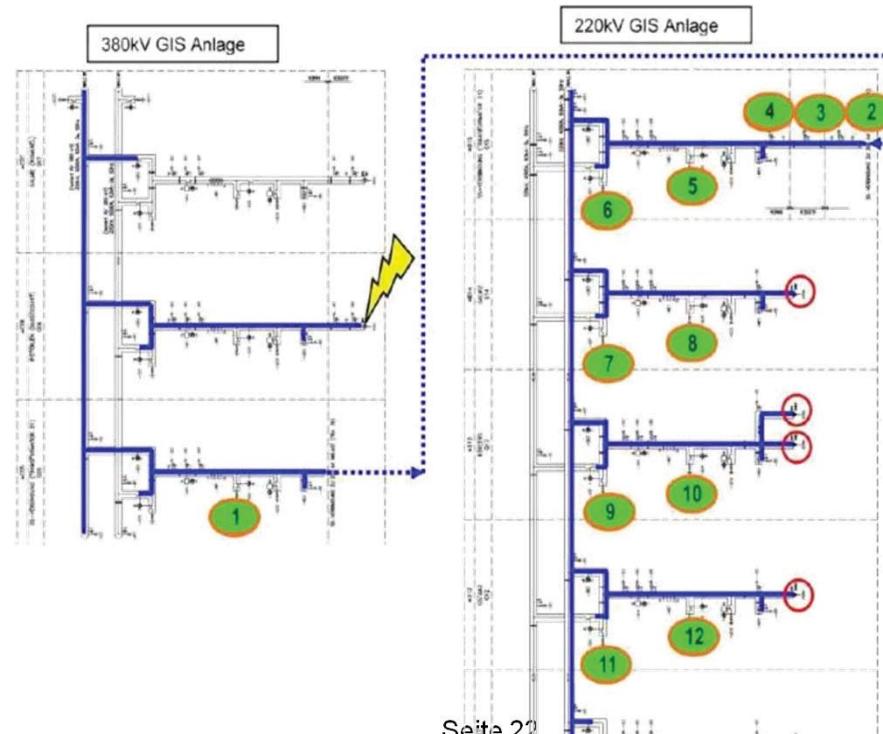


# Montage



## Planen der Prüfung

- Wer macht die Prüfung?
- Unterlagen vorhanden?
- Wer liefert welches Equipment?
- Wer ist für welche Arbeiten zuständig
- Einhalten der Sicherheit und Sicherheitsabstände



# Vorort Prüfung



## Prüfprozedur

- Kontrolle der Prüfabschnitte
- Wandler getrennt und Sekundärklemmen in Prüfstellung
- Kapazitive Abgriffe geerdet
- Sind alle verantwortlichen Parteien anwesend

## Vorgehen bei Problemen

- Gasarbeiten ausführen
- Arbeiten ausführen
- Material organisieren



## Fertigstellen der Anlage

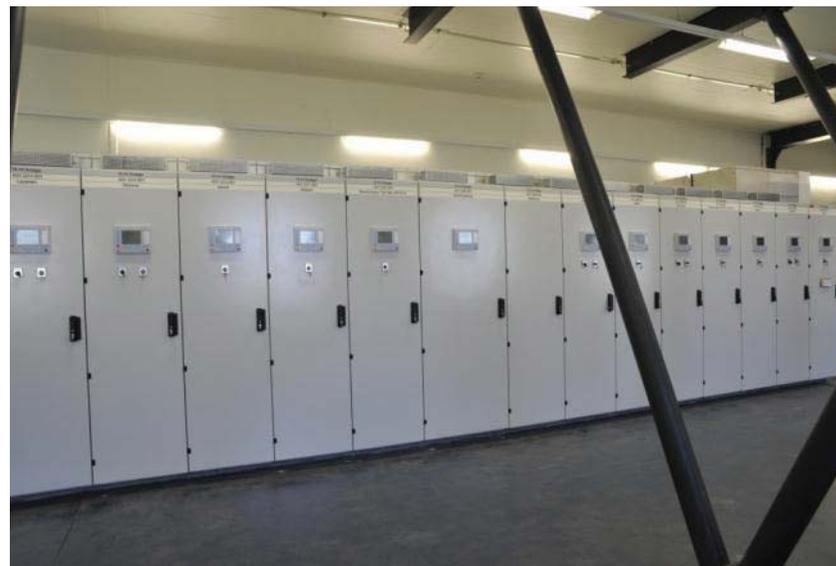
- Bezeichnungen und Beschriftungen
- Feuerbeständige Schottung der Durchbrüche
- Aufbewahrung und gute Beschriftung des Zubehörs
- Anbringen aller Richtlinien, Vorschriften, Hinweistafeln und Wandbilder
- Saubere Ordnung und freie Wege



# UST 16kV + 50kV Mt. Soleil



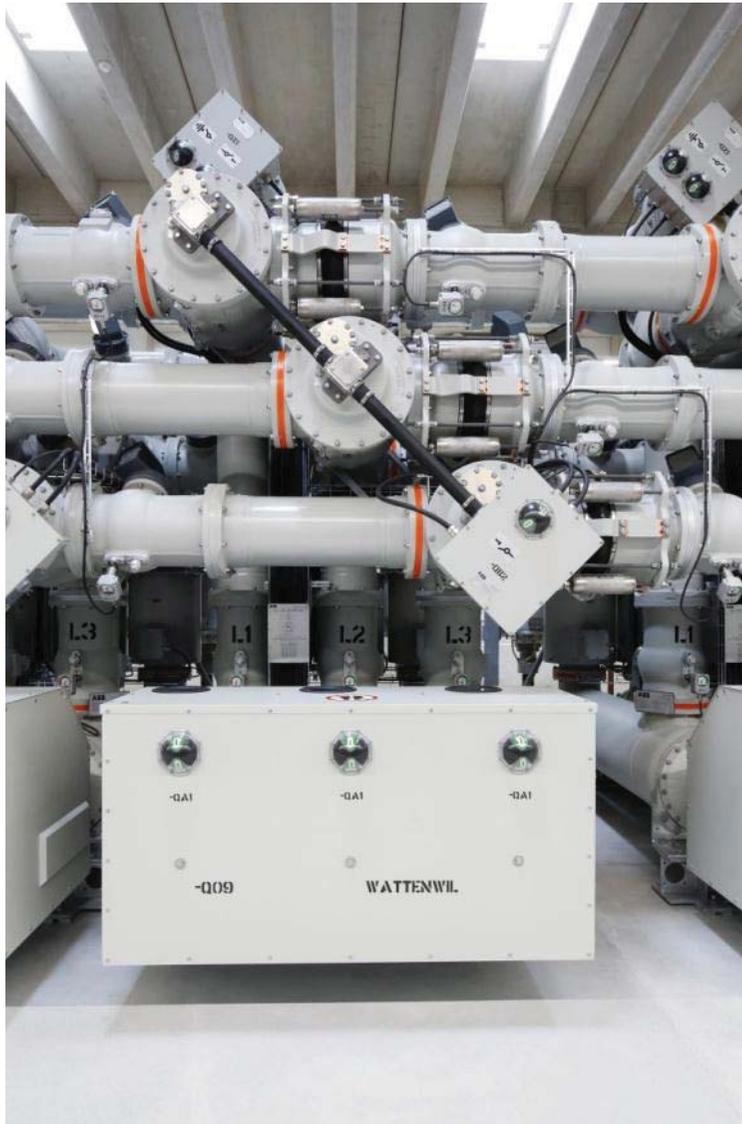
# UST 16kV + 50kV Saanen



# UST 220kV Mühleberg



# UST 220kV Mühleberg



# UST 220kV Mühleberg



# UST 380kV Mühleberg



ito1 energy

# Lebenszyklus der Komponenten

Raumverfügbarkeit

Forschung

Technologien

Sicherheit

Energiediversität

Instandhaltung

Komponentenentwicklung

Lebensdauerkosten

Informationstechnik

Anlagenentwicklung

Gesellschaft, Politik

Normierung

Umwelt

Zuverlässigkeit

Qualitätssicherung

Bedienungskomfort

Marktöffnung

Bewirtschaftung

## **Weiterführende Literatur**

CIGRE Report Nr 390

CIGRE B3-20 “Evaluation of Different Switchgear technologies (AIS, MTS, GIS) for Rated Voltages of 52 kV and above”,. 2009

CIGRE Report Nr 514

Final Report of the 2004 - 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment Part 6 – Gas Insulated Switchgear (GIS) Practices Working Group A3.06 October 2012

A photograph of a high-voltage electrical substation. The scene is filled with numerous tall, grey metal support structures (pylons) and a complex network of white and black insulators and power lines. The equipment is arranged in rows, receding into the distance. The background shows a lush green landscape with trees and a clear sky.

## Asset Management von Schaltanlagen in Zeiten des Wandels

ETG-Fachtagung 2013, 25.09.2013

Philipp Schütt  
Leiter Asset Planung, Division Netze

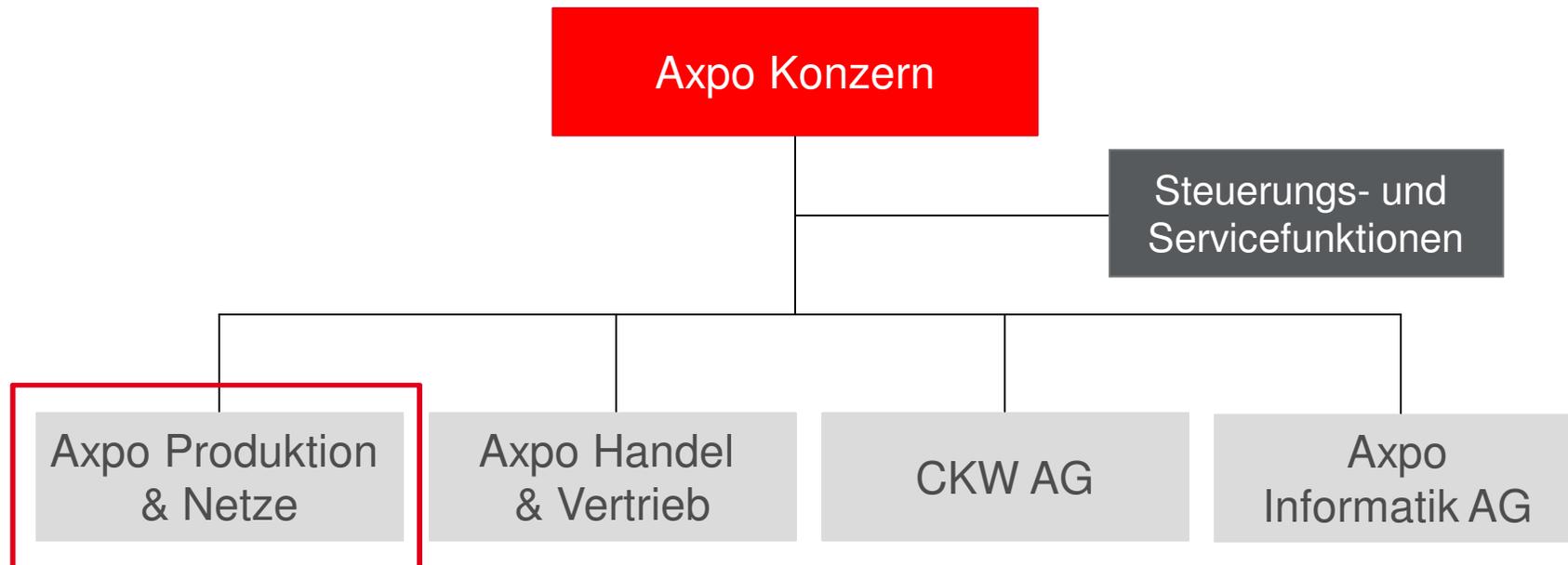
## Übersicht

1. Axpo Netze auf einen Blick
2. Herausforderung Asset Management
3. Ausgewählte Zielsetzungen

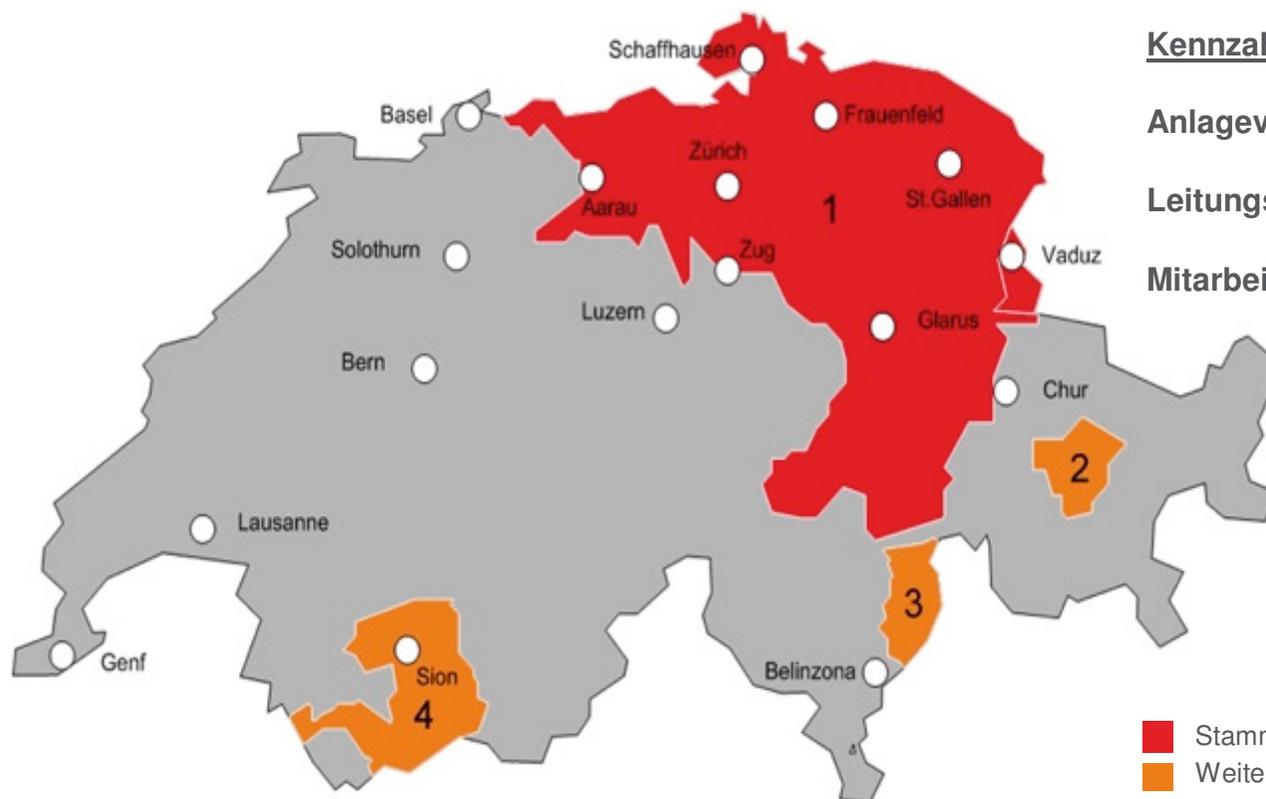
## Axpo Netze auf einen Blick



## Axpo Gruppenstruktur



# Netzgebiet Axpo

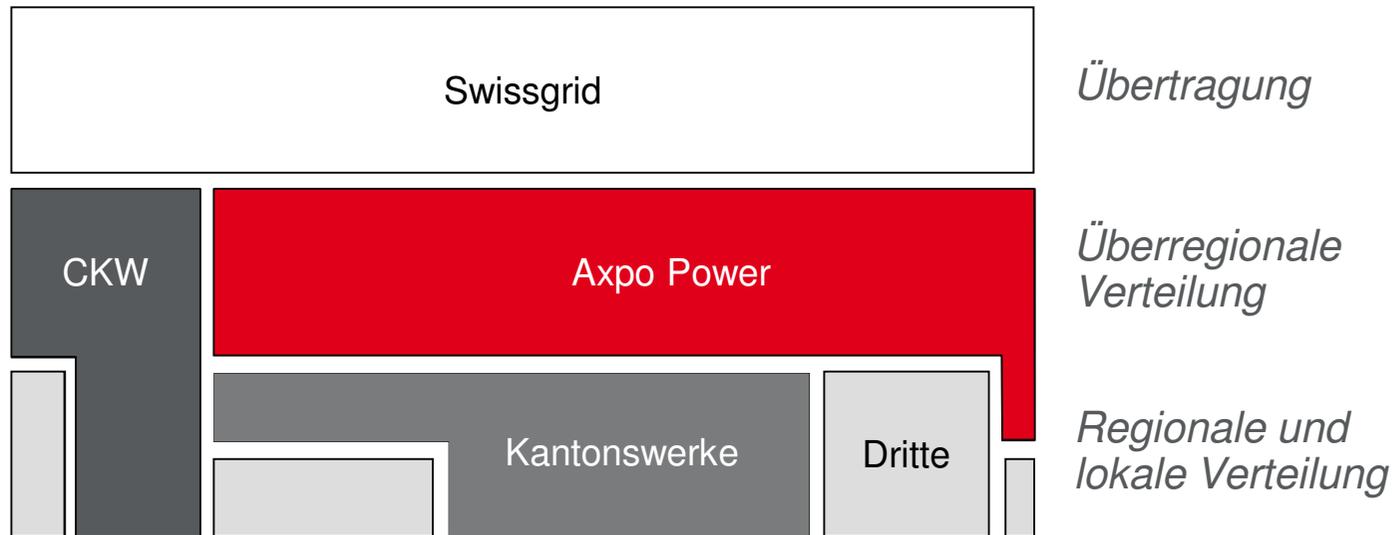


## Kennzahlen Division Netze

Anlagevermögen (ZW)	625 Mio. CHF
Leitungskilometer	2200 km
Mitarbeitende	330 Personen

- Stammgebiet
- Weitere Gebiete

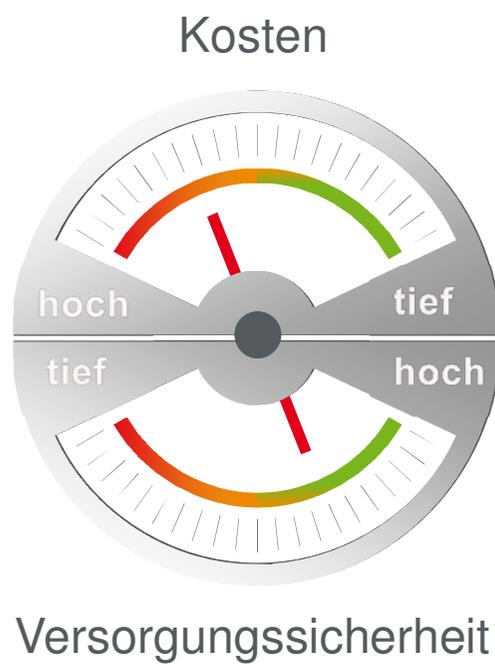
# Überregionaler Verteilnetzbetreiber in der NO-Schweiz



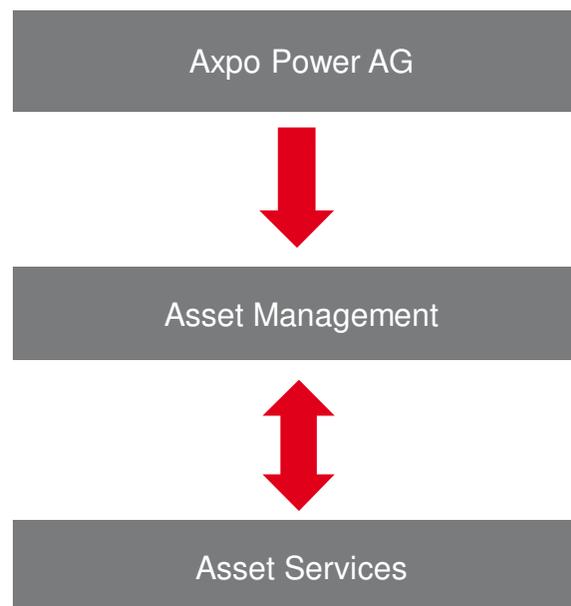
## Herausforderung Asset Management



## Ausgangslage



## Rolle des Asset Managers



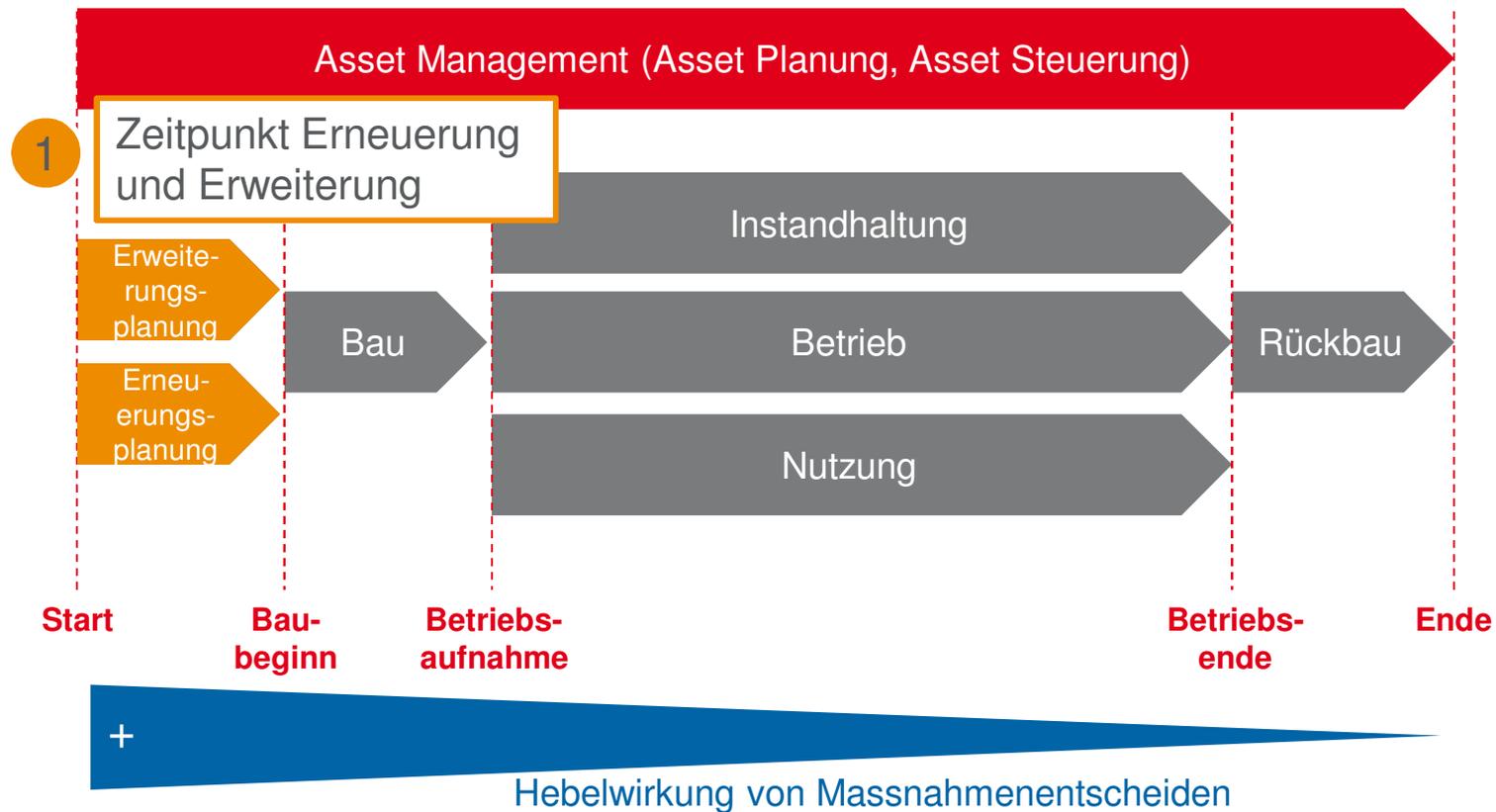
- Netzbetrieb
- Instandhaltung sowie Engineering UW und Leitungen

## Ausgewählte Zielsetzungen

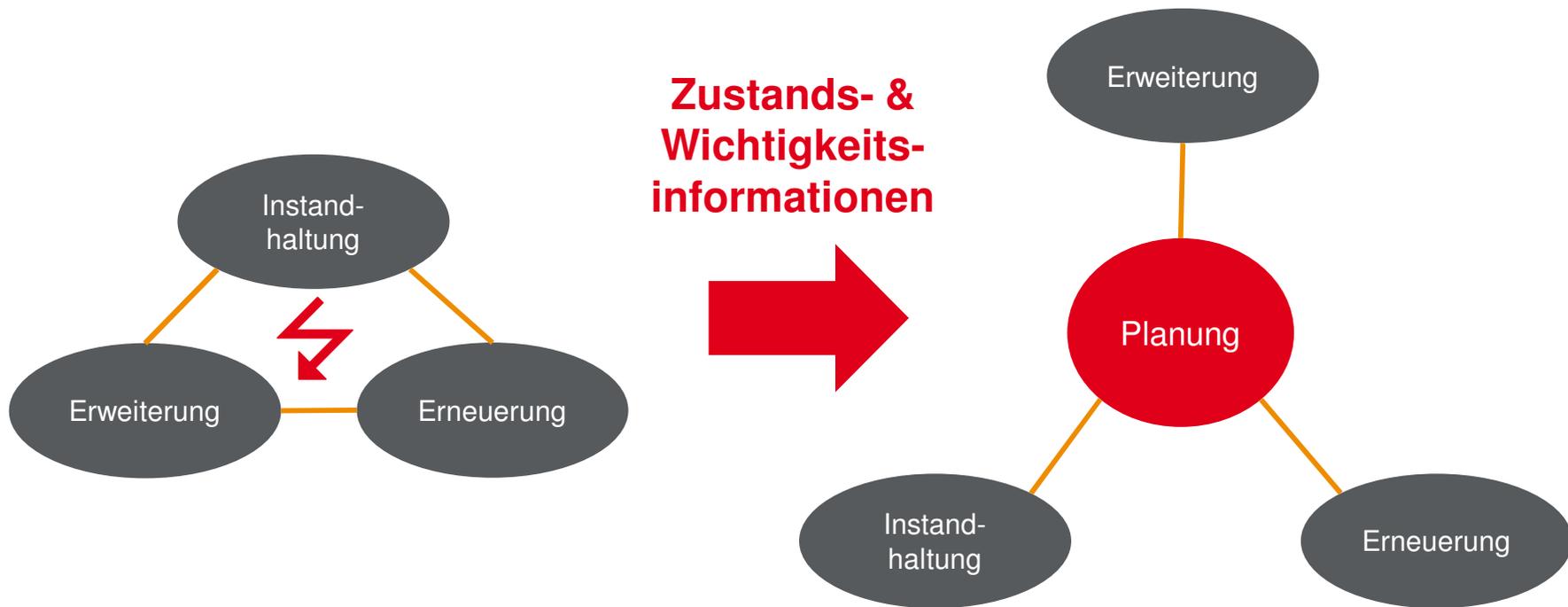


# Zielsetzung

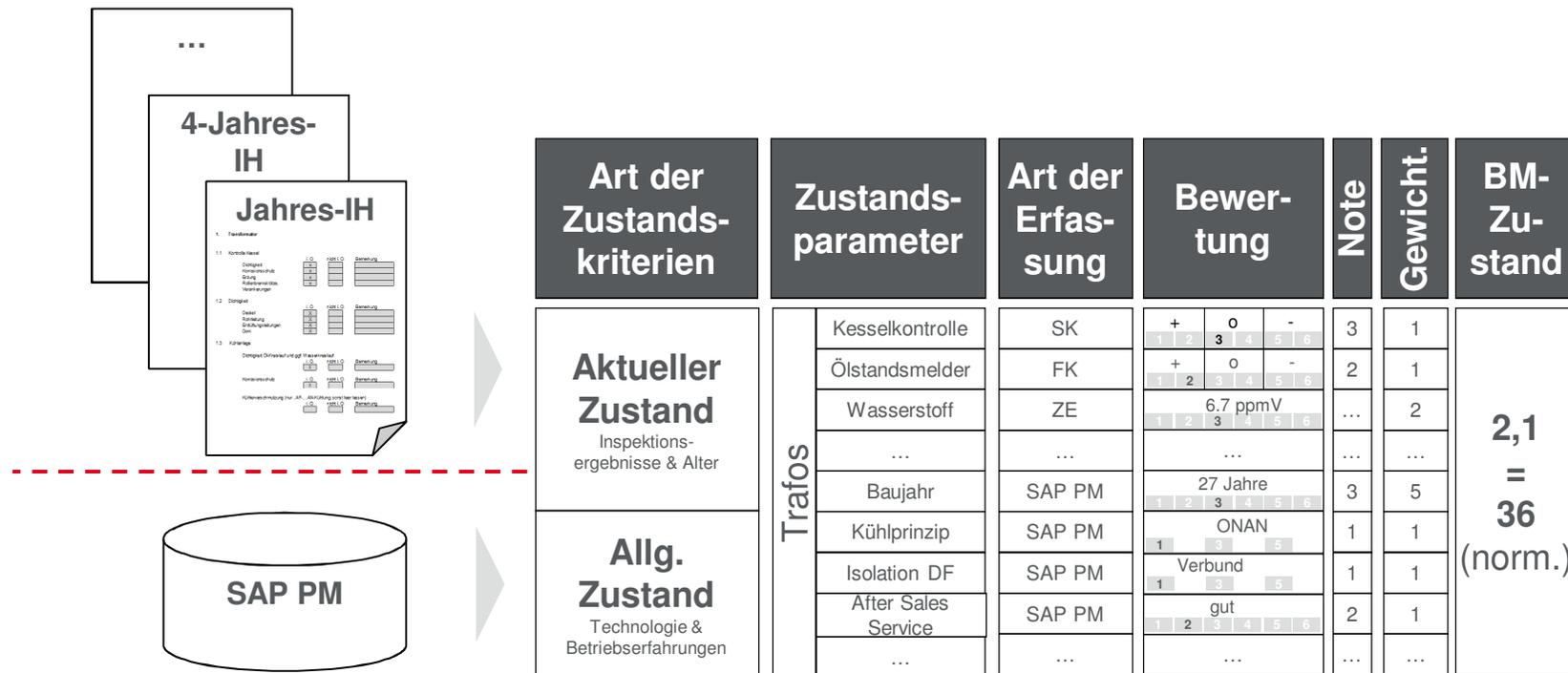
## Kostenoptimierung hinsichtlich Investitionszeitpunkt



# Planungsanforderungen



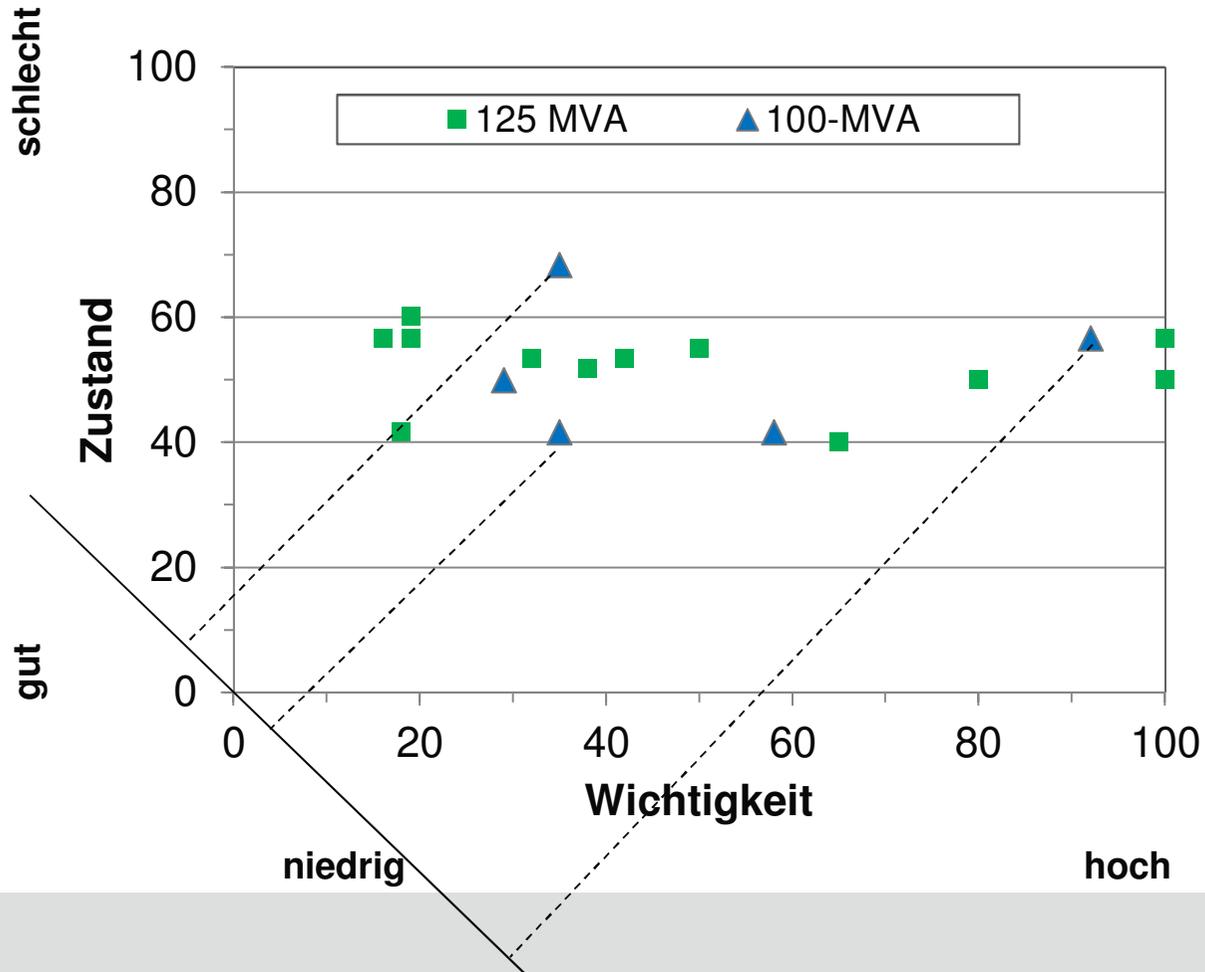
# Schema Zustandsbewertung



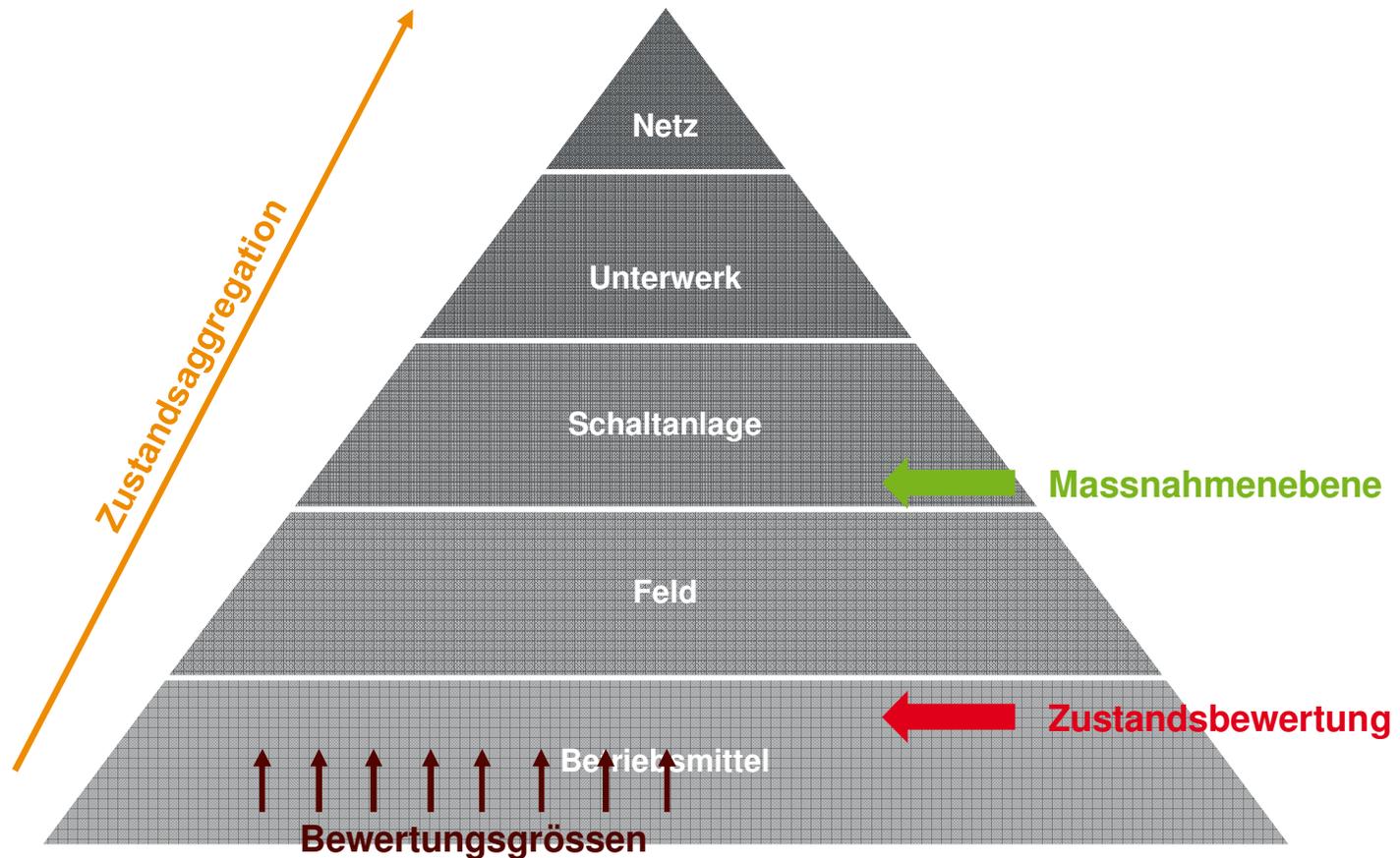
Abkürzungen: SK – Sichtkontrolle, FK – Funktionskontrolle, ZE – Zustandserfassung, BM - Betriebsmittel

# Zustands- und wichtigkeitsorientierte Asset-Bewertung

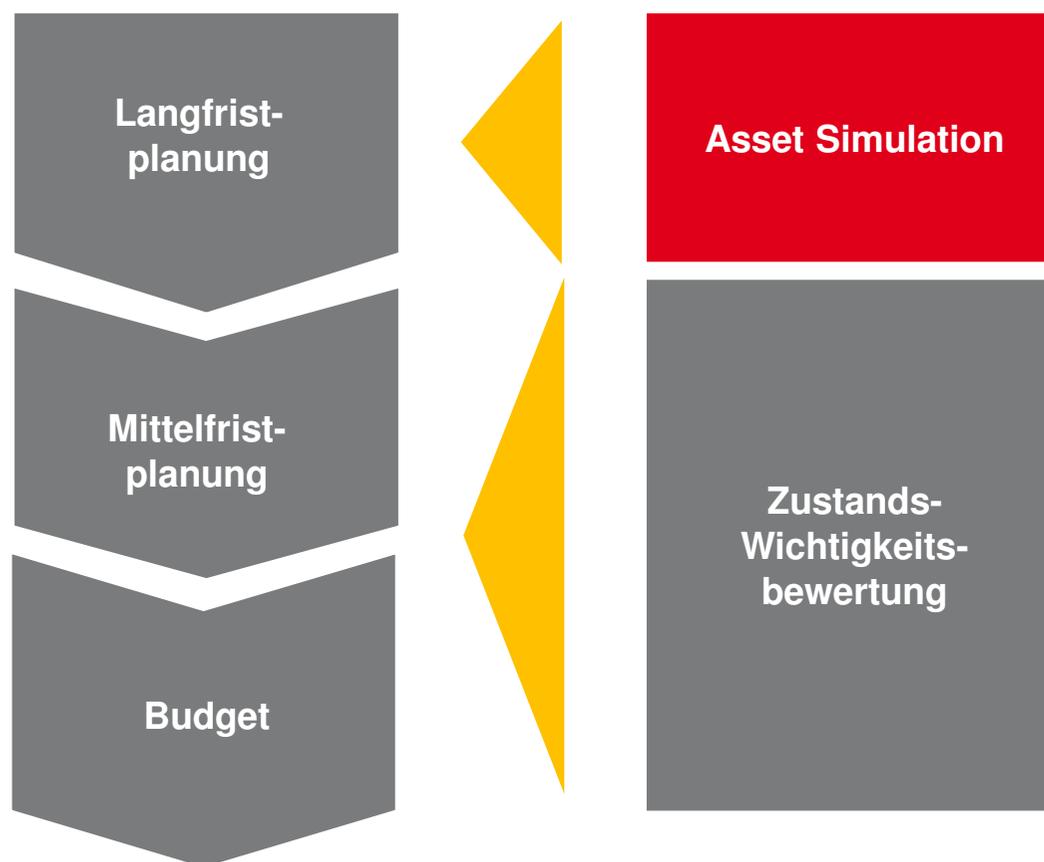
## Beispiel: Trafos



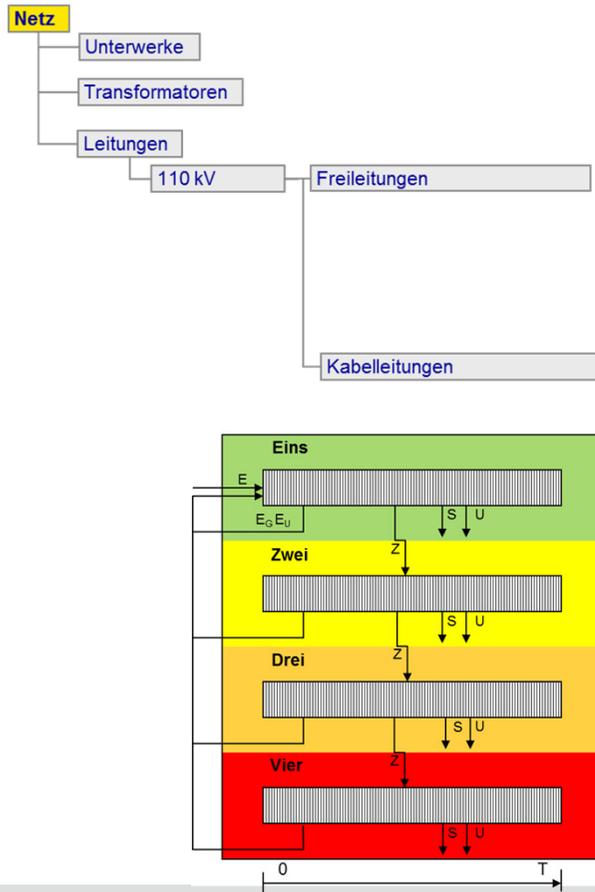
# Aggregation der Zustandsinformationen



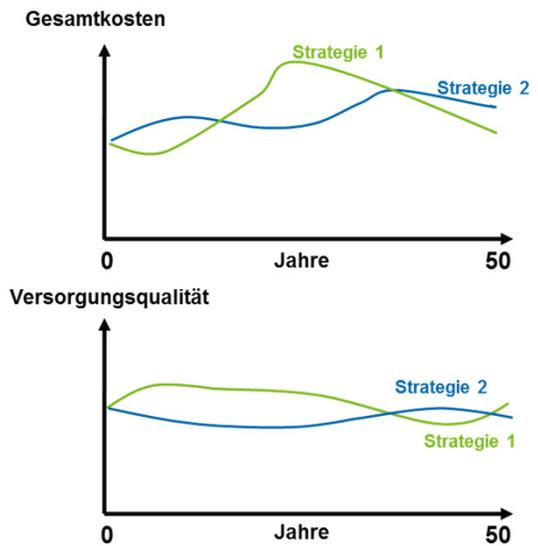
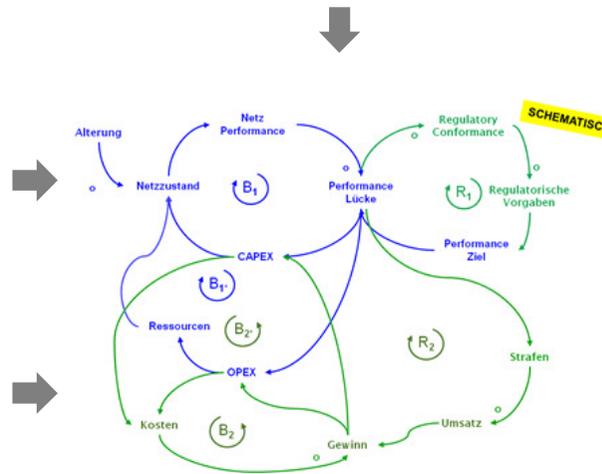
# Planungsprozess



# Schematische Funktionsweise Asset Simulation



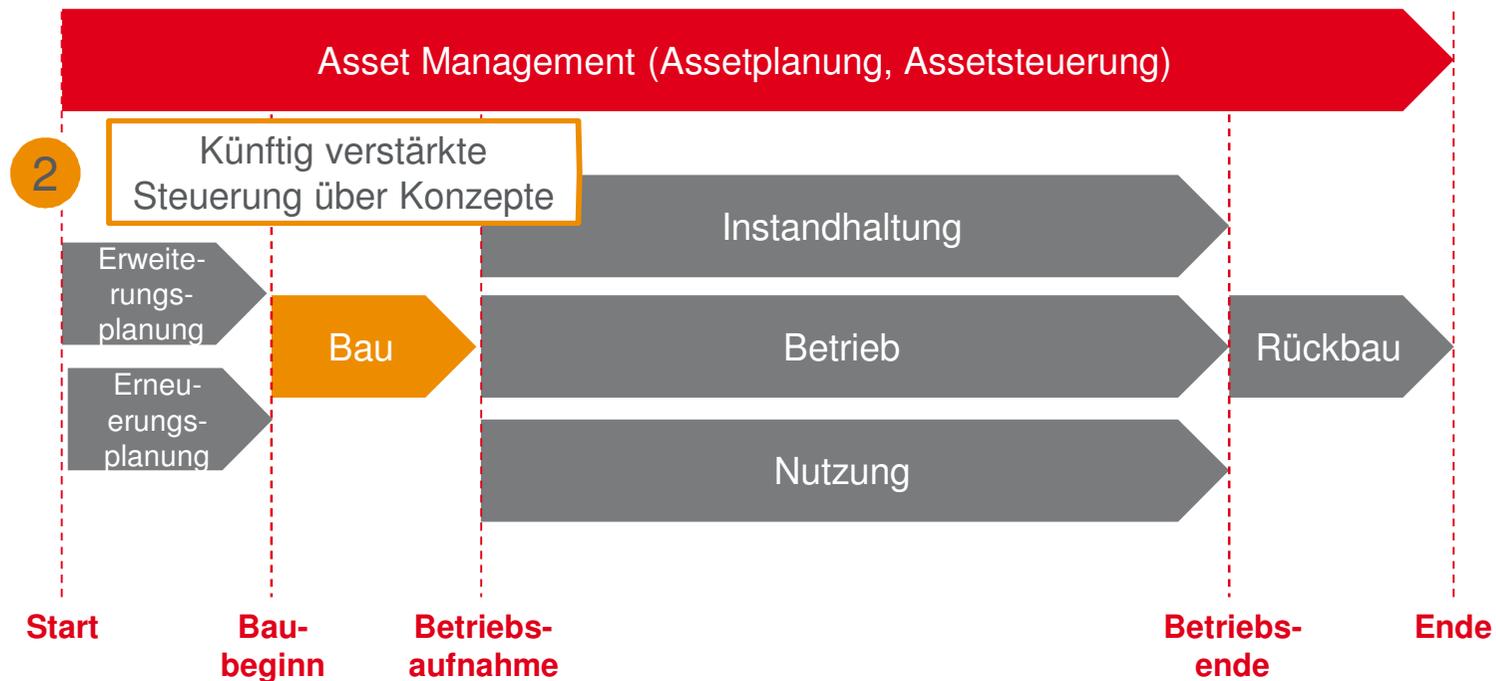
Simulationsparameter (Input)  
Zielgrößen (Output)



- Asset Simulation wird in der strategischen Planung eingesetzt
- Untersuchung der Langfristwirkungen von Investitions- und Instandhaltungsbudgets

# Zielsetzung

## Kostensteuerung der Projekte über Konzepte



**Anlagenkonzepte**

**Aufgabenverteilung**

**Anforderungen durch Netzplanung & Betrieb**



**Erarbeitung technische Umsetzung durch Engineering**

# Anlagenkonzepte

## Beispiel Eigenbedarf

Anforderungen		Unterwerks- kategorie
		Versorgungs UW
Wechselstrom	(n-1>1)-Prinzip für EB-Einspeisungen	M
	Festinstallierte EB-Einspeisungen	S
	Autom. Umschaltung auf Ersatzeinspeisung	N
	Redundante Versorgung der Hilfsbetriebe	M
	Redundante Versorgung der Infrastrukturen	N
	EB-Anlage für Trafo-Öl-Aufbereitungsanlage ausgelegt	N
Gleichstrom	Erforderliche Betriebszeit des UW's ohne Eingreifen	M (≥ 8h)
	Erforderliche Betriebszeit des UW's mit manuellem Eingreifen	M (≥ 8h)
	Einrichtungen für Autonomiezeitverlängerung bis 48h vor Ort	N
	Redundante DC-Speisung für SLS, Kommunikation, usw.	M

Weitere Kategorien:

- Stützpkt-UW mit Komm.infrastruktur
  - Mit Trafokühlung (OFAF)
  - Ohne aktive Trafokühlung
- Stützpkt-UW
  - Mit Trafokühlung (OFAF)
  - Ohne aktive Trafokühlung

M: Muss  
S: Soll/Option  
N: Nicht erforderlich

## Zusammenfassung

- Zustands- (Betriebsmittelsicht) und Wichtigkeitsinformationen (Systemsicht) unterstützen die Massnahmenplanung. Die systematische Bewertung objektiviert die Planung und macht sie nachvollziehbar.
- Mit Unterstützung der Asset Simulation werden Asset Strategien hinsichtlich ihrer (langfristigen) Auswirkungen überprüft.
- Anlagenkonzepte enthalten die Anforderungen der Netzplanung und des Betriebs und stellen eine bedarfsgerechte technische Umsetzung sicher.

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**Axpo Power AG**

Parkstrasse 23 | CH-5401 Baden

T +41 56 200 37 77 | F +41 56 200 43 50 | [www.axpo.com](http://www.axpo.com)

# Abnahme- und Diagnoseprüfungen von GIS vor Ort

## Essenzen und Trends

Dr. Stefan Neuhold

FKH

Fachkommission für Hochspannungsfragen  
Zürich, Schweiz

ETG-Fachtagung: Trends bei HS-Schaltanlagen  
Baden, 25.09.2013

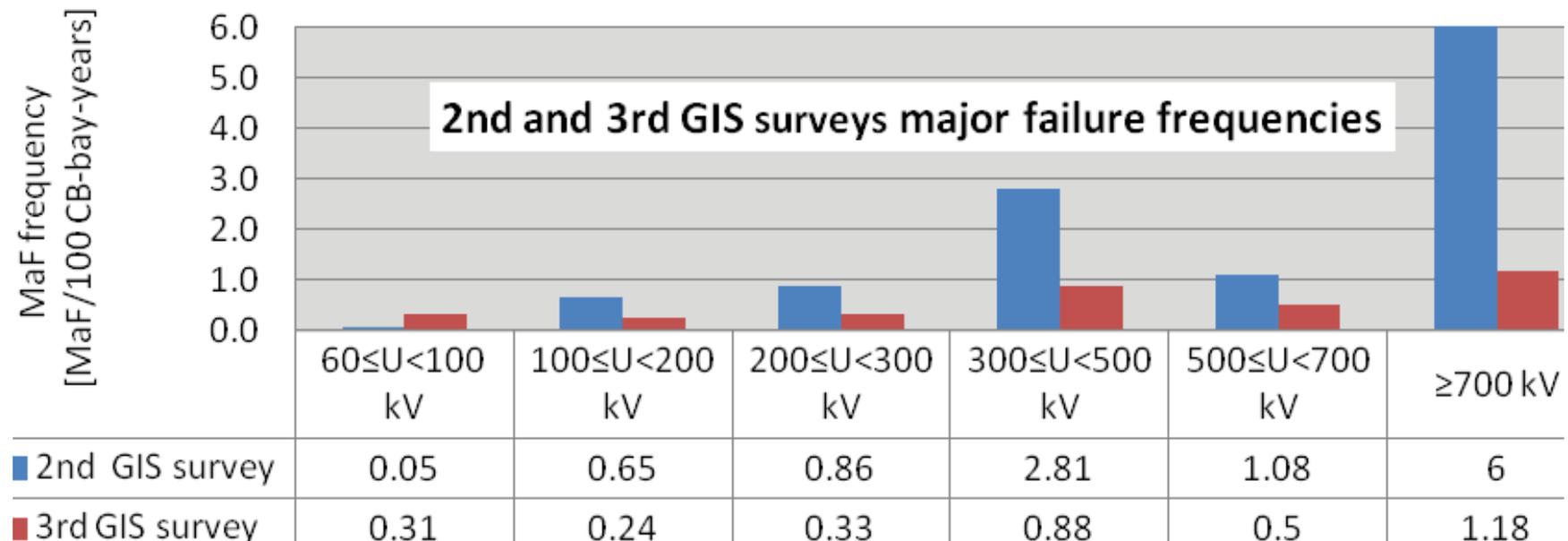
# Schaltprogramm

- IEC ↔ Praxis
- TE-Fehler ↔ Betriebs-Gefährdung
- TE-Messempfindlichkeit ↔ Messmethode / Fehlertyp
- Schnittstellen GIS – Integrale Prüfung
- Altanlagen – Diagnose / Test

# Zuverlässigkeit GIS

Forderung IEC [1]:  $< 0.1$  Fehler / 100 Feld-Jahre

Praxis: CIGRE Umfragen [2]



**Figure 1- 9 GIS major failure frequencies for voltage classes**

MaF (Major Failure): «Failing to perform requested operation or function» (63%)  
and «Dielectric breakdown» (23%)

[1] IEC-Publication 60071-2; Insulation coordination; Part 2; Application Guide, Third edition 1996-12

[2] Final Report of the 2004 – 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment; Part 1; page 42; CIGRE October 2012

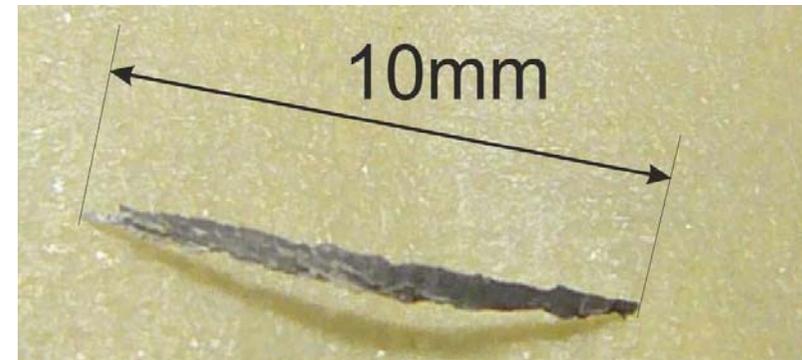
# Fehler => Ausfall im Betrieb

50% der gravierenden Fehler im Betrieb im dielektrischen Bereich wurden vor der Inbetriebnahme verursacht [3].



125 kV Spannungswandler GIS  
Sicht durch Berstscheibenöffnung

=> Erhöhte TE bei Fabrik-Abnahme  
Durchschlag nach 19 Jahren



ALU-Partikel 10mm lang  
 $U_{ex} < 35 \text{ kV}$ ,  $U_{\text{Betrieb Ph-E}} 76 \text{ kV}$   
Ort: Leistungsschalter 123 kV GIS  
(SS-Kupplung Altanlage)

=> So ausgeliefert (Fabrik)  
Detektiert & entfernt während Nachprüfung

[3] Final Report of the 2004 – 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment; Part 1; page 44; CIGRE October 2012

# Erkenntnisse aus den CIGRE Umfragen

- Die meisten Überschläge in der Anfangsphase des GIS Betriebes hätten durch effektive dielektrische Prüfungen in der Fabrik und vor Ort vermieden werden können [4]
- Vor-Ort-Prüfung: TE-Messung bei hoher Spannung [5]:

	IEC 62271-203					CIGRE
	Werk		vor Ort	TE-Messspannung		
$U_r$	$U_p$	$U_d$	$U_{ds}$	$U_{pd-test}$	$U_{pd-test}$	$U_{pd-test}$
	BIL	1 min	1 min	starr	nicht starr	alle
72.5	325	140	120	50	87	94
123	550	230	200	85	148	158
145	650	275	235	98	170	187
170	750	325	270	118	204	216
245	1050	460	380	170	294	302
420	1425	650	515	290	(504)	416

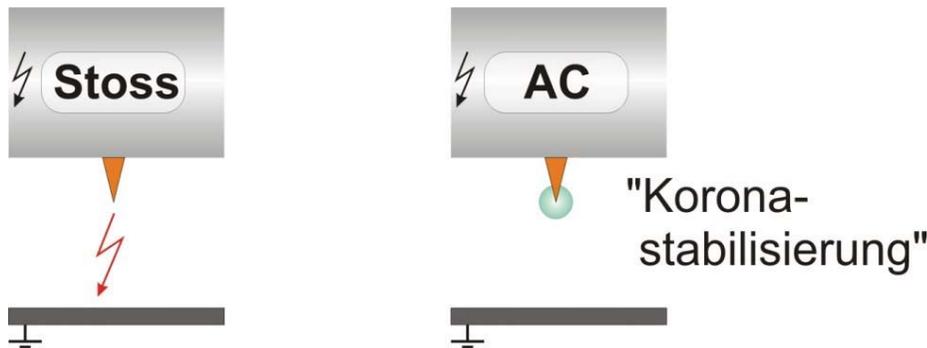
Prüfpegel für GIS (rot: Von der FKH empfohlene TE-Messspannung vor Ort)

[4] Final Report of the 2004 – 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment; Part 1; page 42 - 45; CIGRE October 2012

[5] CIGRE Joint Working Group 33/23.12; Insulation co-ordination of GIS; return of experience on site and diagnostic techniques; Electra No 176; February 1998

# Prüfmethoden vor Ort: AC / Stoss / TE-Messung

Mit AC-Test: Nicht möglich alle kritischen Defekte zu detektieren  
( z.B. Spitzen an Elektroden)



AC: Ladungswolke schirmt Spitze ab => Erhöhung der Durchschlagsspannung

Diese Defekte werden durch eine Blitzstoss-Prüfung detektiert.

- Soll die Blitzstoss-Prüfung durch eine TE-Messung ersetzt werden so muss diese eine sehr hohe Empfindlichkeit aufweisen.

**Heutige Praxis:** Stehwechselfspannungsprüfung mit begleitender UHF-TE-Messung (vereinzelt auch konventionelle TE-Messung nach IEC).

# Effektivität von Vor-Ort-Prüfungen

TABLE 3. Relative effectiveness of on-site tests on GIS defects (● : effective; Δ : less effective).

Defect	High AC	Low AC with PD	High AC with PD	LI	SI
Sharp protrusions fixed on live parts			Δ	●	
Round protrusions fixed on live parts (assembly faults)	Δ		●	●	●
Particles on spacers			Δ	●	Δ
Cracks in spacers	Δ	Δ	●	Δ	Δ
Free particles	●	●	●		Δ
Parts floating	Δ	●	●		
Left foreign bodies	●	Δ	●	●	Δ

ÉLECTRA No. 176 FEBRUARY 1998

87 CIGRE Joint Working Group 33/23.12; Insulation co-ordination of GIS; return of experience on site and diagnostic techniques; Electra No 176; February 1998

# TE-Pegel ↔ Betriebs-Gefährdung

Forderung IEC (62271-203): **< 5pC** (< 10 pC für spez. Komp.)

Kritische Partikel-Längen gemäss CIGRE [6]:

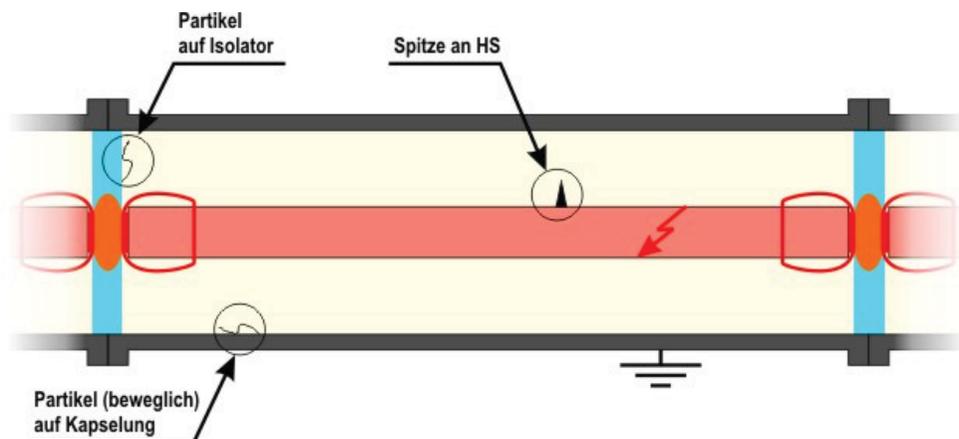


TABLE 5.

defect type (rounded tips)	critical length app. charge according to IEC 270
free metallic moving particle	2 . . . 5 mm for AC testing voltage 2 . . . 10 pC for lift-off voltage
protrusion on HV conductor	around 1 mm for LI testing voltage 1 . . . 2 pC for 0,8 AC testing voltage
particle on surface of solid insulating material	around 2 mm for LI testing voltage about 0,5 pC for 0,8 AC testing voltage

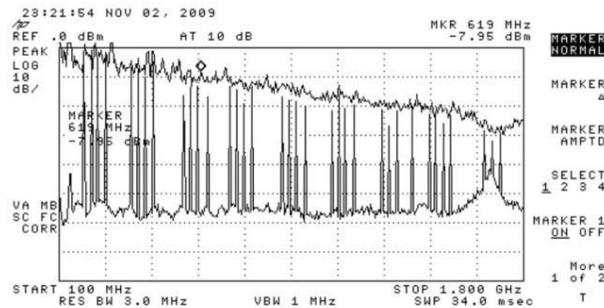
**Fazit:** Die Betriebsgefährdung eines TE-Defekts hängt vom Fehlertyp und der spezifischen Konstellation ab – NICHT vom TE-Pegel

[6] CIGRE Joint Working Group 33/23.12; Insulation co-ordination of GIS; return of experience on site and diagnostic techniques; Electra No 176; February 1998

# Beispiele aus der Praxis

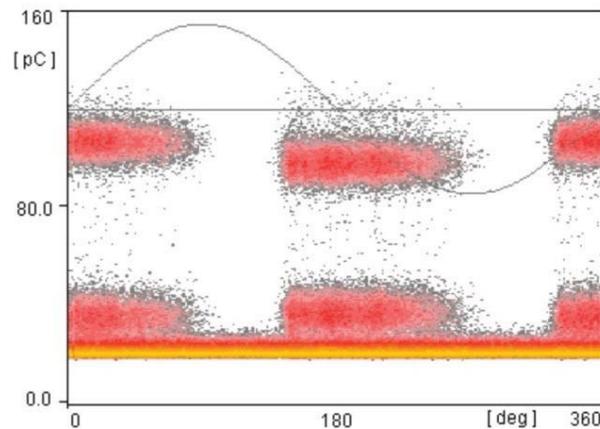
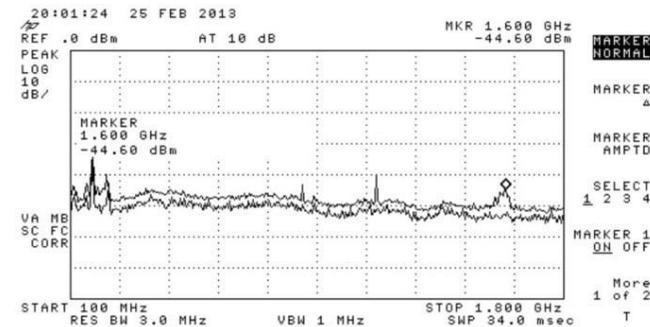
Floatendes Teil einer Antriebswelle:

- Keine akute Gefährdung
- Sehr starkes Signal
- Verhindert Messung von schwächeren Signalen

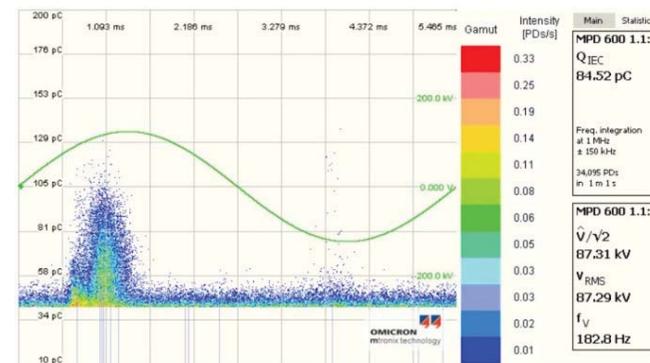


2.5 mm Partikel auf Isolator:

- Akute Gefährdung bei Transienten
- Signal nahe an der Rauschgrenze
- Sehr hohe Messempfindlichkeit notwendig

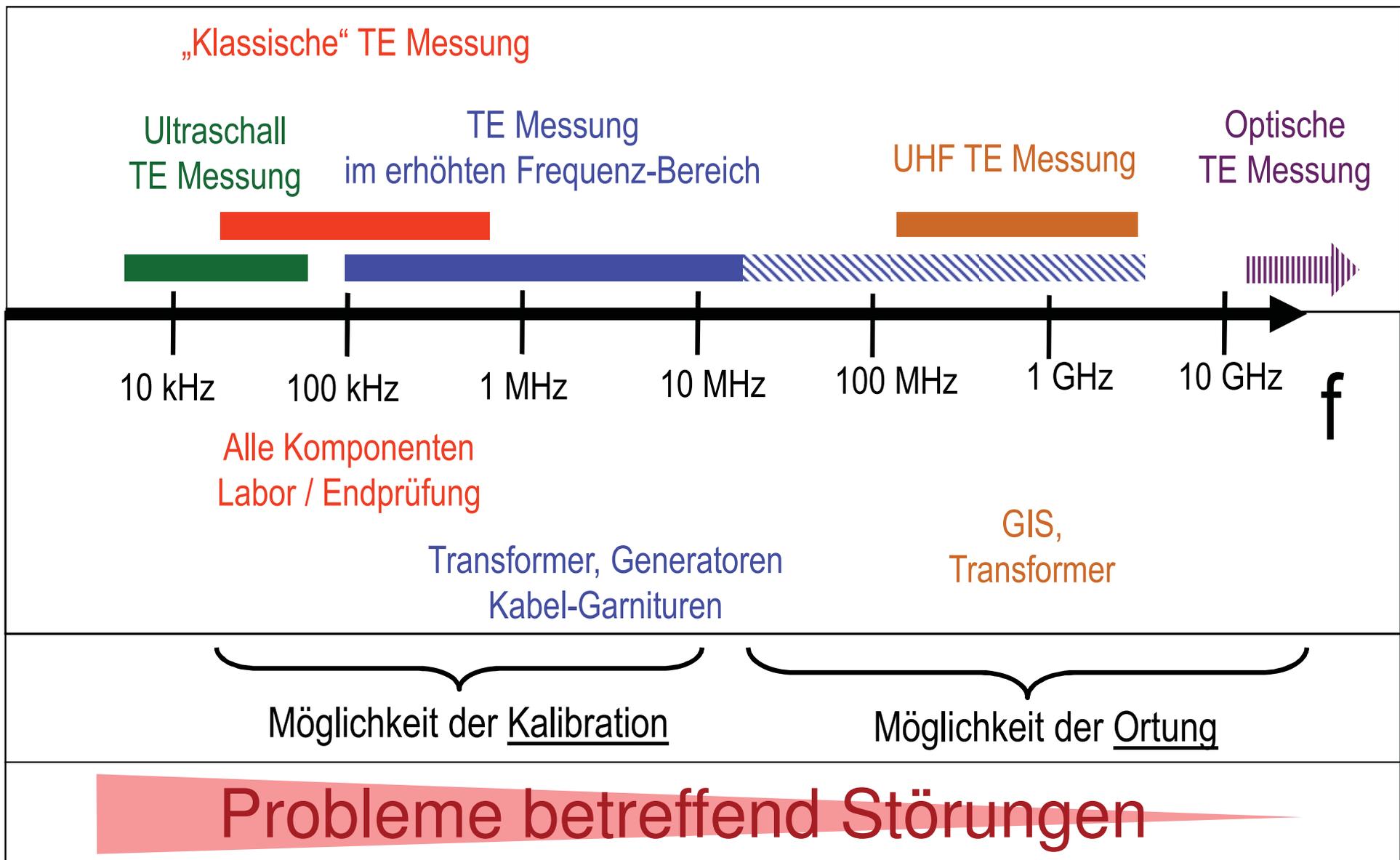


145-kV-GIS: TE-Messung bei 100 kV  
PRPDA-Auskopplung bei 641 MHz



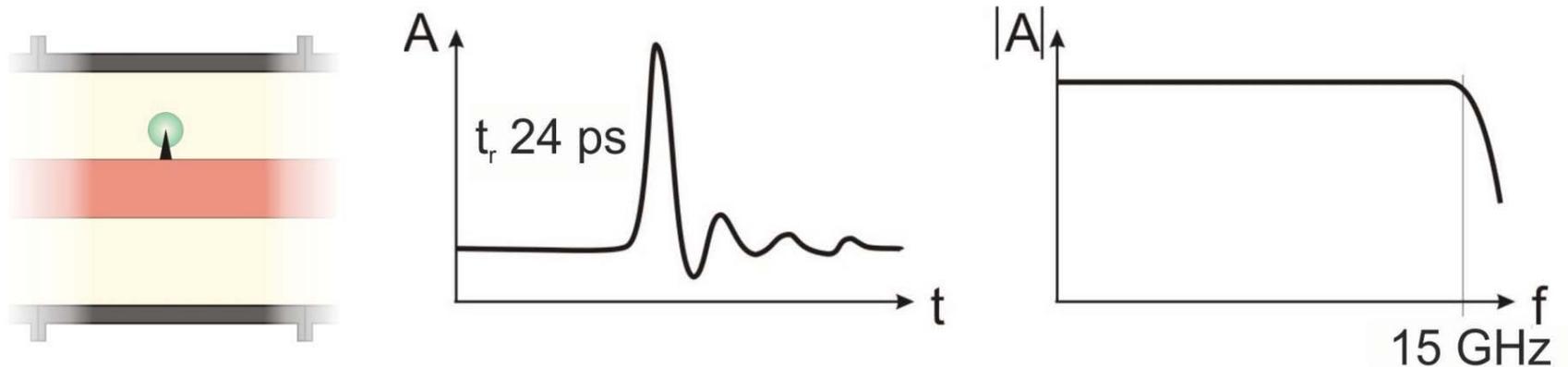
72.5-kV-GIS: TE-Messung bei 87 kV  
PRPDA-Auskopplung bei 1600 MHz

# TE-Messung: Störsignal-Situation



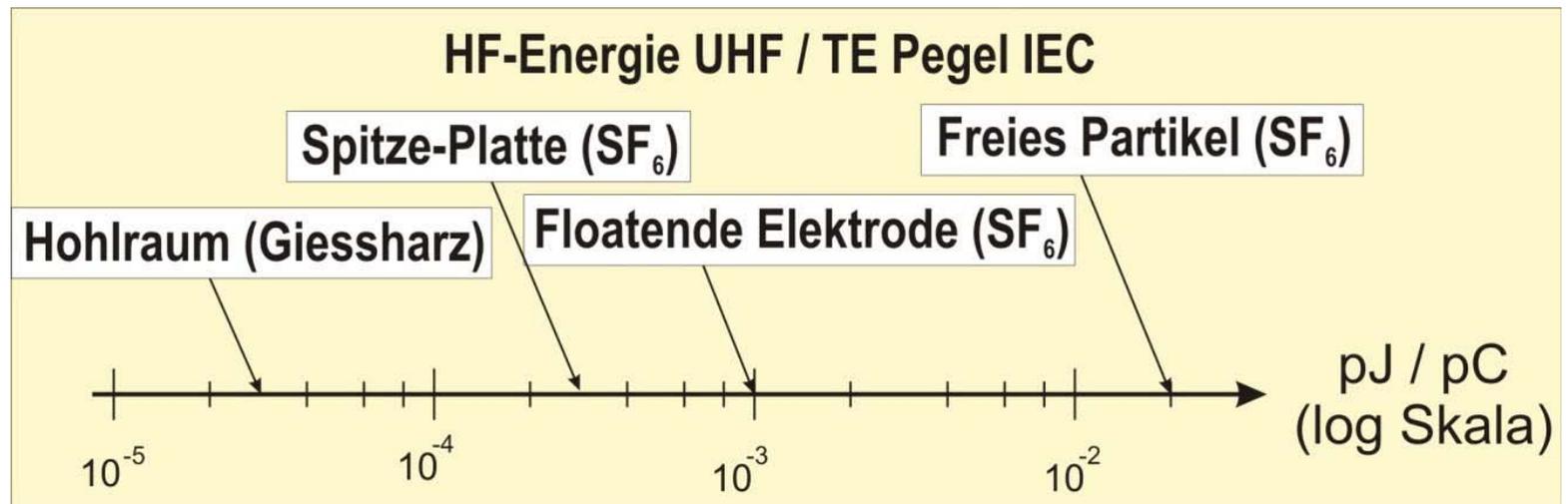
# TE-Signal-Eigenschaften in GIS

„Signal-Eigenschaften“  
Bsp: Spitze  
An Innenleiter



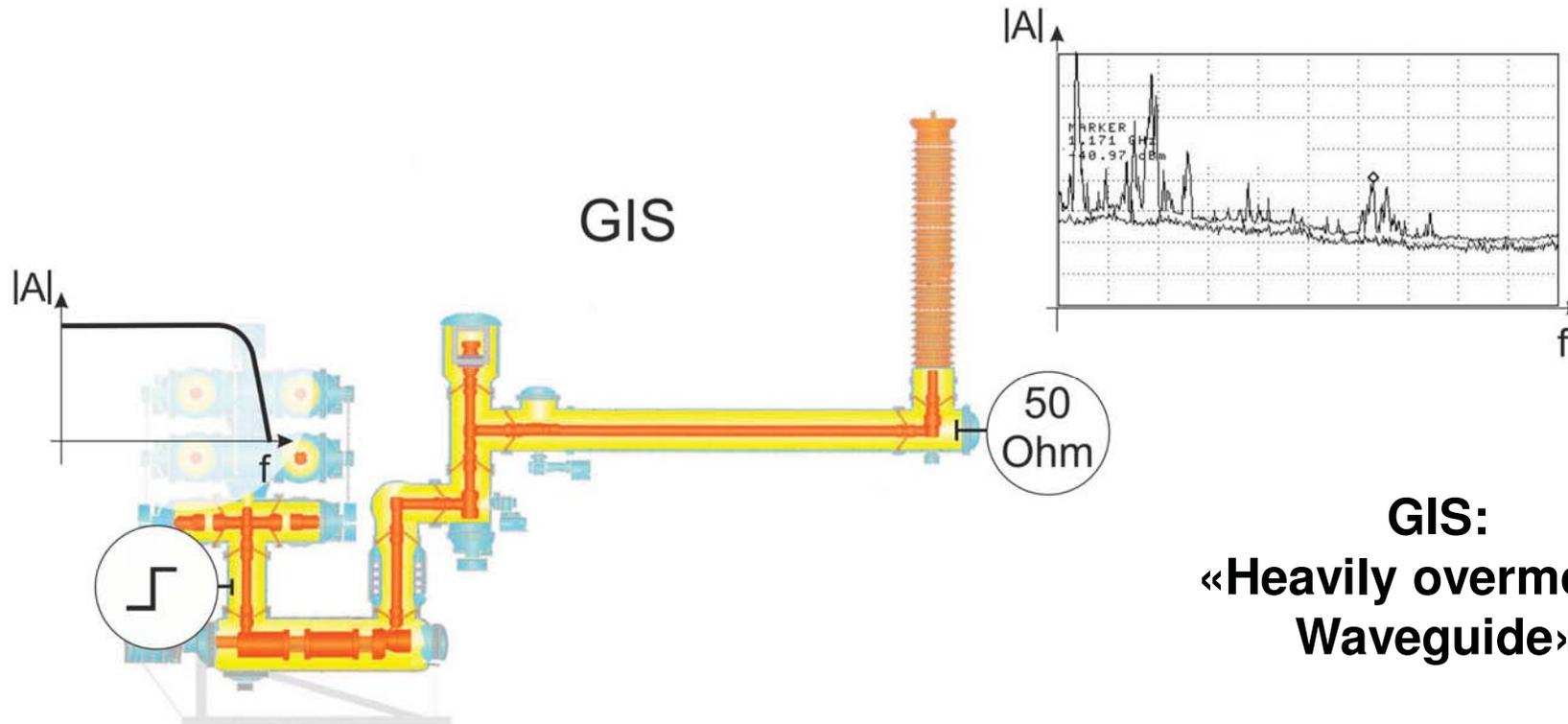
Reid A.J., Judd M.D.; Ultra-wide bandwidth measurement of partial discharge current pulses in SF<sub>6</sub>; Journal of Physics. D: Appl. Phys. 45 (2012)

„Sendeleistung“  
eines Fehlertyps  
normiert auf  
IEC-TE-Pegel [pC]



Steward B.G., Judd M.D., Reid A.J., Fouracre R.A.; Suggestions to Augment the IEC 60270 Partial Discharge Standard in Relation to Radiated Electromagnetic Energy; IEEE 2007

# Signal-Ausbreitung (I)

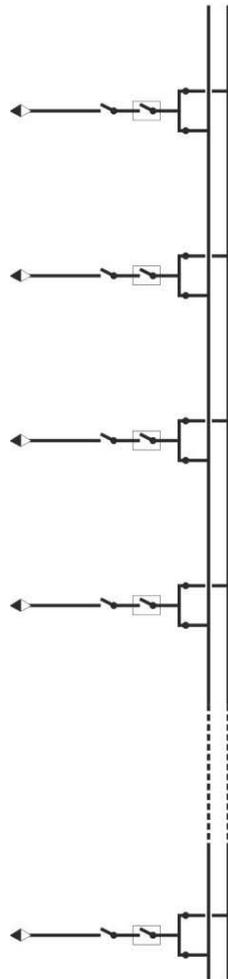


**GIS:**  
«Heavily overmoded  
Waveguide»

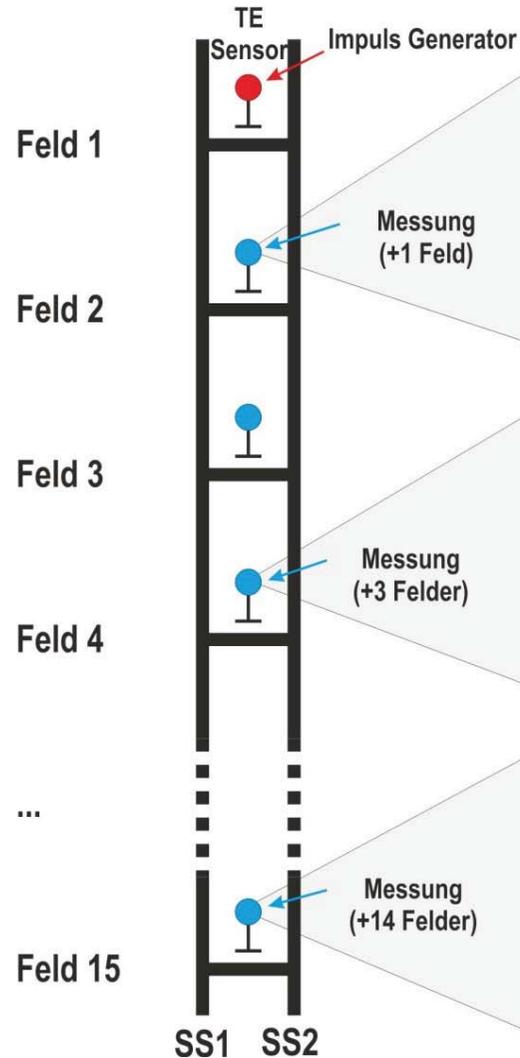
Quelle: ABB; GIS ELK 3; Publication No.: 1HC0000742 E01 / AB01

# Signal-Ausbreitung (II)

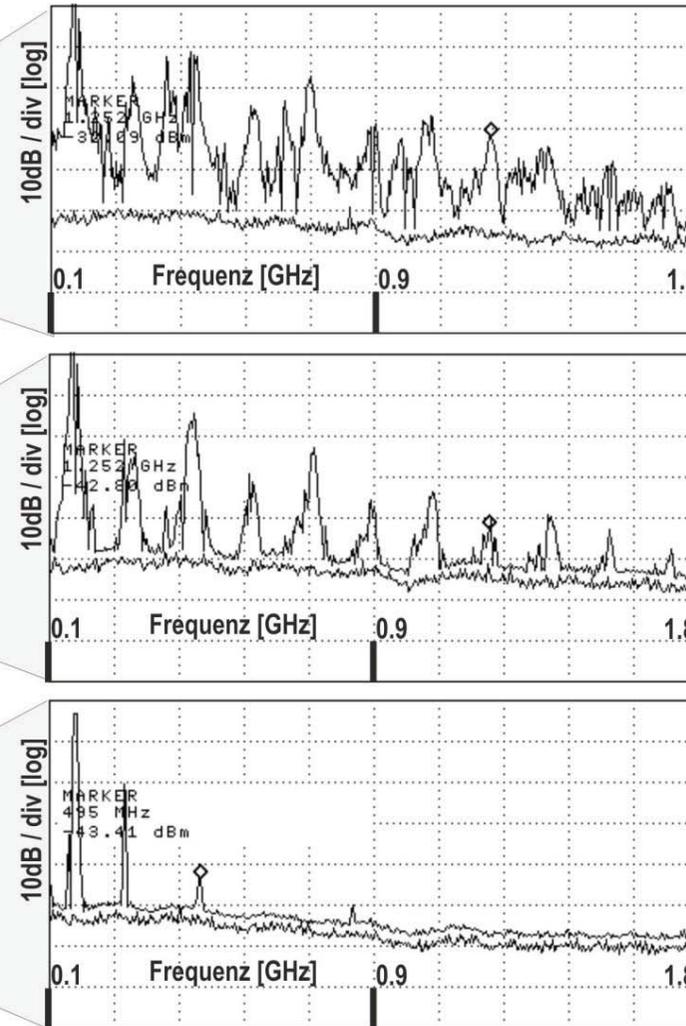
GIS Schema  
245-kV-GIS



Geometrie der SS  
Sicht von oben



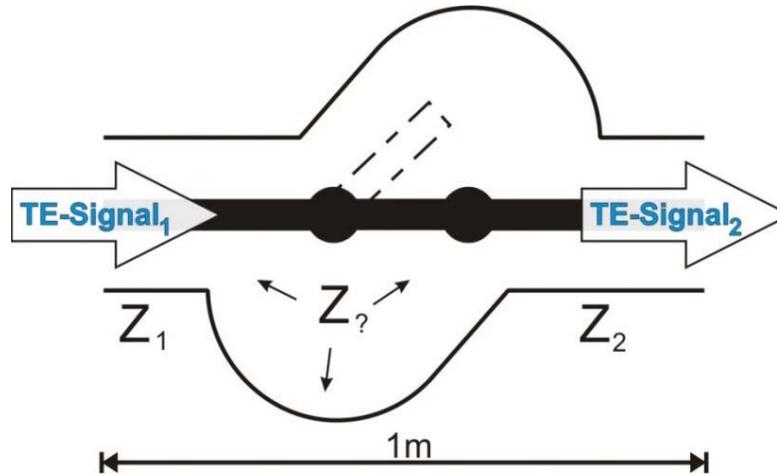
Frequenz Spektrum 0.1 - 1.8 GHz  
am UHF-TE Sensor



**Schwache  
Dämpfung  
entlang  
Sammelschiene**

# Signal-Ausbreitung (III)

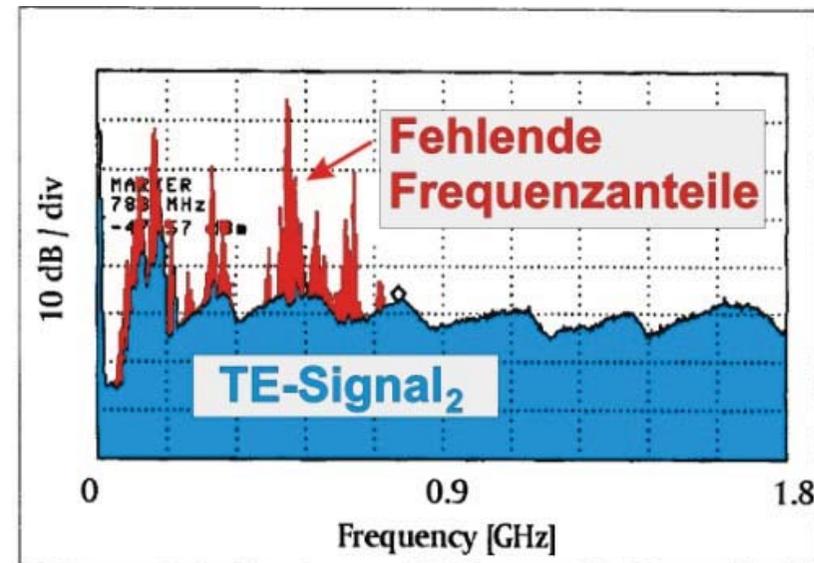
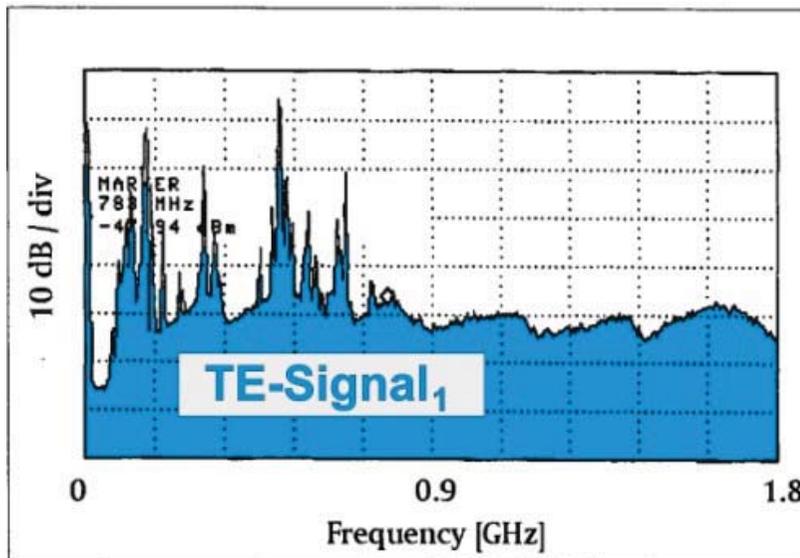
Starker Einfluss der Kapselungs-Geometrie auf das frequenz-abhängige Dämpfungs-Verhalten



Starke Dämpfung entlang eines einzelnen GIS-Bausteins

GIS-Trenner  
(Querschnitt)

Ähnlicher Effekt bei grossen Durchmesser-Änderungen

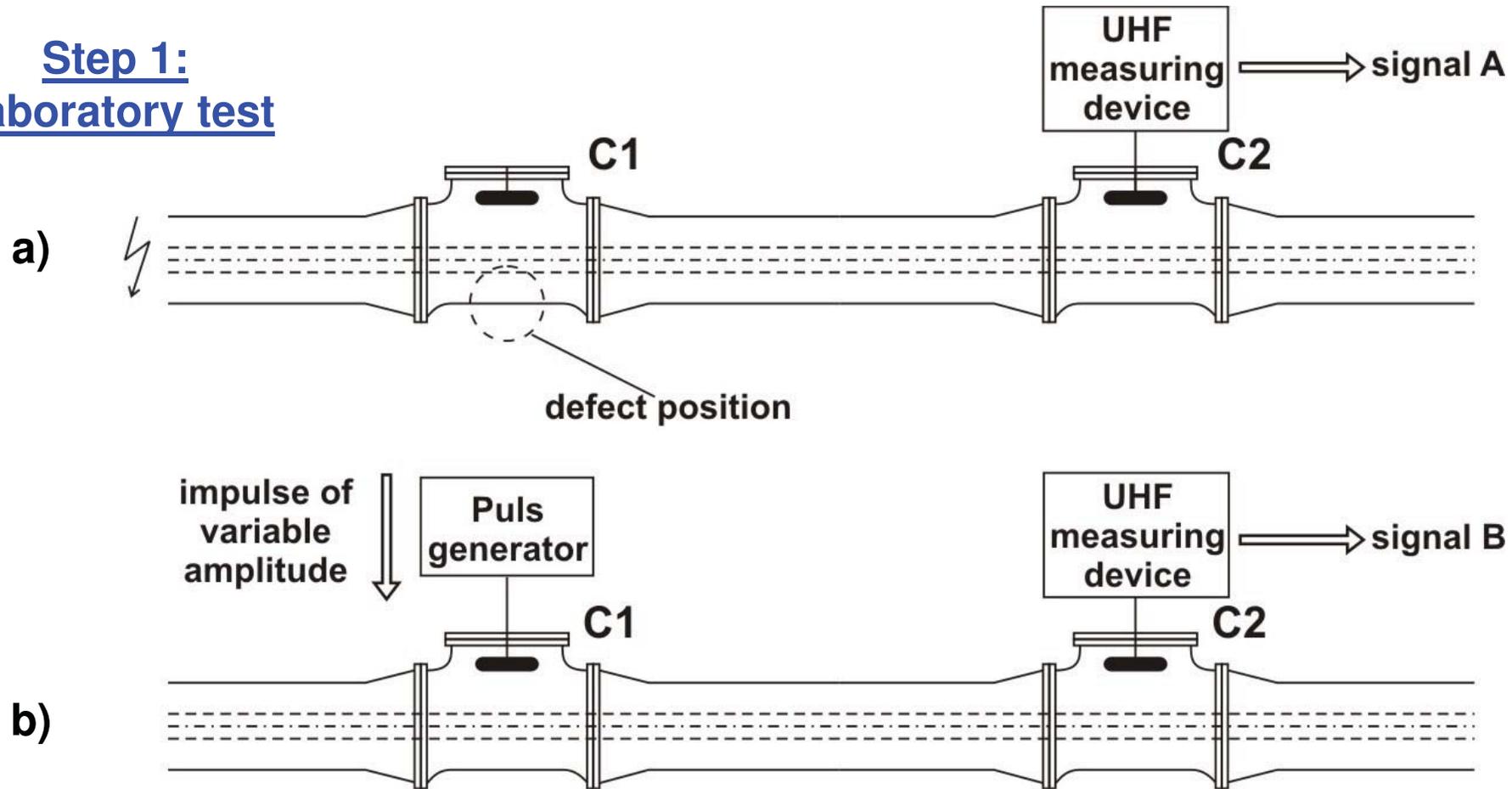


Behrmann G.J., Neuhold S., Pietsch R.; Results of UHF measurements in a 220kV GIS Substation during on-site commissioning tests; 10th ISH Montreal; August 1997

# CIGRE sensitivity check\* (I)

“PD detection system for GIS: Sensitivity verification for the UHF method ...”

## Step 1: Laboratory test

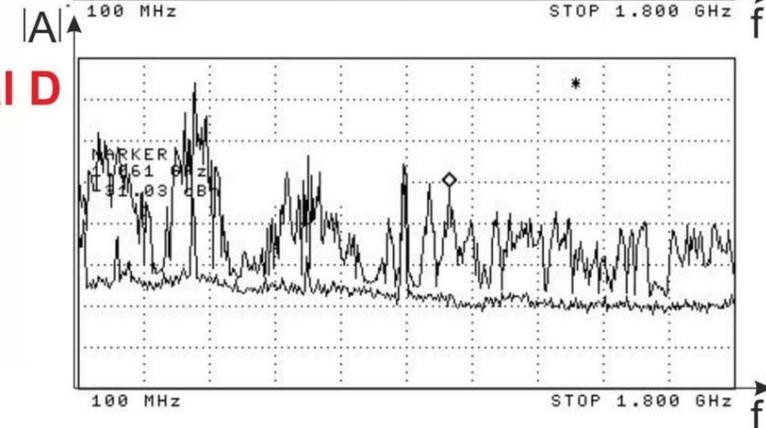
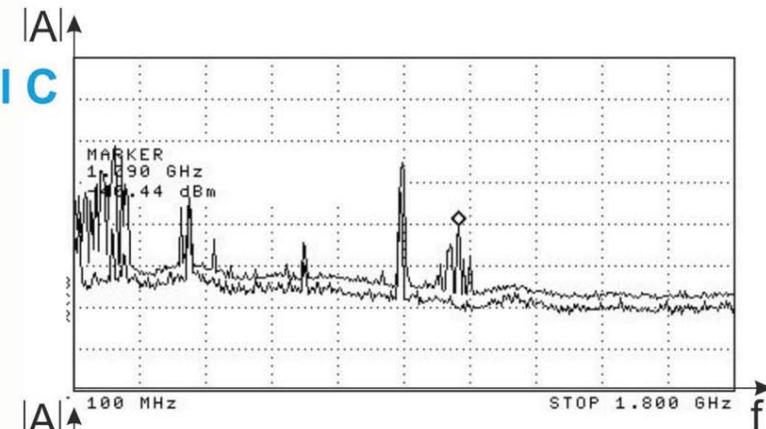
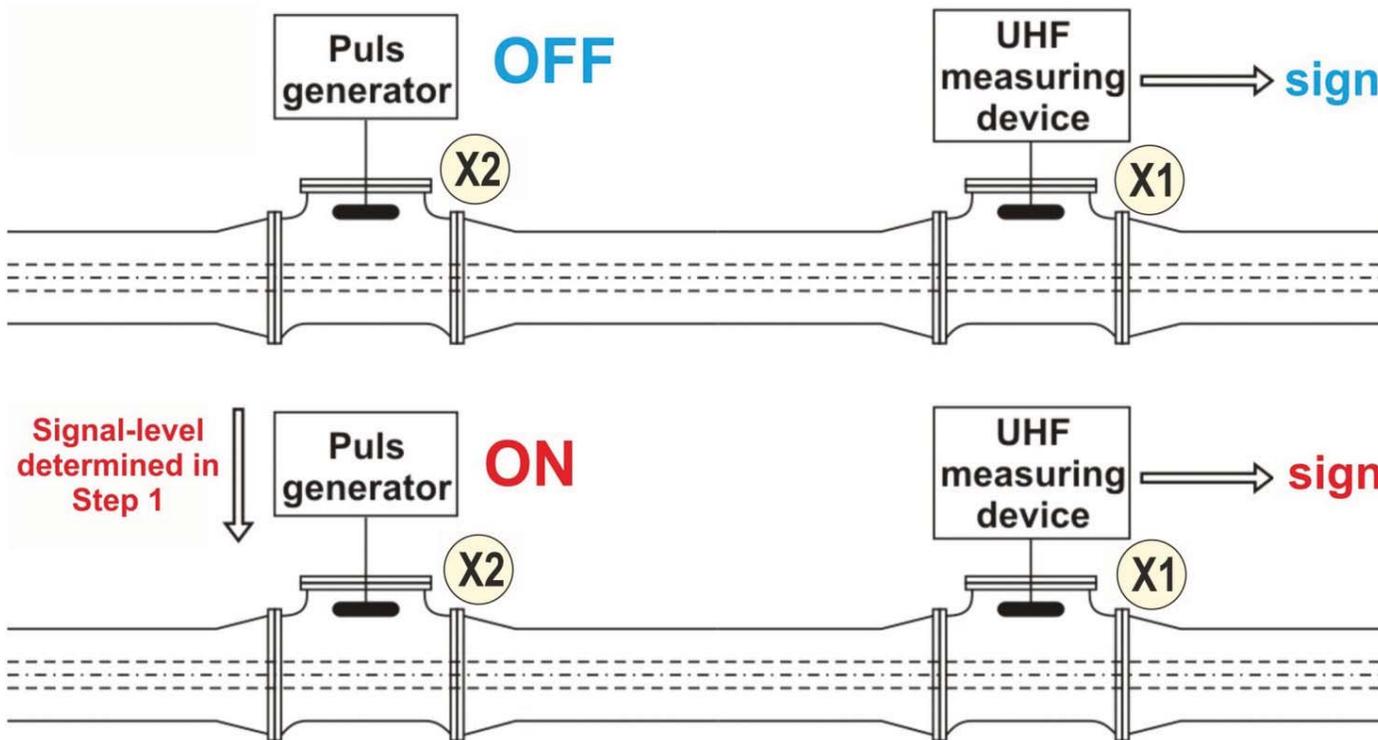
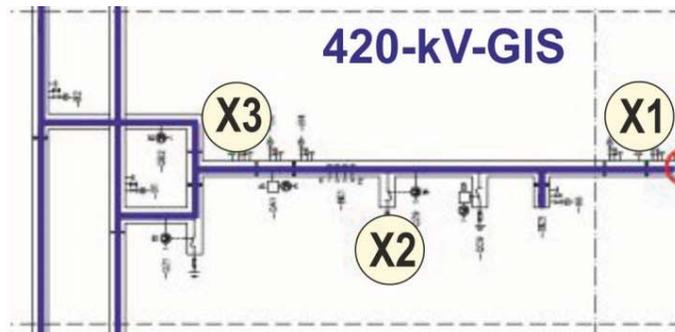


Output: Impulsgenerator-Amplitude & Bericht (Resultate nachvollziehbar, Versuch reproduzierbar)

\*CIGRE Task Force 15/33.03.05 recommendation; Electra No 183, April 1999, pp 75-87

# CIGRE sensitivity check\* (II)

Step 2:  
Check on site



# CIGRE sensitivity check\* (III)

## Zu Beachten:

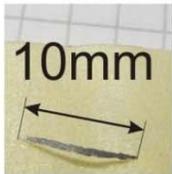
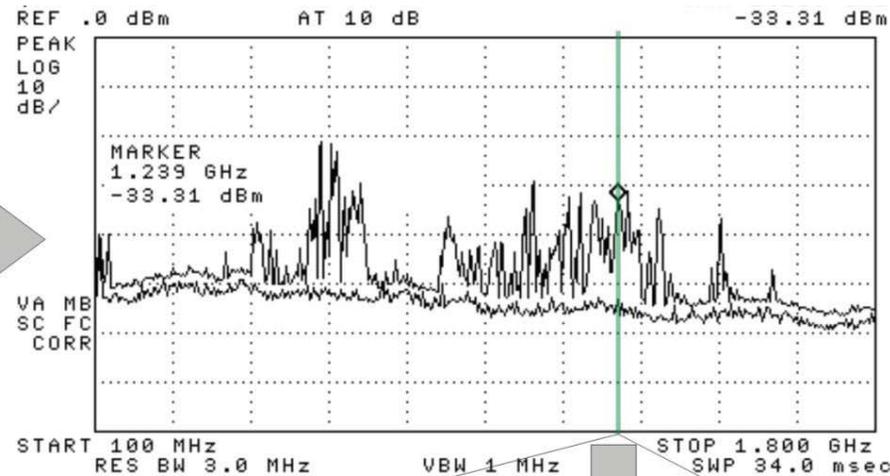
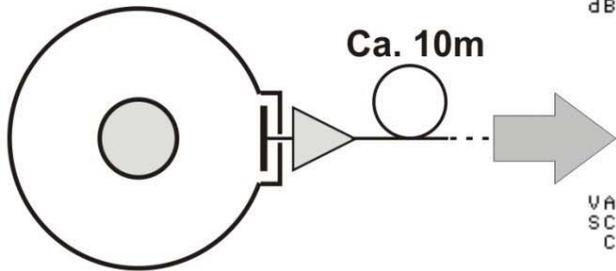
- **Die Resultate / Checks sind “Fehlertyp-Abhängig”!**
  - Je nach verwendetem Fehlertyp in Step 1:
    - ... wird sich ein anderer Pulsgenerator-Pegel ergeben
    - ... hat es einen Einfluss auf die notwendige Anzahl UHF-Sensoren
- **Aufgrund der guten Messbarkeit wird in Step 1 oft ein hüpfendes, metallisches Partikel verwendet**
  - Mit einer auf diesen Fehlertyp ausgelegten Sensor-Verteilung verlangt es bereits eine sehr hohe Messempfindlichkeit um noch ein Partikel auf Isolierstoff zu messen (z.B. Schmalband, variabel)

## Fazit:

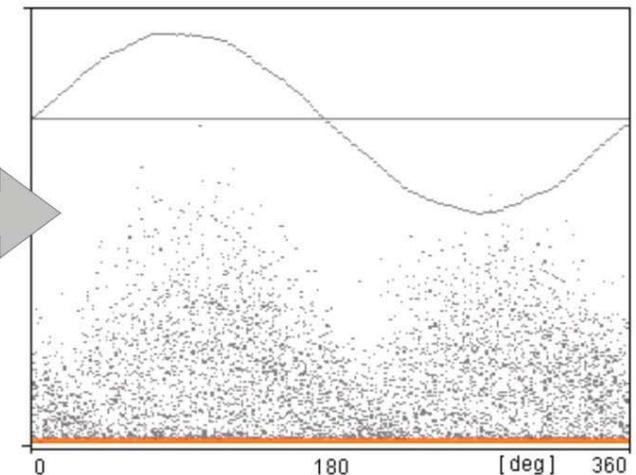
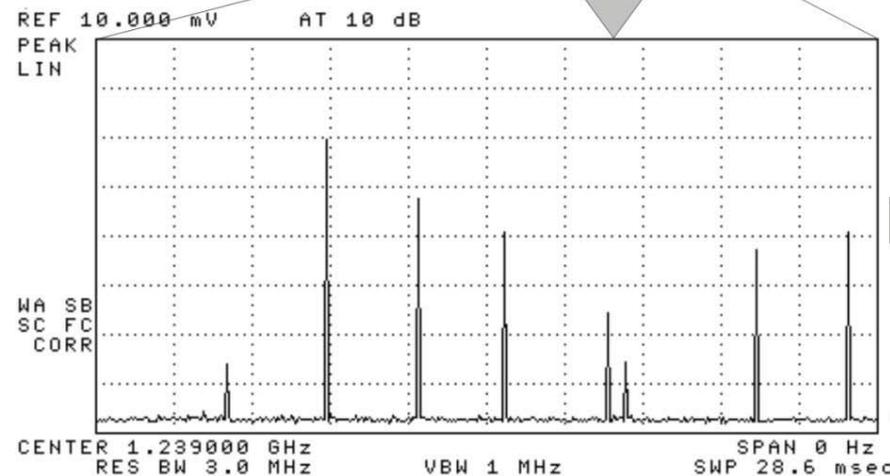
**Will man die Blitzstossprüfung vor Ort durch eine TE-Messung ersetzen ist empfohlen:**

- **die Anzahl Sensoren gemäss der heutigen Praxis zumindest NICHT zu verringern**
- **mit einer möglichst hohen Messempfindlichkeit zu messen**

# UHF-TE-Messung Schmalband (variabel)

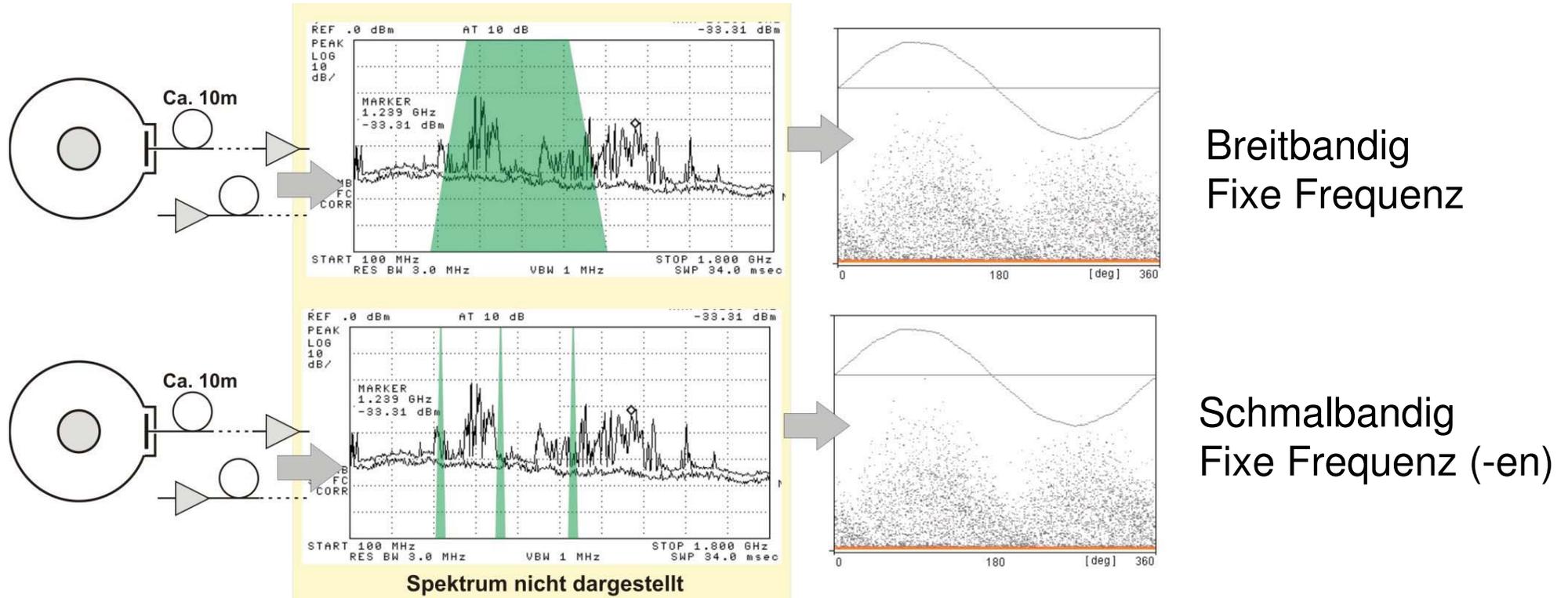


Alu-Partikel  
 $U_{ex} < 35 \text{ kV}$   
 $U_{\text{Betrieb Ph-E}} 76 \text{ kV}$   
 Messung bei 55 kV  
 Ort: Leistungsschalter von SS-Kupplung (Altanlage)



**Standardisierte Messtechnik & Signalverarbeitung => reproduzierbar (auch in 50 Jahren)**

# Weitere UHF-Messverfahren



Vorteil:

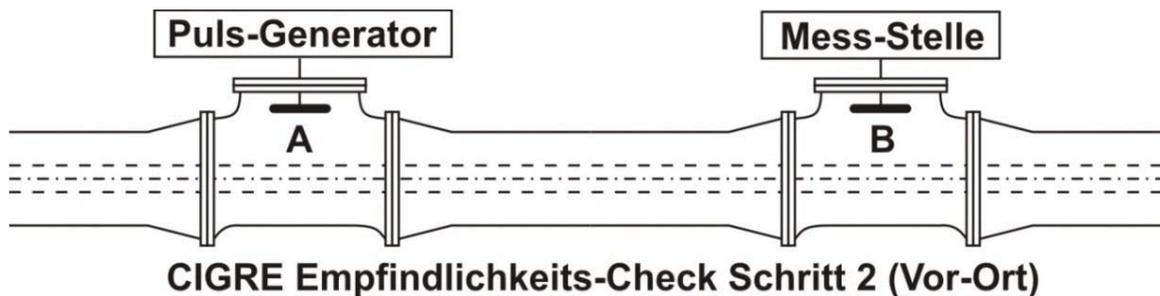
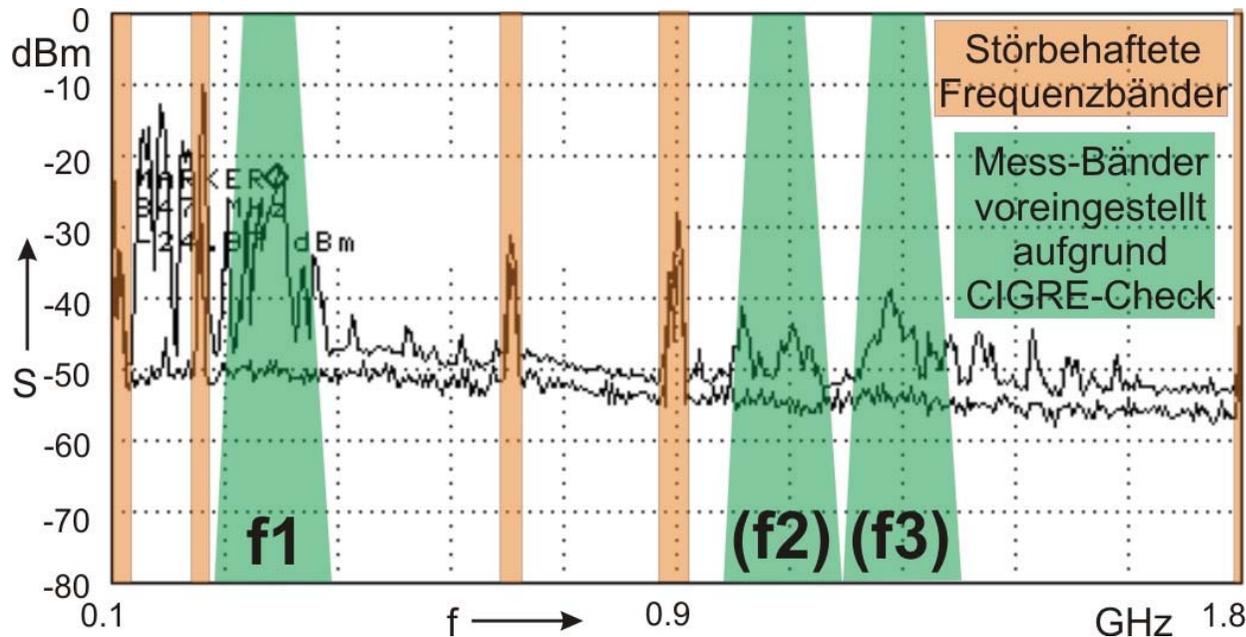
Parallele Messung von mehreren Sensoren; (=> Monitoring)

Nachteile:

- Unempfindlicher, da Störfrequenzen (EMV, Radar, Handy, etc.) nicht mehr selektiv ausgewichen werden kann
- Spezifische Informationen aus dem Spektrum nicht zugänglich (für Eingrenzung der TE)

# Neuster Ansatz: „Tuned medium band UHF Method“ [7]

Voreinstellung von z.B. 1 ... 3 Frequenzbänder mit Bandbreite von ca. 50 .. 150 MHz

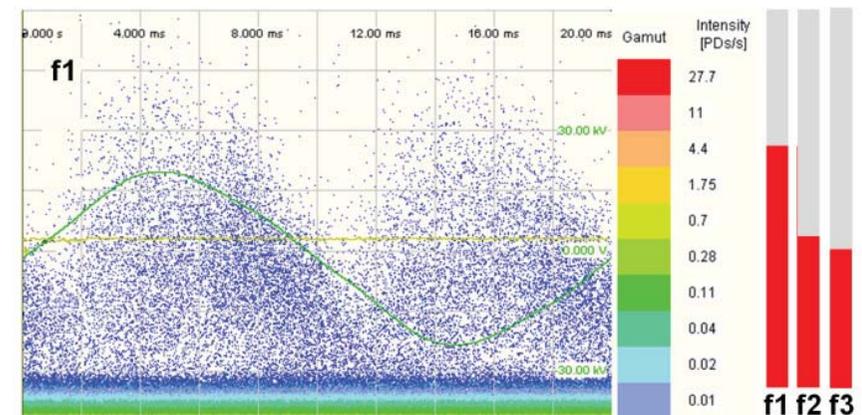


Kombination der Vorteile der Fixband-Methode:

- Zeitgleiches Messen an beliebig vielen Sensoren

& der Schmalband-Methode (variabel):

- Störungen selektiv ausweichen
- Individuelle Empfindlichkeits-Optimierung eines jeden Sensors
- Grobortung durch frequenzabhängige Dämpfung: Verwendung von z.B. 3 Frequenzbändern



[7] Hoeck S., Neuhold S.; Tuned Medium Band UHF PD Measurement Method for GIS; CIGRE 2012; Paris; 2012

# Schnittstellen - Integrale Prüfung

- **Nicht ideale Situation (nicht alle Teile der GIS geprüft):**
  - Spannungswandler werden nicht mitgeprüft ( $f < 80\text{Hz} / 50\text{Hz}$  Testset)
  - Öffnen von Gasräumen nach HS-Prüfung:
    - GIS Kabelendverschluss (konventionell); Prüfung bis Link / Trenner
    - Sammelschiene (Prüfadapter)
    - Spannungswandler (nach HS-Prüfung aufgesetzt)
- **Ideale Situation (Integrale Prüfung – alle Teile der GIS geprüft):**
  - Spannungswandler werden mitgeprüft  
( $f > 80\text{Hz}$  (RTS) bzw. spezifisch für tiefere Frequenzen ausgelegt)
  - Kein Öffnen der GIS nach der HS-Prüfung:
    - Steckbare Kabelendverschlüsse; Verwendung von Blindstopfen
    - Einspeisung HS via Freiluft-Abgang / steckbares Prüfkabel
    - Einspeisung HS via Kabel-Abgang mit Freiluft-Endverschluss ( $U_r$  erhöht)
    - Prüfung der Kabel (- Schnittstellen) im eingesteckten Zustand  
(lange Kabel / tiefe Frequenzen => Wandler auslegen / abtrennen)

# Schnittstellen - Integrale Prüfung (II)

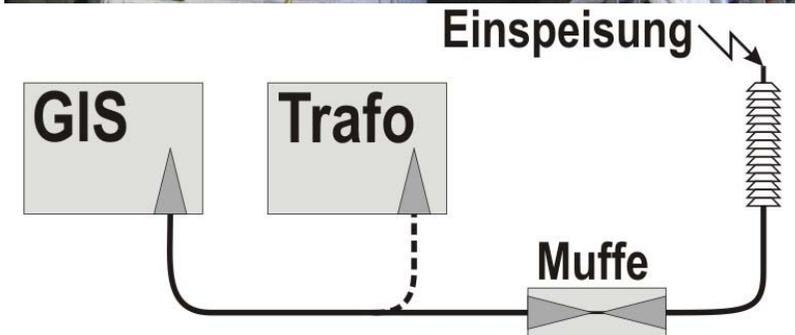
## Beispiele



Vorhandener Freiluftabgang

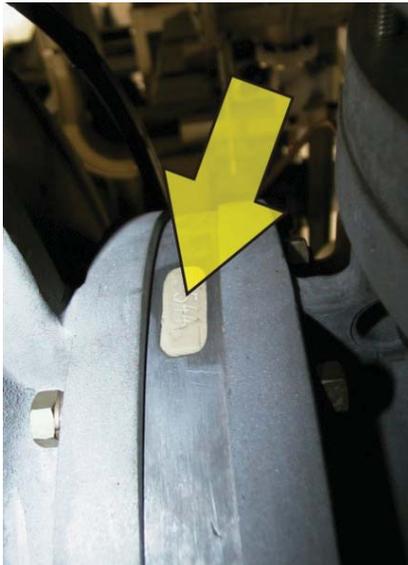


Prüfadapter (Kabelstecker)



Kabelprüfung via Prüfmuffe (Kabelstecker)

# TE-Messungen von Altanlagen



## Anlass:

- Fehler im Betrieb aufgetreten => Check der ganzen Anlage
- Qualitätsproblem nachträglich bekannt geworden
- Verlängerung des geplanten Betriebes einer Altanlage  
=> Bestimmung des Isolationszustandes
- Anbau weiterer Felder – (Mit-) Überprüfung alte Sammelschiene

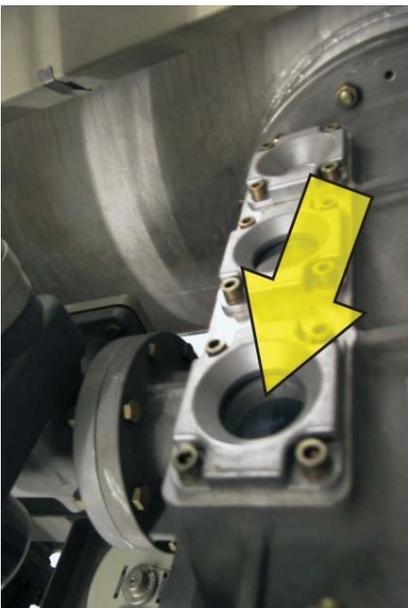
## Durchführung:

- Ideale Voraussetzung: UHF-TE-Sensoren sind eingebaut
- Je nach Anlagen-Design: Externe UHF-Sensoren verwendbar

## Empfindlichkeit externer Sensoren:

- Für spezifische Konfigurationen: Vergleichbare Empfindlichkeiten erreichbar; es sind jedoch mehr Messstellen erforderlich

**Empfehlung:** Konsequenter Einbau von genügend UHF-Sensoren



# HS-Tests von Altanlagen

## **Anlass:**

Fehler im Betrieb aufgetreten

## **Empfehlung CIGRE [8]:**

„The majority of respondents ... That the voltage test procedure performed after a major failure repair is the same as at commissioning“

## **Anlass:**

Anbau weiterer Felder – (Mit-) Überprüfung alte Sammelschiene

## **Praxis:**

Gleiche Prüfspannung (wie neuer GIS-Teil)

[8] Final Report of the 2004 – 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment; Part 1; page 47; CIGRE October 2012

# Zusammenfassung

Um die Verfügbarkeit von GIS hoch zu halten und die Forderung der Verbesserung der Prüfqualität der CIGRE umzusetzen wird empfohlen:

- Hochempfindliche TE-Messungen bei hohen Wechselspannungs-Pegeln durchzuführen
- Die Betriebsgefährdung von TE-Resultaten aufgrund von Fehlertypen und konkreten Situationen und nicht aufgrund von TE-Pegeln zu beurteilen
- Der Einbau von genügend UHF-TE-Sensoren:
  - Hohe Messempfindlichkeit trotz externen Störungen
  - Nachmessungen im Betrieb / bei Erweiterungen möglich
  - Schnelle Ortung
- Integrale Prüfung:
  - Kein nachträgliches Öffnen der GIS
  - Schnittstellen werden geprüft

# Ausblick

- Trend zur Integralen Prüfung:
  - Viele der kürzlich geprüften Anlagen wurden „integral“ geprüft
  - Einspeisung für GIS-Prüfung wenn nur Kabel-Abgänge vorhanden:  
Via Freiluft-Endverschlüsse der Trafokabel (Wahl der entsprechenden Spannungsklasse für den Freiluft-Endverschluss)
- Trend zur Nachmessung von Altanlagen:
  - Im Betrieb
  - Nachprüfung bei Erweiterung
- Trend zur TE-Messung bei immer tieferen Spannungsebenen
  - Aktuell: UHF Messung bei 50 KV / konventionelle Messung bei 24 kV
  - Dies zeigt, dass die Möglichkeit zusätzliche Fehler zu eliminieren sowie der Gewinn an Informationen über die dielektrische Integrität weit höher eingeschätzt werden als die geringen Mehrkosten einer TE-Messung





# Zuverlässigkeit GIS (II)

## Praxis: CIGRE Umfragen [4]

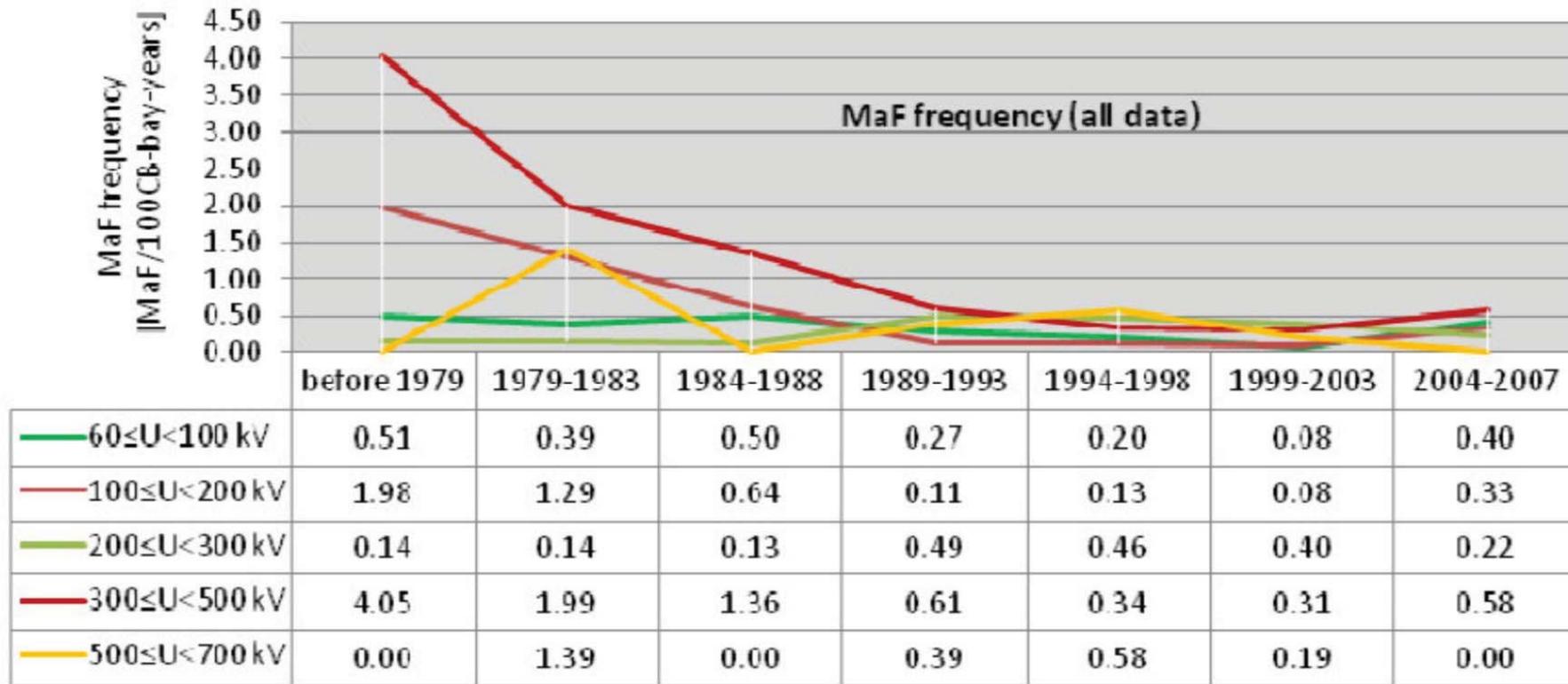


Figure 1- 13 GIS major failure frequencies for manufacturing year intervals and voltage classes

[4] Final Report of the 2004 – 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment; Part 1; page 42/43; CIGRE October 2012

# Erkenntnisse aus den CIGRE Umfragen II

1 Einfluss der Empfehlungen der CIGRE JWG 33/23.12 (Electra No. 176, Februar 1998; Seite 87<sup>[5]</sup>)

Rated voltage GIS $U_r$ [kV]	Spannungsprüfung vor Ort (1 Minute)					TE-Messung					Ausfallrate Pro 100 Feld-Jahren
	IEC 62-271-203			CIGRE JWG 33/23.12		IEC 62-271-203		CIGRE JWG 33/23.12			
	$U_p$ BIL (Werk)	Werksprüf- ung $U_d$	$U_{ds}$ Vor Ort (ca. 80% $U_d$ )	Empfehl- ung vor Ort:	$\Delta$	Starr geerdet	Nicht starr geerdet		$\Delta$ starr geerdet	$\Delta$ nicht starr geerdet	
72.5	325	140	120	117	-2.5%	50	87	94	+88.0%	+8.0%	
100	450	185	165	162	-1.8%	69	120	130	+88.4%	+8.3%	
123	550	230	200	198	-1.0%	85	148	158	+85.9%	+6.8%	0.26
145	650	275	235	234	-0.4%	98	170	187	+90.8%	+10.0%	
170	750	325	270	270	0.0%	118	204	216	+83.1%	+5.9%	
245	1050	460	380	378	-0.5%	170	294	302	+77.6%	+2.7%	0.67
300	1050	460	380								
362	1175	520	425								
420	1425	650	515	520	+1.0%	290	504	416	+43.4%	-17.5%	1.8
550	1550	710	560								3.9
800	2100	960	760								

- Die GIS ist auch für eine TE-Messspannung vor Ort bei nicht starr geerdetem Netz dimensioniert (um Faktor 1.73 höherer Pegel als bei starr geerdetem Netz)
- Der Erfahrungsbericht der CIGRE Joint Working Group JWG 33/23.12 zeigt klar auf, dass wenn die deutlich erhöhten Fehlerraten der oberen Spannungsebenen verringert werden sollen, die TE-Messspannung vor Ort erhöht werden soll um auch Fehler zu detektieren, die sonst nur mit der Blitzstossprüfung vor Ort noch detektiert werden können.
- CIGRE Empfehlung für Vor Ort AC-Prüfungen mit TE-Messung:
  - 1 Minuten Prüfspannung: "An rms value  $U_t$  equal to the highest value of the pair  $0.36 \times \text{LIWL}$  and  $0.8 \times \text{ACWL}$ , shall be applied for 1 minute"
  - "After this test, PD measurements at  $0.8 \times U_t$  shall be taken and the highest permissible PD intensity shall be about 5 pC or equivalent"
  - "If the noise level does not allow the desired PD sensitivity to be reached, the alternative is an additional LI test at  $0.8 \times \text{LIWL}$  with time to peak  $T_p < 15 \mu\text{s}$ "

**Fazit: Es macht Sinn die TE-Messspannungen auf den von der CIGRE empfohlenen Wert anzuheben oder zumindest auf den Wert für „nicht starr geerdete Anlagen“ gemäss der IEC 62-271-2003.**

[5] CIGRE Joint Working Group 33/23.12; Insulation co-ordination of GIS; return of experience on site and diagnostic techniques; Electra No 176; February 1998

# Prüfmethoden – IEC 62271-203 (2003)

- **Alle Teile einer Anlage sollen geprüft werden**  
(Komponenten, Transporteinheiten, ganze Anlage)
- **Werk:**
  - Stehwechselfeldspannungsprüfung (AC, 1min.) gefolgt von TE-Messung  
(keine Angabe über Dauer der Beanspruchung)
  - Anforderung: TE <5pC  
(je nach Norm <10pC für einzelne Komponenten)
- **Vor Ort:**
  - Jeder neu installierte Teil einer GIS soll geprüft werden
  - Prozedur **A** (empfohlen für  $\leq 170$  kV): Nur AC-Prüfung
  - Prozedur **B** (empfohlen für  $\geq 245$  kV): AC-Prüfung & TE-Messung
  - Prozedur **C** (Alternative zu B): AC-Prüfung & Stossspannungsprüfung

# Teilentladung: Bedeutung (II)

## Ausfallraten von GIS

TABLE 1. Cumulative bay.years of GIS included in the survey, number of dielectric failures and dielectric failures per 100.bay.years.

Voltage levels	bay.years	Number of dielectric failures	Dielectric failures per 100.bay.years
125-145 kV	9334	24	0.26
245 kV	6133	41	0.67
420 kV	3351	61	1.8
550 kV	1109	43	3.9
all voltages	17734	165	0.9

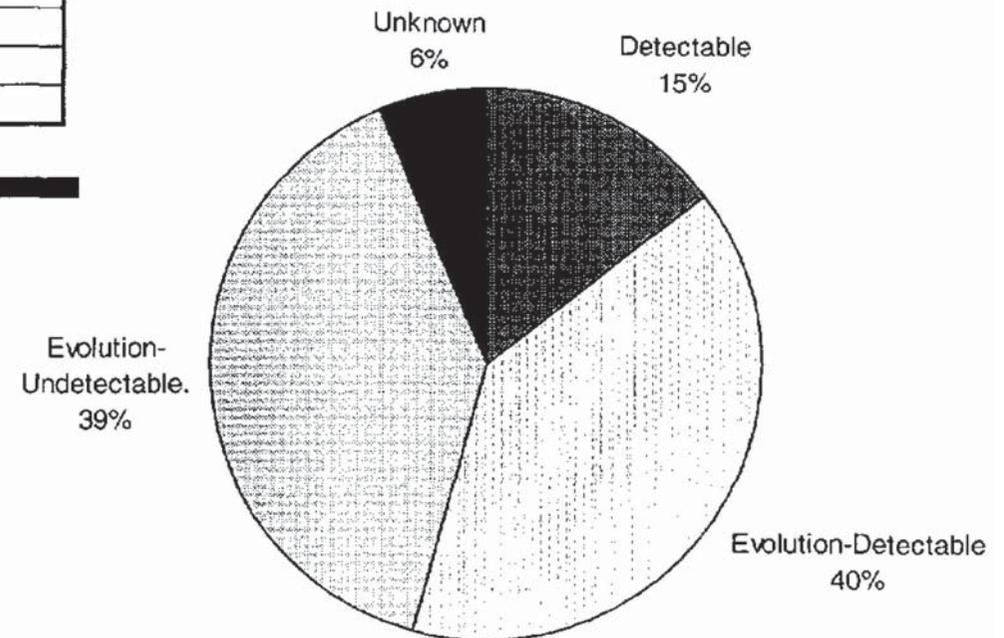
ÉLECTRA No. 176 FEBRUARY 1998

73

**Ziel: 0.1 %**

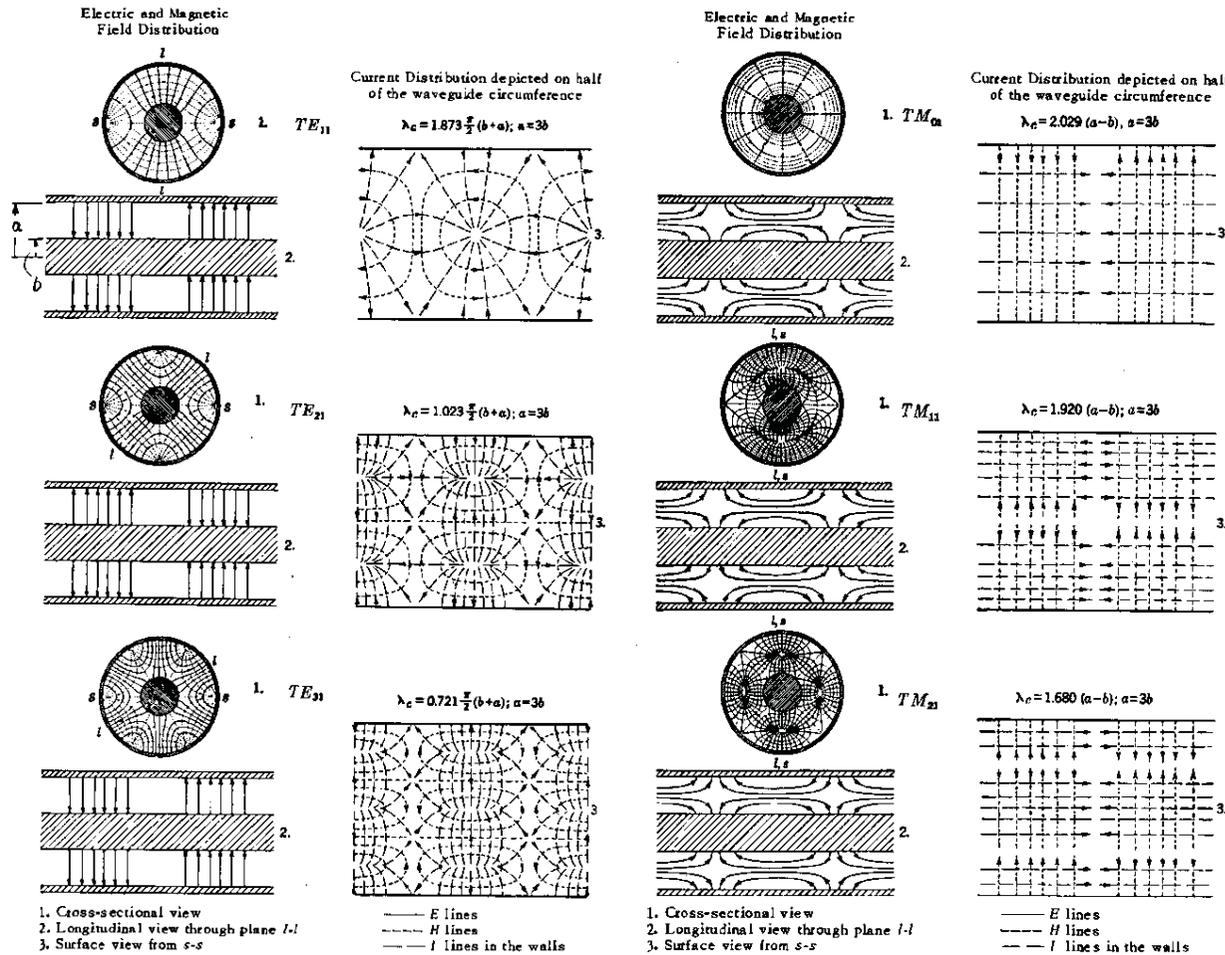
[IEC-Publication 60071-2; Insulation coordination; Part 2; Application Guide, Third edition 1996-12]

(on-line) Messbarkeit mit TE-Messung



[Electra No 176; Februar 1998]

# Wellenausbreitung in GIS (II)



Höhere Ausbreitungsmoden in Koaxialleitungen

## Wellen höherer Moden:

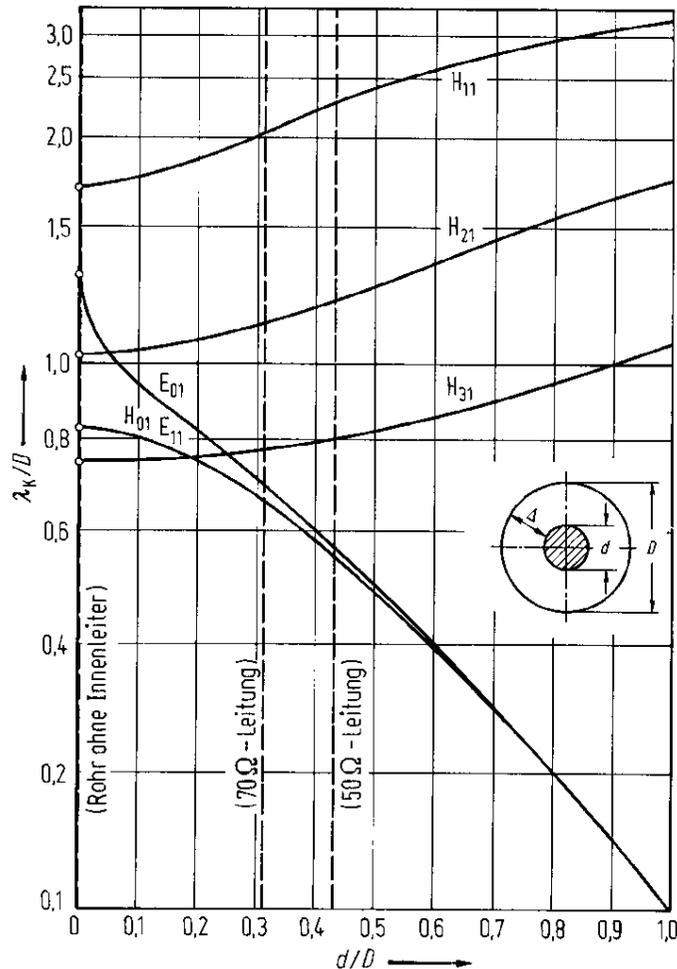
- Kompliziertes Reflexions- & Dämpfungsverhalten
- Zusätzliche Komplizierung des Übertragungsverhalten durch zahlreiche Diskontinuitäten (Abzweigungen, Krümmungen, Isolatoren, Exzentrizitäten, etc.)

Entlang des Umfangs entsteht eine Abhängigkeit der el. & magn. Feldstärke => Einbaulage des Sensors entlang Umfang nicht ohne Einfluss auf Empfindlichkeit

GIS: „Heavily overmoded waveguide“

Reich, H. J., Ordnung, P. F., Krauss, H. L., Skalnik, J. G.: Microwave Theorie and Techniques, New York, 1953

# Wellenausbreitung in GIS (I)



## Hohlleiterwellen:

Tiefste Grenzfrequenz: H11-Welle (TE-Welle)

Für Leitungswellenimpedanz  $Z = 50 \text{ Ohm}$ :  
Bereits bei  $\lambda/D \approx 2.3$  ist Ausbreitung im H11-Mode möglich

Bsp: Für  $D = 30 \text{ cm}$

Ausbreitung H11 für  $\lambda \leq 69 \text{ cm}$  ( $f \geq 435 \text{ MHz}$ )

**Grenzwellenlängen  $\lambda$  der Koaxialleitung für Hohlleiterwellen  
(Wellenlängen, bei denen Ausbreitung stattfinden kann)**

Lange, Löcherer (Hrsg.): Meinke, Grundlach, Taschenbuch der Hochfrequenztechnik, Berlin 1992, 5. überarb. Aufl. (Abschnitt K 4.9, Bild 52)



ETG-Fachtagung, 25. September 2013, Dr. Martin Kriegel

# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

Der Schalter als Motor der Entwicklung neuer Schaltanlagentechnologien

# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Was ist der Motor der Entwicklung?



- Kundenbedürfnissen
  - Energiebedarf
  - Umweltaspekte



- Technologische Entwicklung
  - Neue Technologie
  - Lösungen

# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen Geschichte

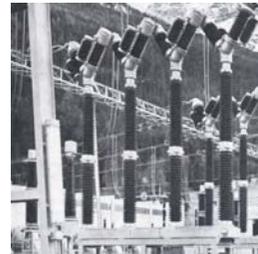


550 kV



Luft 10 Kammern

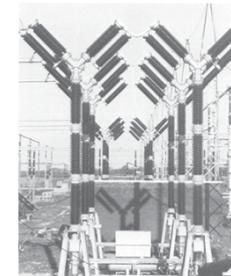
420 kV



Öl 8 Kammern



Luft 4 Kammern

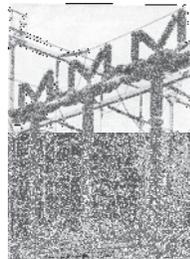


SF6 4 Kammern

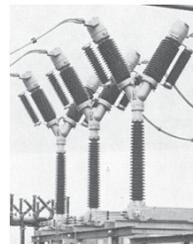


SF6 2 Kammern

245 kV



Luft 6 Kammern



Öl 2 Kammern



SF6 1 Kammer



SF6 2 Kammern

145 kV

1950

1960

1970

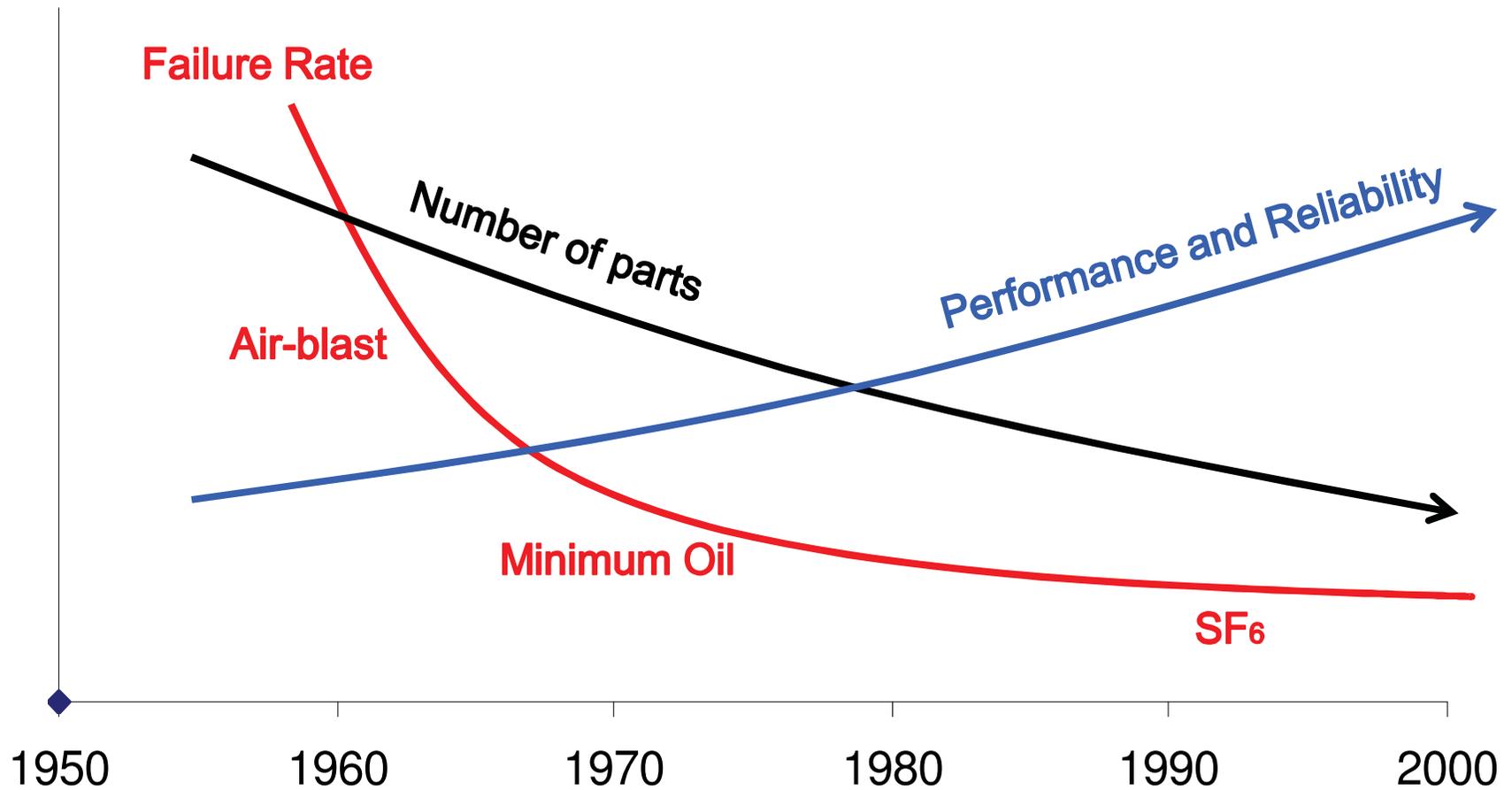
1980

1990

2000

Markteinführung

# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen Geschichte



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Beispiele

- Umweltauforderungen
  - SF6 Volumen
  - Leckage, SF6-Rycling
  - CO2
- Kompaktheit
  - Integrierte Funktionen (DCB, FOCS)
  - keine Kondensatoren (SLF, Steuerung)
  - Transport, Fabrikprüfung
  - Geringe Komplexität
  - Modulares Design (PASS)
  - Antrieb
  - Zuverlässigkeit



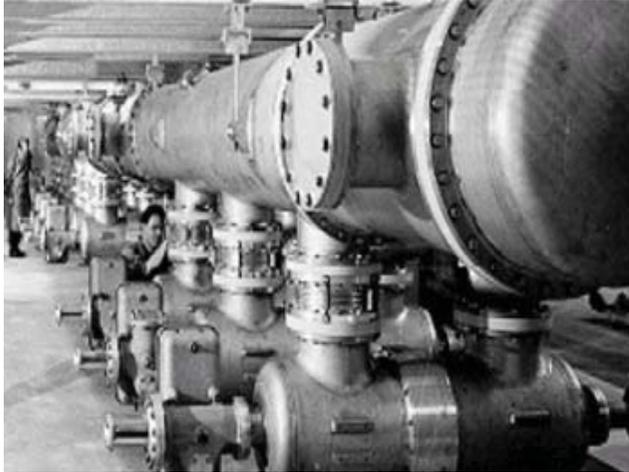
# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Beispiel: Material



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

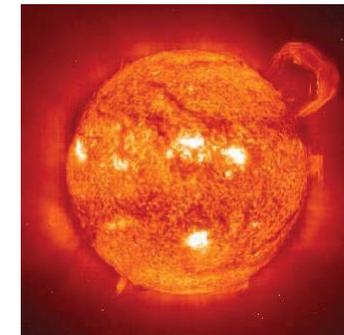
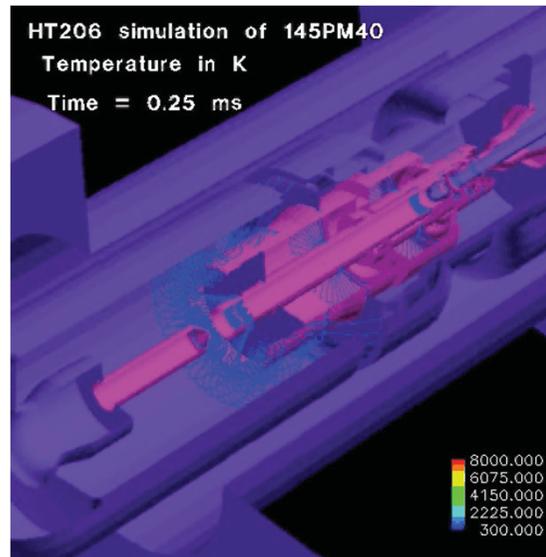
## Der Schalter ermöglicht eine kompakte Bauform



- Anforderungen an den Schalter
  - Geringe Feldgrösse
  - Reduktion SF6 Volumen
  - Geringe Reaktionskräfte
  - Geringe Antriebsenergie
  - Keine Kondensatoren
  - IEC 62271-100 (M2, E2, C2)
- Ermöglicht durch
  - 1. Schaltleistung -> besser
  - 2. Antriebsenergie -> geringer
  - 3. Feldgrösse -> kleiner

# Entwicklung neuer Schalter Herausforderungen

- Materialeigenschaften
  - Mechanische
  - Thermische
  - Dielektrische
- Schalterphysik

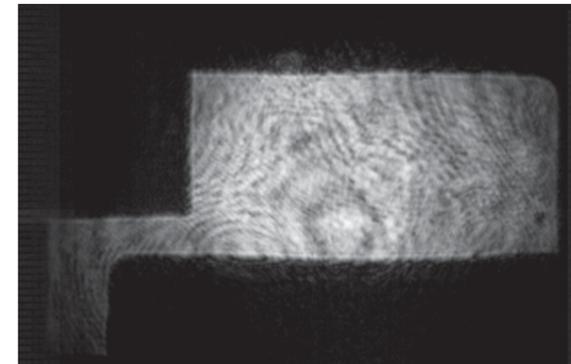
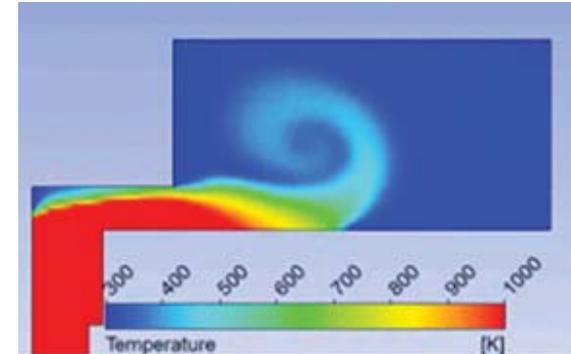
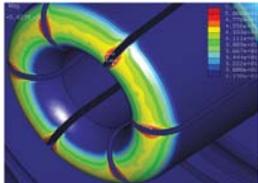


# Verbesserung der Schaltleistung

## Versuch und Simulation

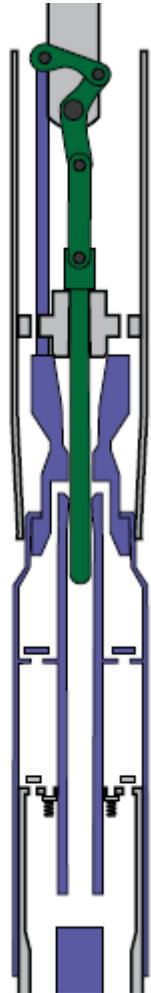


- Versuche
  - Schaltleistung
  - Modultests
  - Experimente
- Simulationen
- Geschlossener Entwicklungszyklus
  - Verbesserung der Technik und der Simulation



# Antriebsenergie

## Beispiel: Doppelbewegung



- Einseitige Bewegung

$$W_{SM} = \frac{1}{2} m_1 v_0^2$$

- Doppelseitige Bewegung

$$W_{DM} = \frac{1}{2} m_1 \left( \frac{v_0}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} m_2 \left( \frac{v_0}{2} \right)^2$$

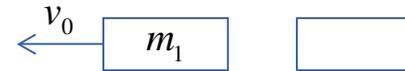
$$W_{DM} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \cdot \left( \frac{v_0}{2} \right)^2$$

$$W_{DM} \approx \frac{1}{2} m_1 \left( \frac{v_0}{2} \right)^2$$

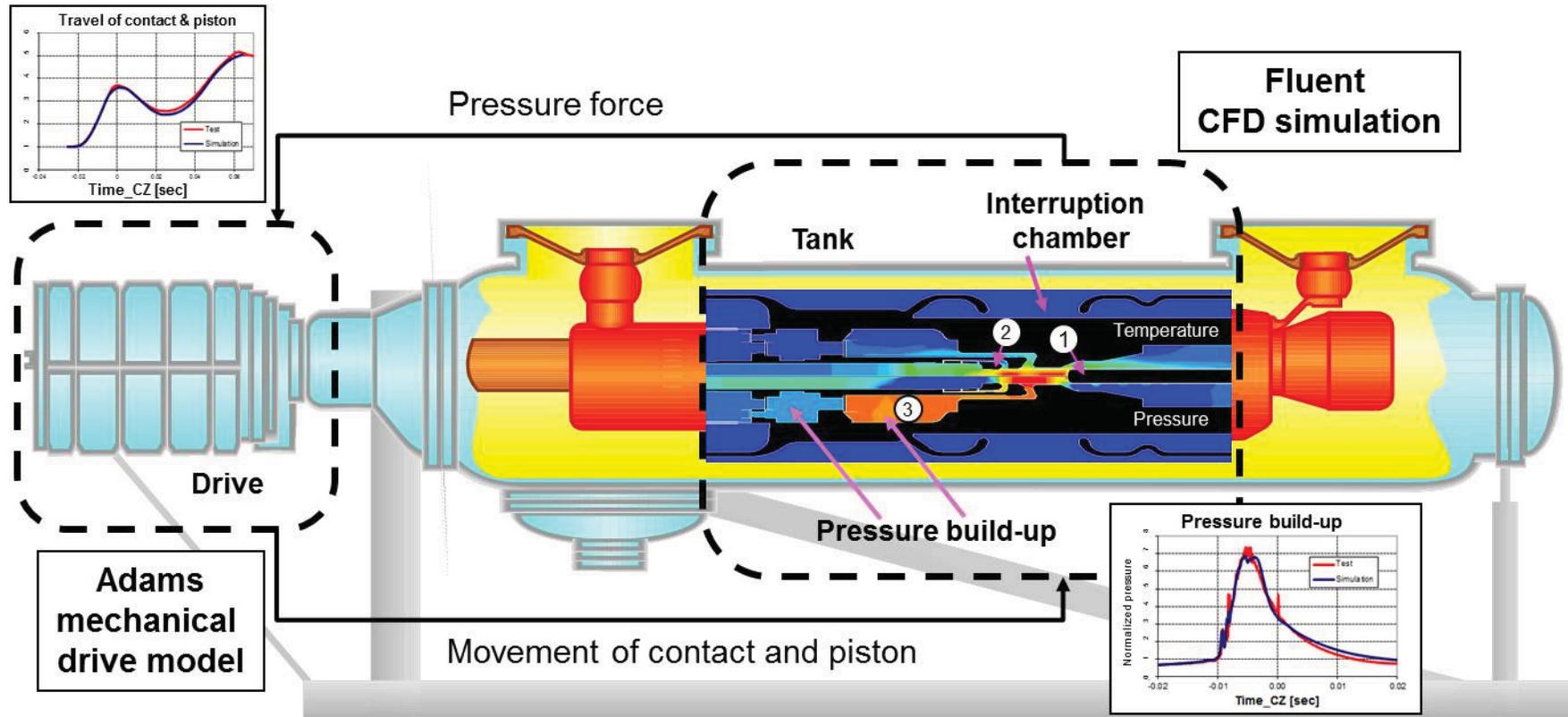
$$W_{DM} = \frac{1}{4} \left( \frac{1}{2} m_1 v_0^2 \right) = \frac{1}{4} W_{SM}$$

- Weitere Trends

- Nicht lineare doppelseitige Bewegung
- Volle doppelseitige Bewegung

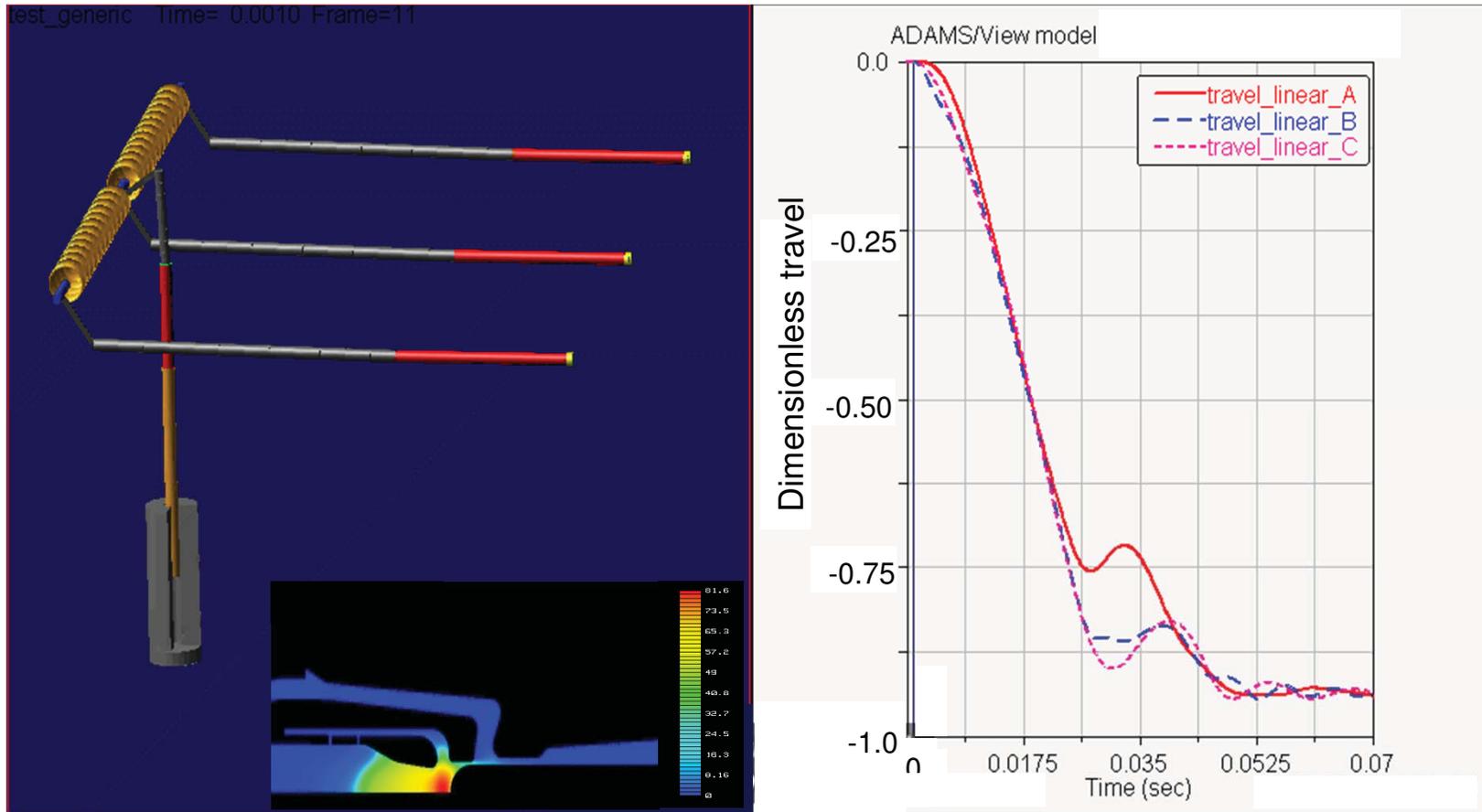


# Antriebsenergie Wechselwirkung zwischen Kammer und Antrieb



# Antriebsenergie

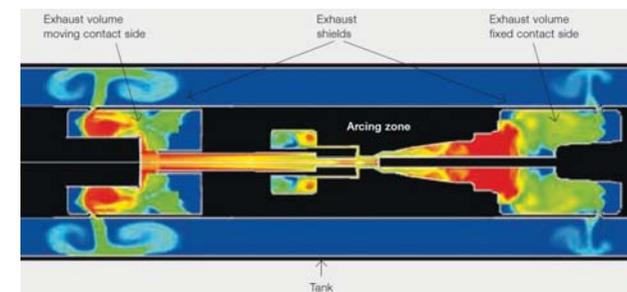
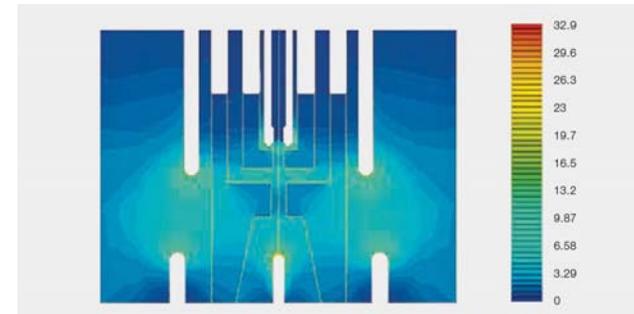
## Wechselwirkung zwischen Kammer und Antrieb



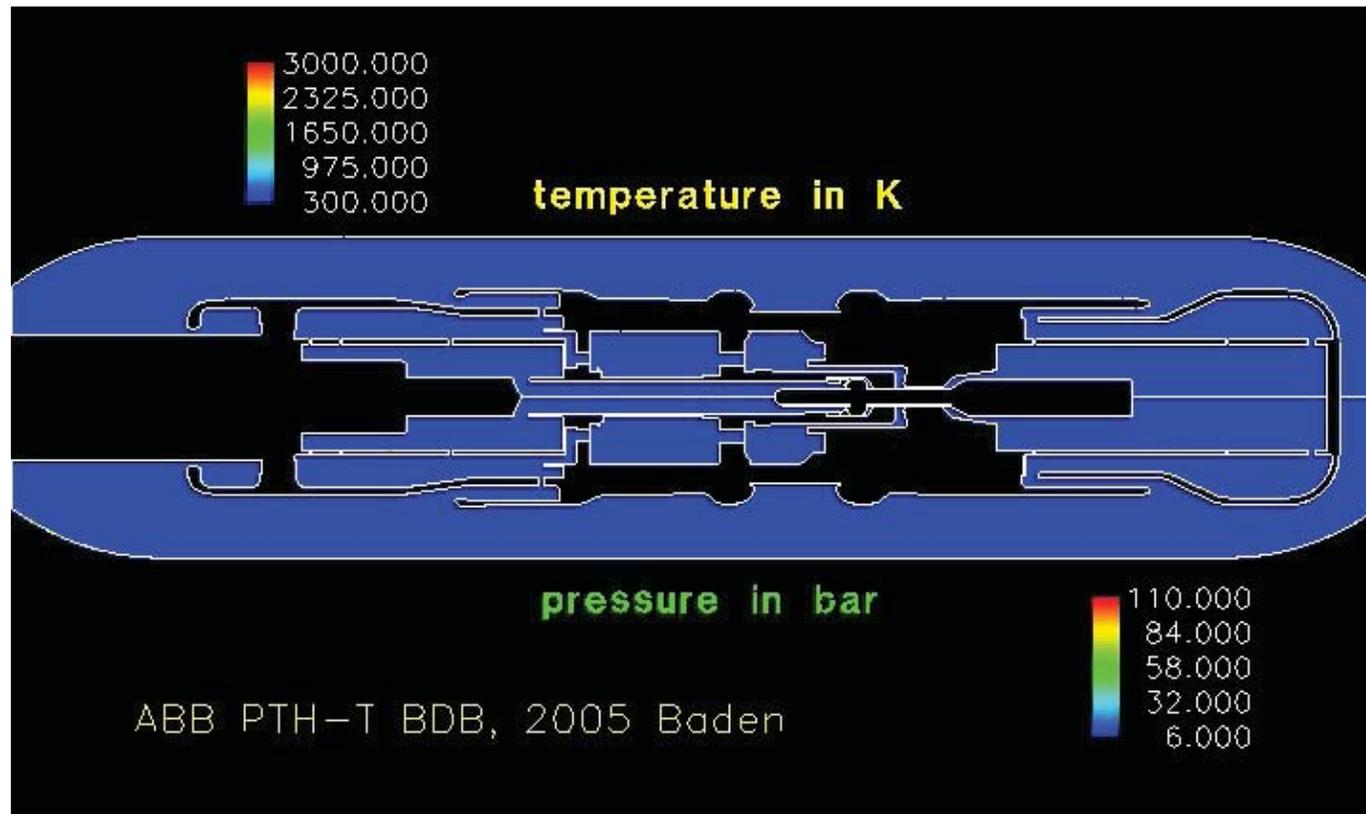
# Reduktion der Feldgrösse

## Beispiel: 420kV Einkammerschalter

- Reduktion der Feldgrösse
  - Dielektrische Auslegung
  - Auspuffdimensionierung
- Ergebnis
  - 50% weniger Antriebsenergie
  - 50% Schaltfeldgrösse
  - 30% weniger SF6-Volumen
  - IEC 62271-100



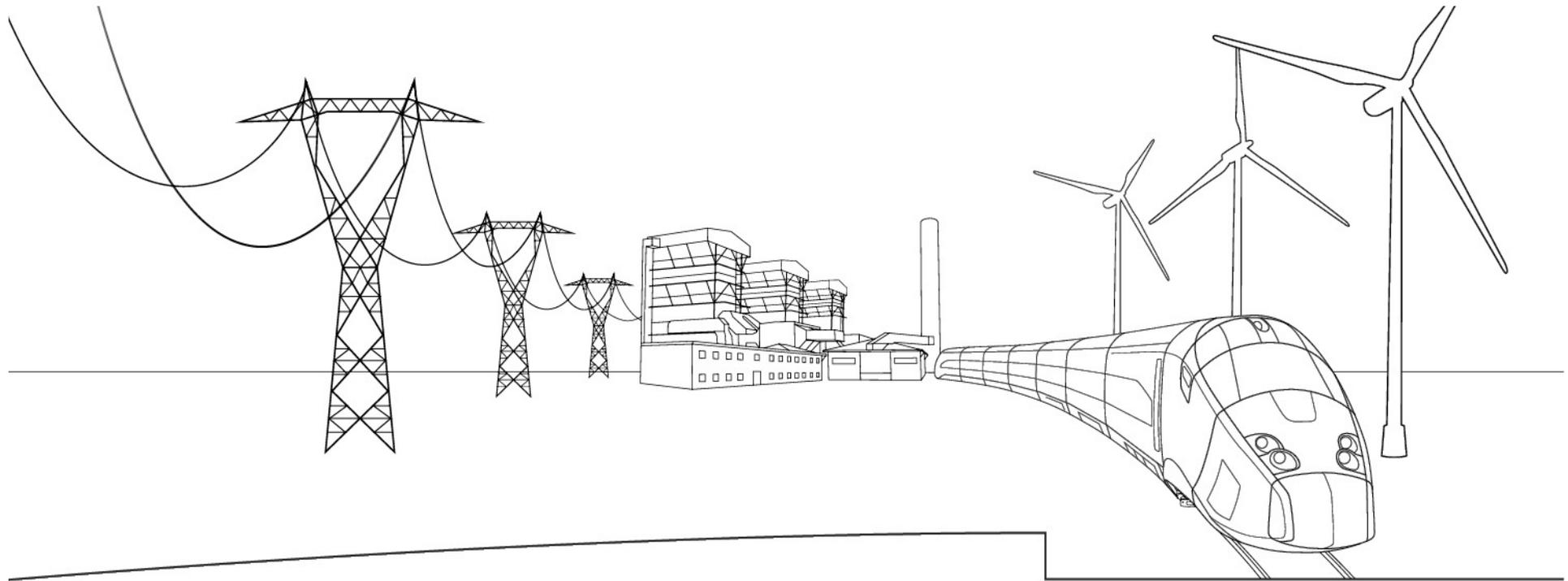
# Reduktion der Feldgrösse Beispiel: Strömungsberechnung



# Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen

## Zusammenfassung

- Schalter
  - Neue Technologien, z.B. nicht-lineares Getriebe
  - Verbesserte Schaltleistung (Strom und Spannung)
  - Geringere Antriebsenergie und Reaktionskräfte
  - Kleinere und kompakte Bauweise
- Schaltanlage
  - Reduktion der Feldgrösse, Transport, Platzbedarf
  - Reduktion SF6 Volumen
  - Modulares Design
  - IEC 62271-100 (M2, E2, C2)



# Benutzer- und designoptimierte GIS Schaltanlage

Robert Lüscher

ETG – Fachtagung in Baden

25. September 2013

**ALSTOM**  
*Shaping the future*



electrosuisse >>

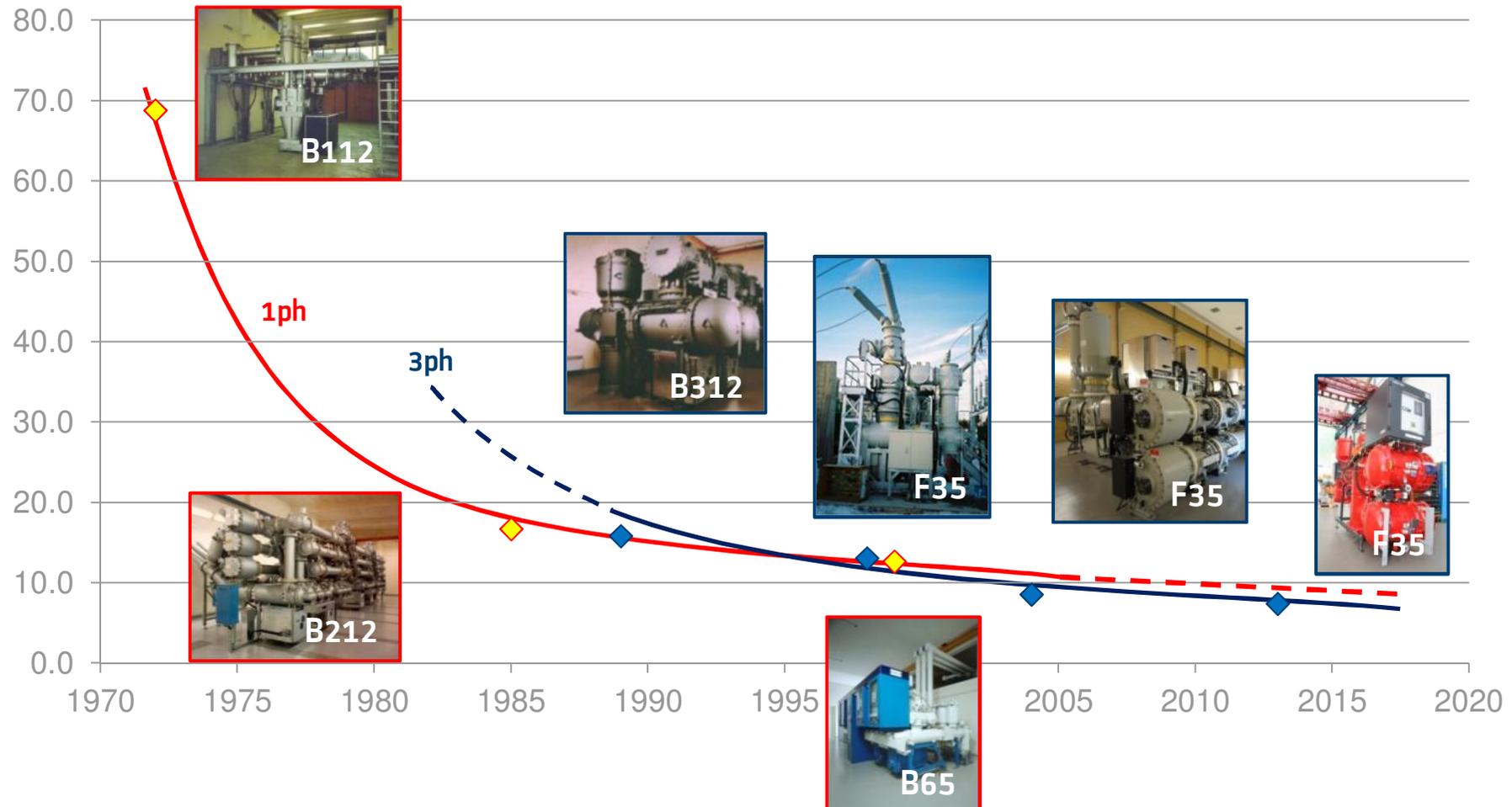
- **Einleitung – Evolution der GIS Anlagen (145kV)**
- Neustes Konzept einer 145kV GIS Schaltanlage
- Grenzen und Raum für Optimierung
- Zusammenfassung und Ausblick
- Fragen

# Evolution der Baugröße von GIS-Anlagen



electrosuisse >>

## Feldvolumen (m<sup>3</sup>)



Benutzer und designoptimierte GIS – V5 – 25.09.2013 – P 3

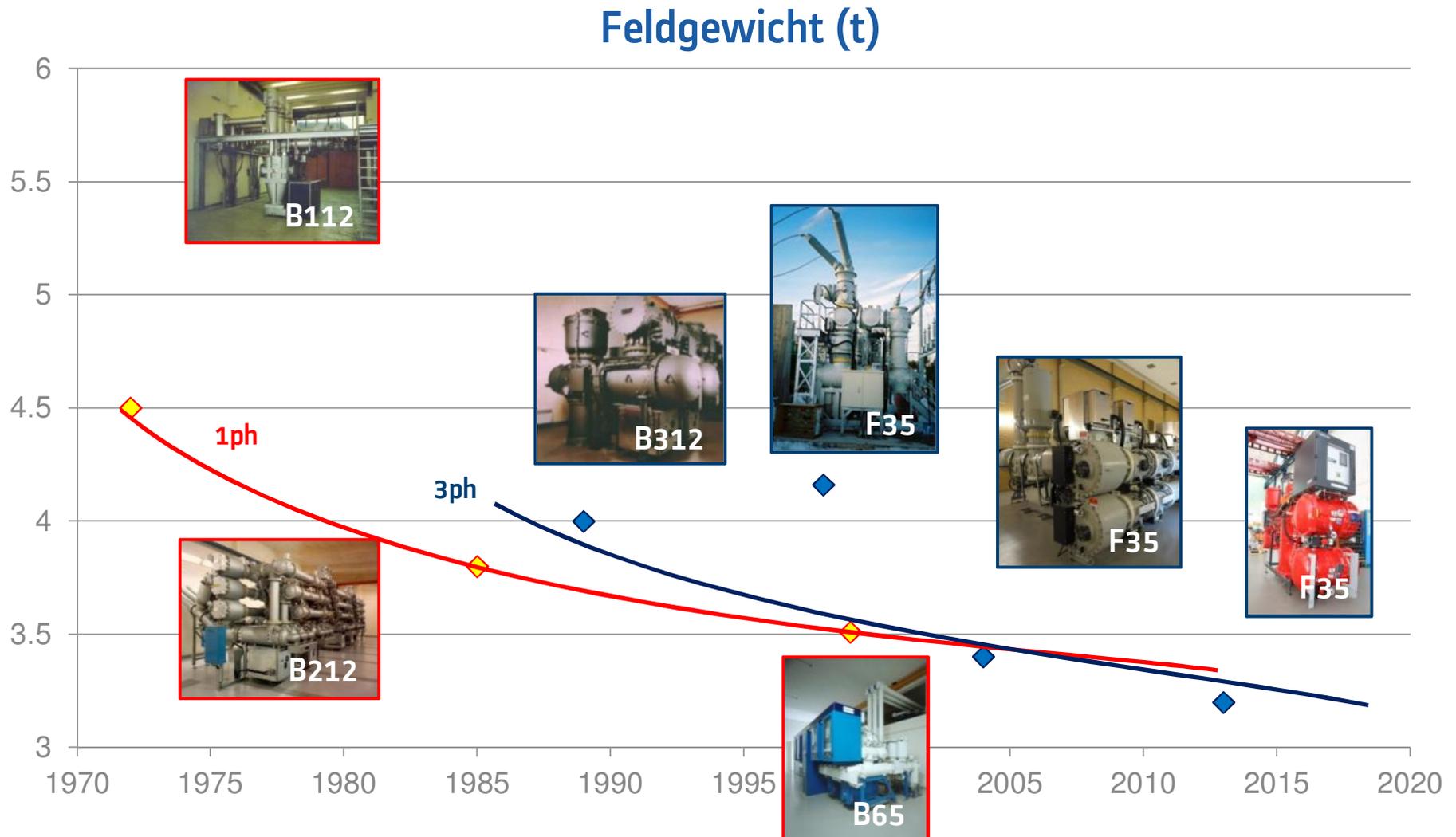
Grundlage: 145kV-GIS-Doppelsammelschienenfeld



# Evolution des Gewichtes von GIS-Anlagen



electrosuisse >>



Benutzer und designoptimierte GIS – V5 – 25.09.2013 – P 4

Grundlage: 145kV-GIS-Doppelsammelschienenfeld

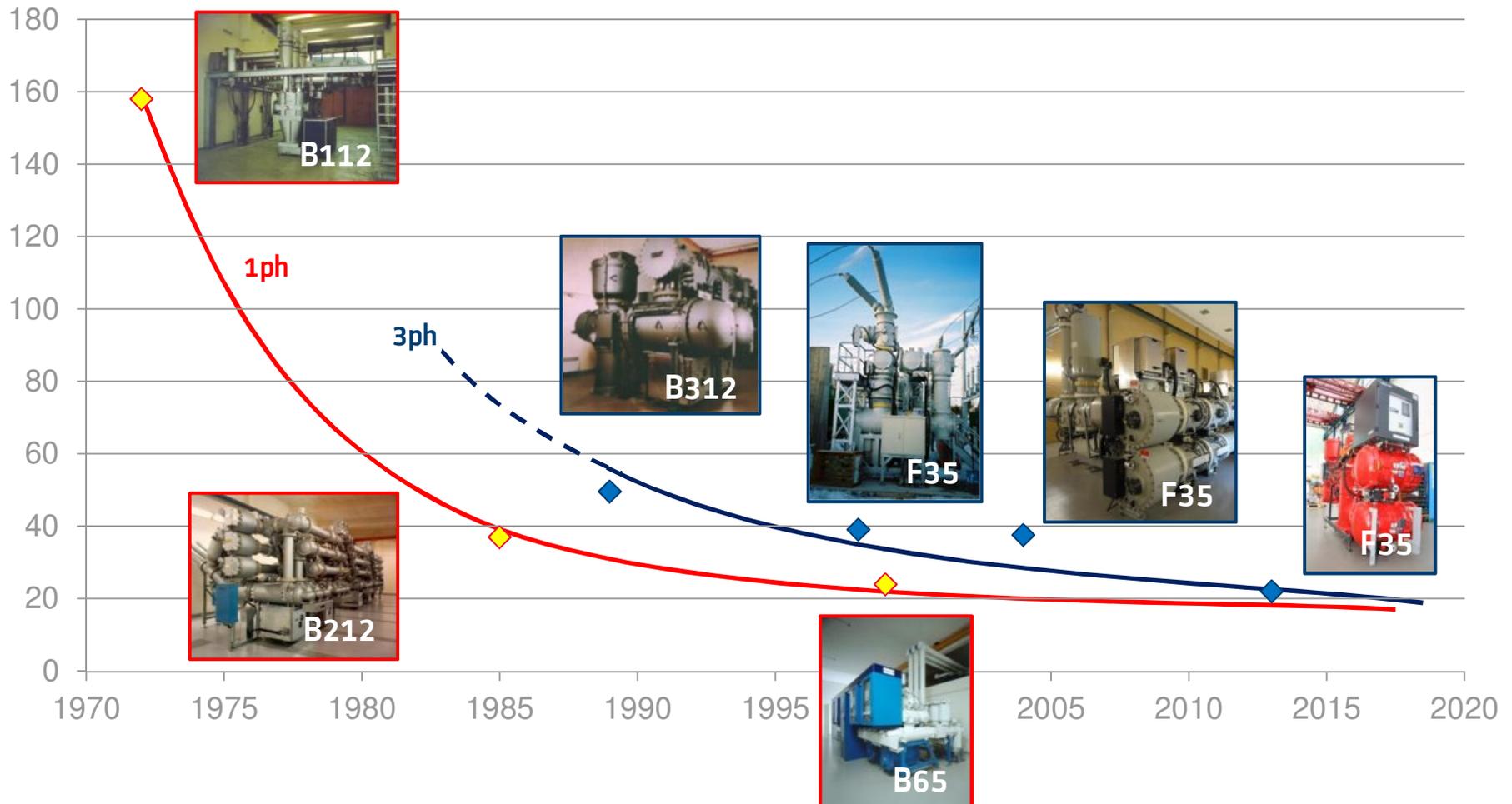


# Evolution des SF<sub>6</sub>-Bedarfs



electrosuisse >>

## SF<sub>6</sub>-Gewicht (kg)



Benutzer und designoptimierte GIS – V5 – 25.09.2013 – P 5

Grundlage: Volumen von 145kV-GIS-Schalter und Common Point





electrosuisse >>

- Einleitung – Evolution der GIS Anlagen (145kV)
- **Neustes Konzept einer 145kV GIS Schaltanlage**
- Grenzen und Raum für Optimierung
- Zusammenfassung und Ausblick
- Fragen

# 145kV GIS: Kennwerte



electrosuisse >>

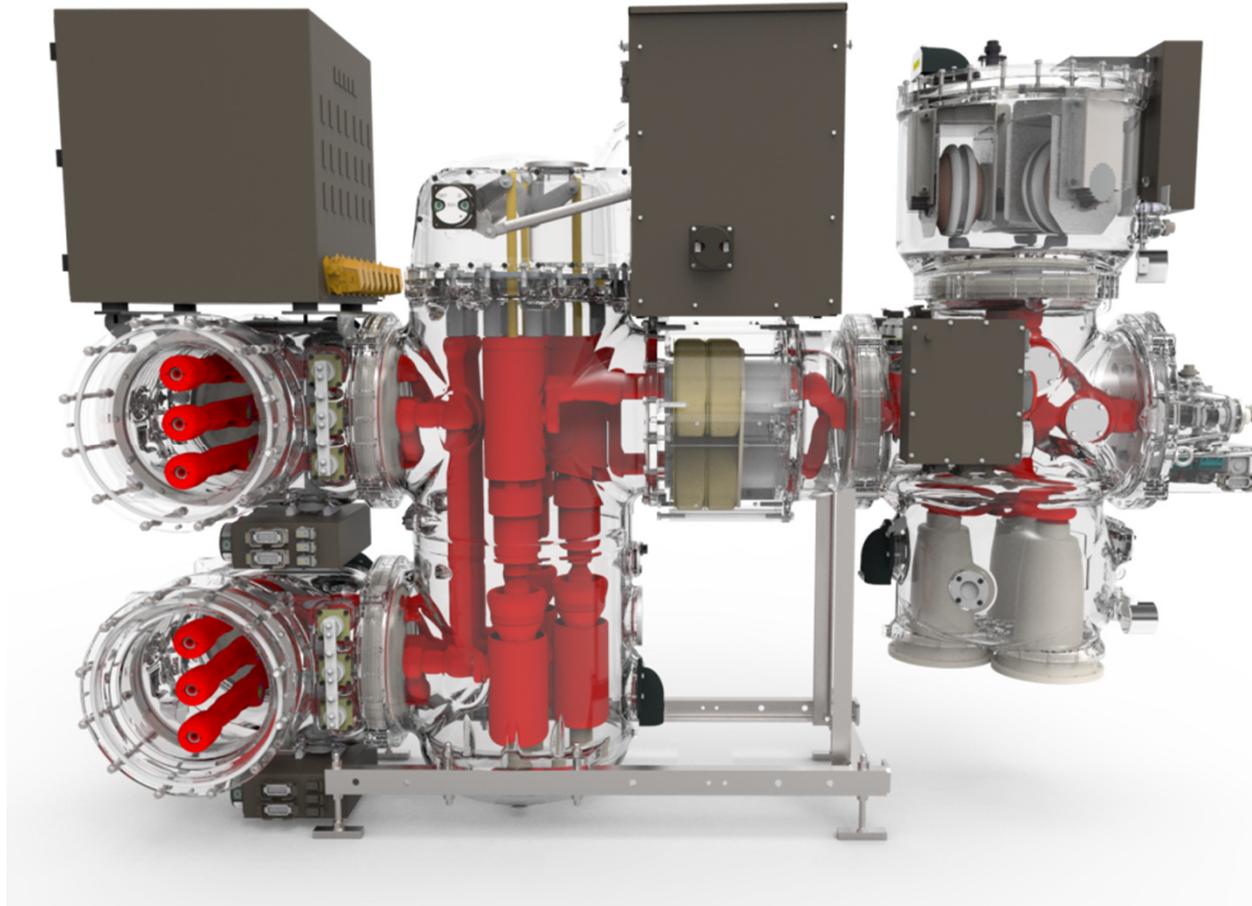
- Nennspannung: 145 kV
- Nennfrequenz: 50 / 60 Hz
- Nennbetriebsstrom: 2500 / 3150 A
- Nenn-Stossstrom: 108 kA
- Nenn-Kurzzeitstrom: 40 kA / 3s
- Nenn-Stehwechselspannung: 275 / 315 kV
- Nenn-Stehblitzstossspannung: 650 / 750 kV
- Nenn-Stehschaltstossspannung: 520 / 600 kV
- Mech. Klasse für Trenner & Schalter M2 (10000 CO)
- Kap. Schaltvermögen CB C2

# 145kV GIS: Layout



electrosuisse >>

- Bewährtes Layout als Beispiel Doppelsammelschiene mit Kabelabgang

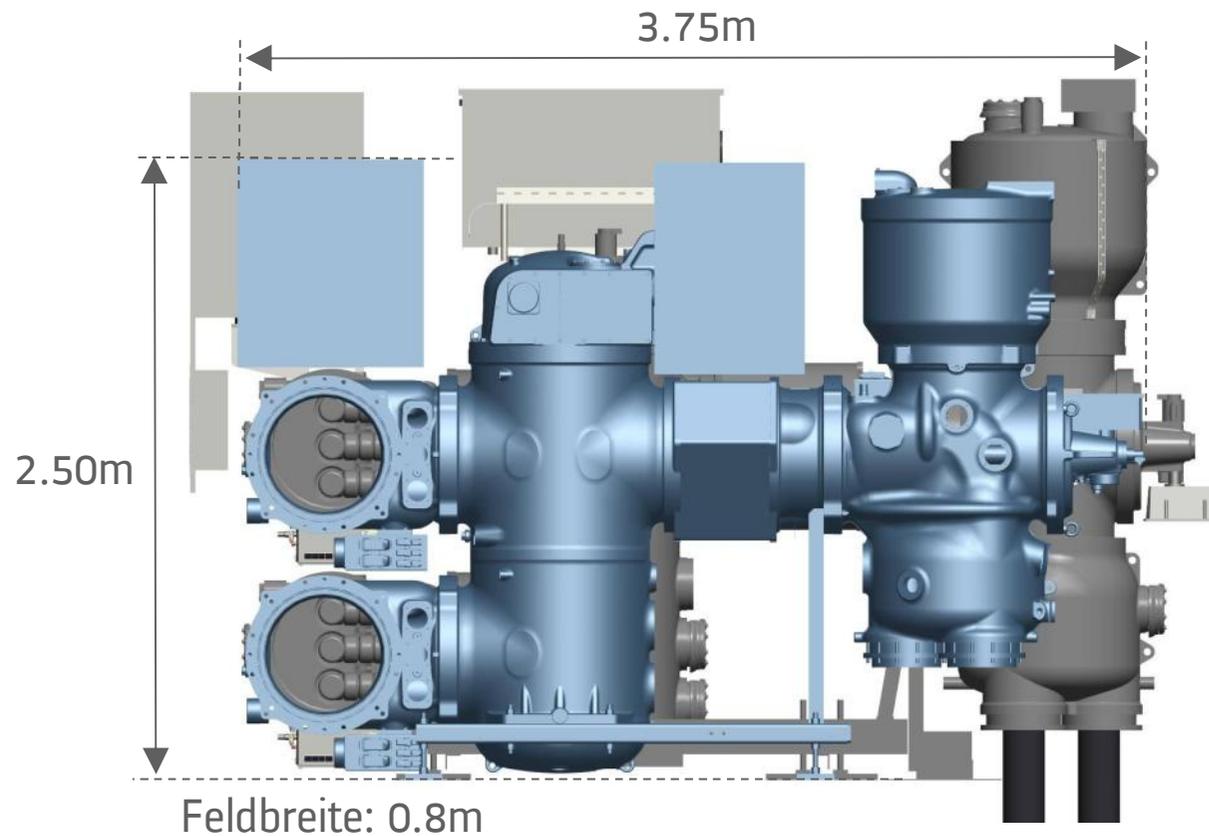


# 145kV GIS: Feldmasse



electrosuisse >>

- 43% geringere Baugröße als der Marktdurchschnitt
- Transport komplett geprüfter GIS Felder in High-Cube Container

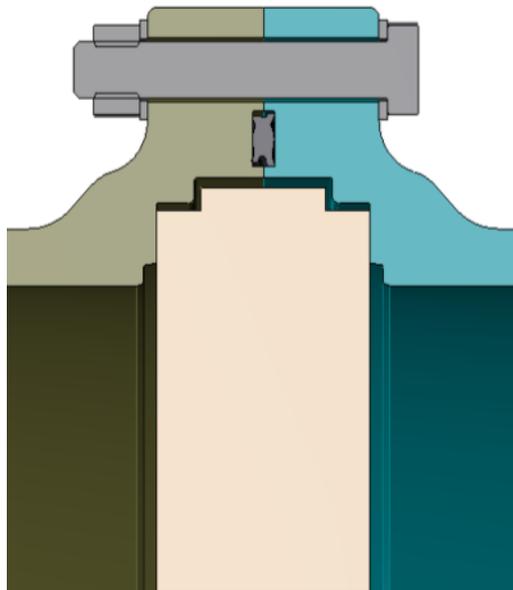


# 145kV GIS: Druck- und Dichtkonzept



electrosuisse >>

- 35% geringeres SF6-Volumen im Vergleich zum Vorgängerprodukt (reduzierter Fülldruck und Kombigehäuse)
- Garantierte Leckrate  $< 0.1\%/$ Jahr (Reduktion der Dichtlänge um 40...50% und Einsatz von bewährten hochwertigen Profildichtungen)



*Schott-Isolator*

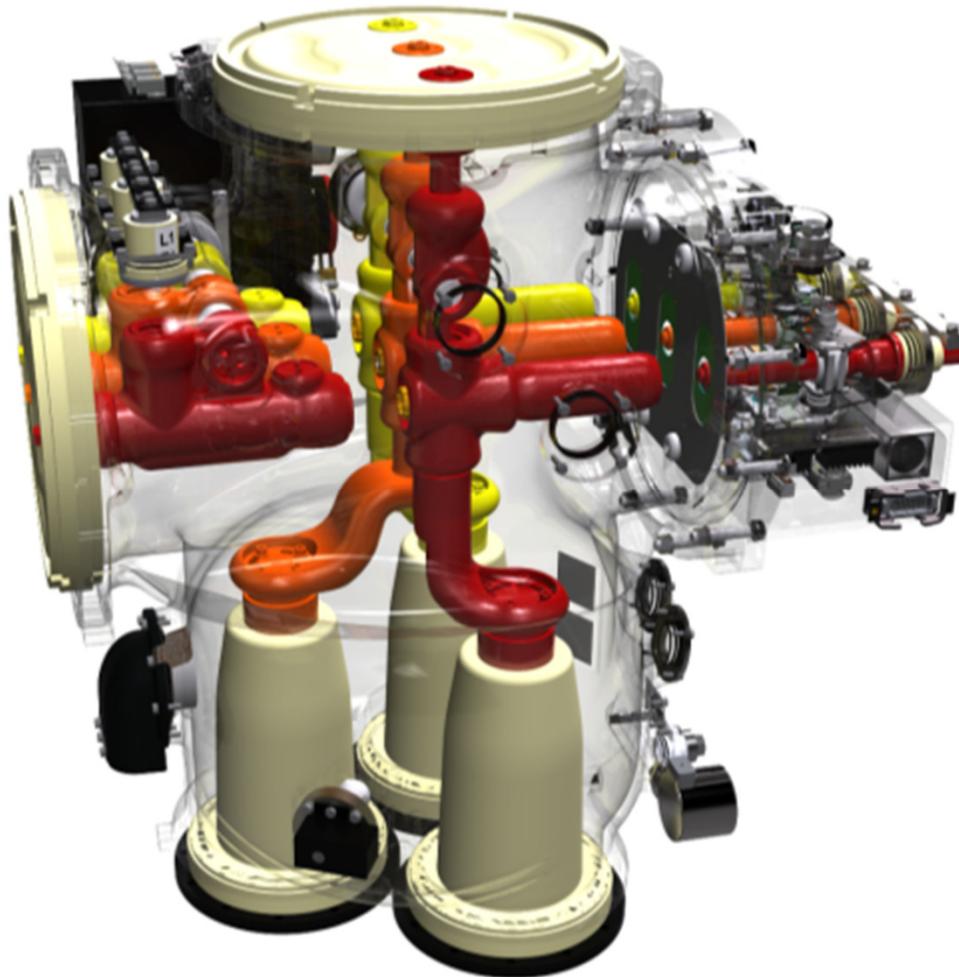


*Multifunktionsgehäuse*

# 145kV GIS: Multifunktionsgehäuse



electrosuisse >>



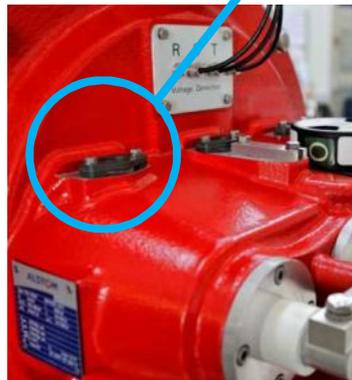
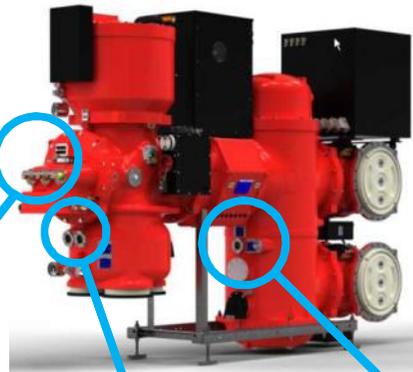
- Abgangstrenner
- Arbeitserder (isoliert)
- Zentralelektrode
- Kabelkone
- Einschaltfester Erder (isoliert)
- Trennvorrichtung für VT und SA
- Spannungsdetektion
- UHF – Sensor
- Sichtfenster

# 145kV GIS: Zugänglichkeit



electrosuisse >>

- Optimale Zugänglichkeit am Beispiel der Sichtfenster



*Einschaltfester  
Erder*



*Multifunktionsgehäuse*



*Leistungsschalter  
optional*



*Sammelschientrenner*

# 145kV GIS: Gasfüllsystem



electrosuisse >>

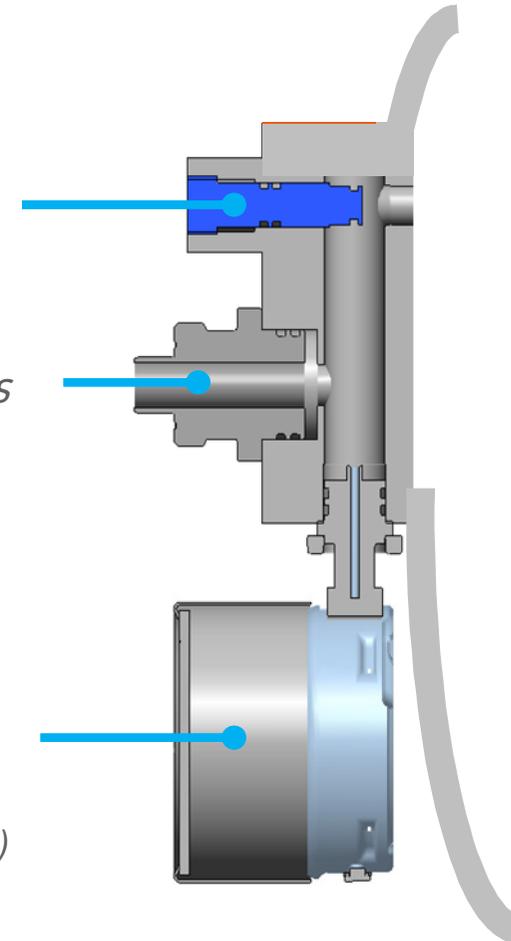
- Innovatives Gashandling System erlaubt eine Kontrolle im laufenden Betrieb



*Absperrbolzen*

*Gasfüllanschluss*

*Manometer  
(konventionell  
elektronisch  
oder redundant)*

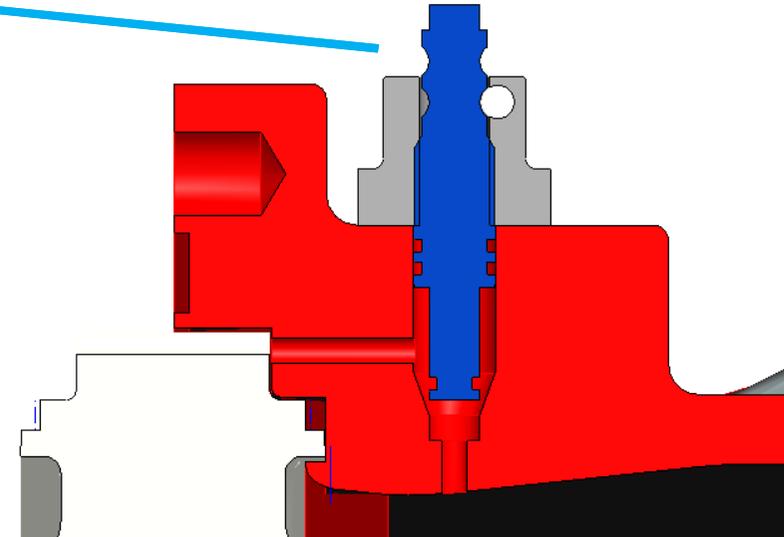


# 145kV GIS: Gasbypass-Option



electrosuisse >>

- Verbindung von Gasräumen sowie Reduktion der Dichtewächtern



# 145kV GIS: Stromwandler



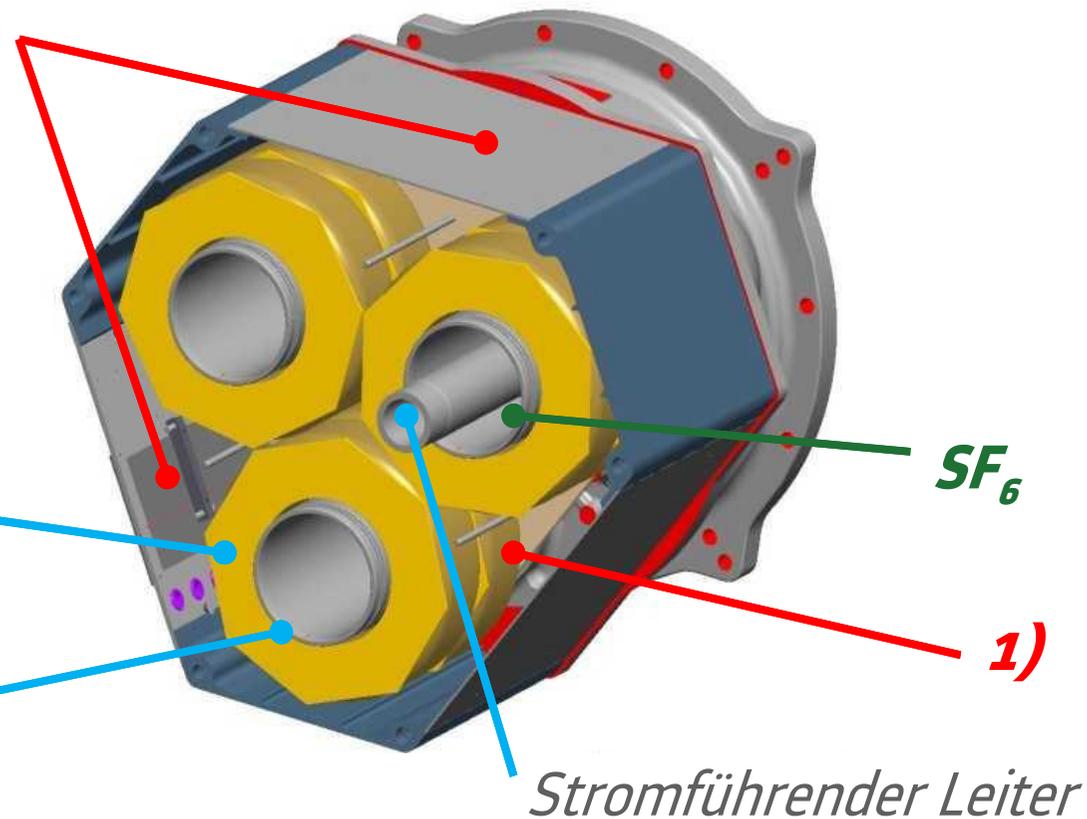
electrosuisse >>

- Kompakte Bauform kombiniert mit maximaler Funktionalität

**Sekundäranschlüsse 1)  
der Wandlerkerne  
(Zugänglichkeit an drei  
Positionen wählbar )**

Wandlerkerne  
(in Luft)

Abschirmung mit  
EMV Massnahmen  
und Druckgefäss



# 145kV GIS: Antriebe & Stellungsanzeige



electrosuisse >>

- Vereinheitlichte Stellungsanzeiger an allen Schaltgeräten

*CB-Antrieb*



*CB-Deckel*



*BB-DES*



*Feeder-DES*



*HSES*



**Federspeicherantrieb,  
FK3-2**



**3-Stellungsantrieb  
ME4**



**Einschaltfester Erder  
EFZ41**





electrosuisse >>

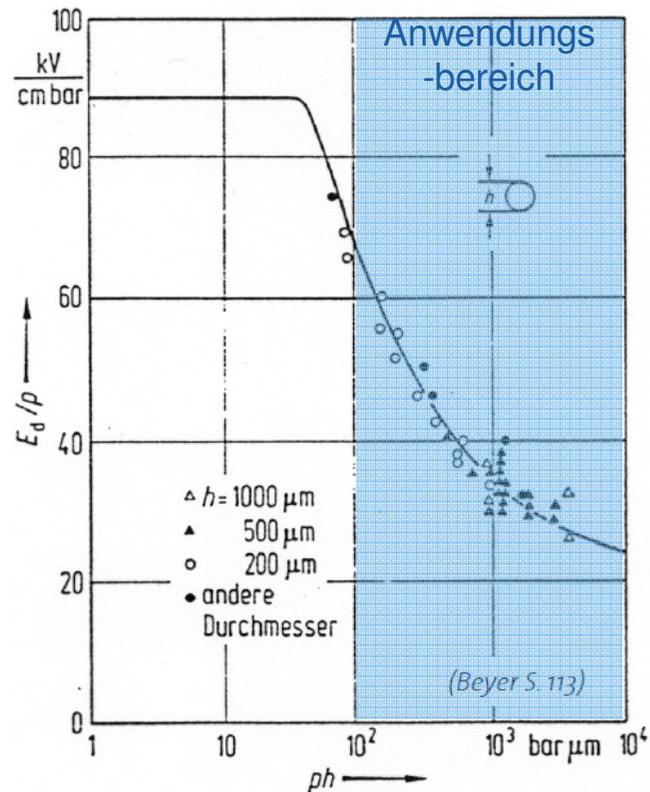
- Einleitung – Evolution der GIS Anlagen (145kV)
- Neustes Konzept einer 145kV GIS Schaltanlage
- **Grenzen und Raum für Optimierung**
- Zusammenfassung und Ausblick
- Fragen

# Grenzen: Druckerhöhung



electrosuisse >>

## Oberflächenrauigkeit in SF<sub>6</sub>

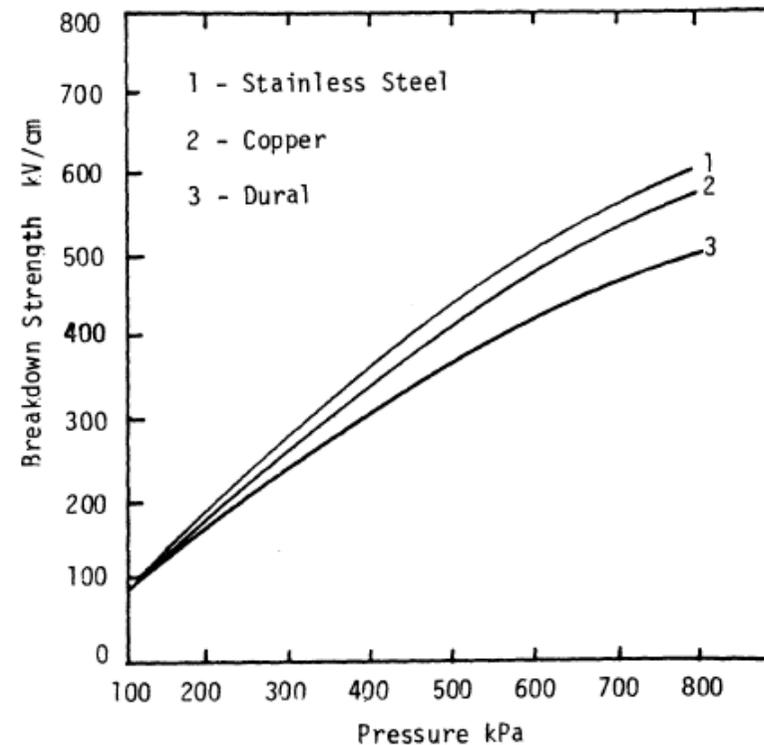


Quelle: M.Beyer, W.Boeck, K.Möller, W.Zaengl, Hochspannungstechnik – Theoretische und praktische Grundlagen für die Anwendung, Springer Verlag 1986

Benutzer und designoptimierte GIS – V5 – 25.09.2013 – P 18

## Elektrodenmaterial in SF<sub>6</sub>

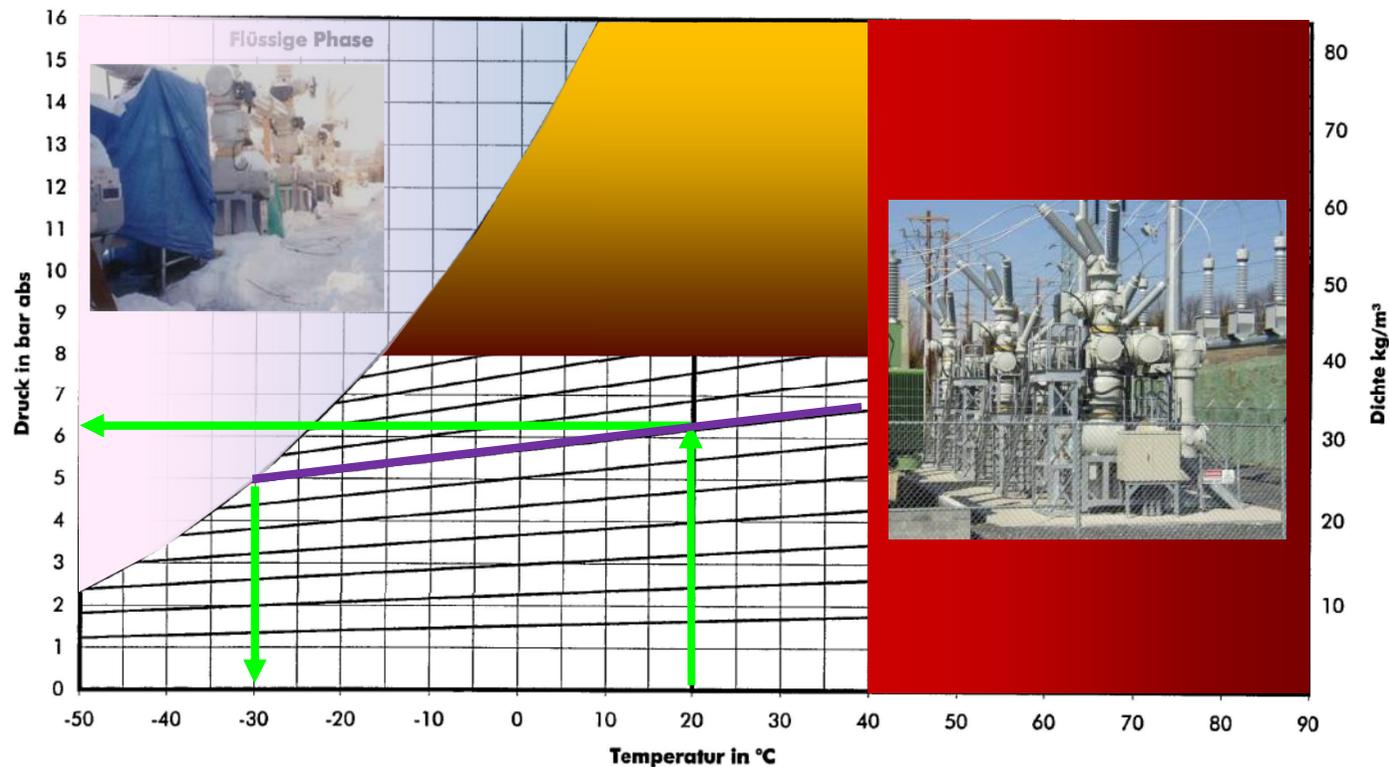
Homog. Feld: Abhängig von Schmelztemperatur und mech. Festigkeit



Quelle: N.H. Malik, A.H. Qureshi, Breakdown Mechanisms in Sulphur Hexafluoride, IEEE Trans. Electr. Insul, Vol. EI-13 No. 3, 6.1978

## Anwendungsbereich von SF<sub>6</sub>

Hoher Druck ⇒ hohe dielektrische Festigkeit  
aber hohe Anforderungen an die Druckgefäße, Antriebe und Rauigkeit der Oberfläche



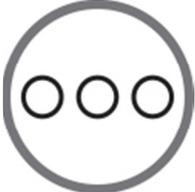
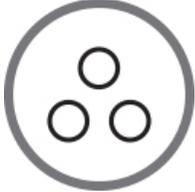
Tiefe Temperatur ⇒ Verflüssigung

Hohe Temperatur ⇒ Strom-Derating

# Grenzen: Kompakte Bauformen



electrosuisse >>

Bauform	Vorteile	Nachteile
	Feldbreite einfache Gehäuse, Leiter und Umlenkgehäuse	Leicht grössere Bauform im Bereich der Flansche als bei Dreiecksanordnung
	Feldbreite einfache Gehäuse	Komplexe Leiterführung in Umlenkgehäusen
	Zugänglichkeit 2-ph Ausführung möglich Abdeckung komplexer Layouts	Feldbreite Materialbedarf ⇒ Kosten
	reduz. Feldbreite im Vergleich zu 1-ph gekapselten Anlagen	komplexe Gehäuse ⇒ Kosten

# Grenzen: Thermische Kriterien



electrosuisse >>

- Reduktion des Bauvolumens der GIS
  - Vergrößerung der **Gehäuseoberfläche** an prädestinierten Stellen dadurch besser Wärmeabstrahlung (Kühlrippen)
- Reduktion der Gasmenge und Gasdichte
  - Optimierung der **Konvektion** durch konstruktive Massnahmen, wie hohlgegossene Leiter und Lüftungskanäle
  - Vergrößerung der **Leiteroberflächen** und **Emissionskoeffizienten** verbessern die Konvektion und Wärmeabstrahlung





electrosuisse >>

- Einleitung – Evolution der GIS Anlagen (145kV)
- Neustes Konzept einer 145kV GIS Schaltanlage
- Grenzen und Raum für Optimierung
- **Zusammenfassung und Ausblick**
- Fragen

- Die Entwicklung der Schaltanlagen zeigte bei gleichbleibender oder höherer Performance gegenüber den früheren Generationen
  - Geringere Feldmasse
  - Geringeres Feldgewicht
  - Geringeres SF<sub>6</sub>-Volumen
  - Geringere Antriebsleistung
- Neueste Entwicklungen zeigen zusätzlich
  - Erweiterte Anwendungsbereiche (Umgebungstemperatur, Layouts)
  - Bessere Zugänglichkeit der Bedienelemente
  - Längere Wartungsintervalle sowie einfachere Revisionsmöglichkeiten
  - Eco-Design-Überlegungen
- Weitere Entwicklungen sind möglich
  - SF<sub>6</sub>-Reduktion
  - Verringerung der Feldmasse



} zugunsten der Kosten?



electrosuisse >>

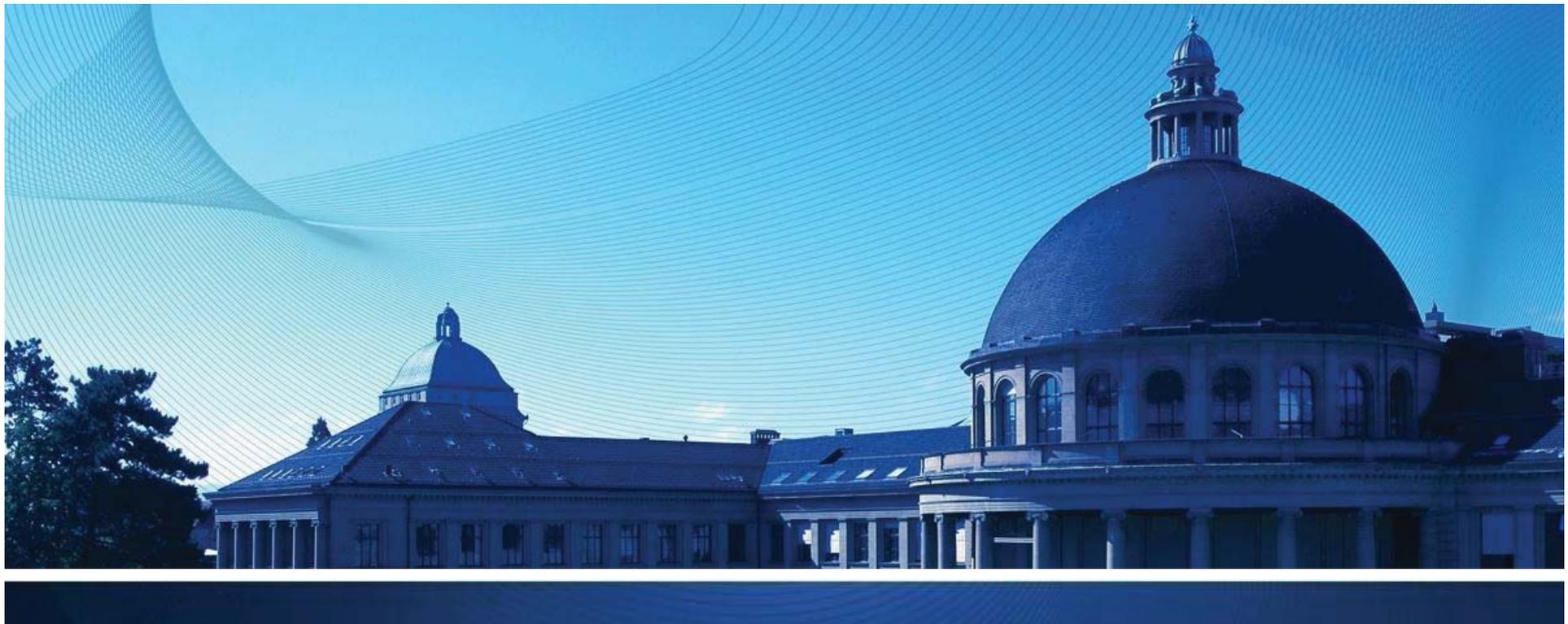
- Einleitung – Evolution der GIS Anlagen (145kV)
- Neustes Konzept einer 145kV GIS Schaltanlage
- Grenzen und Raum für Optimierung
- Zusammenfassung und Ausblick
- **Fragen**

# Ein neuer Anlauf zur alten Frage nach alternativen Isoliergasmischungen für gekapselte Schaltanlagen

Christian M. Franck

Assistant Prof. ETH Zürich

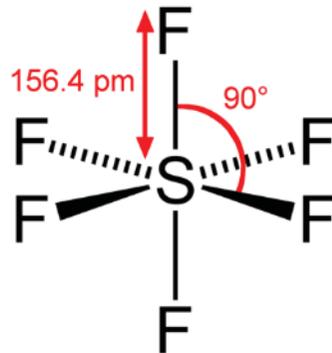
FKH/ETG-Fachtagung, September 2013



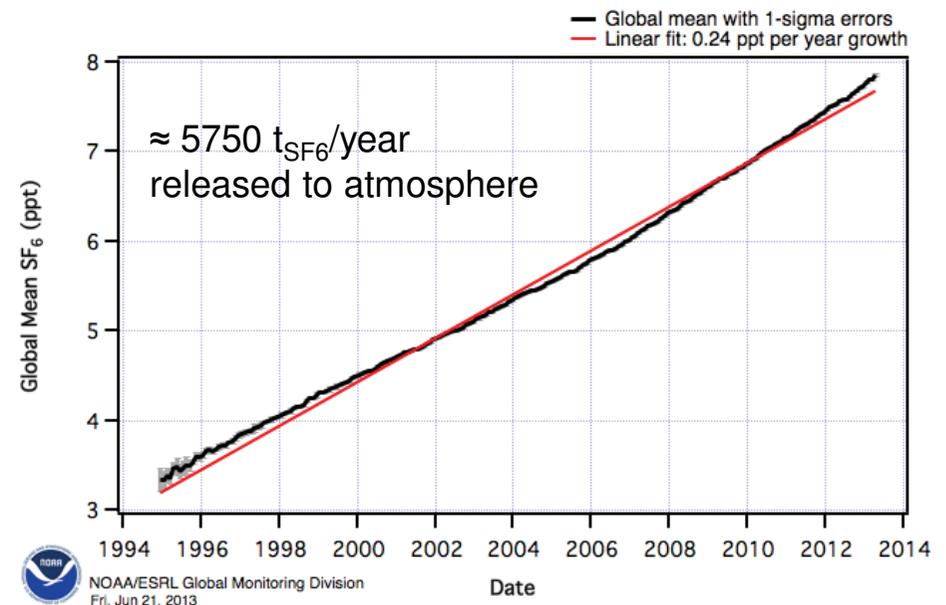
# Content

- Motivation
  - Systematic search for new HV insulation gas (mixture)
- Defining a “good” gas (mixture)
- Search strategy
  - pre-selection
  - quantification (measuring swarm parameters)
  - relate swarm parameters to insulation strength
- Summary

# Sulphur-Hexafluorid (SF<sub>6</sub>)



- colorless
- odorless
- non-flammable
- non-toxic
- chemically stable (atm. lifetime 3600y)
- boiling point: -62 °C (1bar), -25 °C (6bar)
- critical field strength: 3 - 3.5 x air
- GWP: 23'900 (CO<sub>2</sub>: 1)



# alternative insulation gas mixtures

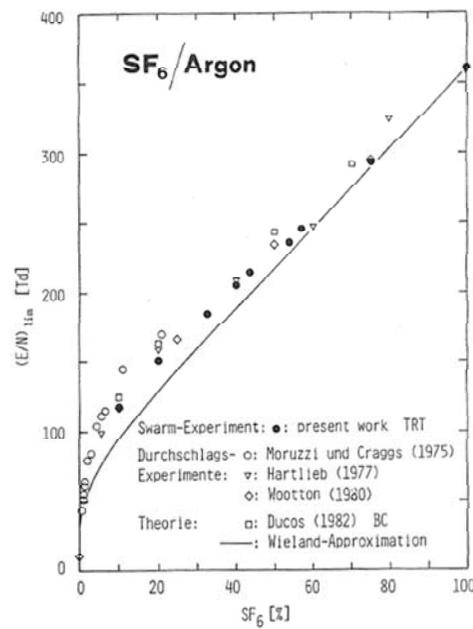
(„SF<sub>6</sub> replacement“)

## «Classical» Path

direct measurement of  
breakdown voltage

- + no lead time
- + infrastructure widely available
- extensive test program necessary  
(„statistics“)
- valid only for test conditions  
(voltage shape and geometry)
- optimisation only by testing

# Gas Mixtures - Synergistic effects



[PhD Thesis Th. Aschwanden 1985]

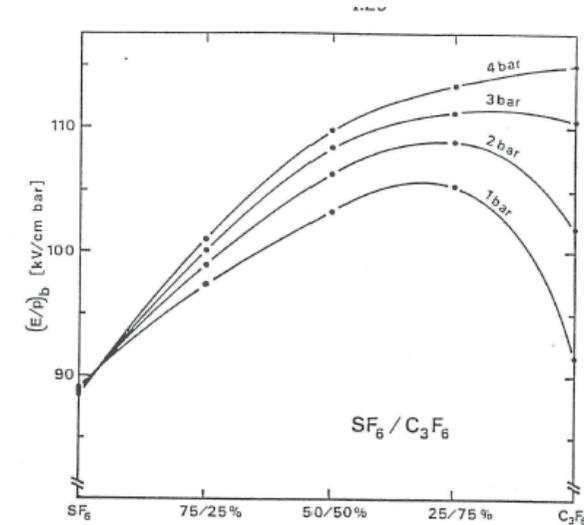
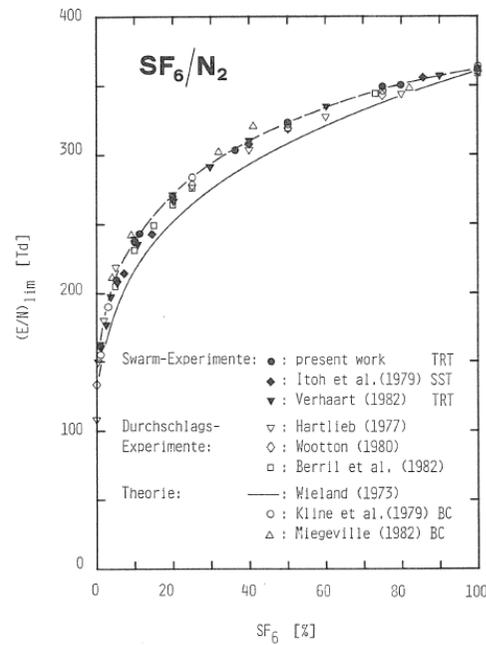


Fig. 24 Pressure related breakdown field strength  $(E/p)_b$  of the mixture C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> / SF<sub>6</sub> as a function of the mixture ratio at various total pressures (all values for 20°C, d = 1 cm. See /34/.

[Christophorou, IEEE Trans EI 19(6), 1984]

# alternative insulation gas mixtures

(„SF<sub>6</sub> replacement“)

## «Classical» Path

direct measurement of  
breakdown voltage

- + no lead time
- + infrastructure widely available
- extensive test program necessary („statistics“)
- valid only for test conditions (voltage shape and geometry)
- optimisation only by testing

## «Our» Path

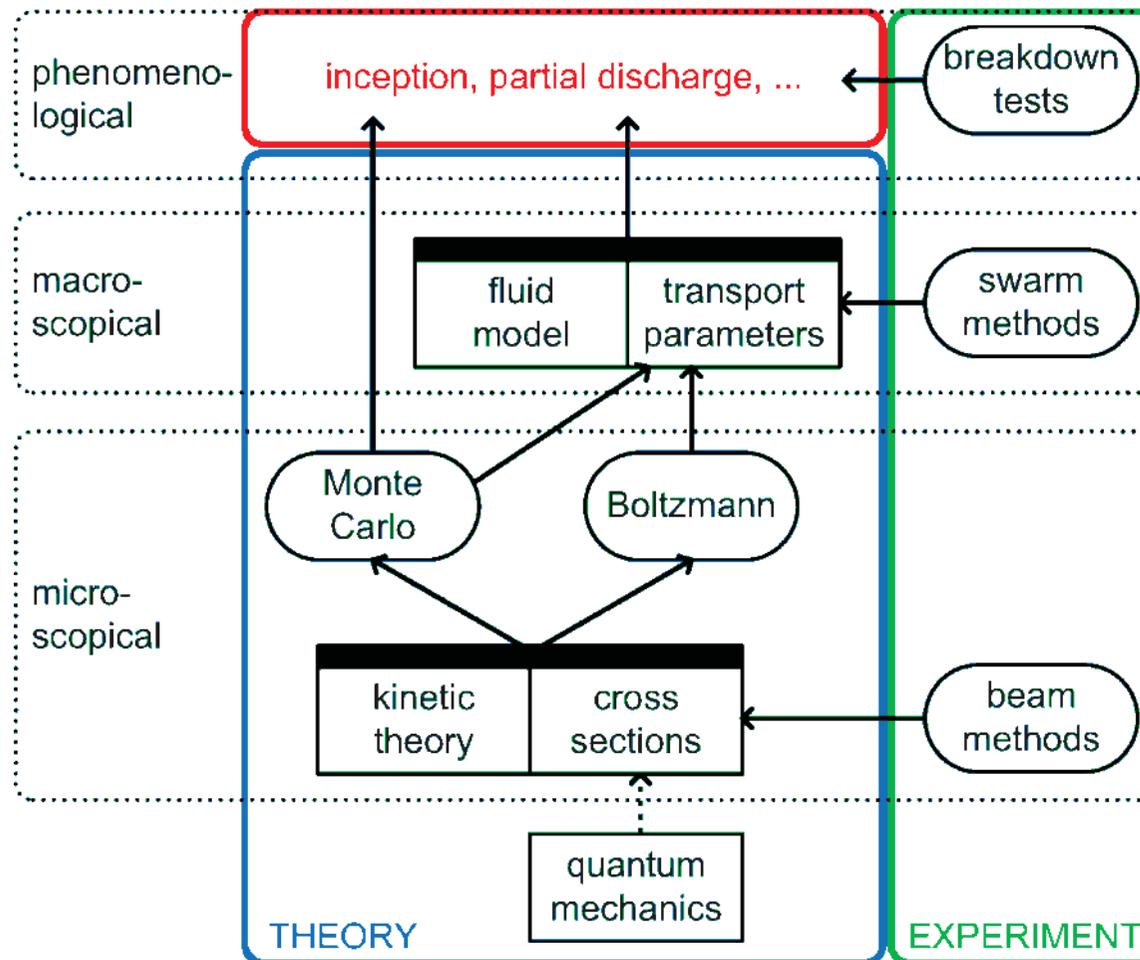
measurement of  
swarm parameters

simulation of  
PD and breakdown

simulation of  
molecular properties

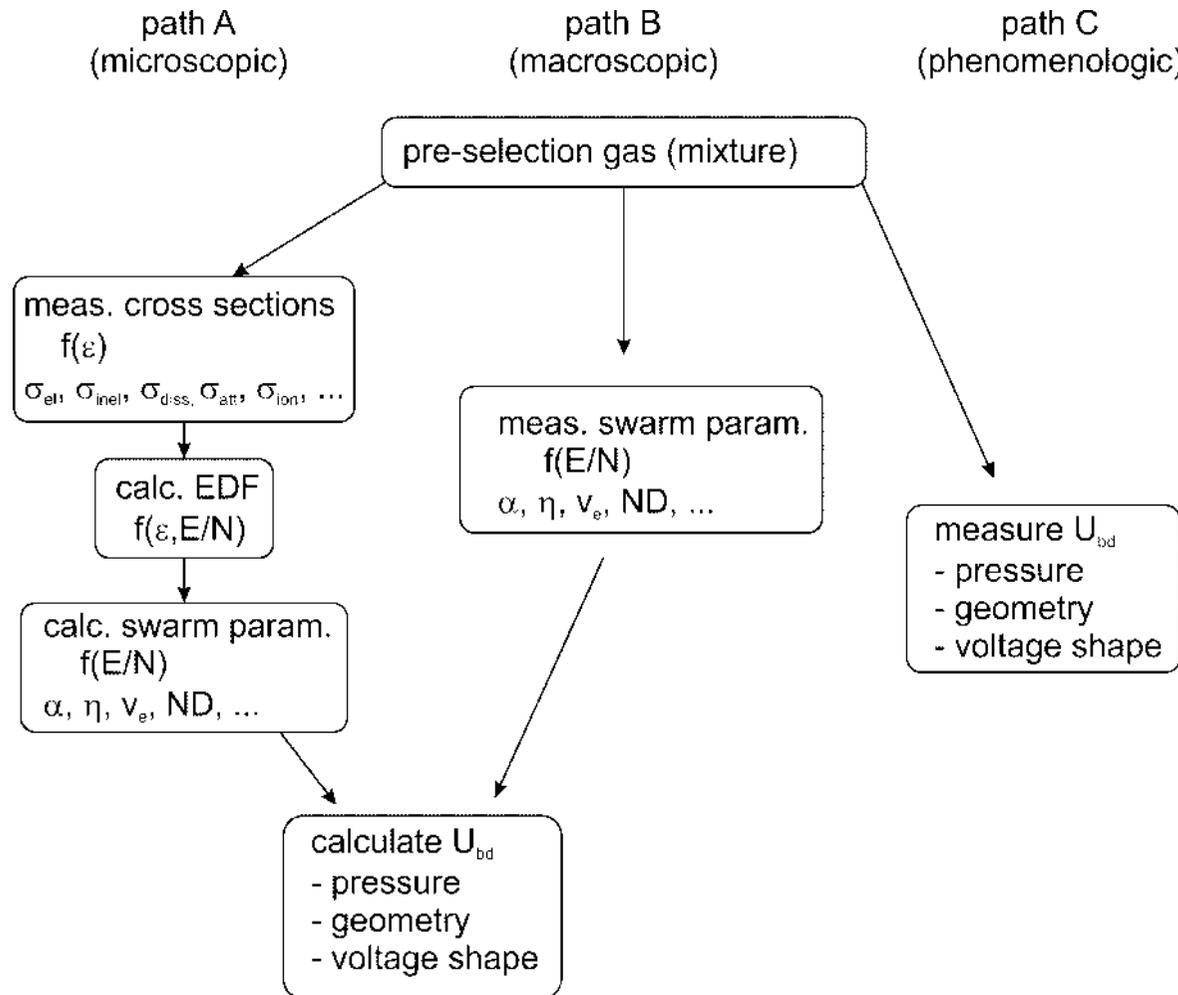
- + fast conclusions on new gas (mixtures)
- + optimization guided by understanding
- + extrapolation to other conditions (voltage shape and geometry)
- establishing full prediction chain (lead time and creating method)

# How to find „good“ dielectric gas (mixture)?

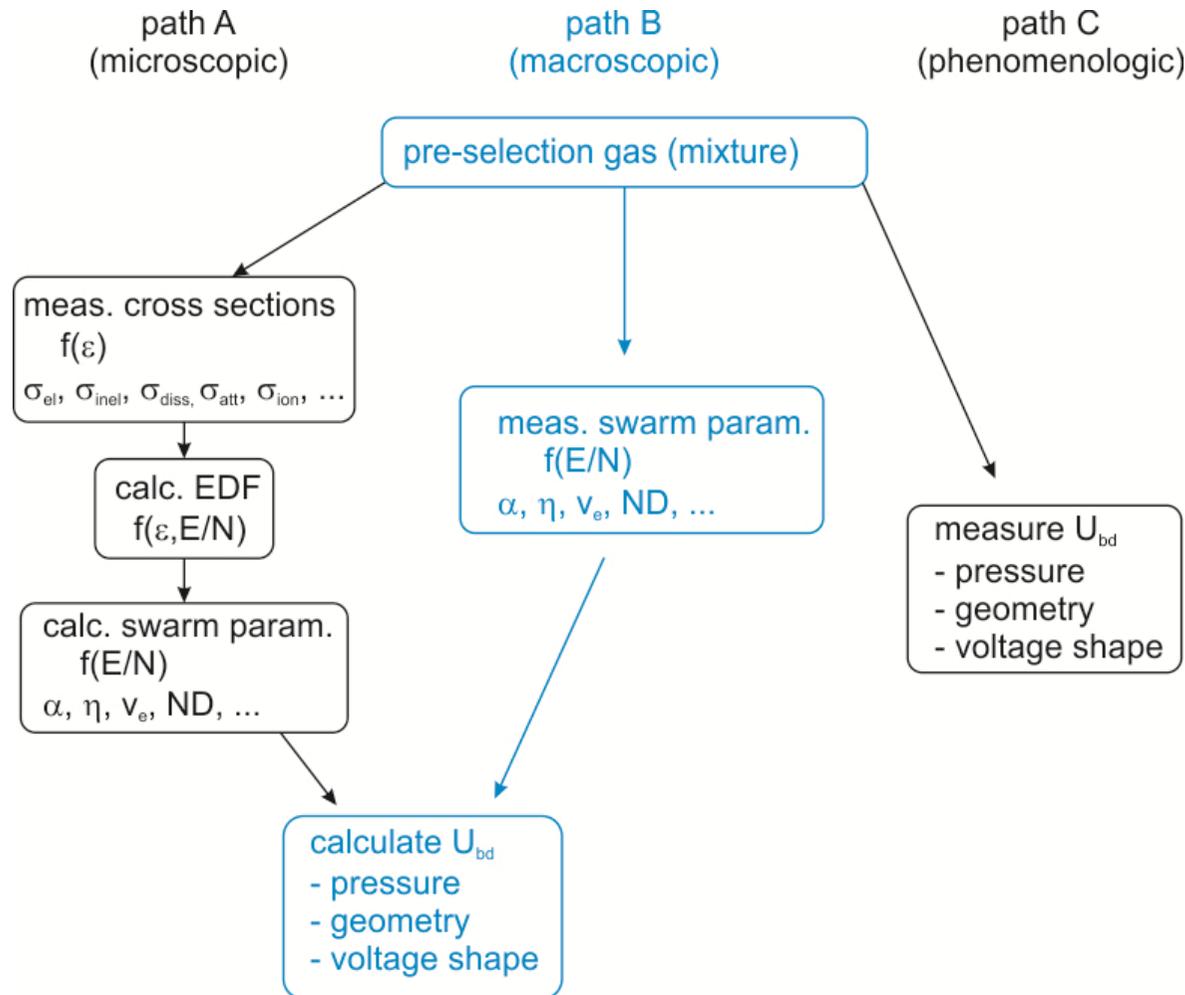


[Franck et al 2013]

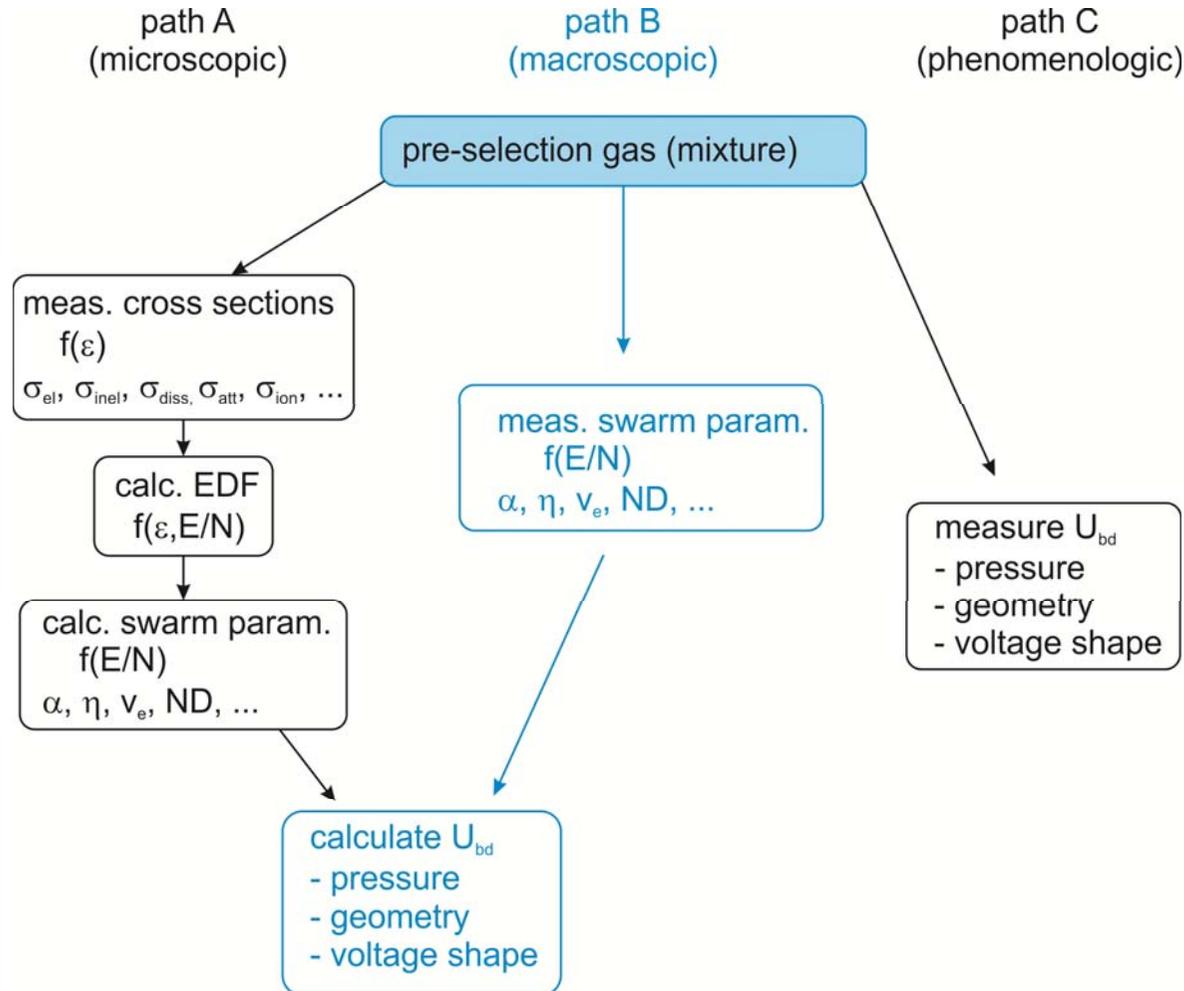
# How to find „good“ dielectric gas (mixture)?



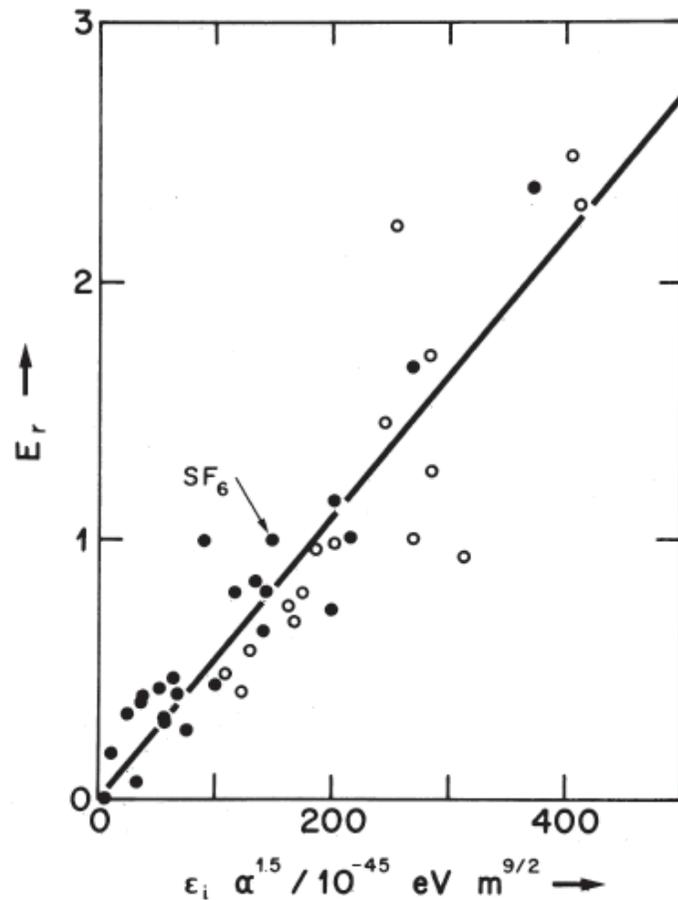
# How to find „good“ dielectric gas (mixture)?



# How to find „good“ dielectric gas (mixture)?



## pre-selection of molecules



- molecular descriptors based on measurements
- problematic to get reliable data for many molecules

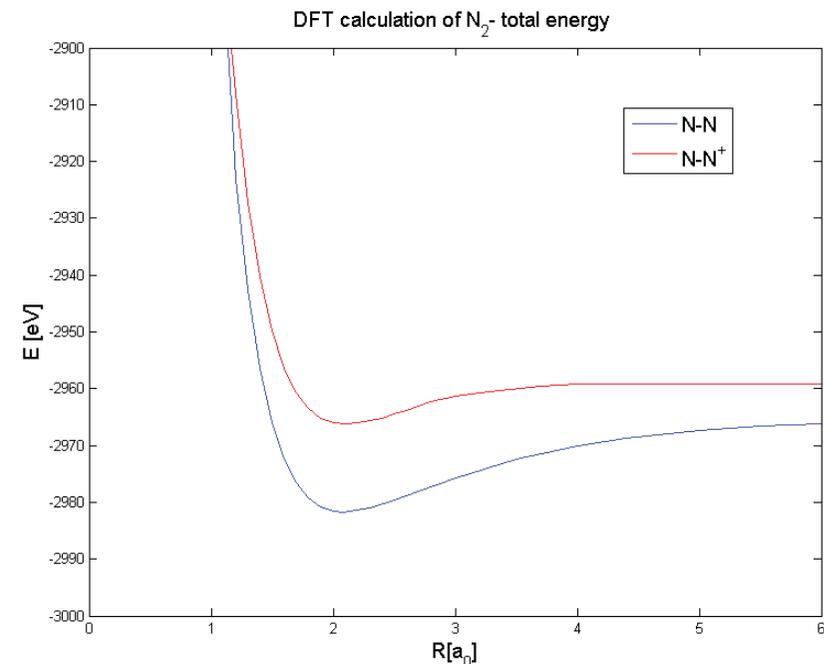
[Brand, Kopainsky 1984]

# Computational chemistry

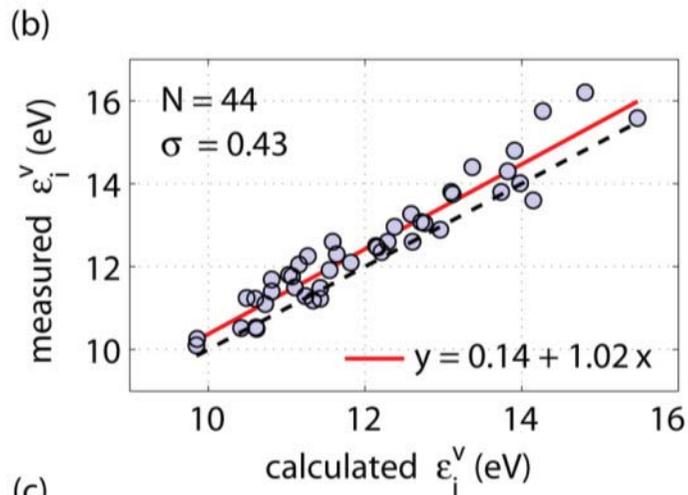
- use of efficient computer programs to calculate the structures and properties of molecules
- descriptors based on simulations
- well established in drug design

calculation of:

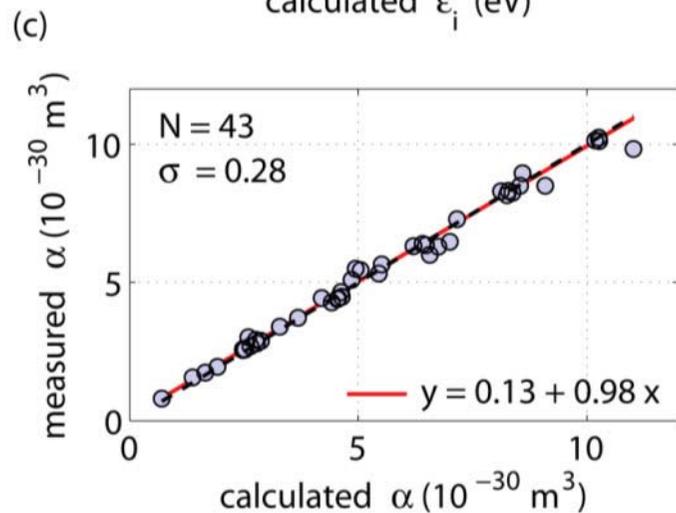
- ground state energy levels
- adiabatic / vertical ionization energy
- dipole moment
- polarizability



# Descriptor variables

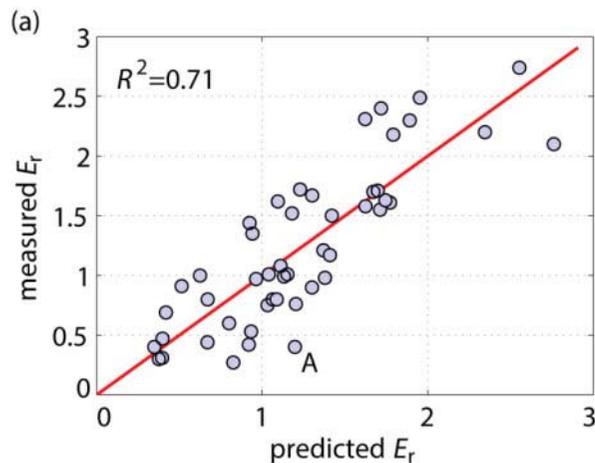


- quant.-chem. simulation of molecular properties
- suitable descriptor variables found e.g. polarizability, dipole moment, ionization energy, ...



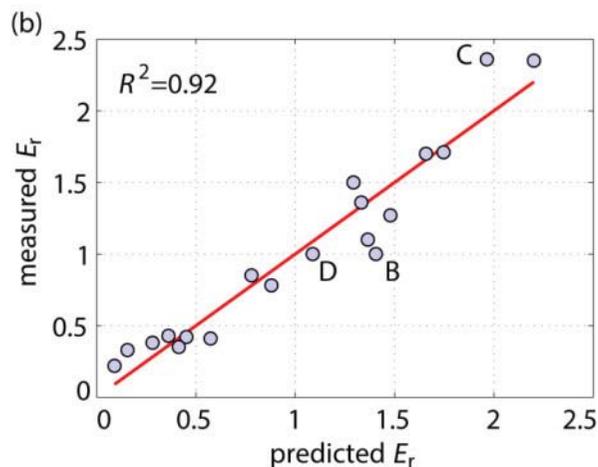
[Rabie, Franck, et al. 2013]

# Predictors for relative electric strength $E_r$



Polar molecules:

$$E_r = \mu^{0.3} N_e^{1.3} + \alpha^{0.6} \epsilon_i^{a 2.8}$$

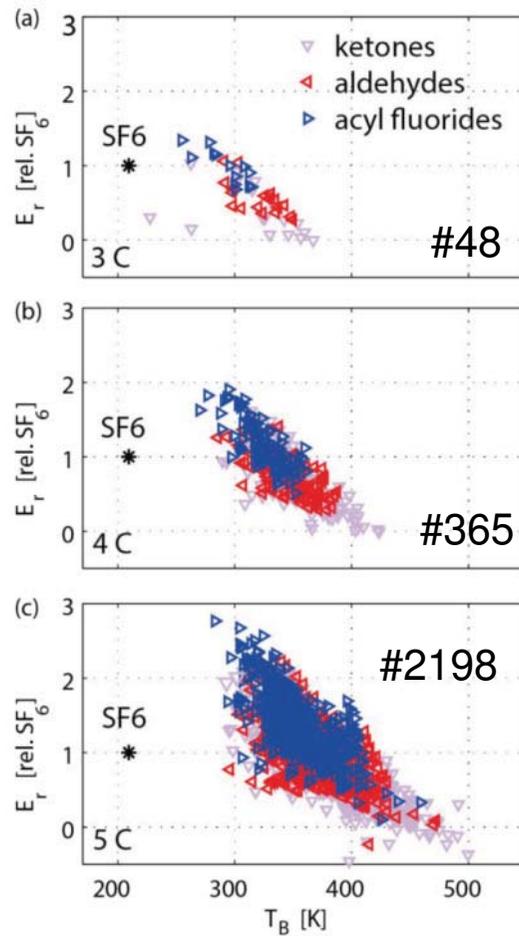


Non-polar molecules:

$$E_r = \alpha^{1.5} \epsilon_i^{a 1.7} + \alpha^{6.5} |\epsilon_a^v - \epsilon_a^a|^{2.4}$$

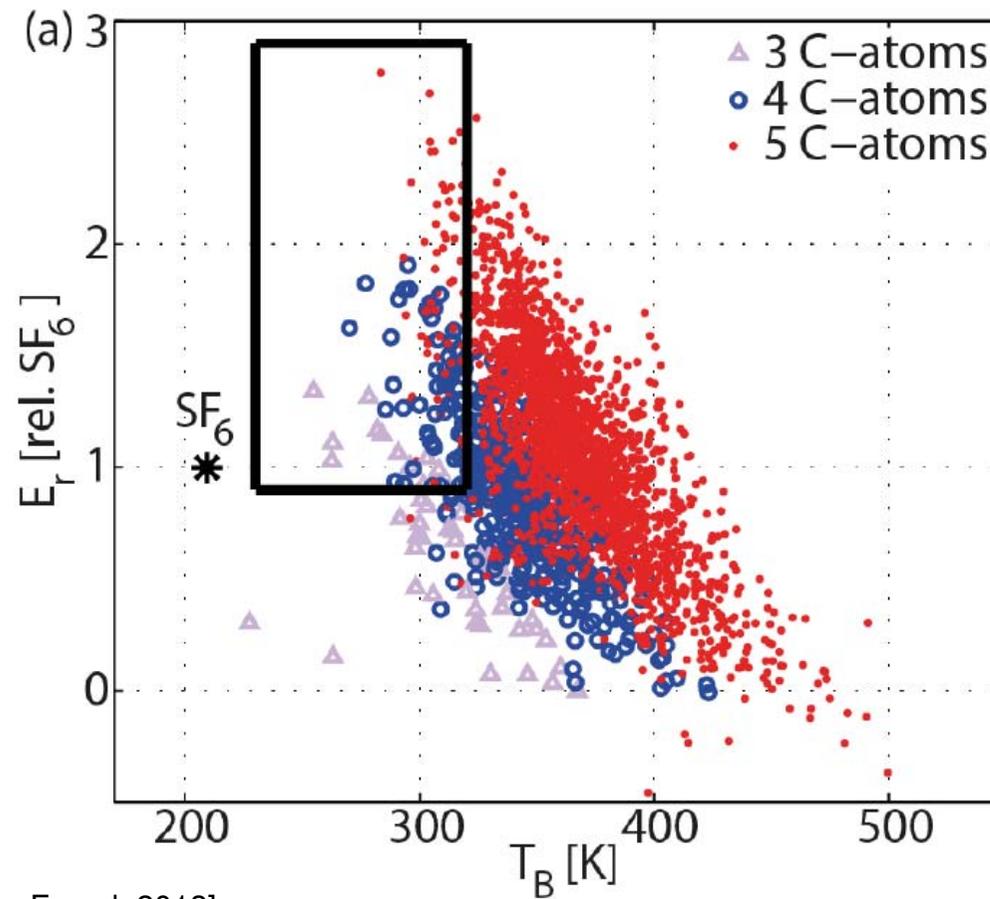
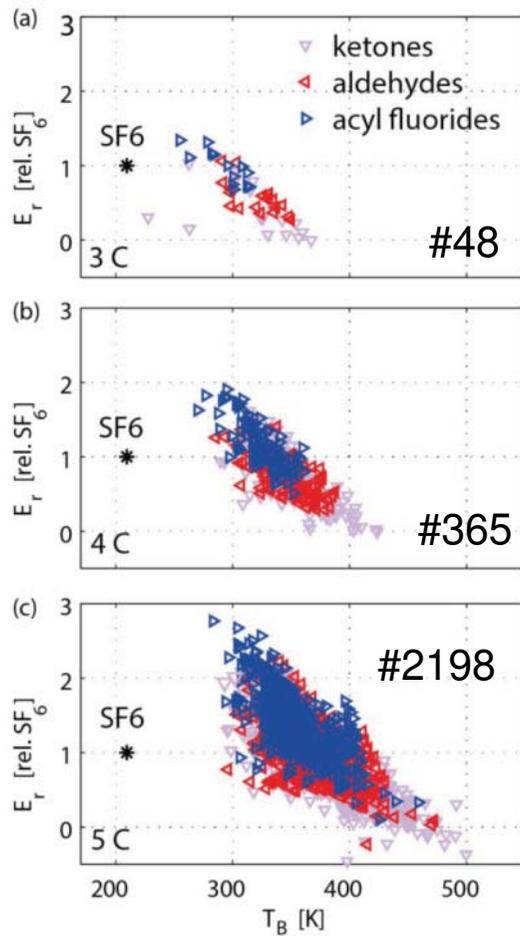
[Rabie, Franck, et al. 2013]

# Example prediction of new gases (with unknown electric strength)



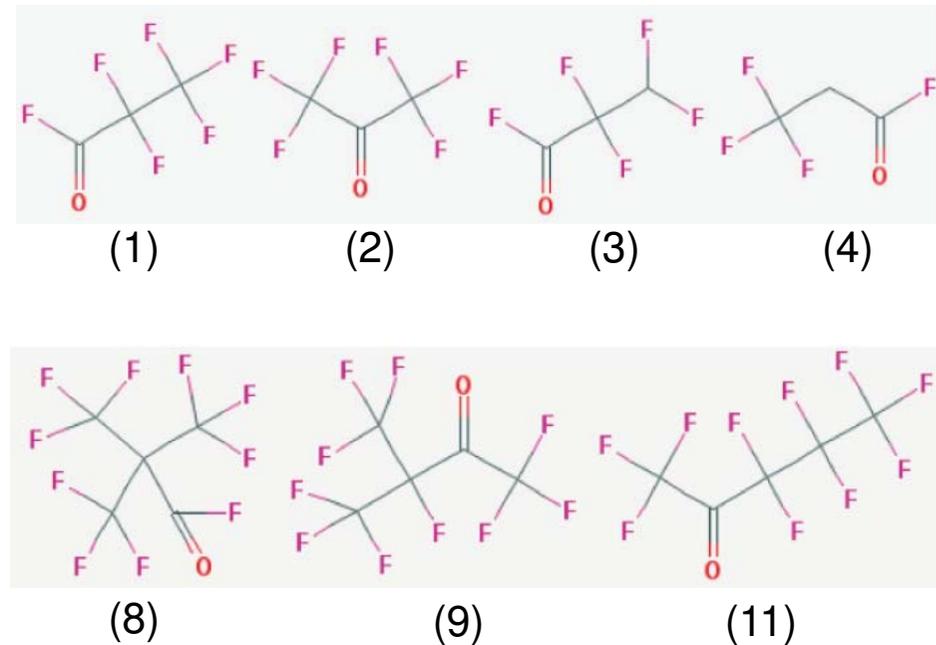
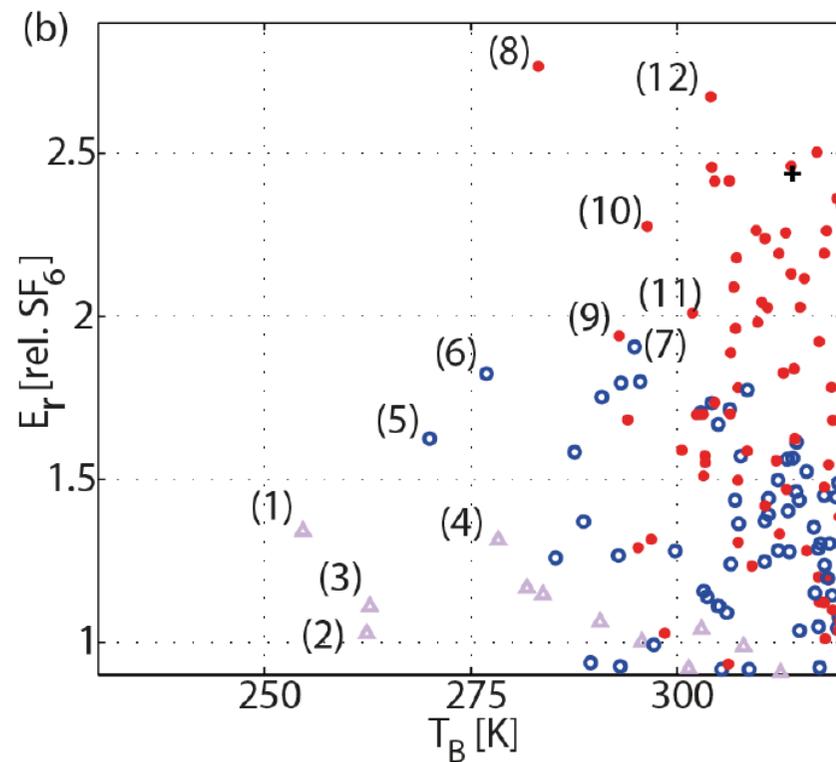
[Rabie, Franck 2013]

# Example prediction of new gases (with unknown electric strength)



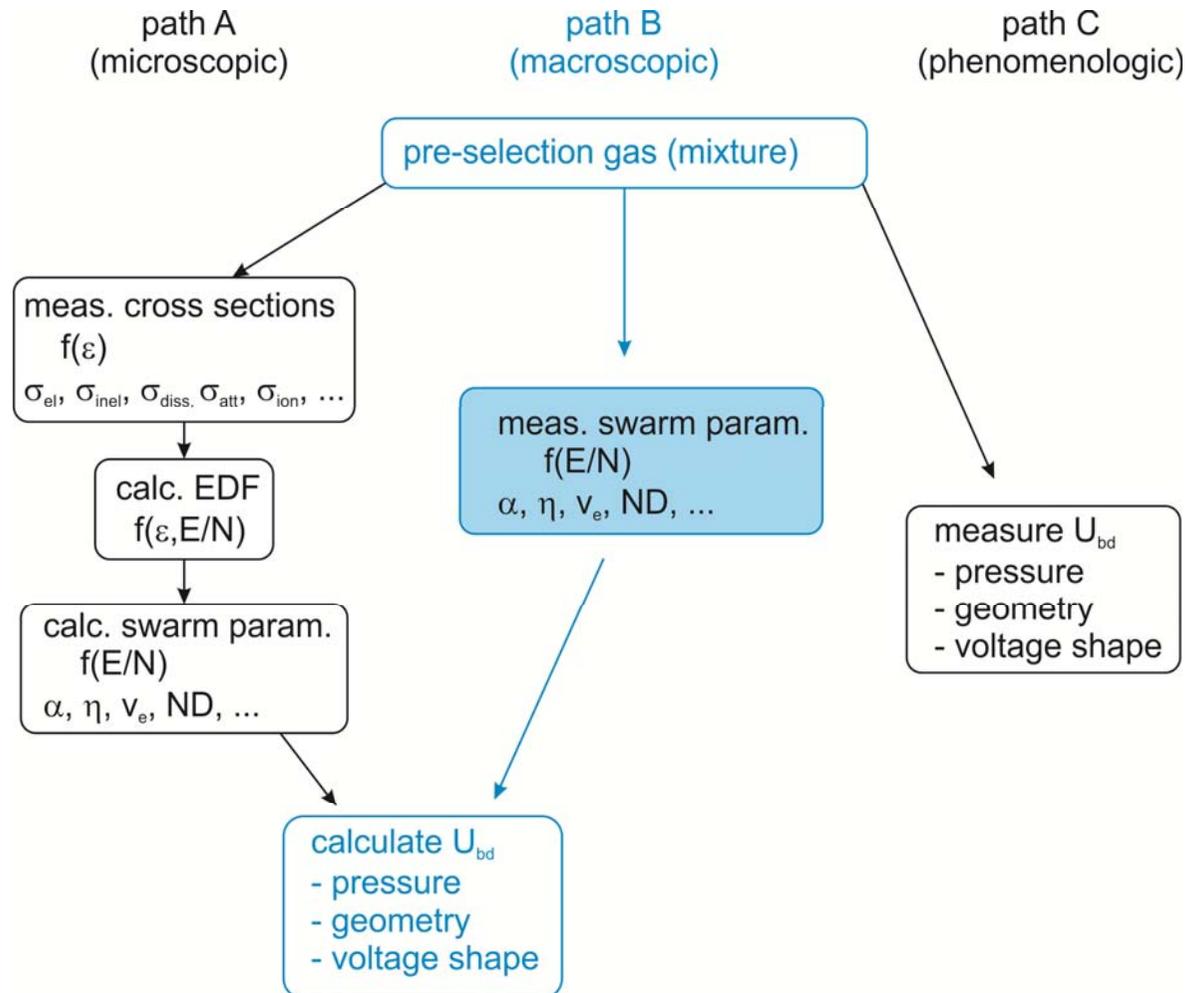
[Rabie, Franck 2013]

# Example prediction of new gases (with unknown electric strength)

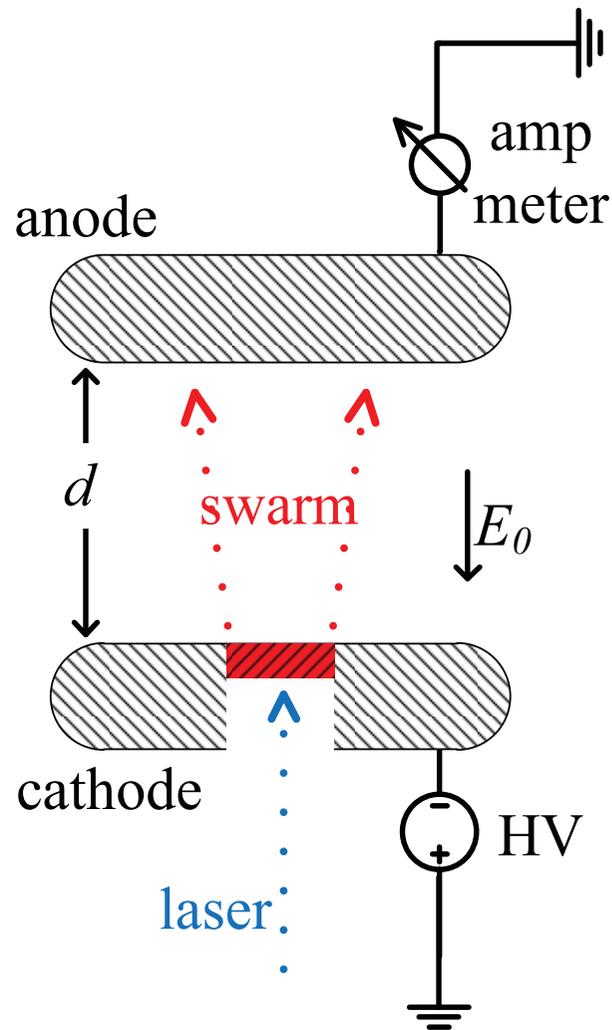


[Rabie, Franck 2013]

# How to find „good“ dielectric gas (mixture)?



# Pulsed Townsend Experiment



- initial electrons by laser pulse (1.5 ns FWHM)
- up to  $\approx 3 \cdot 10^7$  electrons
- measure displacement current
- high time resolution for electrons
- high amplification for ions

## Electrode setup



Rogowski profile electrodes  
inside vacuum chamber.

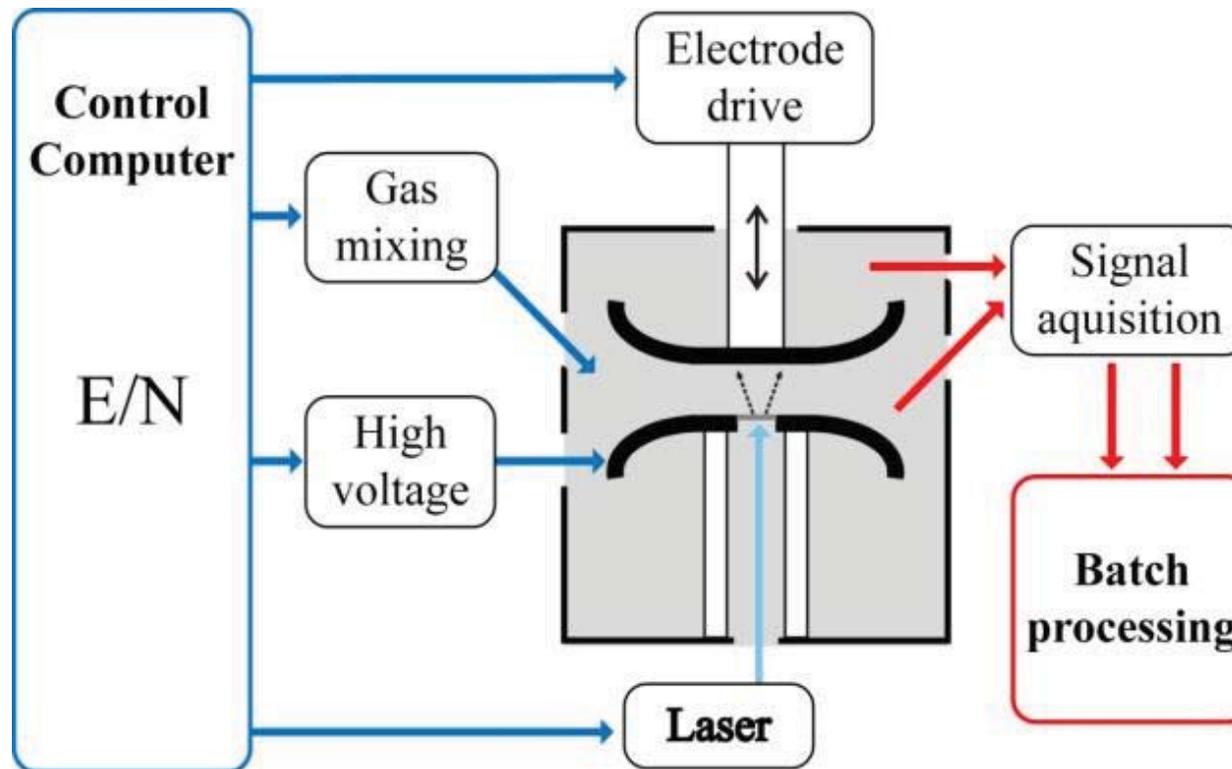
- photocathode 25 mm diameter
  - palladium / gold film on quartz

computer controlled parameters:

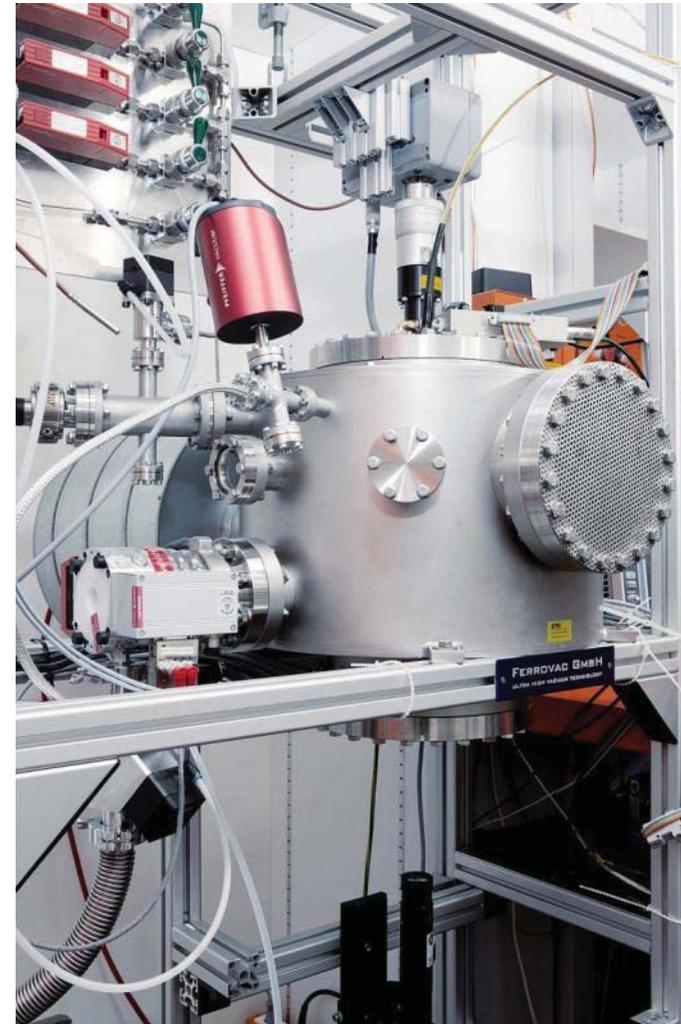
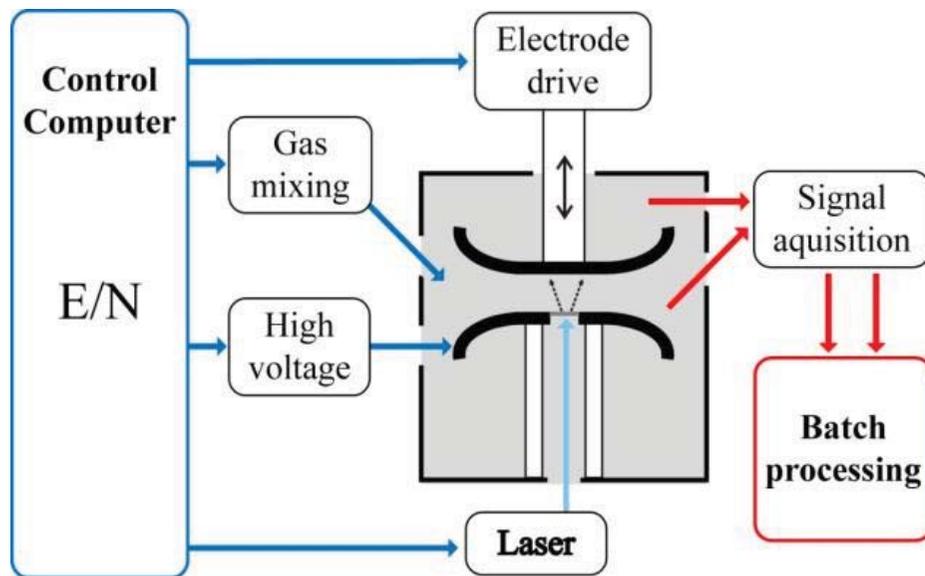
- distance  $d$
- voltage  $U$  max. 60 kV
- gas mixture:  $p_1, p_2, p_3$
- $p_{\text{total}}$  up to 11 kPa (110 mbar)

computer processed measurement

# Setup Pulsed Townsend Experiment

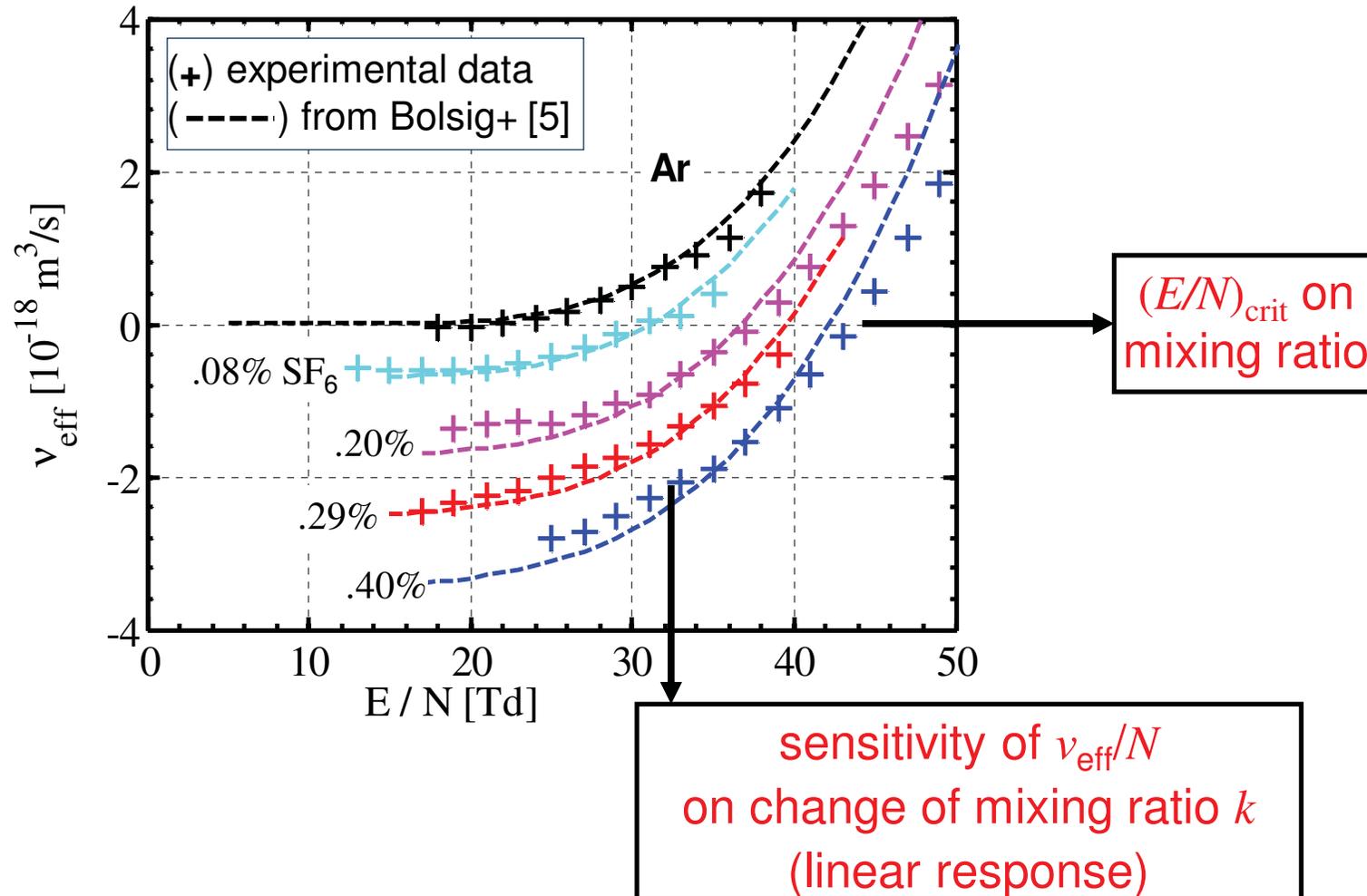


# Setup Pulsed Townsend Experiment

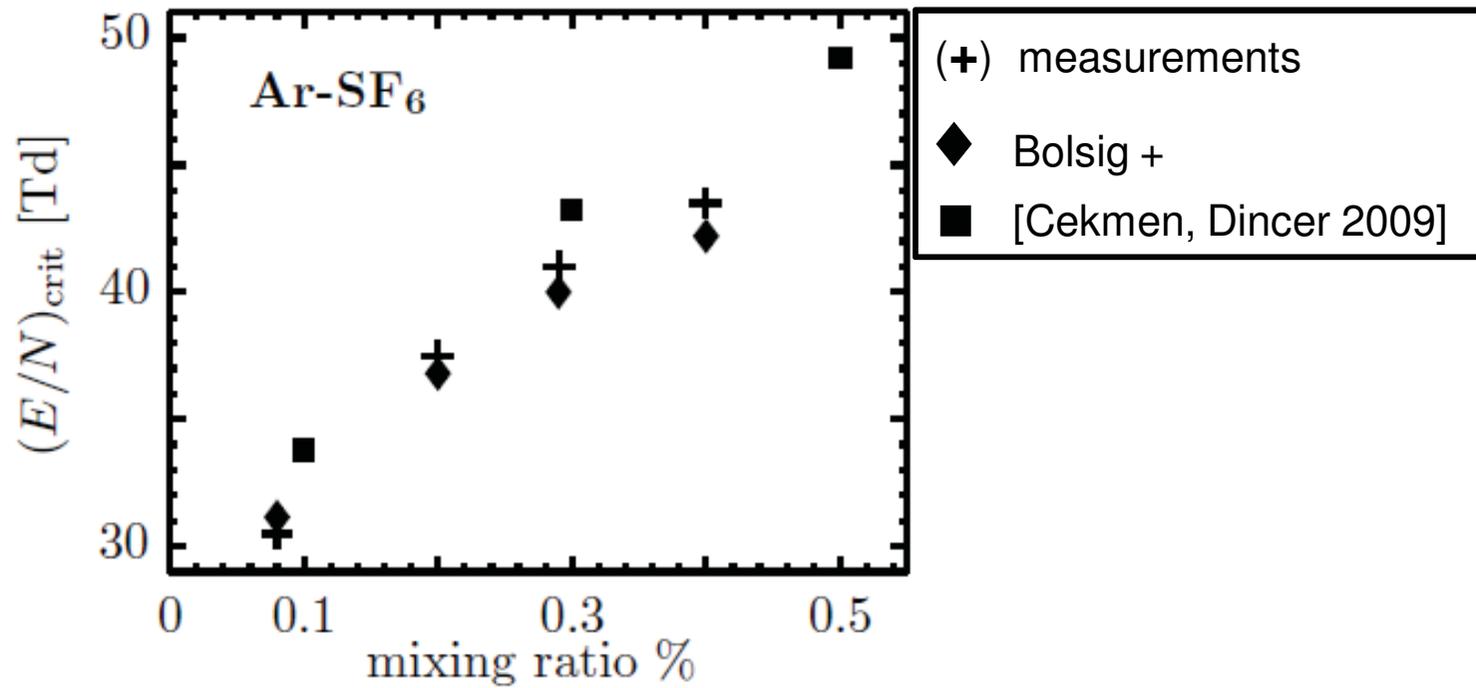


# Analysis of gas mixtures

## effective ionization in Ar-SF<sub>6</sub> mixtures

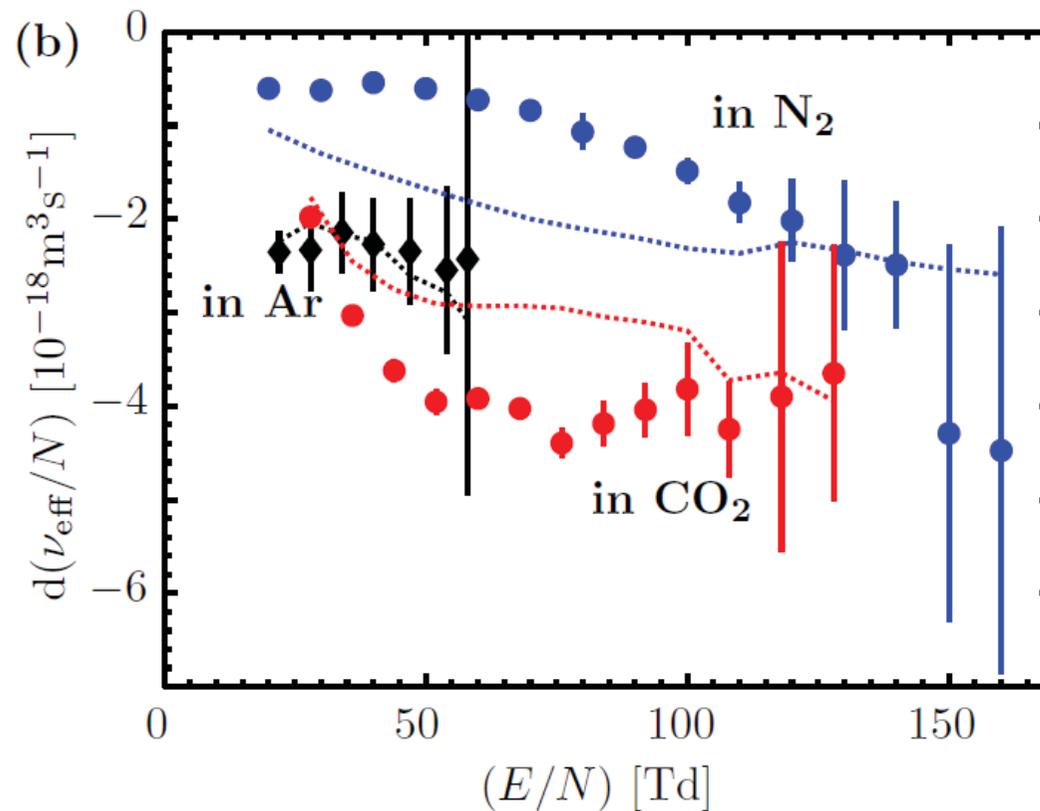


## Results: $(E/N)_{\text{crit}}$



[Dahl, Franck 2013]

## Results: Gas mixtures with C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>

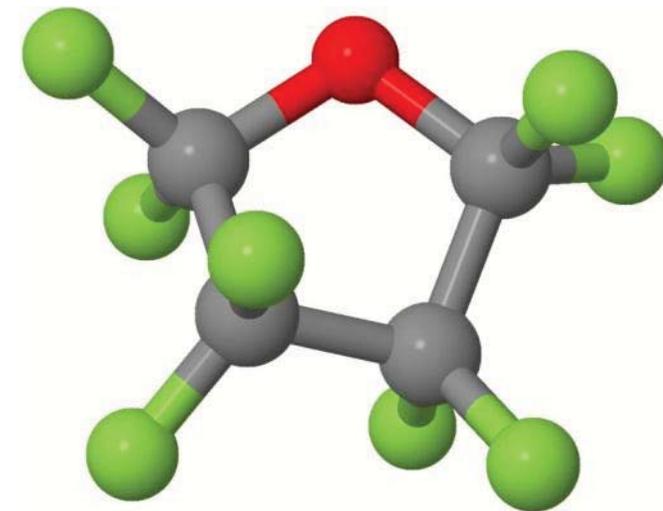


[Dahl, Franck 2013]

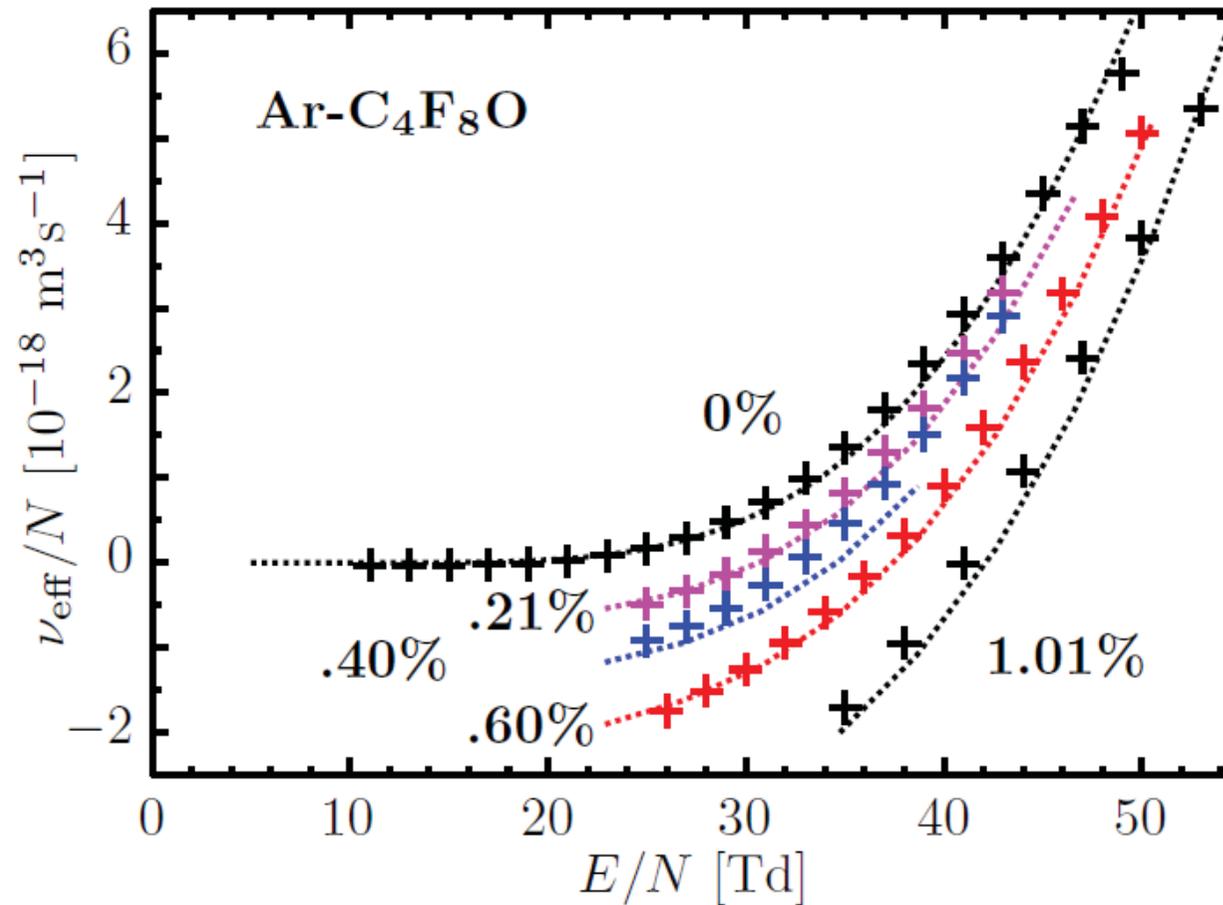
Absolute change of effective ionisation in buffer gases with 1% C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>

## Octafluorotetrahydrofuran (c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>O)

- now commercially available
- process gas for cleaning of the silicon nitride CVD chambers
- replacement for C<sub>4</sub>F<sub>10</sub> in Cherenkov radiation detectors
- $T_b = -0.8^\circ \text{ C}$
- vapour pressure 200 kPa at 20° C
- for us only test system, not candidate gas for HV insulation

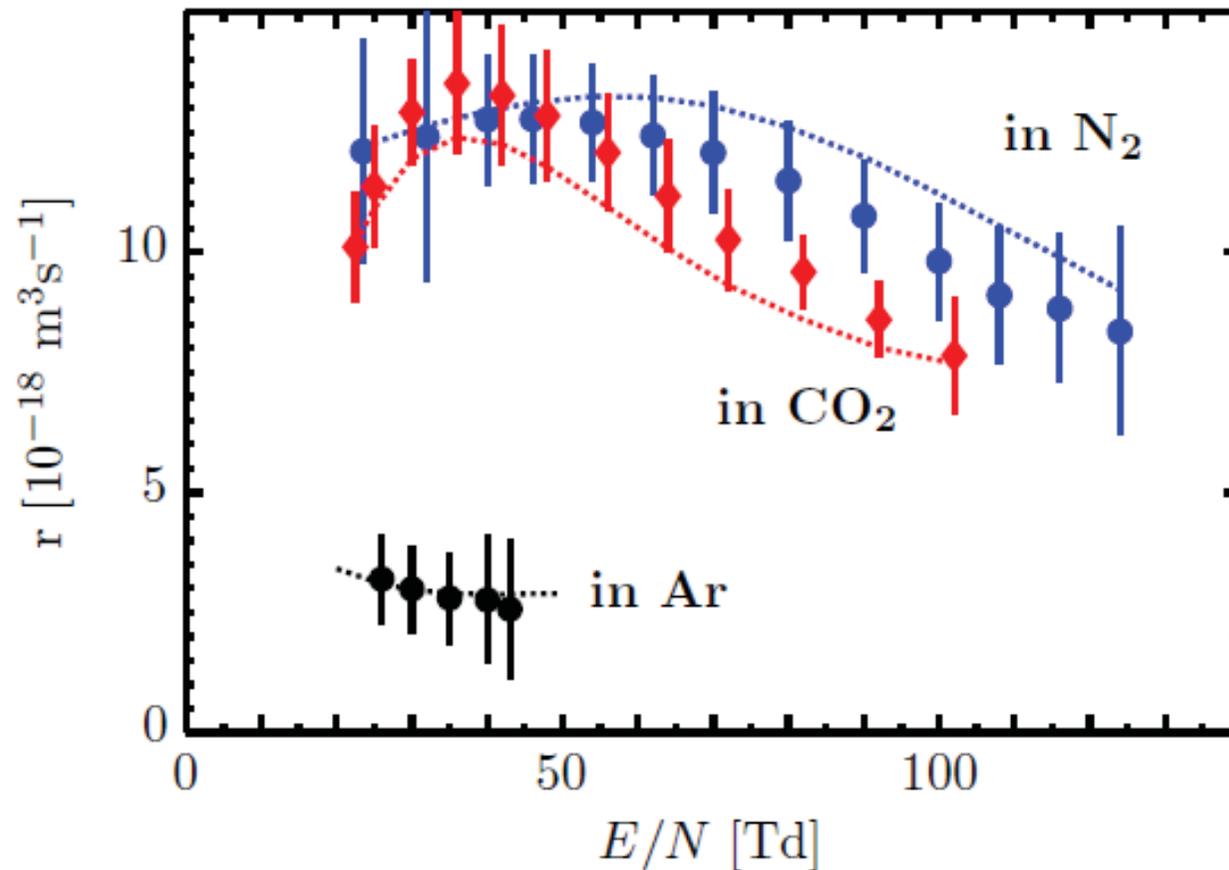


## effective reaction rate in Ar



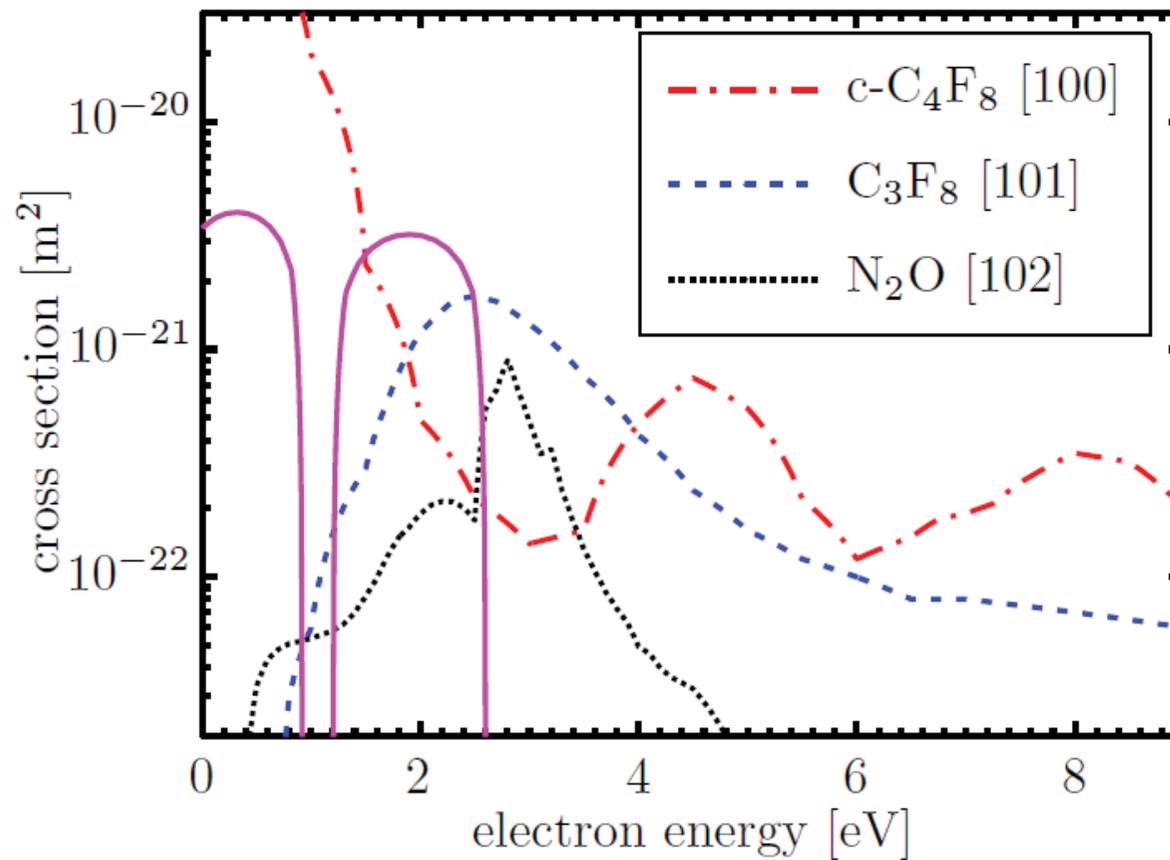
[Dahl, Franck 2013]

## Response parameter for c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>O in Ar, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>



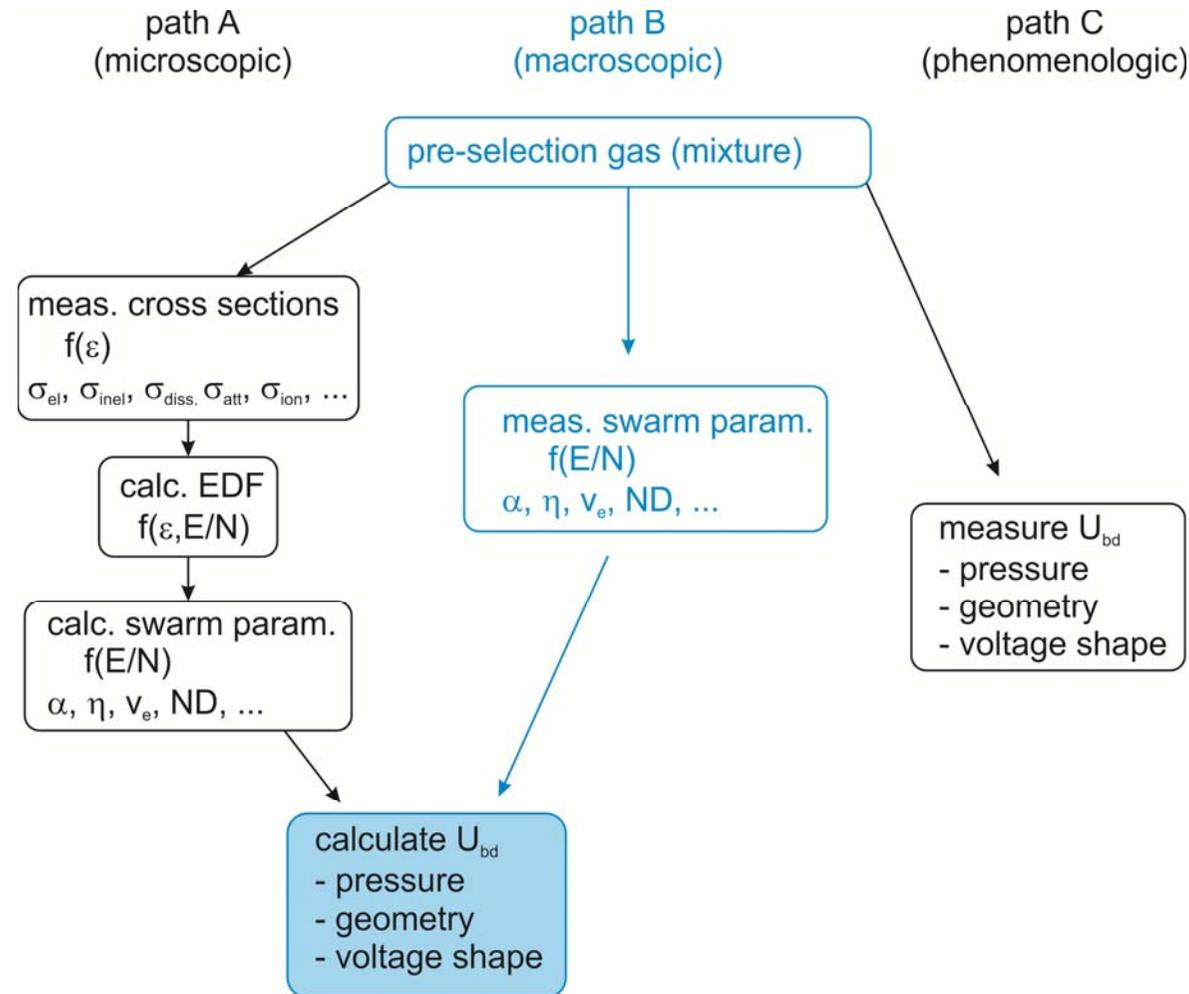
Absolute change of effective ionisation in buffer gases with 1% c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>O

# Preliminary attachment cross sections of c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>O

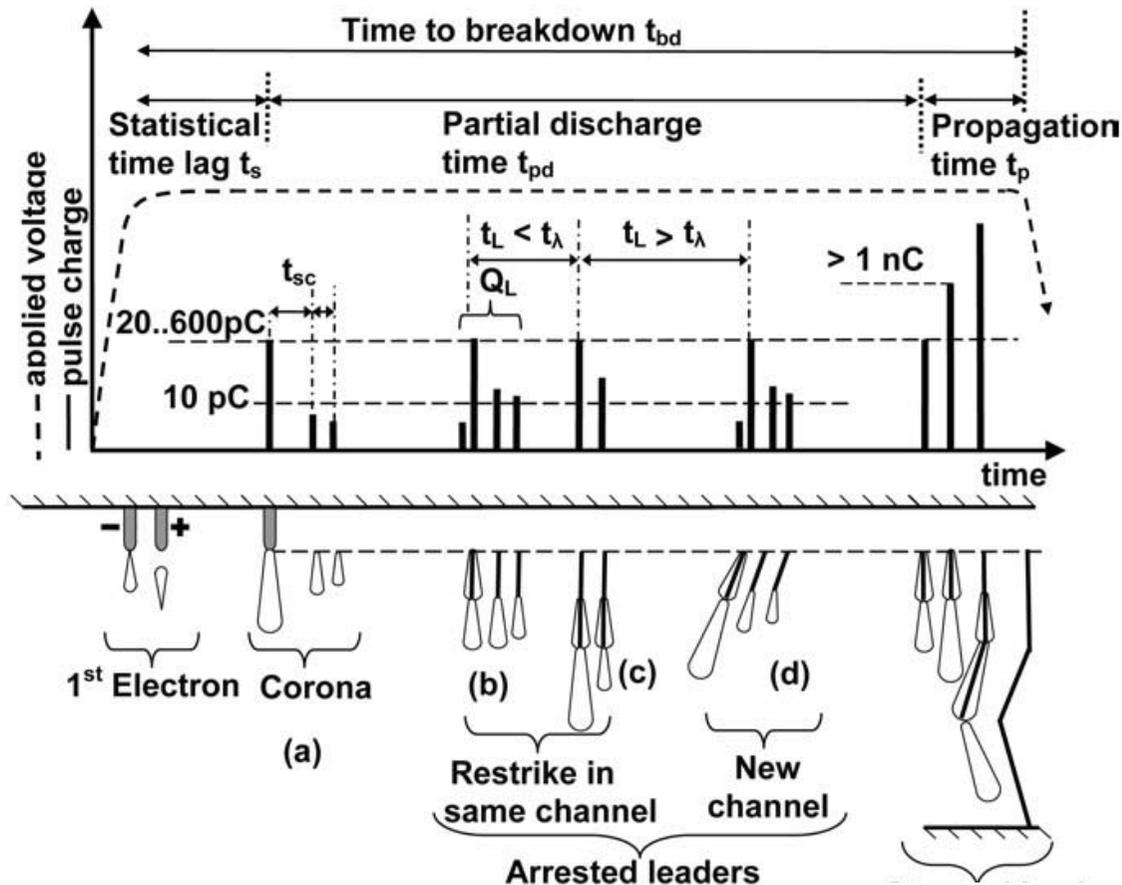


[Dahl, Franck 2013]

# How to find „good“ dielectric gas (mixture)?



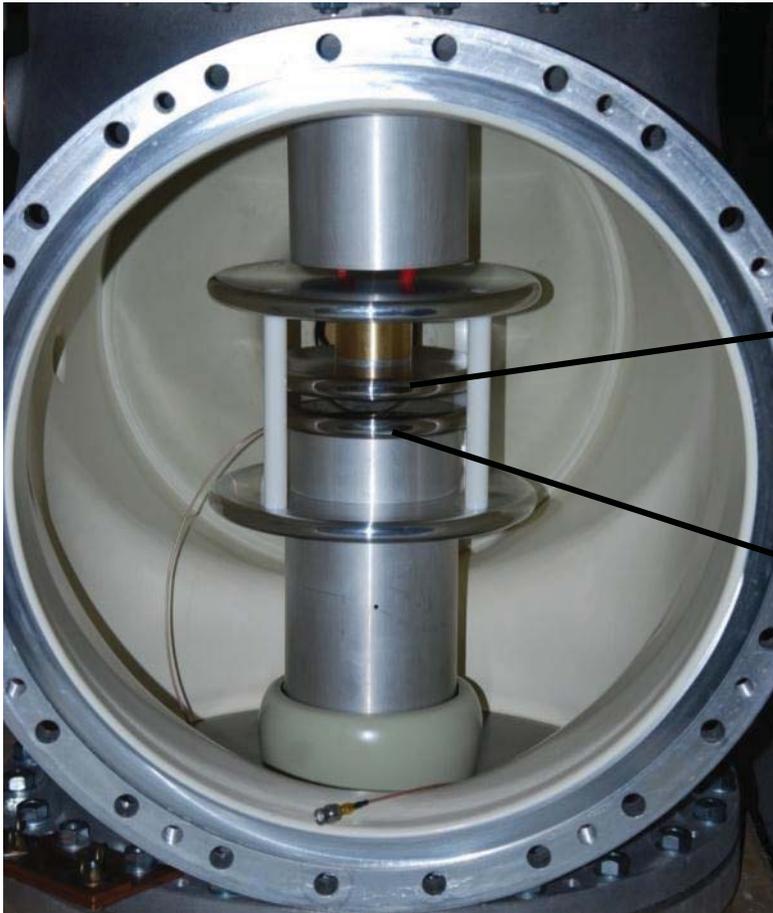
# Temporal development of discharge processes



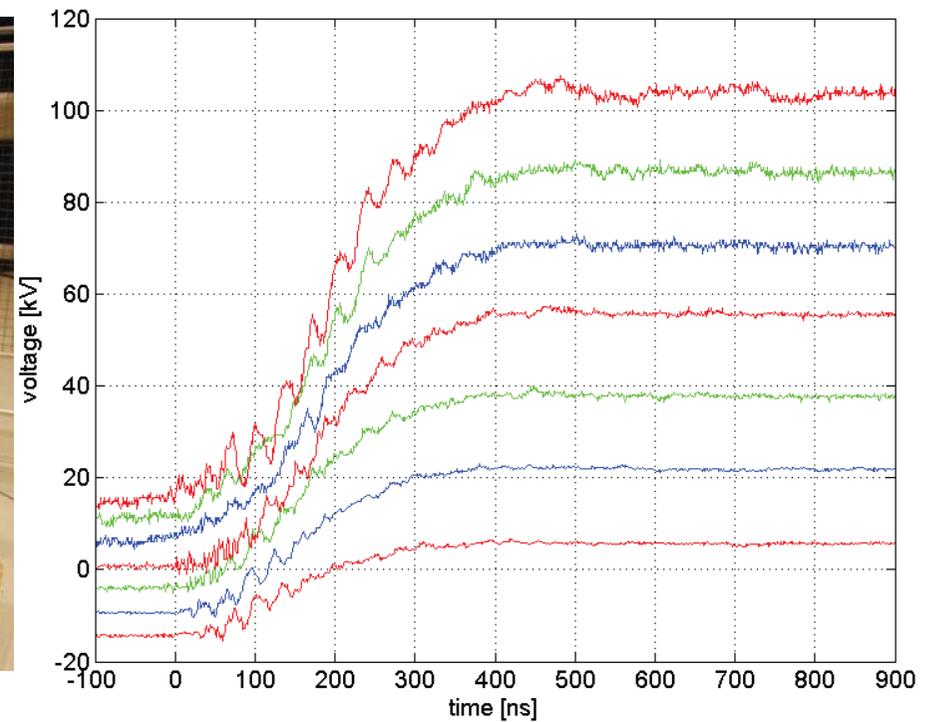
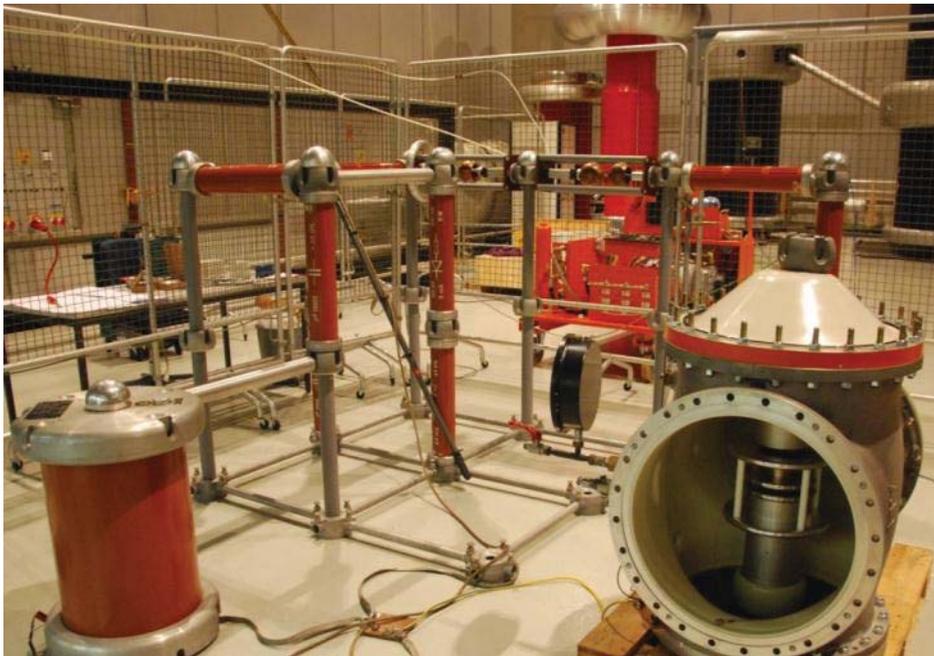
[Seeger et al. 2008]

**Stepped leader  
propagation & breakdown**

# Test Setup



# HV DC-Pulse Source



## Summary

- numerical pre-selection of candidate gases
- swarm parameter measurements to guide search for novel high voltage insulation gases
- state-of-the-art Pulsed Townsend Experiment
- «tayloring» gas mixtures
- model to calculate real breakdown voltages

# Acknowledgement: Research Group ETHZ - HVL

