



VEiN Verteilte Einspeisung in Niederspannungsnetze

Pilotnetz VEiN – Auswirkungen von dezentralen Einspeisungen auf das NS-Verteilnetz

Peter Mauchle, Schnyder Ingenieure ZG AG
VEiN Stv. Projektleiter

VTE Feierabendveranstaltung
Weinfelden, 25. September 2013



Agenda

- **Informationen zum Projekt «VEiN»**
- **Pilotnetz**
- **Anlagen und Systeme**
- **Messergebnisse**
- **Erkenntnisse**
- **Fazit**
- **Fragen / Diskussion**



VEiN

Verteilte Einspeisungen in Niederspannungsnetze

Forschungsprojekt

zur Klärung der Auswirkungen
von dezentralen Energieerzeugungsanlagen
auf die elektrischen Verteilnetze

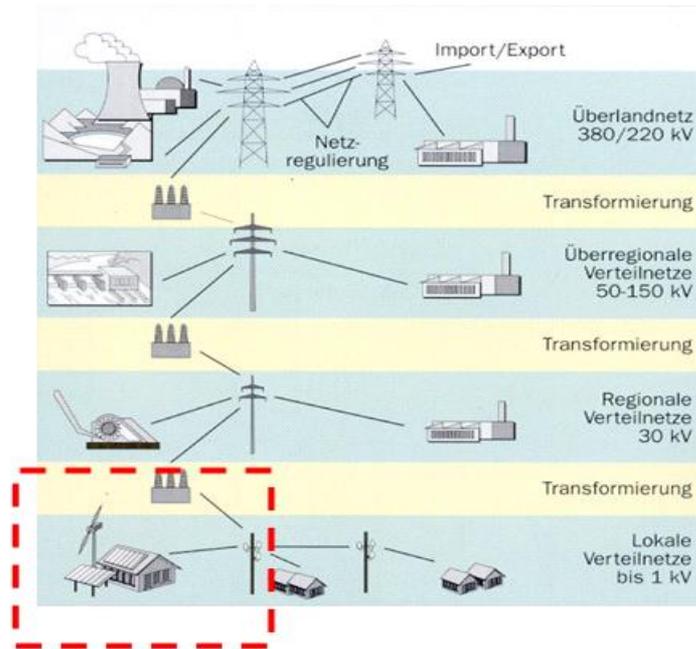
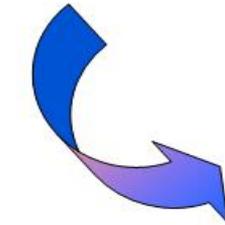
Trägerschaft



Umfeld des Projekts VEiN

Ein vermehrter Einsatz von verteilten Einspeisungen in das Niederspannungsnetz ist in Zukunft zu erwarten.

**Verteilte
Einspeisungen
in NS-Netzen**



Problemstellungen

Netzurückwirkungen

Spannungsqualität
Oberschwingungen
Flicker
Spannungsschwankungen
Symmetrie im Drehstromsystem
Beeinflussung von Rundsteueranlagen

Netzstruktur, Regelung

Lastmodellierung
Kompensation von Blindleistung
P- und f-Regelung
Versorgungssicherheit
Optimierung

Sicherheitsanforderungen

Rückspeisung
Inselbildung
Schutztechnik
selektive Fehlererkennung
Personensicherheit



Ausgangslage für Netzbetreiber

– Die Verteilnetzbetreiber sind im Kerngeschäft betroffen

- Der Ausbau und der Betrieb der Verteilnetze wird nachhaltig beeinflusst werden. Die Komplexität des Systems nimmt zu.
- Die Betriebsführung im Normalbetrieb und insbesondere im Störfall ist betroffen.
- Die Auswirkungen auf die Kunden sind zu beschränken; die Versorgungssicherheit und die Spannungsqualität beim Kunden darf nicht beeinträchtigt werden. (Haftung / Schadenersatzforderungen)



Bisherige Aktivitäten

– Theoretische Studie: 2001/2003

- Titel*: Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen
- Finanziert durch: BFE, KTI, ABB, PSEL, EW Davos, ewz, AEK Energie
- Ausgeführt durch: Schnyder Ingenieure AG; Hochschule für Technik und Informatik Biel, ABB Forschungszentrum Dättwil

– Machbarkeitsstudie: 2004/2005

- Titel*: Dezentrale Erzeugungsanlagen in Niederspannungsnetzen
- Finanziert durch: BFE und AEW Energie AG
- Ausgeführt durch: AEW Energie AG, Schnyder Ingenieure

– Feldstudie mit Pilotnetz: 2010 - 2014

- Titel*: Verteilte Einspeisungen in Niederspannungsnetzen «VEiN»
- Finanziert durch: AEW, BFE, BKW, CKW, DSV, EKZ, EWB, EWZ, Groupe E, Gruppe Regionalwerke, IWB, RE, StWW, WWZ

*www.electricity-research.ch



Zielsetzungen des Pilotprojektes

1. Aufbereitung und Sammlung von Fachwissen

- Neue Erkenntnisse gewinnen / Bestätigung der Theorie im Praxisumfeld
- Ermitteln der Auswirkungen auf die Verteilnetze für die Machbarkeit von VEiN

2. Technische Randbedingungen ausführlich definieren

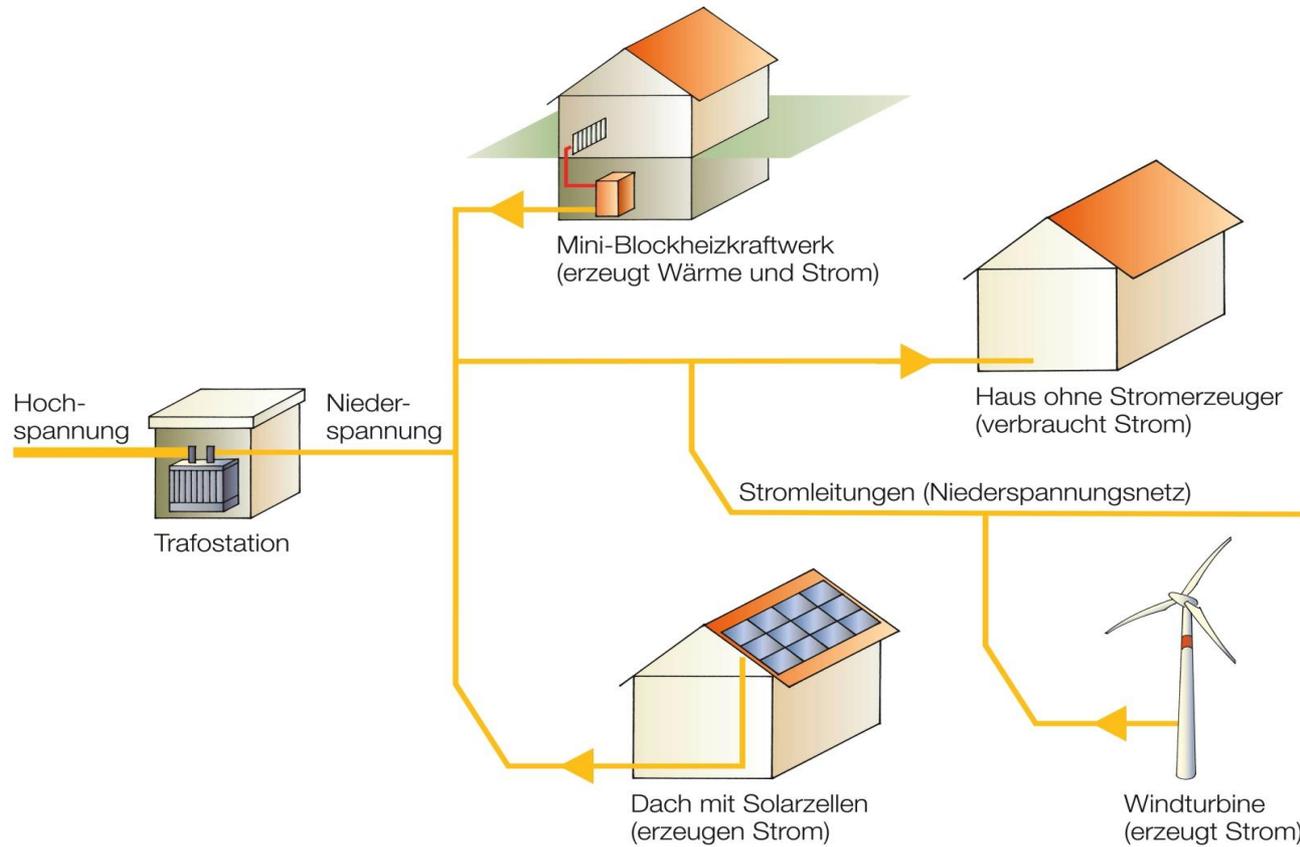
- Monitoring, Mess-, Steuer- und Regelmöglichkeiten
- Unterbrechungsfreie Stromversorgung / Stabilität des Verteilnetzes
- Neue Netzelemente und Netzstrukturen

3. Festlegung von Anschlussbedingungen für VEiN

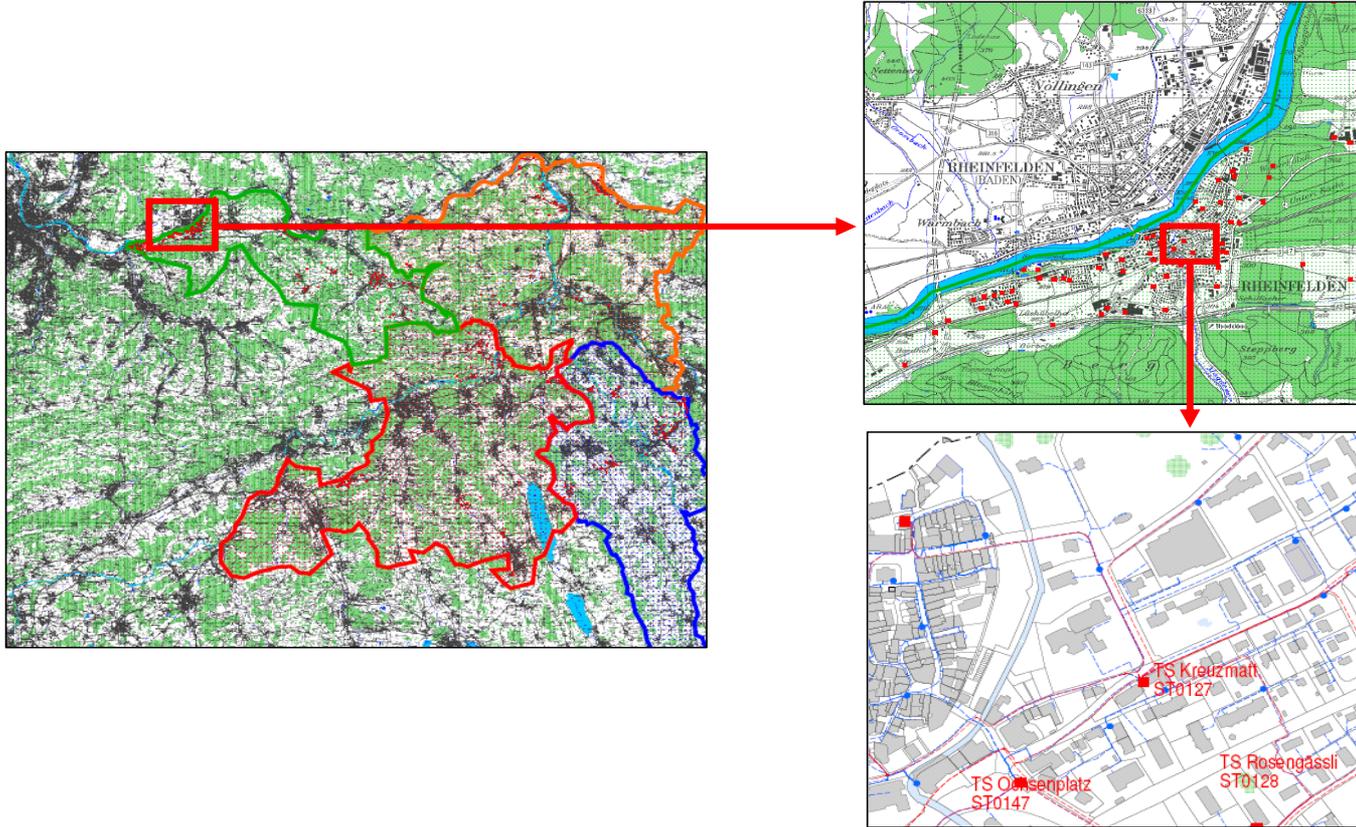
- Ableiten von konkreten Regeln für den Anschluss von VEiN



Idee Pilotnetz: Niederspannungsnetz mit VEiN



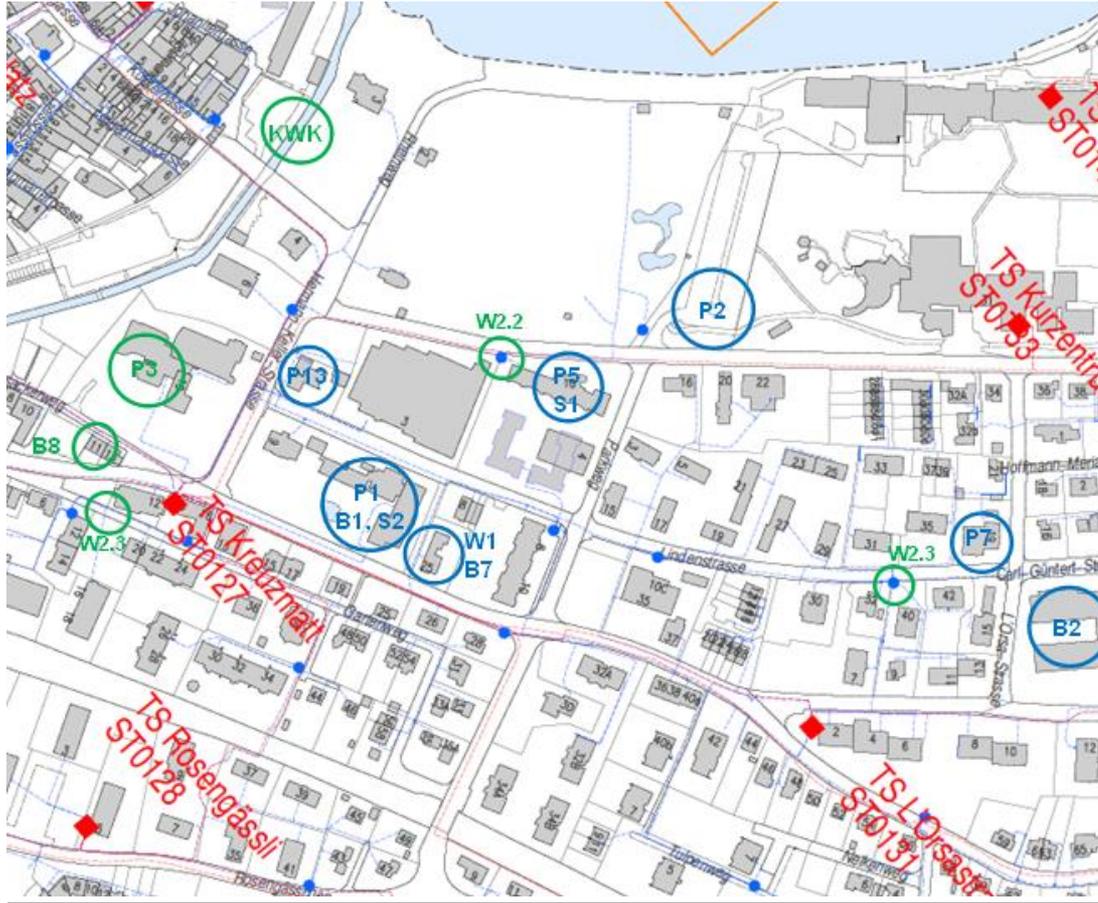
Pilotnetz in Rheinfelden – TS Kreuzmatt



Niederspannungsnetz ab TS Kreuzmatt



Anlagen- und Objektübersicht



Nr.	Anlagen-Kategorie	Objekt	Leistung
			kW _{el}
P1	Photovoltaik	Alters und Pflegeheim	33
P2	Photovoltaik	Parkhaus Kurzentrum	60
P3	Photovoltaik	röm. kath. Kirchg. Pfarreigebäude	31
P4	Photovoltaik	Bezirksgericht	11
P5	Photovoltaik	Baugenossenschaft Zähringer	32
P6	Photovoltaik	MFH, Gartenweg 12	
P7	Photovoltaik	EFH, L'Orsa-Strasse 19	9
P8	Photovoltaik (Panatron-Ziegel)	EFH, Gartenweg 50	
P9	Photovoltaik	MFH, Zürcherstrasse 1	ca. 5
P10	Photovoltaik	EFH, Roberstenstrasse 50a	ca. 4
P11	Photovoltaik	MFH, Lindenstrasse 32	ca. 4
P12	Photovoltaik	evang. Ref. Kirche	
P13	Photovoltaik	EFH, Hermann-Keller-Strasse 7	11
P14	Photovoltaik	NAB	5
W1	Leichtwind-Anlage	EFH, Jakob-Strasser-Weg 1	4
W2	Kleinst-Leichtwind-Anlagen	3 Standorte auf Kandelaber	je 0.5
B1	Erdgas-BHKW	Alters- und Pflegeheim	48
B2	Erdgas-BHKW	Schulhaus Robersten	90
B3	Erdgas-BHKW	MFH (7 Parteien)	
B4	Erdgas-BHKW	Genossenschaft Lindenpark	
B5	Erdgas-Mini-BHKW	Praxis, Hermann-Keller-Strasse 7	1
B6	Erdgas-Mini-BHKW	EFH, Salinenstrasse 28	1
B7	Erdgas-Mini-BHKW	EFH, Jakob-Strasser-Weg 1	1
B8	Erdgas-Mini-BHKW	EFH, Salinenstrasse 11	1
KWK	WWKW	Stadt Rheinfelden	6



Realisierte Anlagen



PV-Anlagen

	Inst. Leistung	Produktion		Volllaststunden	
		2011	2012	2011	2012
▪ Alters- und Pflegeheim	32.8 kWp	31'729 kWh	27'477 kWh	967 h	859 h
▪ Parkhaus Parkresort Rheinfeldern	60.1 kWp	61'515 kWh	49'896 kWh	1'023 h	832 h
▪ Wohnbaugenossenschaft Zähringer	31.5 kWp	37'560 kWh	30'887 kWh	1'192 h	981 h
▪ Privat: L'Orsastrasse	9.4 kWp	9'504 kWh	8'339 kWh	1'011 h	826 h
▪ Privat: Hermann Keller Strasse	10.9 kWp	-	* 6'246 kWh	-	* 573 h
TOTAL	144.7 kWp	140'308 kWh	122'845 kWh		

* Inbetriebnahme 25.05.2012



Realisierte Anlagen



BHKW-Anlagen

	Inst. Leistung	Produktion		Volllaststunden	
		2011	2012	2011	2012
▪ Alters- und Pflegeheim	48.0 kWp	192'767 kWh	220'296 kWh	4'015 h	4'590 h
▪ Schulhaus Robersten	90.0 kWp	317'610 kWh	70'914 kWh	3'529 h	788 h
TOTAL	138.0 kWp	510'377 kWh	291'210 kWh		



Realisierte Anlagen



Leichtwindanlage

- Leistung: 3.6 kW
- Durchmesser: 2 m
- Höhe Flügel: 3 m
- Gewicht: 250 kg
- Anschluss: 230 VAC
- V_{min} : 2 m/s
- V_{opt} : 12 m/s



Realisierte Anlagen - Elektrische Energiespeicher

3 Anlagen

1 x 50 kW / 25 kWh

im MFH Zähringer

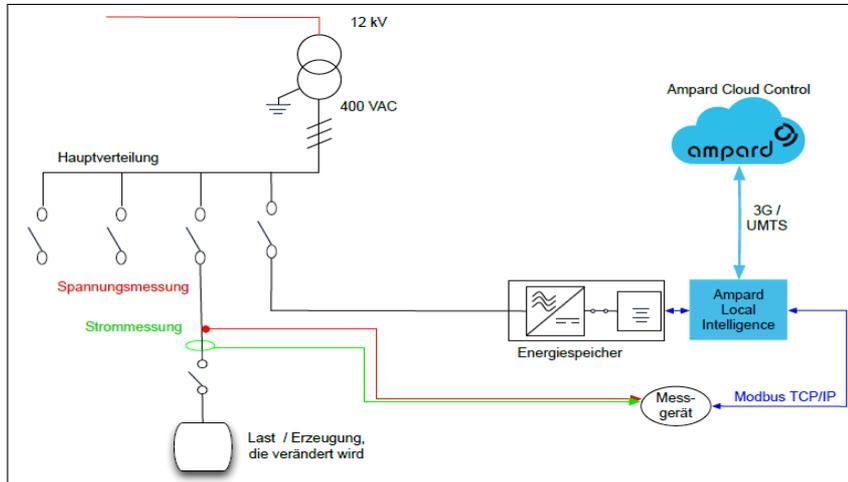
mit PV-Anlage 30 kWp

2 x 9 kW / 10 kWh

im APH

mit PV-Anlage 30 kWp und
mit BHKW 48 kWel

Prinzipschema



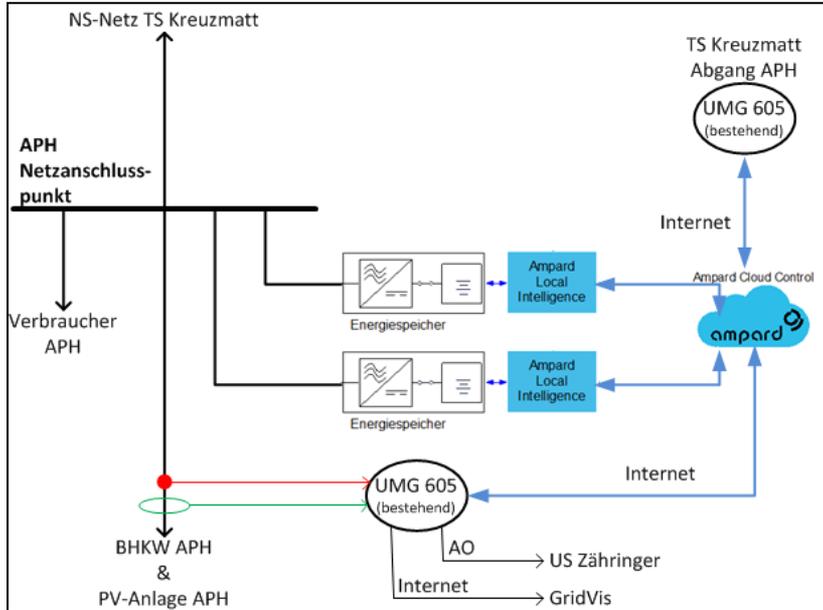
Regelung

- Peak-Shaving beim Anschlusspunkt
- Peak-Shaving bei Netzpunkten
- Spannungsregelung bei Netzpunkten
- Energiekosten optimierter Betrieb

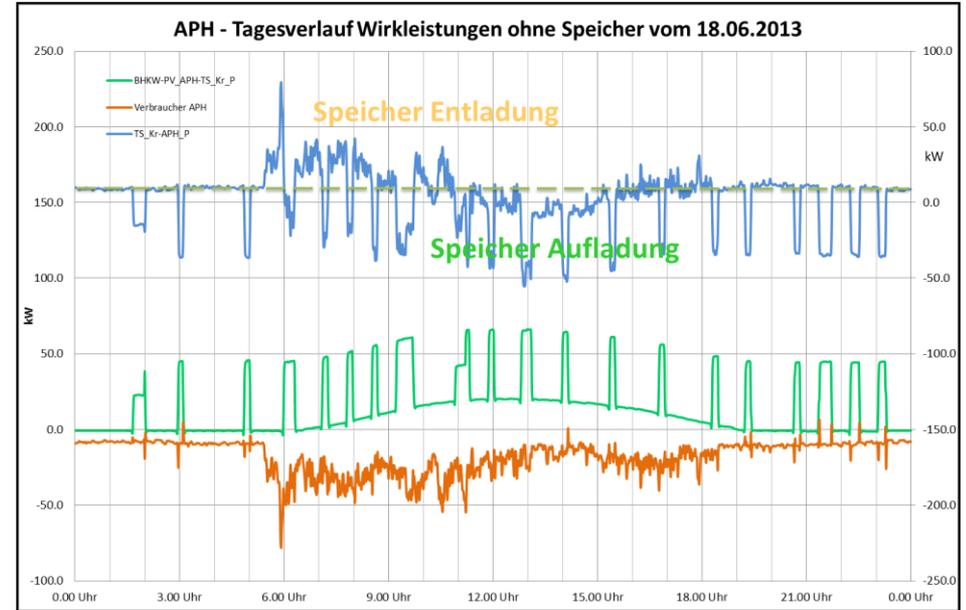


Speicher APH – Regelbeispiel Peak-Shaving

Aufbau APH



Vorgaben für Peak-Shaving

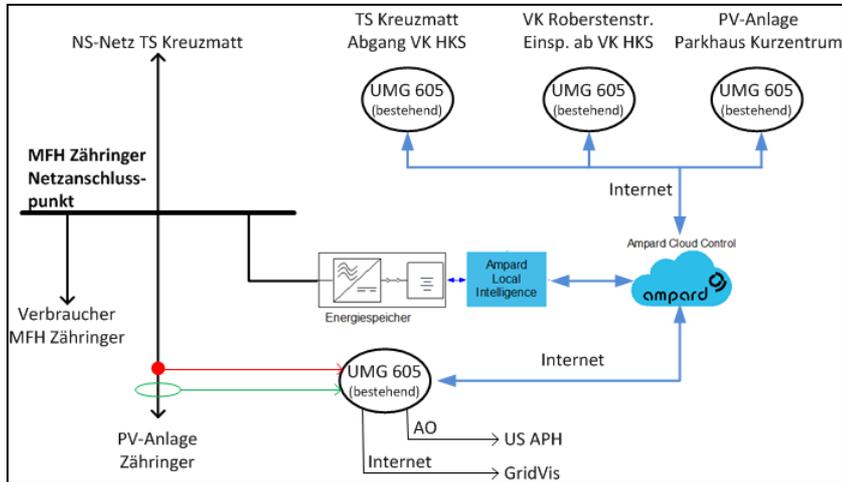


- Leistungswert TS Kreuzmatt Abgang APH z.B. 10 kW
- Sollwertoptimierung abhängig von Speicherkapazität

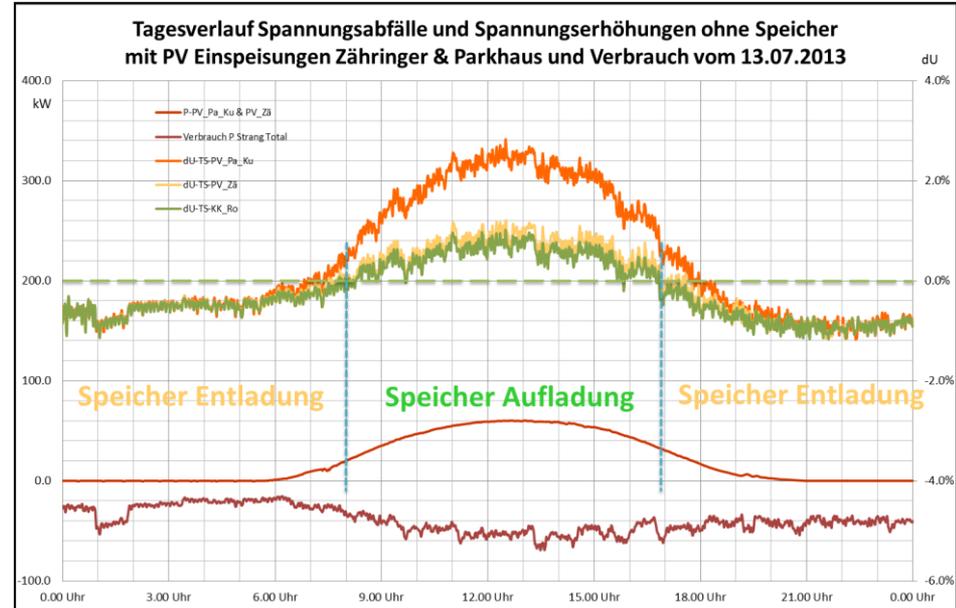


Speicher Zähringer – Regelbeispiel Spannungsregelung

Aufbau MFH Zähringer



Vorgaben für Spannungsregelung



- Sollwert Spannungsabfall TS Kreuzmatt – VK Roberstenstrasse (dunkelgrüne Kurve) z.B. 0%
- Sollwertoptimierung abhängig von Speicherkapazität



Einzelne Anlagen realisiert

Mini-BHKW-Anlagen

- 1 Brennstoffzellen-Anlagen von Hexis, Produkt Galileo
- 1 Brennstoffzellen-Anlagen von CFC, Produkt BlueGen
- Finanzierung hauptsächlich durch den „Gasverbund Mittelland GVM“
- Organisation durch „Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW“

BlueGEN



- HT-Brennstoffzelle
- integrierte Gas-Heizung
- el. Leistung: 1.5 kW
- th. Leistung: 0.6 kW
- el. Wirkungsgrad: 60%

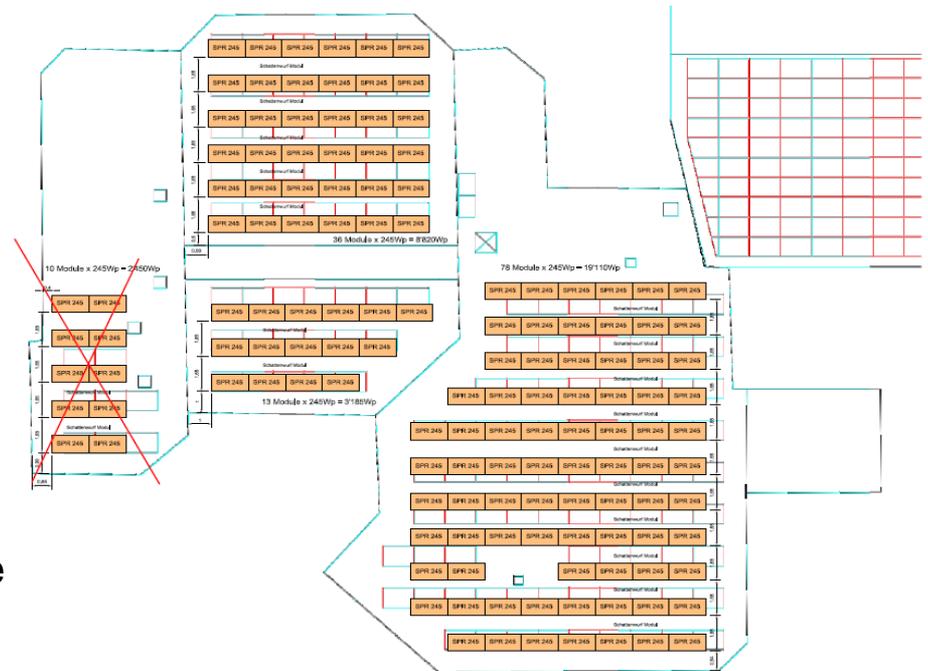
Galileo 1000 N



- HT-Brennstoffzelle
- integrierte Gas-Heizung
- el. Leistung: 1.0 kW
- th Leistung: 1.8 kW
- el. Wirkungsgrad: 33%



Anlagen in Planung



PV-Anlage

röm. kath. Kirchengemeinde, Pfarreigebäude

- 127 Module à 245 Wp → 31.1 kWp
- SunPower 245: el. Wirkungsgrad 19.7%
- Erwartete Jahresproduktion: 28'000 kWh



Anlagen in Planung



Kleinst-Leichtwindanlagen

- Leistung: 500 W
- Durchmesser: 1.1 m
- Gewicht: 30 kg
- Anschluss: 230 VAC
- V_{\min} : 2 m/s
- V_{opt} : 14 m/s



3-Phasen Generator V100

Verteilerkasten



Selbsttätige Schaltstelle



Wechselrichter 230V / 50 Hz



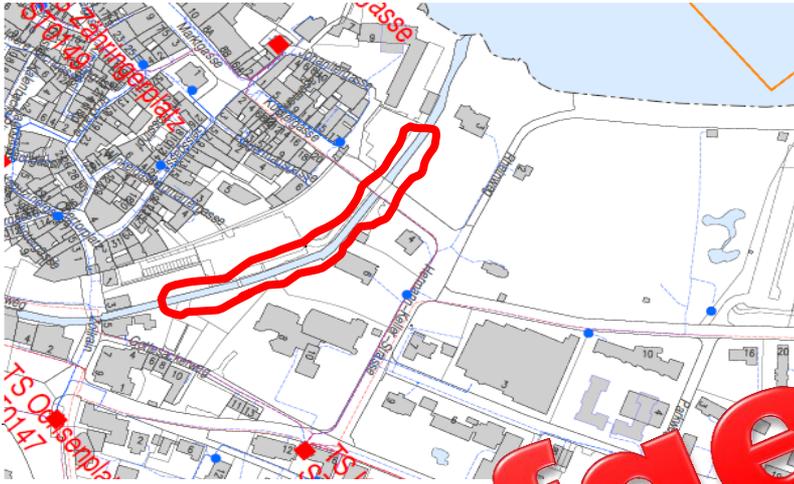
Anlagen in Planung

3 Kleinst-Leichtwindanlagen

Fotomontagen für die Baueingaben

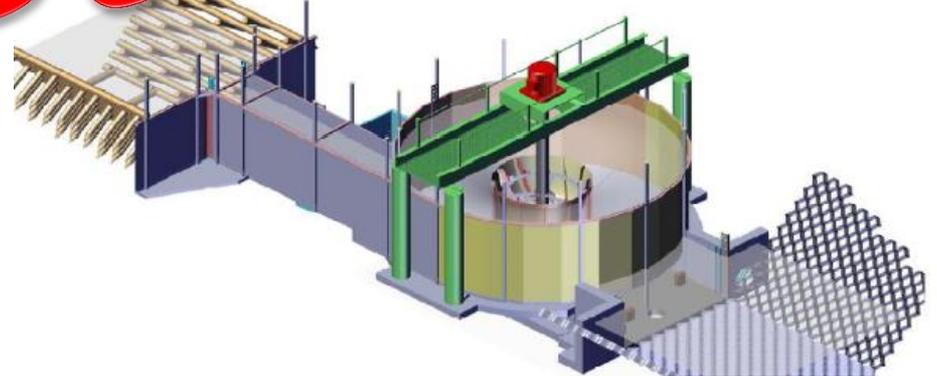


Anlagen in Abklärung



- max. Fallhöhe 2.2 m
- Ø Wassermenge 0.7 m³/s
- el. Leistung 11.0 kW
- Investitionskosten 30'000 CHF
- Jahresproduktion 37'000 kWh
- Gestehungskosten 0.33 CHF/kWh
- Netzwertung 0.35 CHF/kWh

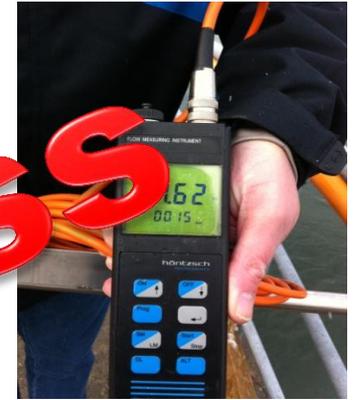
Klein-Wasserkraftanlage Situation



aufgegeben



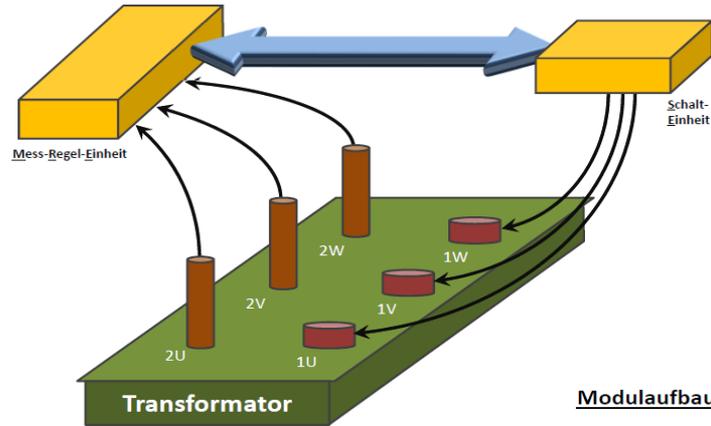
Anlagen in Abklärung



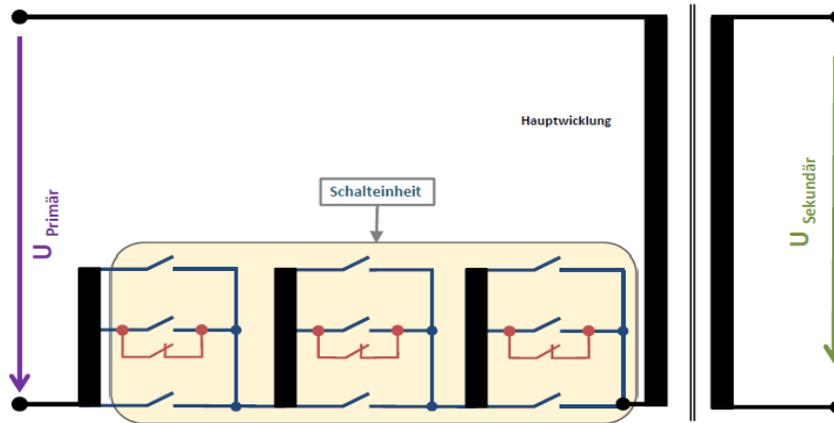
- **Leistung HKT :**
Pel (bei $V = 2 \text{ m/s}$) = **4 kW**
Pel/a = Pel x 6'600 h/a = **26'400 kWh/a**
- Platzverhältnisse ausreichend
- Strömungsgeschwindigkeit ungewiss
- Fischdurchgängigkeit ist sichergestellt



Selbstregulierender Transformator SRT



Typ SRT von R&S



Regelung

- Schnittstelle zu Leitsystem
- Spannungsregelung U_{Sek}
 - TS Sekundärseite
 - Messpunkt im NS-Netz
 - Mittelwert von mehreren Messpunkten



SRT – Einbindung in VEiN Leitsystem

Aufschaltung auf Unterstation mittels IO's

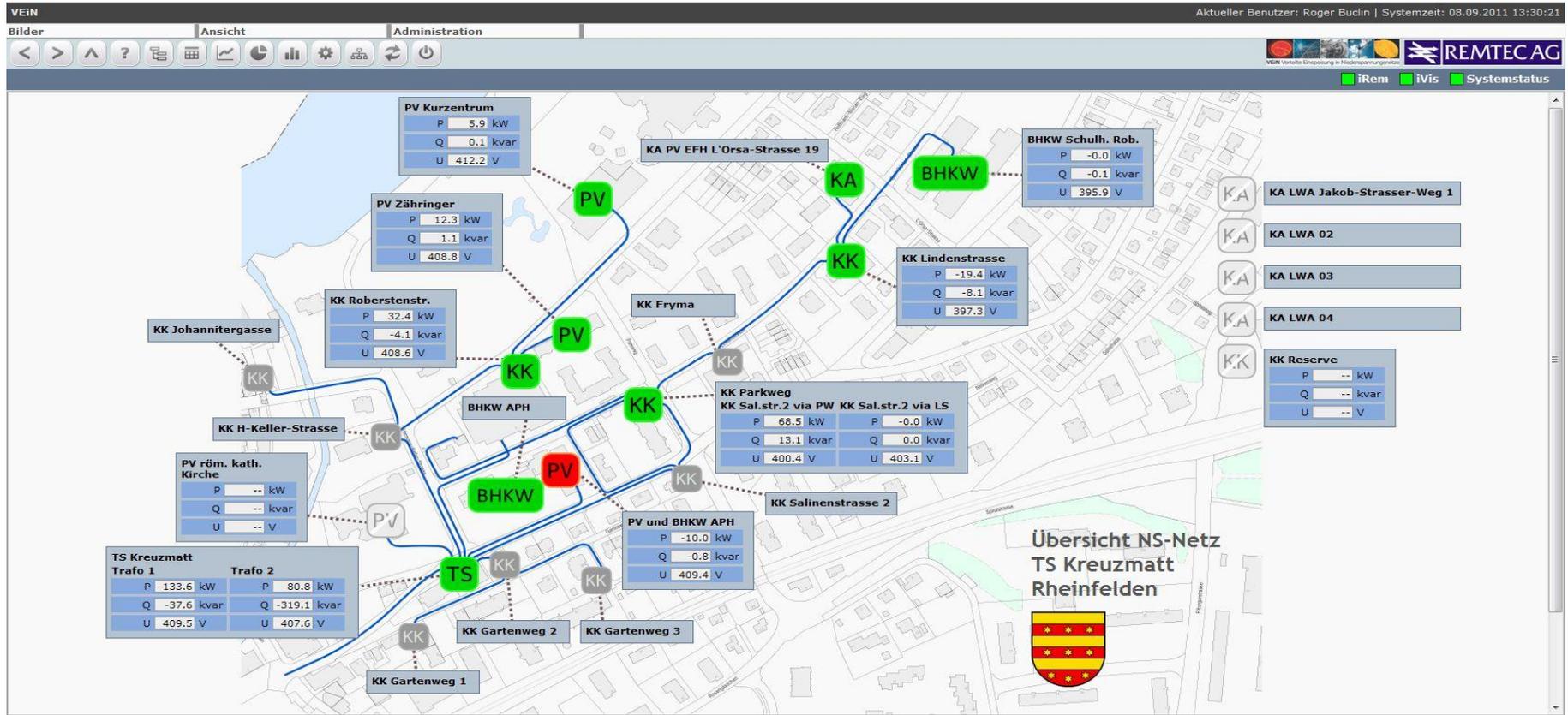
- **Betriebsüberwachung**
 - Regelbetrieb, Kommunikationsfehler, Temperaturfehler, anderer Fehler
 - Schaltzähler
- **Ansteuerung ab Leitsystem**
 - Regelung Ein/Aus, externer Sollwert, externer Istwert, Regelgeschwindigkeit

Funktionen

- **Ungeregelter Betrieb wie konventioneller Trafo**
- **Geregelter Betrieb mit**
 - internem Ist- und Sollwert
 - internem Istwert und externem Sollwert
 - externem Ist- und Sollwert
 - externer Istwert wird vom Leitsystem aus mehreren Messwerten im NS-Netz ermittelt

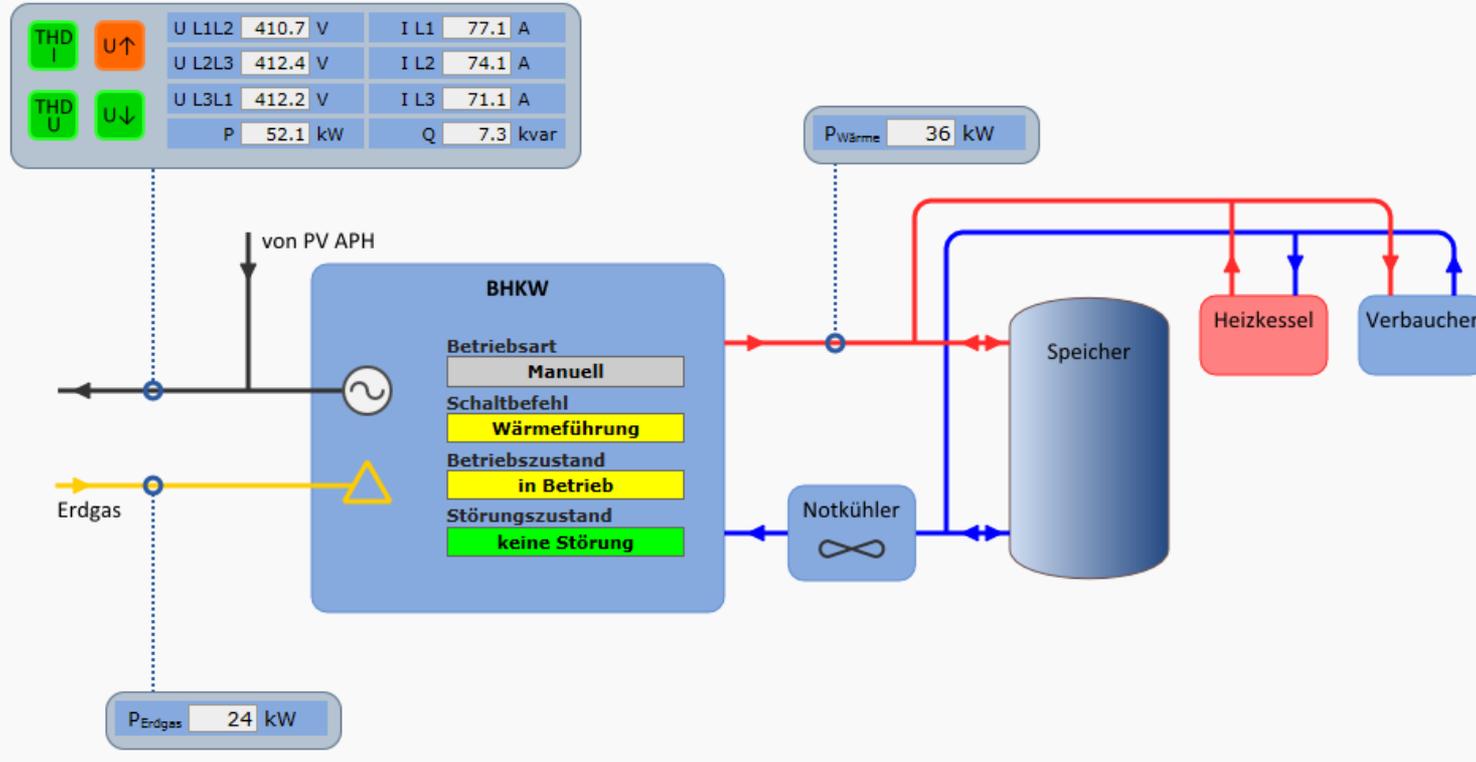


Leitsystem – Übersichtsbild Pilotnetz VEiN



Leitsystem – BHKW APH

BHKW Alters- und Pflegeheim



Leitsystem – PV Parkhaus Kurzentrum

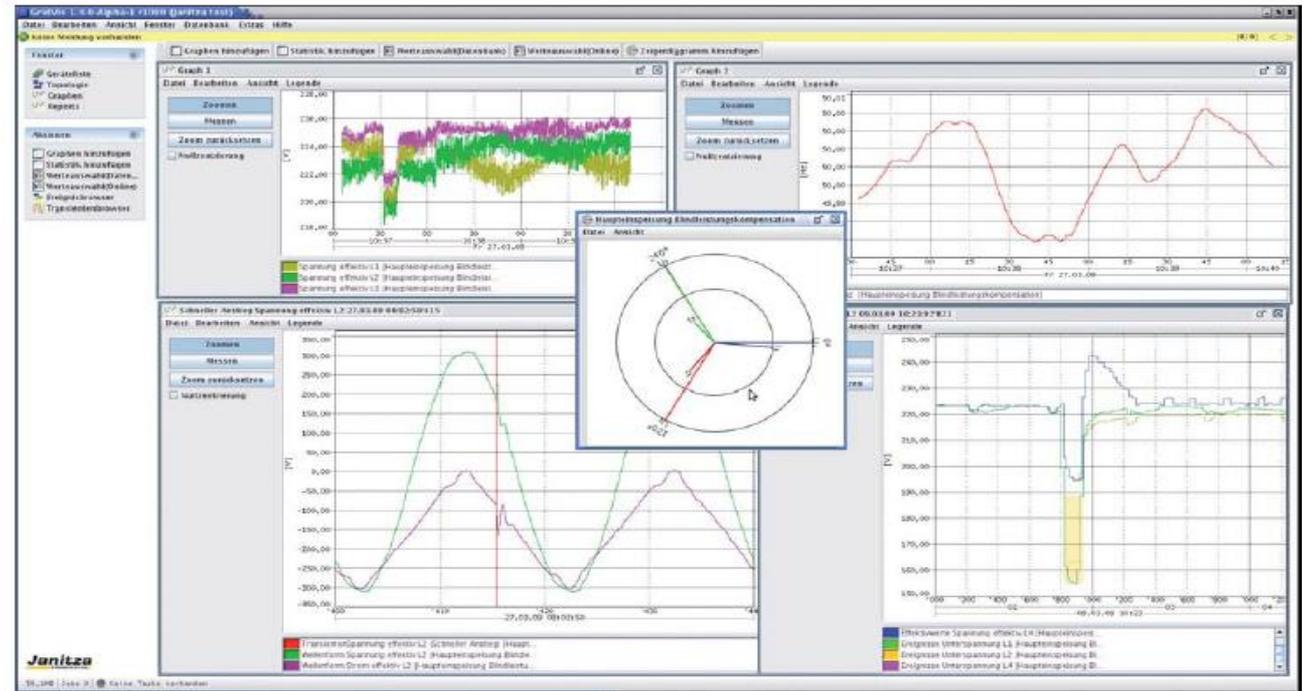
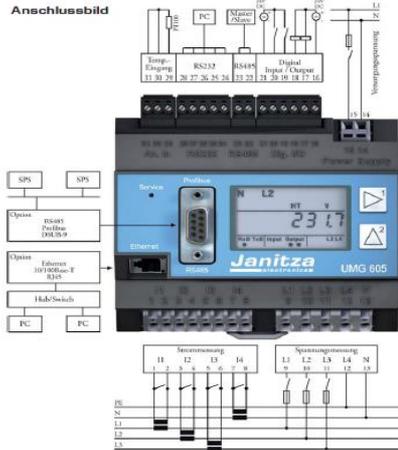
PV Parkhaus Kurzentrum

THD I	U L1L2	411.7 V	I L1	39.2 A
U↑	U L2L3	411.9 V	I L2	39.3 A
THD U	U L3L1	411.8 V	I L3	29.7 A
U↓	P	7.0 kW	Q	0.0 kvar

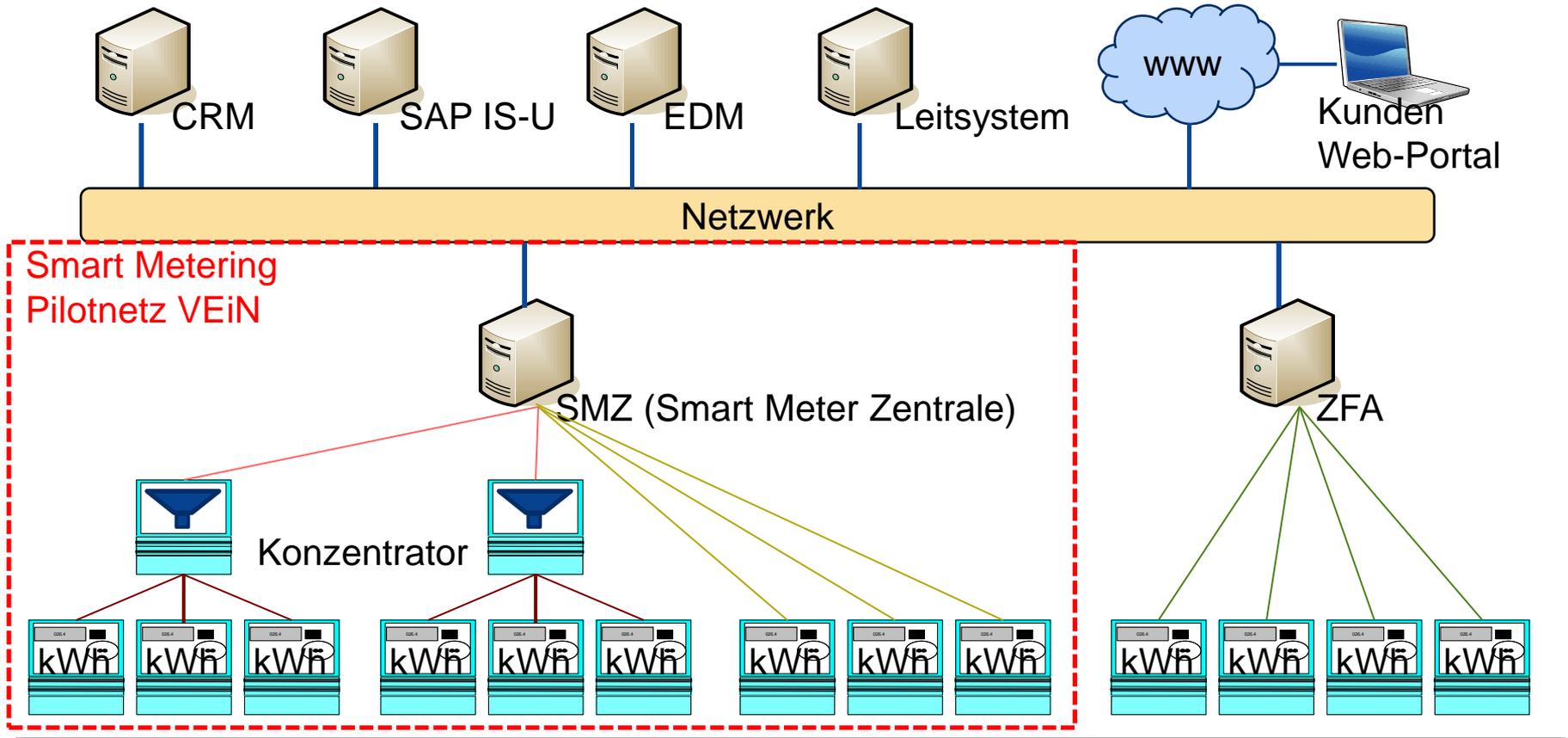


Power-Quality-Messsystem

PQ-Messsystem GridVis auf zentralem PC

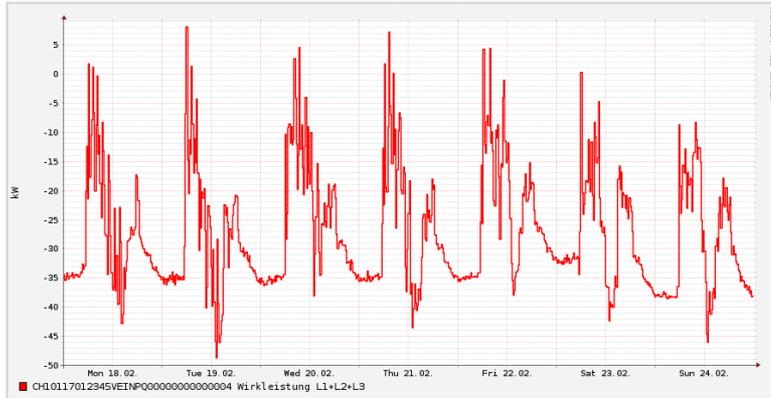


Energiemessung durch Smart Meter

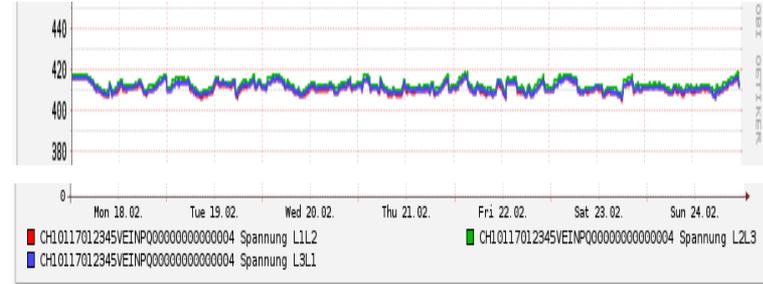


Messungen Abgang APH – Winter 2013

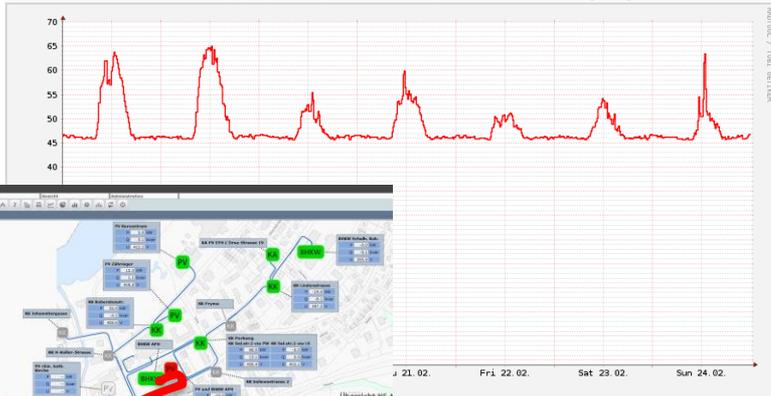
TS Kreuzmatt Abgang APH (P)



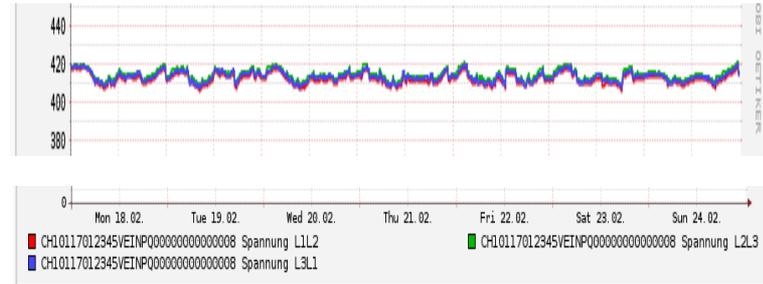
TS Kreuzmatt Abgang APH (U)



APH Produktion PV & BHKW (P)

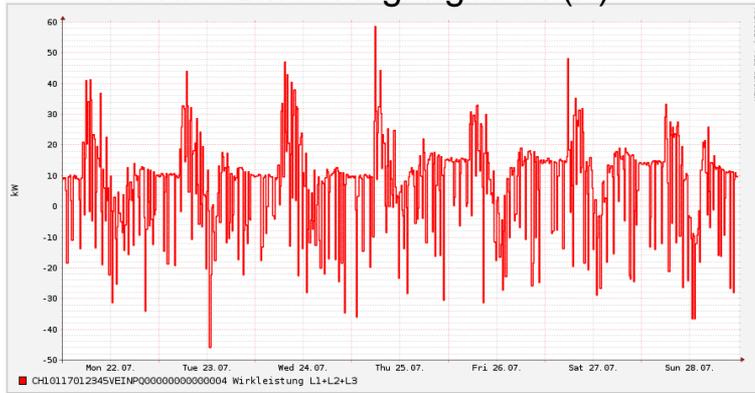


APH Produktion PV & BHKW (U)

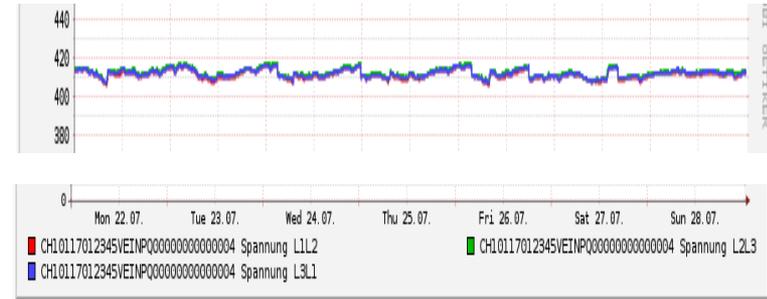


Messungen Abgang APH – Sommer 2013

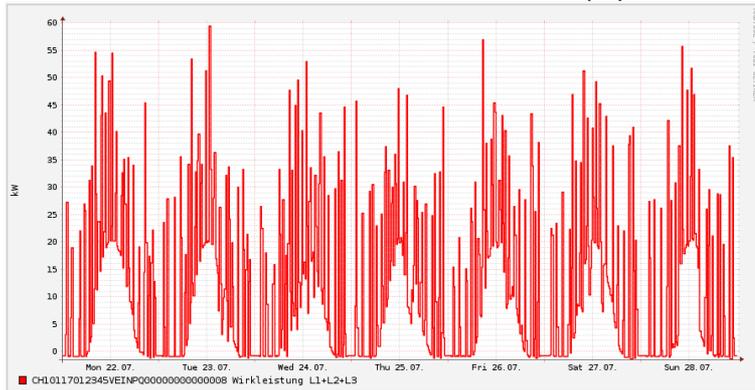
TS Kreuzmatt Abgang APH (P)



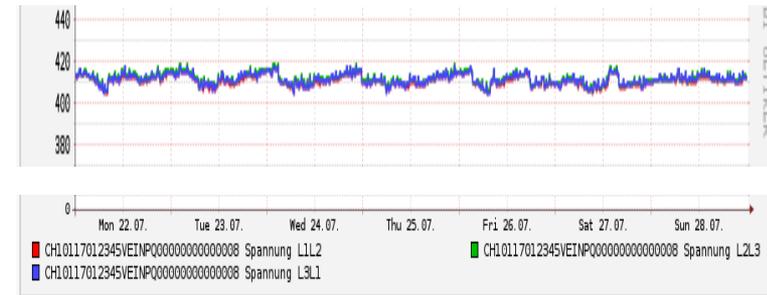
TS Kreuzmatt Abgang APH (U)



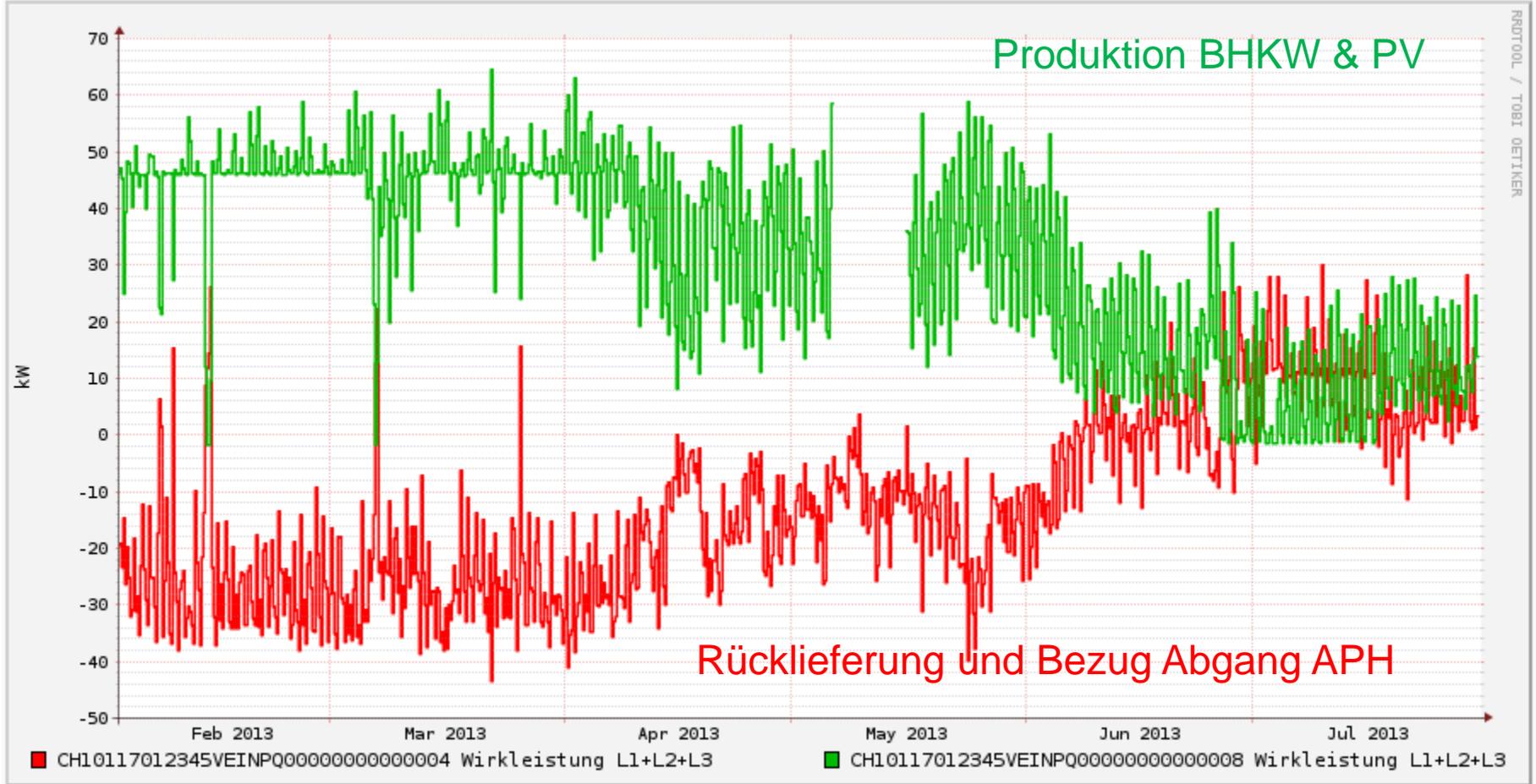
APH Produktion PV & BHKW (P)



APH Produktion PV & BHKW (U)

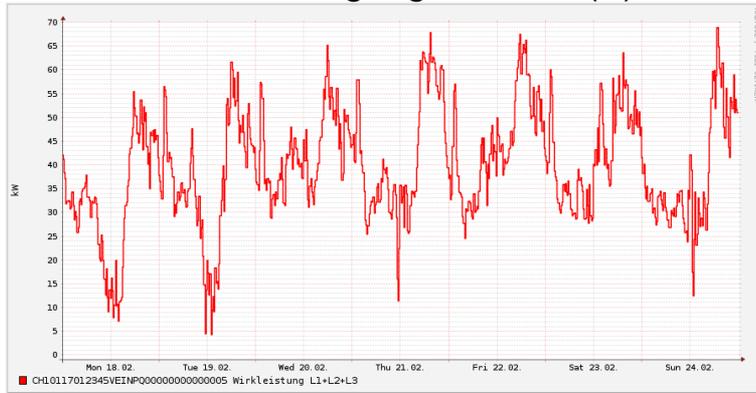


Strang APH – Übersicht Februar 13 bis Juli 13

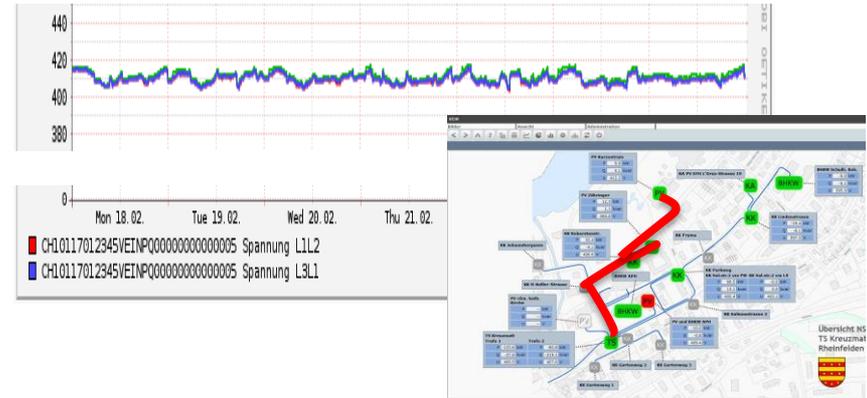


Messungen Abgang KK HKS – Winter 2013

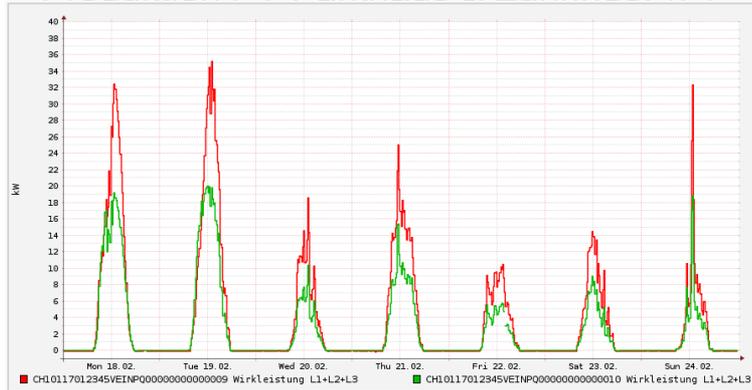
TS Kreuzmatt Abgang KK HKS (P)



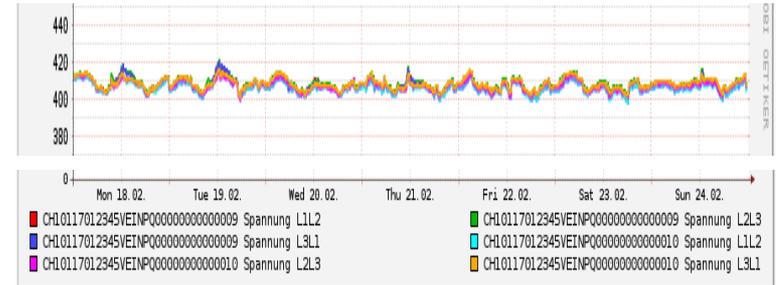
TS Kreuzmatt Abgang KK HKS (U)



Produktion PV Parkhaus & Zähringer (P)

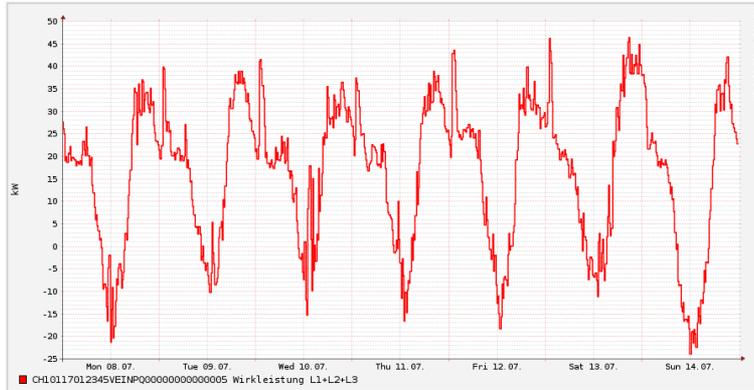


Produktion PV Parkhaus & Zähringer (U)

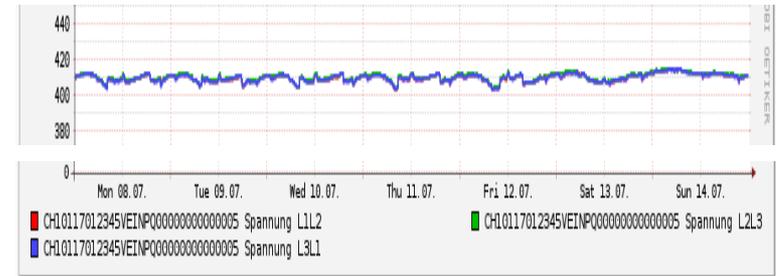


Messungen Abgang KK HKS – Sommer 2013

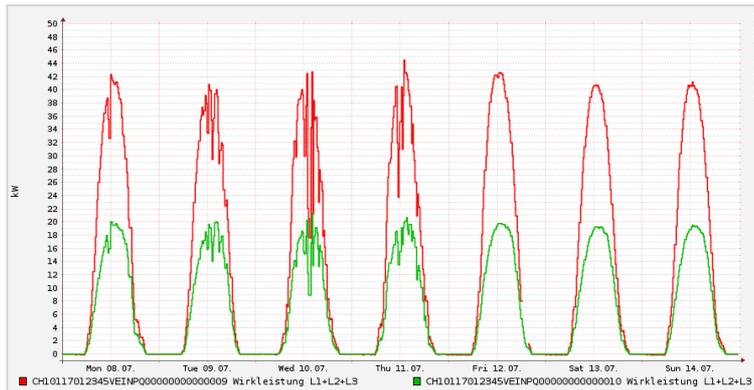
TS Kreuzmatt Abgang KK HKS (P)



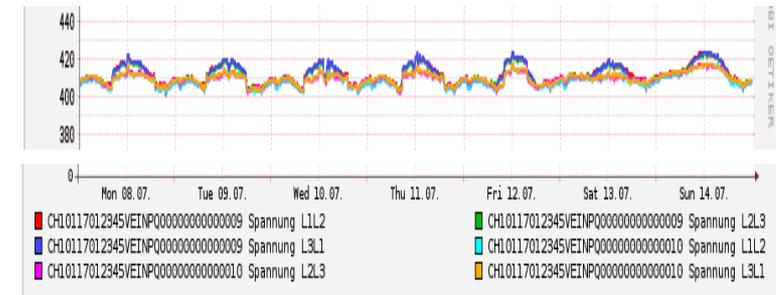
TS Kreuzmatt Abgang KK HKS (U)



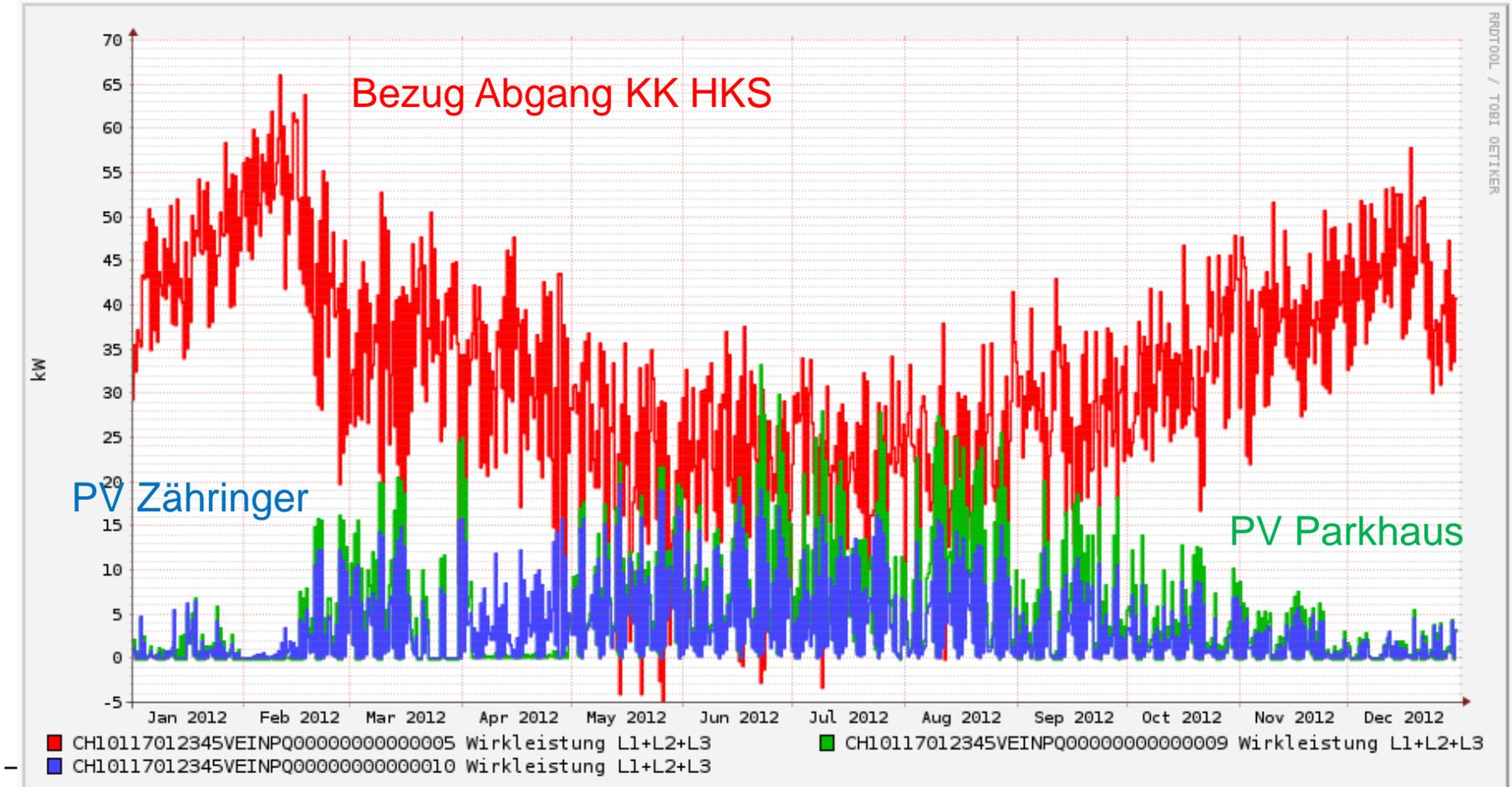
Produktion PV Parkhaus & Zähringer (P)



Produktion PV Parkhaus & Zähringer(U)



Strang KK HKS – Übersicht Jahr 2012



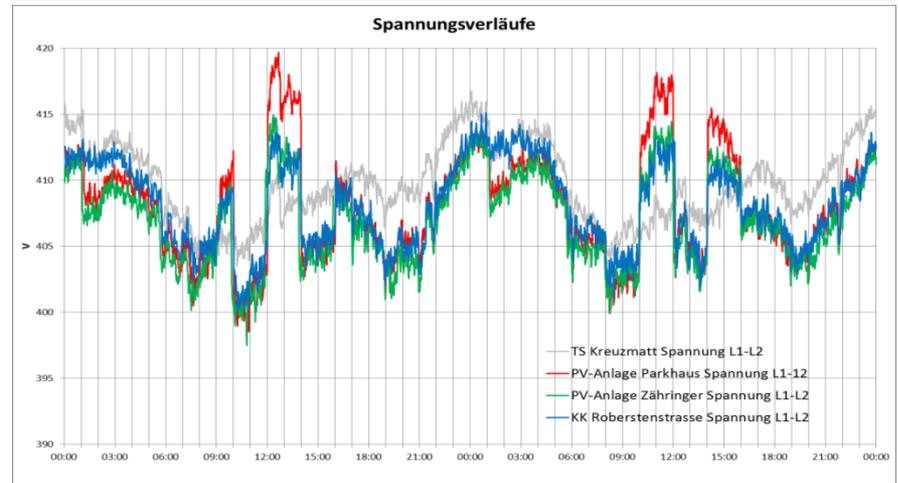
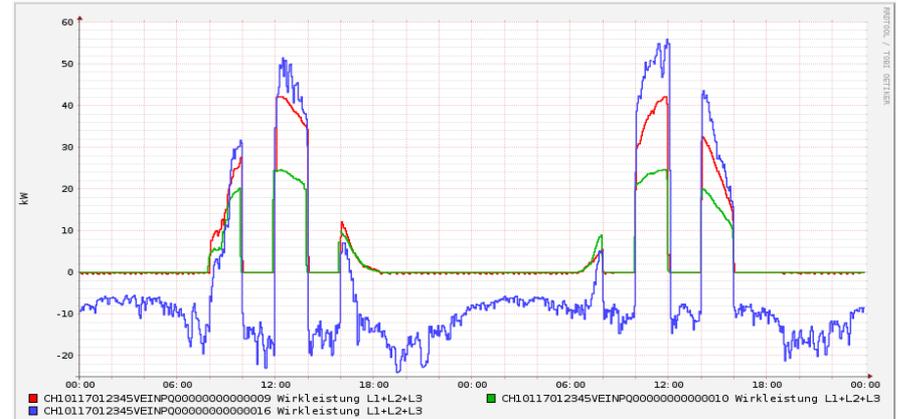
Test Einspeisung PV-Anlagen (21.-22. März 2012)

rot: Einspeisung ab PV-Anlage Parkhaus Kurzentrum

grün: Einspeisung ab PV-Anlage Zähringer

blau: KK Roberstenstrasse im NS-Netz
Gemeinsamer Netzpunkt der beiden PV-Anlagen und der Verbraucher

- negative Werte = Energiebezug von TS
- positive Werte = Rückspeisung zur TS



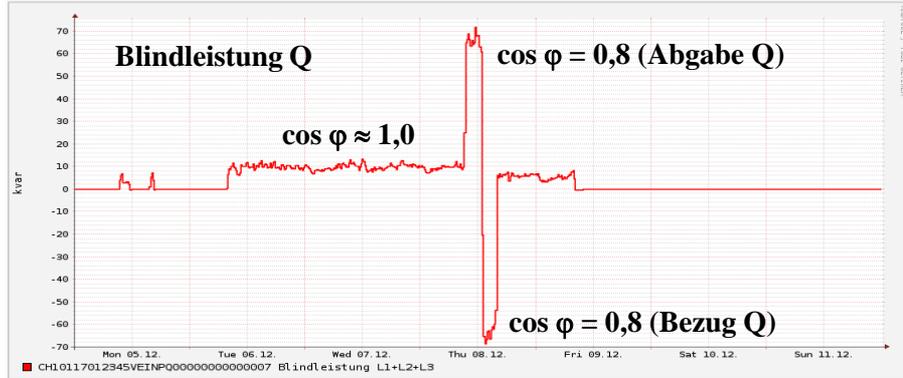
Norm EN50160: $U_{max} = 400V + 10\%$

Technische Regeln D-A-CH-CZ: $\Delta U_{max} = 3\%$

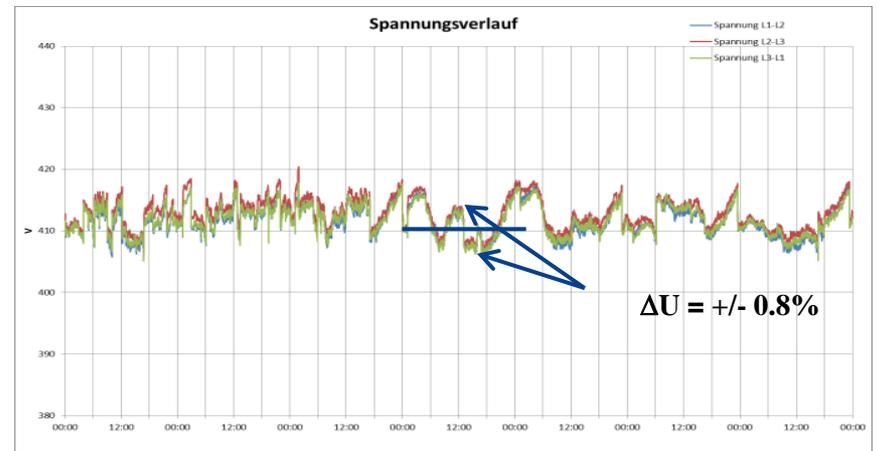
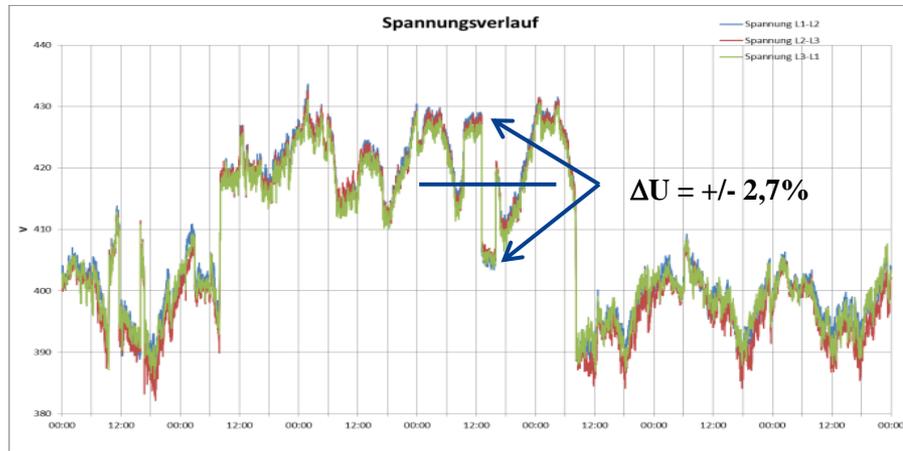


Test ΔU durch Q-Regulierung (5.-11. Dezember 2011)

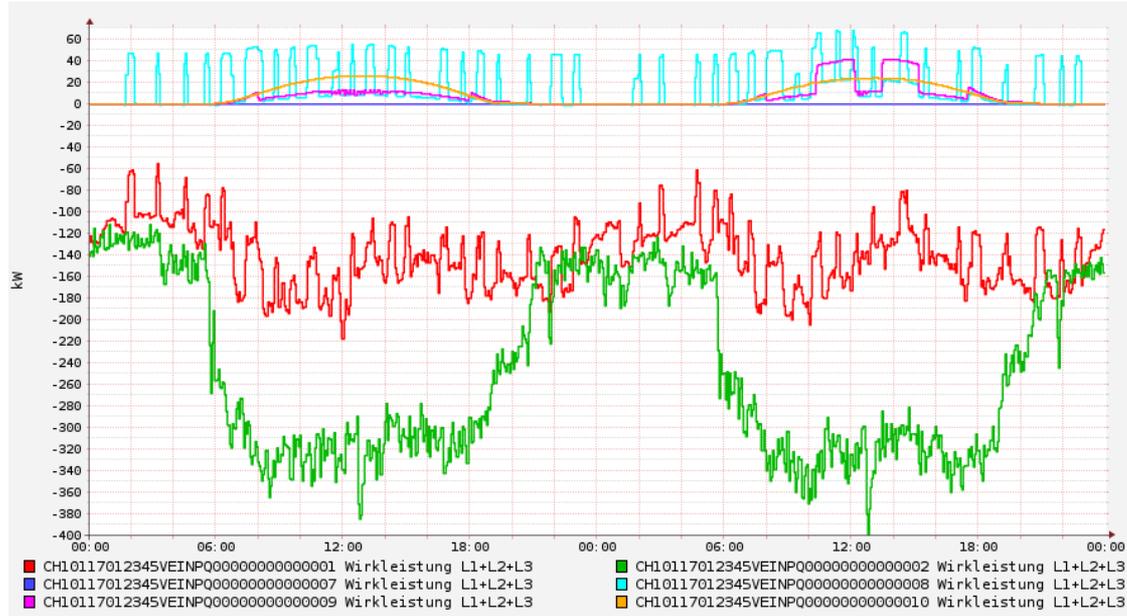
BHKW Schulhaus Robersten (S = 90 kVA)



Trafostation Kreuzmatt Trafo1



Test mit unsymmetrischer Einspeisung ab PV-Anlagen

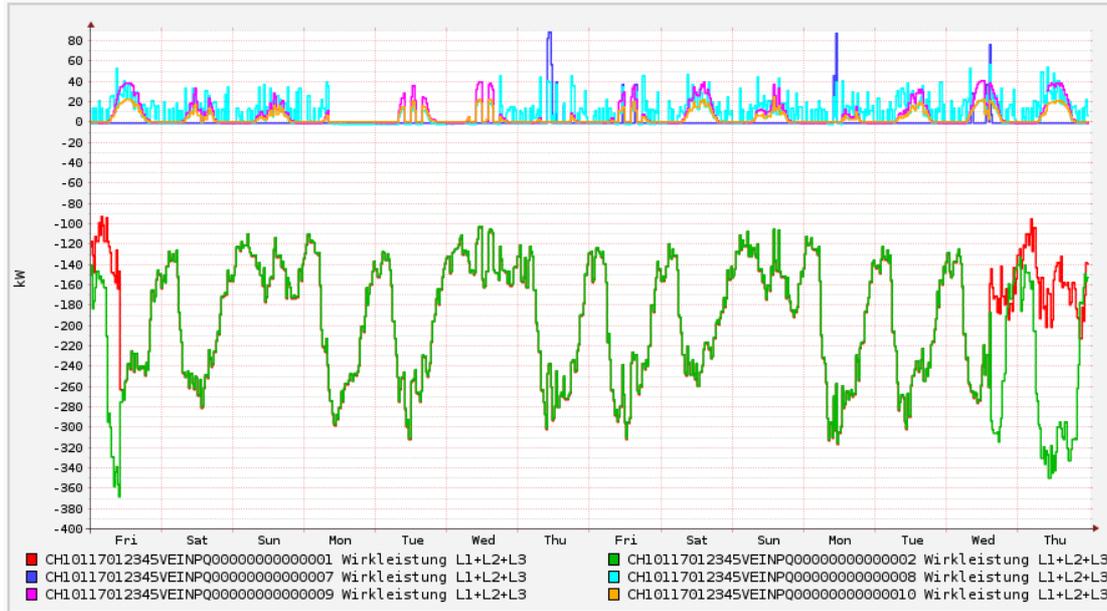


Auswertung gemäss EN50160 zeigt keine unzulässigen Werte

Unsymmetrische Einspeisung 16./17.07.2012
PV Parkhaus Kurzentrum und APH



Test Einspeisung mit parallel geschalteten Trafos

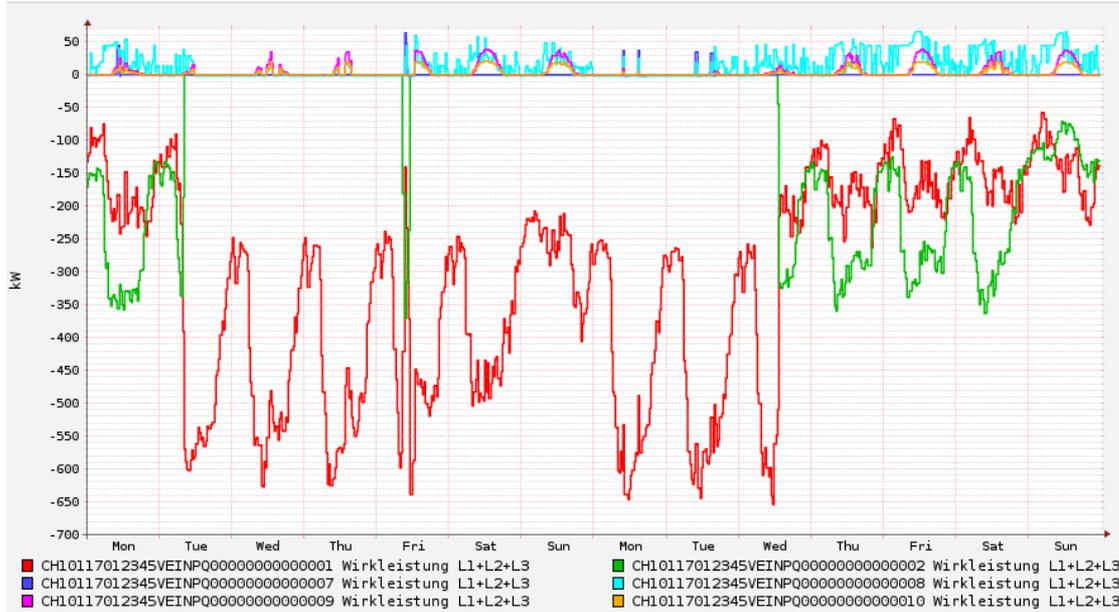


- Auswertung gemäss EN50160 zeigen
- 15. Oberschwingung zu gross
 - weiter keine unzulässigen Werte

Trafos parallel geschaltet 27.07.-08.08.2012
Einspeisung PV-Anlagen und BHKW



Test Gesamtlast an einem Trafo



Gesamtlast an einem Trafo 3.-11.09.2012
Einspeisung PV-Anlagen und BHKW

- Auswertung gemäss EN50160 zeigen
- 15. Oberschwingung zu gross
 - weiter keine unzulässigen Werte



Erkenntnisse BHKW APH „Wirtschaftlichkeit“

Parameter

- Elektrische Leistung: 48 kW
- Thermische Leistung: 82 kW
- Feuerungsleistung: 146 kW
- Geplante Nutzungsdauer 15 Jahre



Kennzahlen (ca. Werte)

- Investition: 530 TCHF
- Kapitalkosten: 60 TCHF pro Jahr
- Betriebskosten: 105 TCHF pro Jahr
- Stromerlös: 20 TCHF pro Jahr
(Einspeisetarif ohne KEV 0.072 CHF/kWh)
- Wärmeerlös: 80 TCHF pro Jahr
- Gestehungskosten elektrisch
gerechnet 0.29 CHF/kWh



„Weitere“ Erkenntnisse Leichtwindanlage



„Kleine“ Geschichte

- 04.07.2011 Baugesuch eingereicht
- Begleitschreiben mit Hinweis auf das Forschungsprojekt VEiN
- Begehung vor Ort mit Anstösser
- Einsprachefrist lief bis 26.09.2011
- Medienpräsenz
- 04.07.2011 Baugesuch
- 22.09.2011 *Kollektive Einsprache Anwohner*
- 10.02.2012 Einigungsverhandlung
- 17.05.2012 Baubewilligung erhalten
- 26.09.2012 Bewilligung ESTI Vorlage
($P_n > 3.0 \text{ kW}$ → Plangenehmigung ESTI)
- 28.09.2012 Baubeginn
- 29.11.2012 Inbetriebnahme



Fazit

- Platzierung der Anlagen ist schwierig.
- Mit den bisher installierten Anlagen (ca. 285 kW, ungefähr 43 % der maximalen Verbrauchsleistung) wurden die Grenzen der Einspeisung noch nicht erreicht.
- Grosse Menge an Messdaten, die im Detail noch ausgewertet werden muss.
- Weitere Tests abhängig von den Auswertungen der Messdaten.
- Integration von selbstregulierendem Trafo und Speicher in den nächsten Projektschritten.
- Erhöhung der dezentralen Einspeisung mittels Notstromaggregate über FU.
- Wirtschaftlichkeit der DEA ist teilweise fraglich, vor allem bei Integration BHKW in bestehende Heizsysteme.
- Das Pilotnetz bietet Potenzial für die Themenbereiche „Smart Grid“, Energiespeicher, neue Regelalgorithmen.
- Interesse von Fachhochschulen ist vorhanden. Nutzung des Pilotnetzes und den Messdaten für Simulationen und konkrete Anwendungen.



Fragen / Diskussion

**Besten Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Informationen auch unter:
www.vein-grid.ch**

