



**OST**  
Ostschweizer  
Fachhochschule

# Wie viel Photovoltaik verträgt das Verteilnetz?

[markus.markstaler@ost.ch](mailto:markus.markstaler@ost.ch)

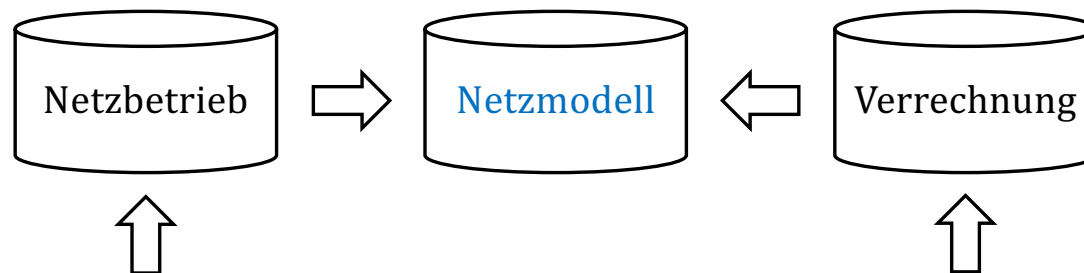
# Ausgangslage

- Projekt mit den Liechtensteinischen Kraftwerken (LKW) finanziert durch die Energiekommission Fürstentum Liechtenstein
- Fragestellung: Analyse zu dynamischen Abregelung von Photovoltaikanlagen zwecks Erhöhung der maximal möglichen Rücklieferung
- **Netzmodell** um geeigneter Messstandort zu ermitteln



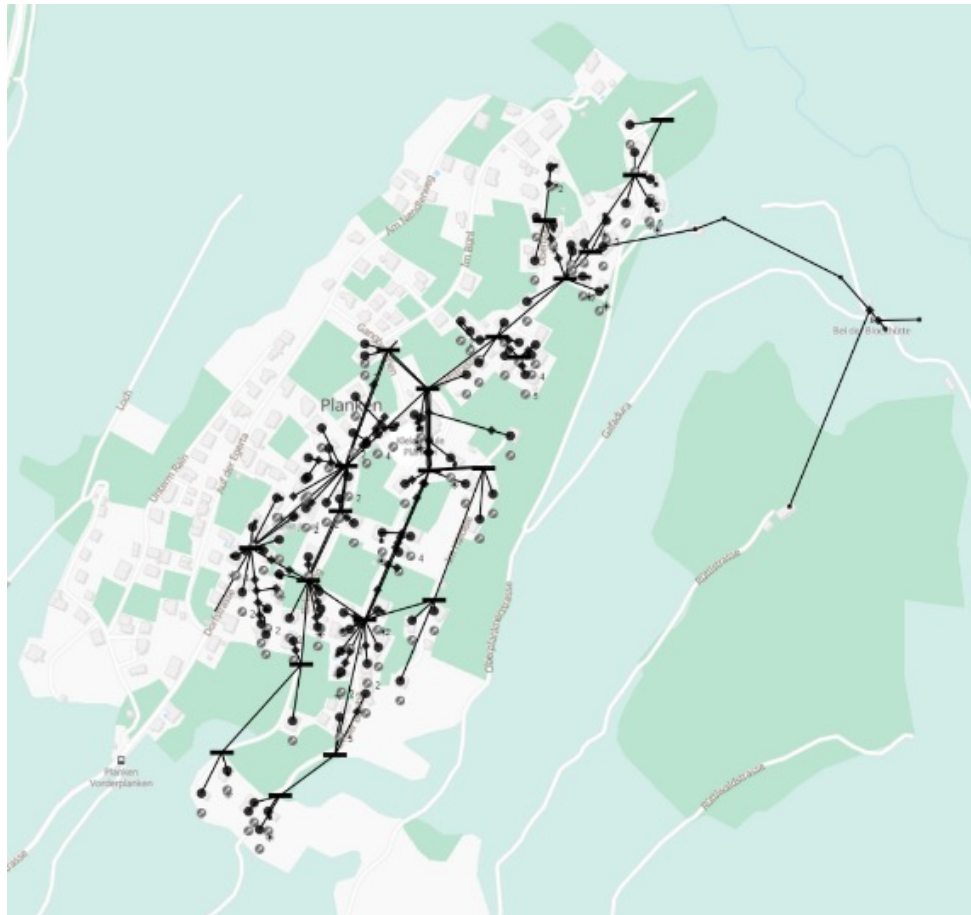
ENERGIEKOMMISSION  
FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

Trafostation



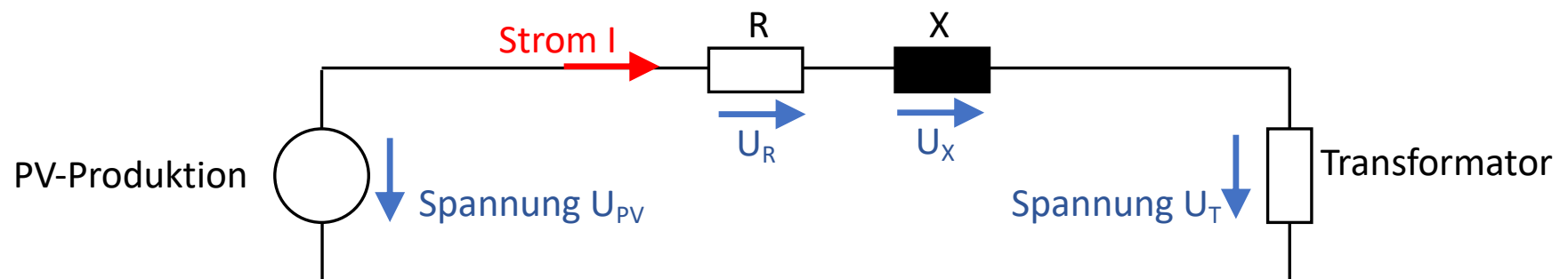
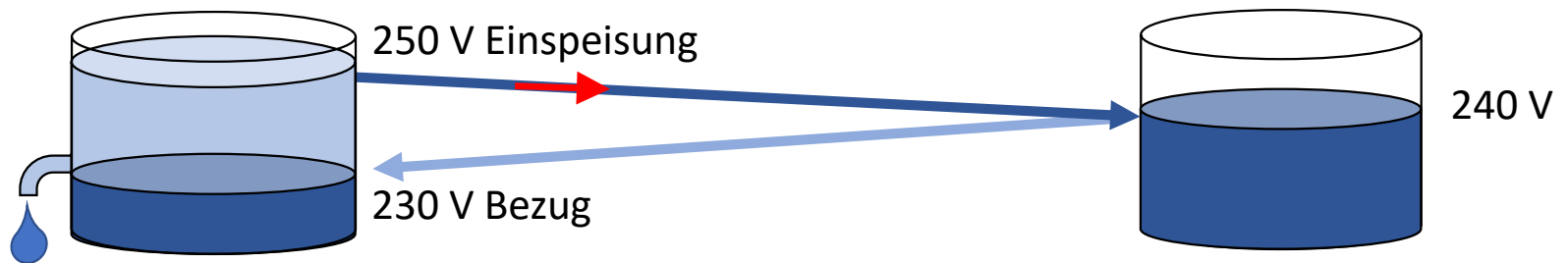
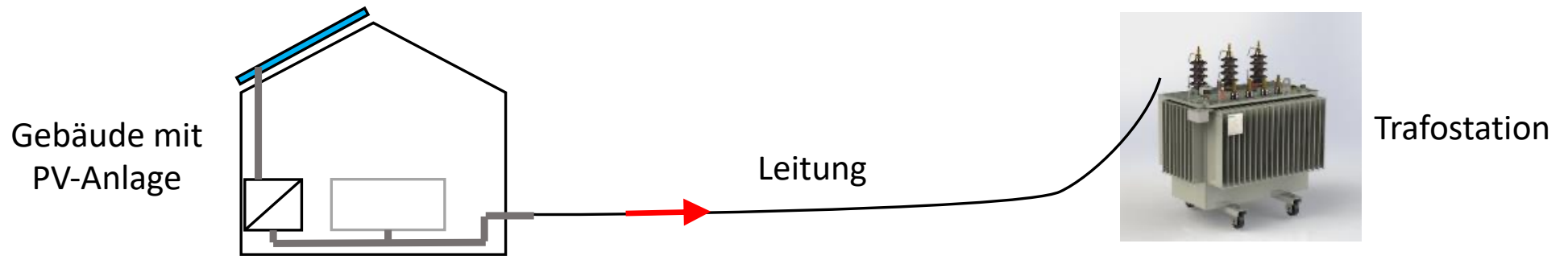
SmartMeter

# Installation Pilot in Planken



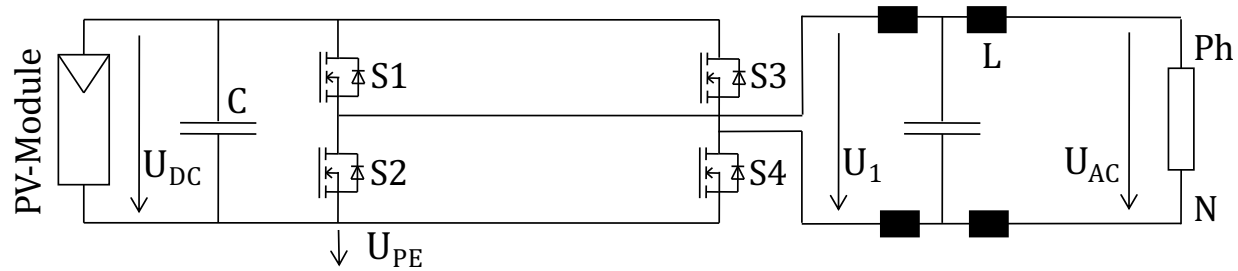
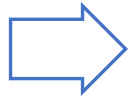
# Durchführung der Messszenarien und Auswertung

| Time period                  | Scenario name                     | Result  |
|------------------------------|-----------------------------------|---|
| <del>12-May – 19-May</del>   | Scenario 1a                       | <del>Test control algo and solarlog interface<br/>Not good results due to voltage forecast problem</del>                              |
| <b>20-May – 30-May</b>       | <b>Scenario 1a</b>                | <b>Voltage control</b>  |
| <del>31-May – 08-June</del>  | Scenario 1b                       | <del>Not good results due to problem in curtailment penalty coefficient</del>   |
| <b>09-June – 12-June</b>     | <b>Scenario 1b</b>                | <b>Current control</b>  |
| <b>13-June – 23-June</b>     | <b>Scenario 1c</b>                | <b>Voltage and current control</b>  |
| <del>24-June</del>           | Scenario 1a                       | <del>Voltage control with PV-Oberplanken instead of PV-Schule</del>   |
| <b>25-June – 1-July</b>      | <b>Scenario 2a</b>                | <b>Voltage control</b>  |
| <b>2-July – 8-July</b>       | <b>Scenario 2b</b>                | <b>Current control</b>  |
| <b>9-July – 15-July</b>      | <b>Scenario 2c</b>                | <b>Voltage and current control</b>  |
| <del>16-July – 21-July</del> | Scenario 3                        | <del>Transformer reactive power flow control<br/>Not good results due to reactive power setpoint sent to PVs with opposite sign</del> |
| <b>22-July – 3-August</b>    | <b>Scenario 3</b>                 | <b>Transformer reactive power flow control</b>  |
| <b>4-August – 11-August</b>  | <b>Scenario 4 – threshold 45%</b> | <b>Transformer active power flow control – fair PV control</b>  |
| <b>12-August – 26-August</b> | <b>Scenario 4 – threshold 40%</b> | <b>Transformer active power flow control – fair PV control</b>  |



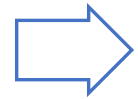
# Wechselrichter

Wirkleistung

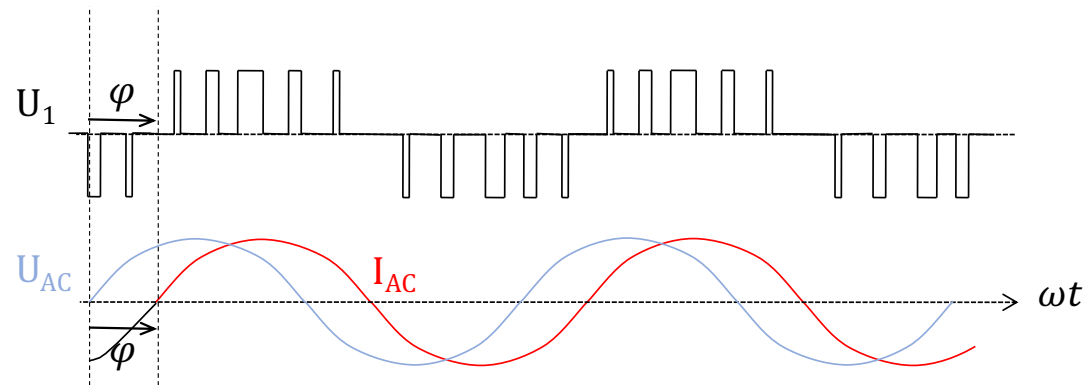
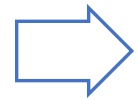


Netz

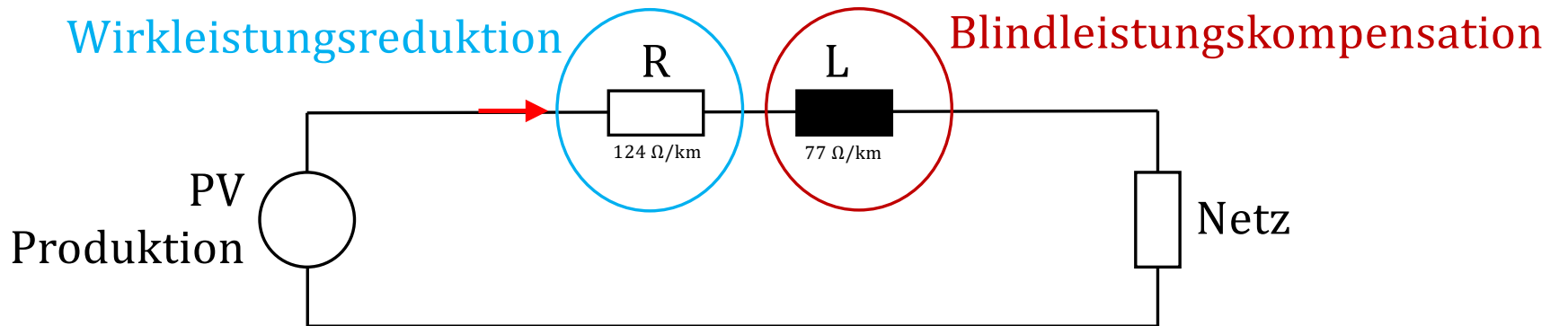
Wirkleistung



Blindleistung

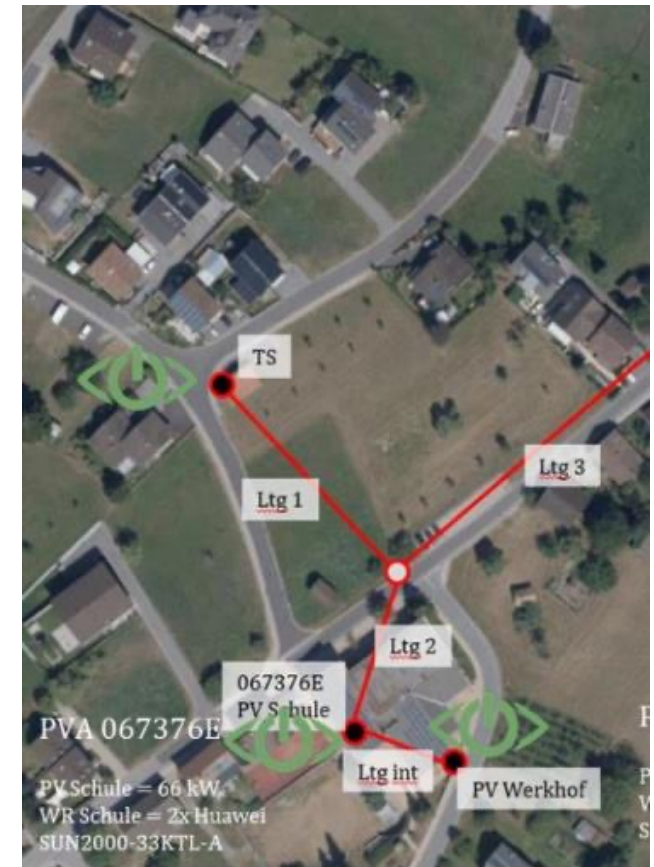
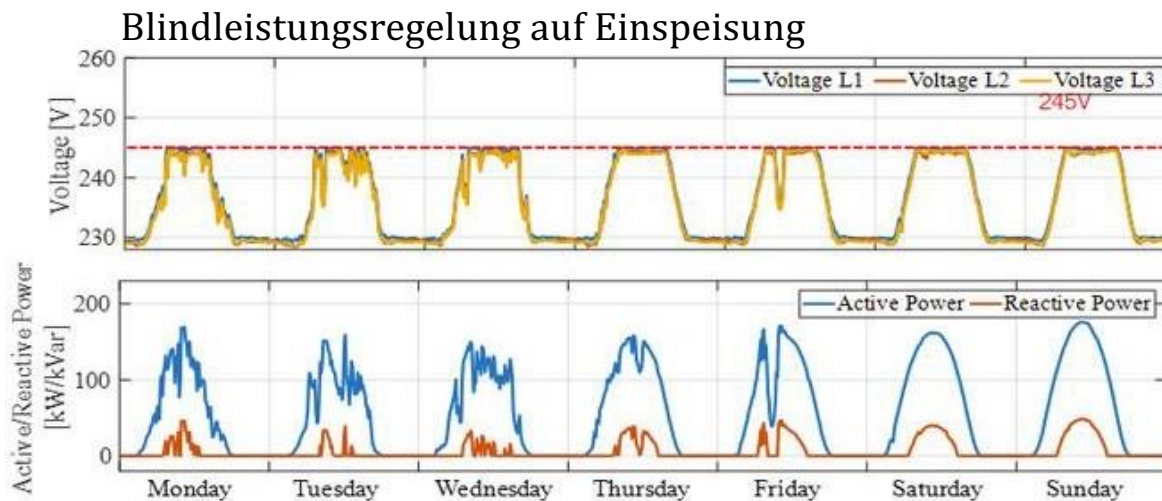


# Reduktion Spannungsüberhöhung bei PV-Einspeisung



# Blindleistungskompensation

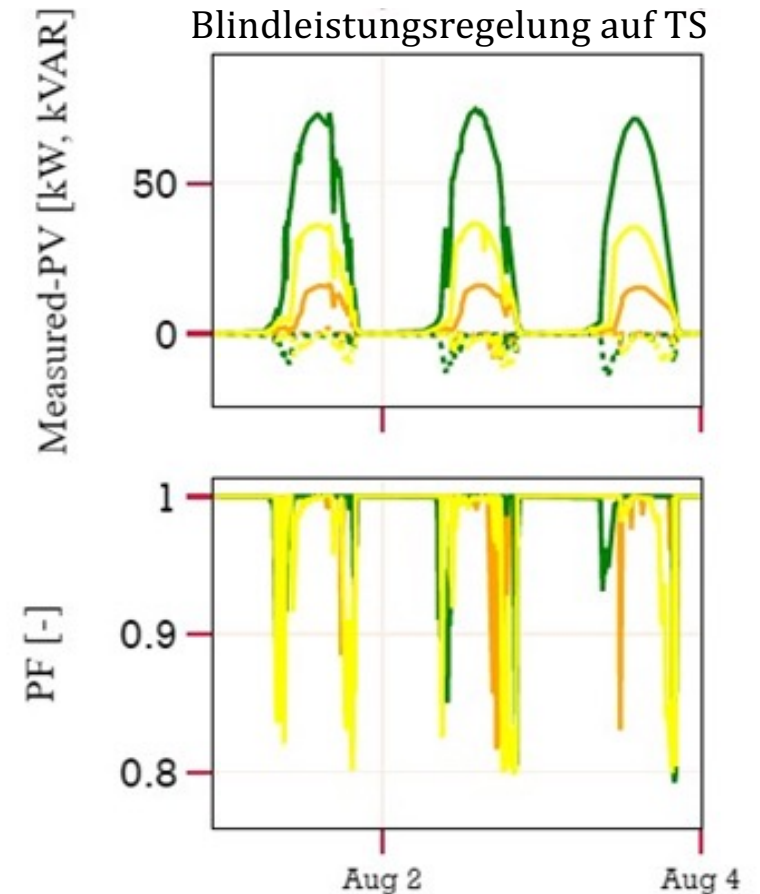
- GridEye Zellen messen Einspeisung
- GridEye Zelle regelt an einer PV-Anlage für Blindleistungskompensation
- Kein Einfluss auf Wirkleistung = Kunde





# Erkenntnisse Blindleistungskompensation

- Blindleistungskompensation bei hoher Einspeisung relevant, *dann wenn die Sonne scheint*
- Technische Anschlussbedingungen (TAB) bei Wechselrichter mit festem  $\cos\varphi = 0.95$  wirkt wie Blindleistungskompensation, d.h. spannungssenkend. Wechselrichter kompensieren, *dann wenn die Sonne scheint*

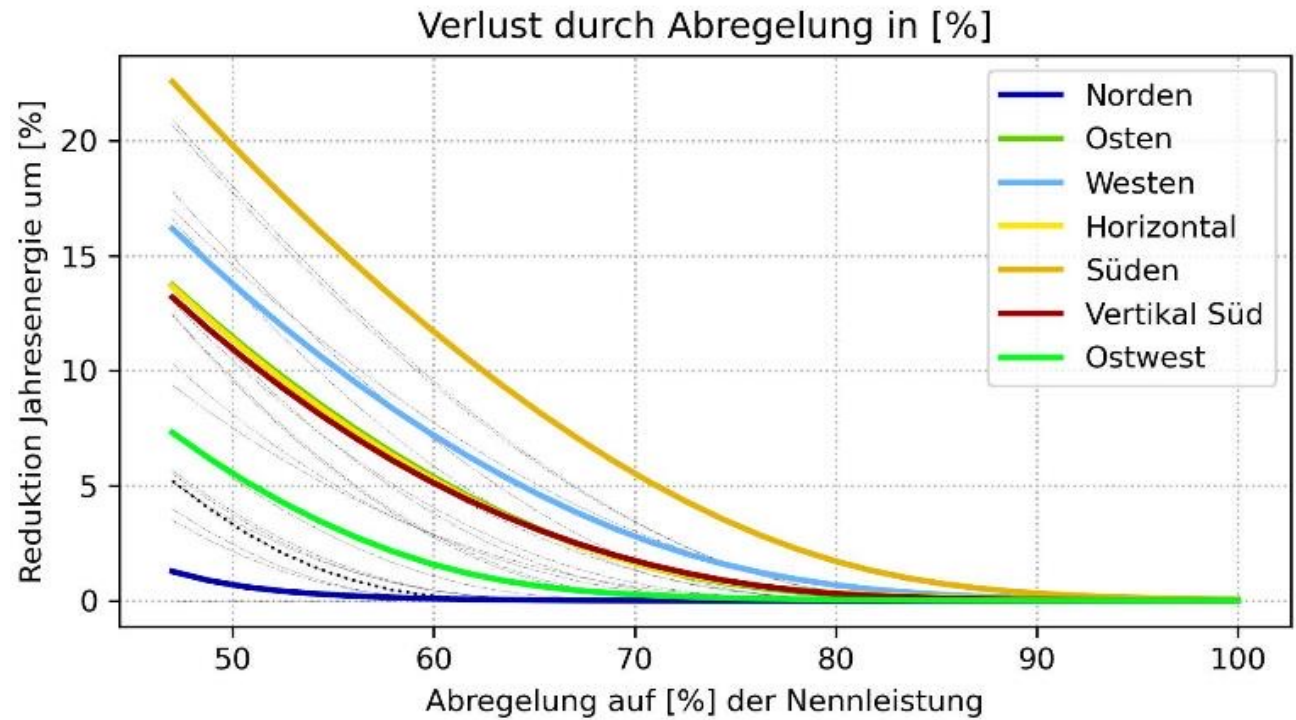


# Wirkleistungsreduktion

- Wirkleistungsreduktion ist kundenrelevant
- Alternative zu dynamischem Abregeln ist statische Abregelung über TAB.
  - Bei statischer Abregelung ist keine Mehrinstallation notwendig

# Wirkleistungsreduktion

- Wirksame Massnahme
- Gut umsetzbar (TAB)
- Geringer Verlust



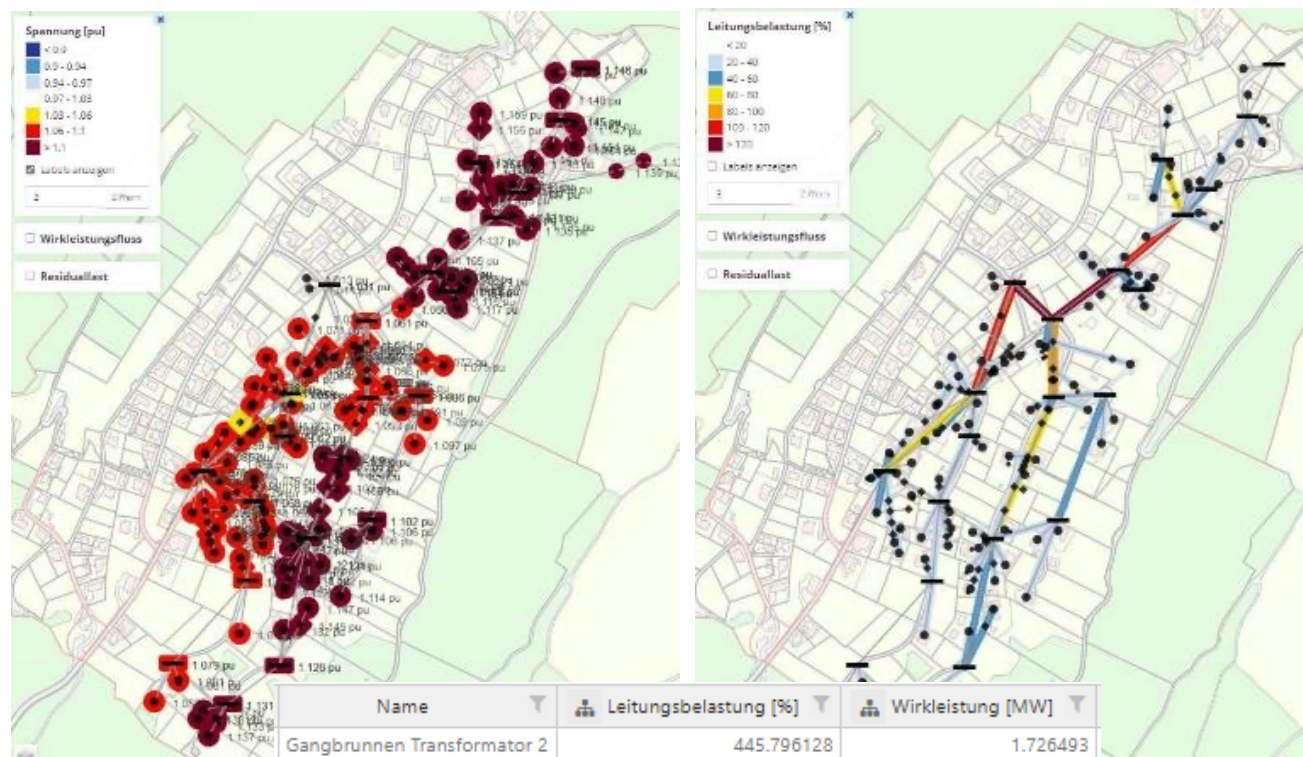
Abregelverluste. Farbige PV-Messung 5 Sekundenwerte ohne Eigenverbrauch bei unterschiedlicher Ausrichtung: dunkelblau  $-13.2^\circ$  Süden  $35^\circ$  Neigung, grün  $-103.2^\circ$  Osten  $35^\circ$  Neigung, hellblau  $76.8^\circ$  Westen  $35^\circ$  Neigung, hellgelb horizontal, dunkelgelb  $-13.2^\circ$  Süden  $35^\circ$  Neigung, rot  $-13.2^\circ$  Süden vertikal, hellgrün  $76.8^\circ$  West und  $-103.2^\circ$  Ost mit  $35^\circ$  Neigung. Graue Linien 15min-Werte von 22 PVA mit Eigenverbrauch

# Zusammenfassung

- Pilot wurde installiert und Messreihen erfolgreich durchgeführt
- Dynamische Regelung aufwendig. Kann durch TAB «günstiger» umgesetzt werden
- Blindleistungskompensation mässige Wirkung
- Fester  $\cos\varphi = 0.95$  über TAB ist die geeignete Lösung
- Abregeln durch TAB sinnvoll aber Risiko «Akzeptanz»
- **Netzmodell** ermöglicht effizientere Beurteilung von Netzanschlussgesuche (Zubau PV = Zubau Gutachten)
- **Netzmodell** stimmt gut mit Messwerten der GridEye Zellen überein

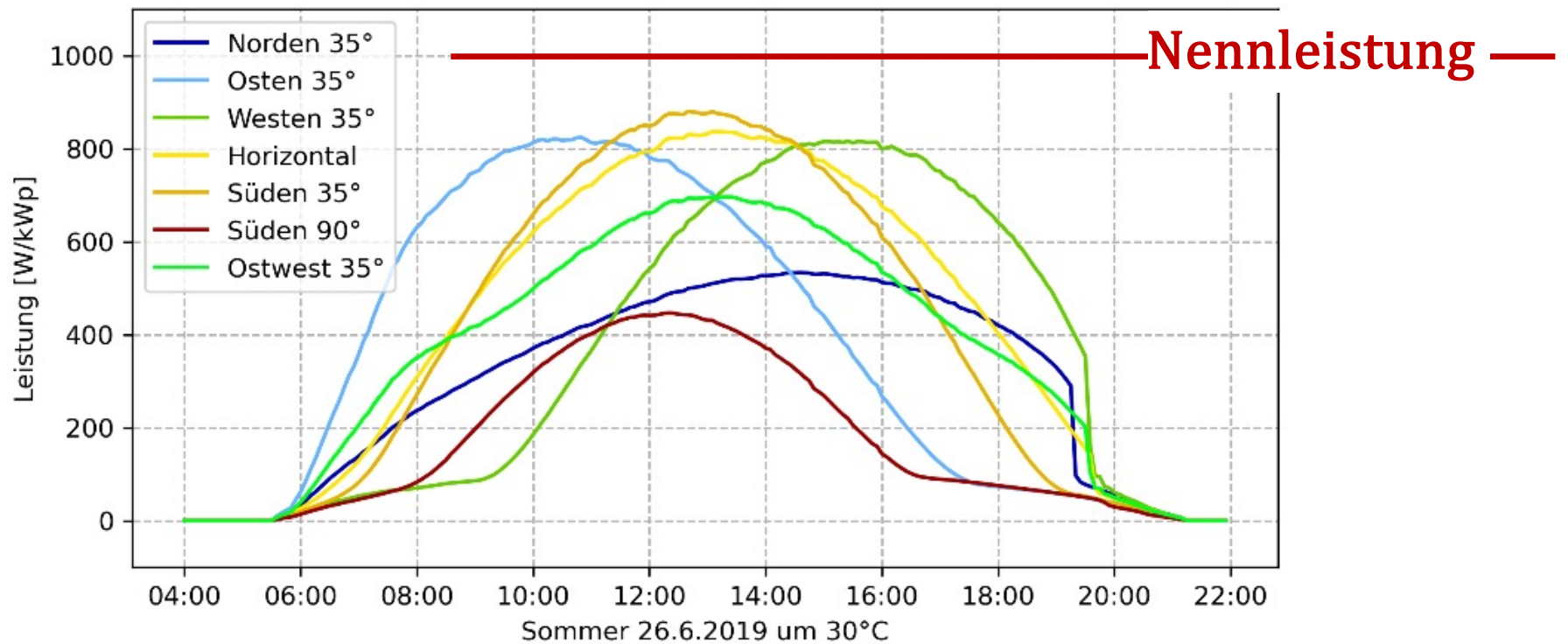
# Zusätzliche Erkenntnis

- Wenn Netzmodell korrekt ist, so sind Ausbauszenarien berechenbar.
- Solarpotential über sonnendach.li



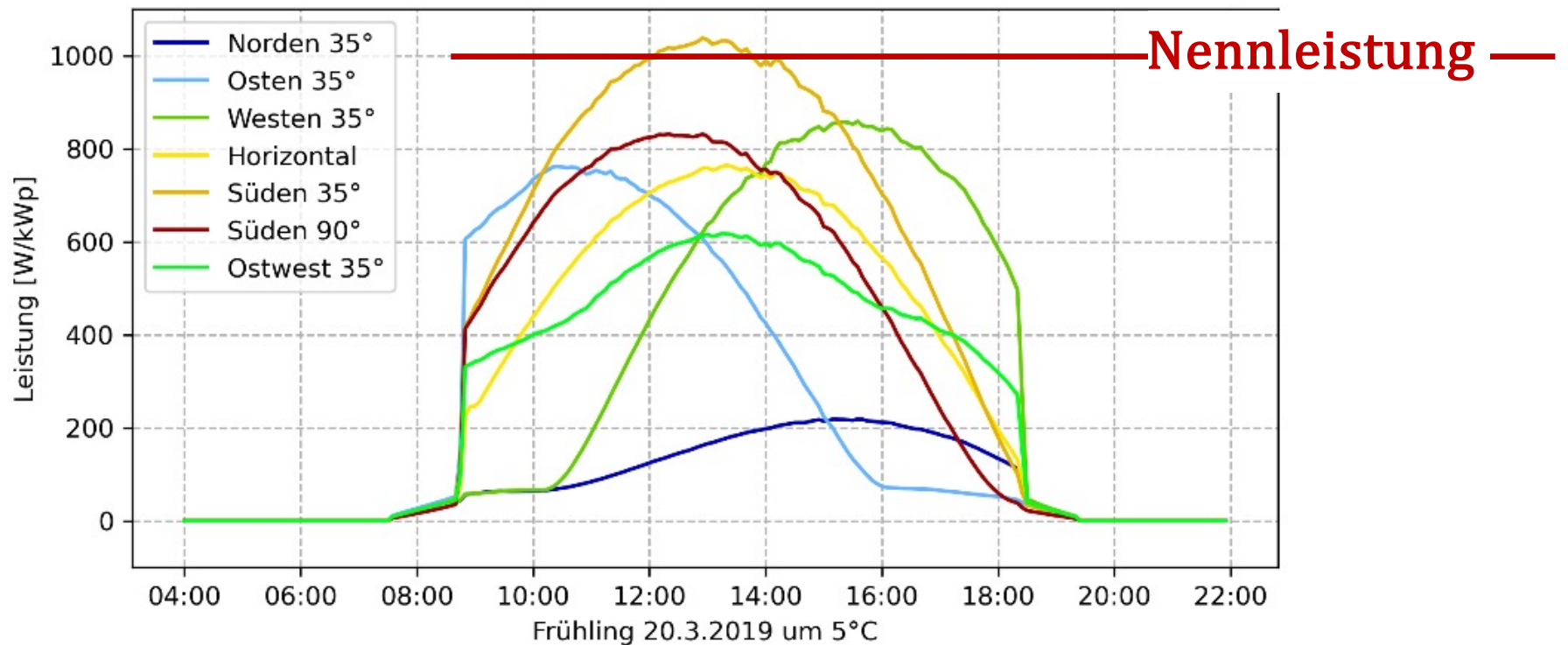
# Was ist die netzwirksame PV-Leistung?

- Die Nennleistung der PV-Anlagen ist nicht vollständig netzwirksam aufgrund der Ausrichtung

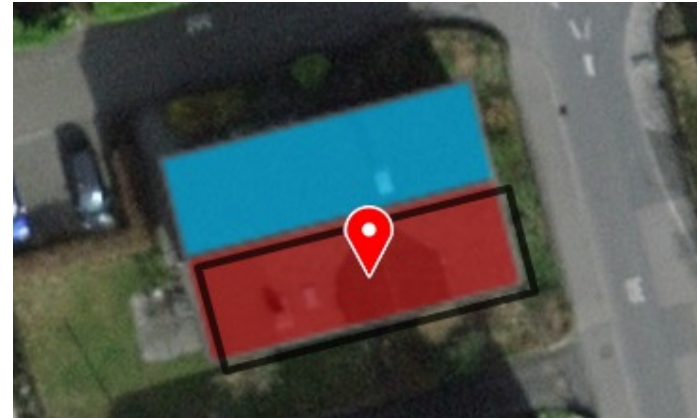
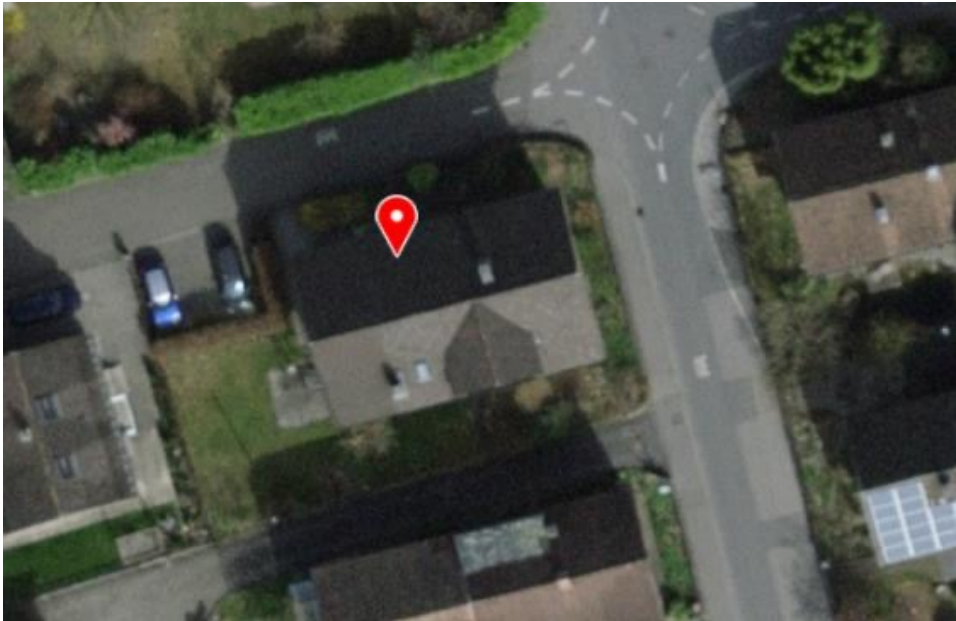


# Was ist die netzwirksame PV-Leistung?

- Die Nennleistung der PV-Anlagen ist nicht vollständig netzwirksam aufgrund der Ausrichtung



# Wieviel vom Dach wird genützt?



Sonnendach berücksichtigt das gesamte Dach ohne Abzug Dachaufbauten

Beispiel:

12 kWp Süddach aktuell realistisch

18 kWp Süddach Sonnendach

35 kWp Dach Sonnendach



# Simulation Vollausbau im Trafokreis

- PV-Anlagen mit *netzwirksamer Nennleistung*
  - Berücksichtigung der Reduktion durch die Ausrichtung
  - Berücksichtigung von ungeeigneten Dächern
  - Berücksichtigung von Dachaufbauten
- Erkenntnis
  - Aktuelle Beurteilung Netzanschlussgesuch ist sinnvoll
  - Das Netz ist *für Vollausbau geeignet....*
  - Verdreifachung der Transformatorleistung
  - Einzelne trafonahe Leitungen müssen verstärkt werden

# Zukunft

- Simulation **gesamtes Liechtensteiner** Netz
- Absicherung der neuartigen Erkenntnis:
  - **Netz ist für Vollausbau geeignet**  
mit ? Trafoverstärkung und ? Leitungsverstärkung
  - **Netz wirksame Leistung** von PV-Anlagen
- Was heisst «Verstärkung» in Bezug auf Bautätigkeit? Überführung der Simulationsergebnisse auf die Ausbautätigkeit
- Abschätzung Ausbaugeschwindigkeit in Bezug auf Dacherneuerung



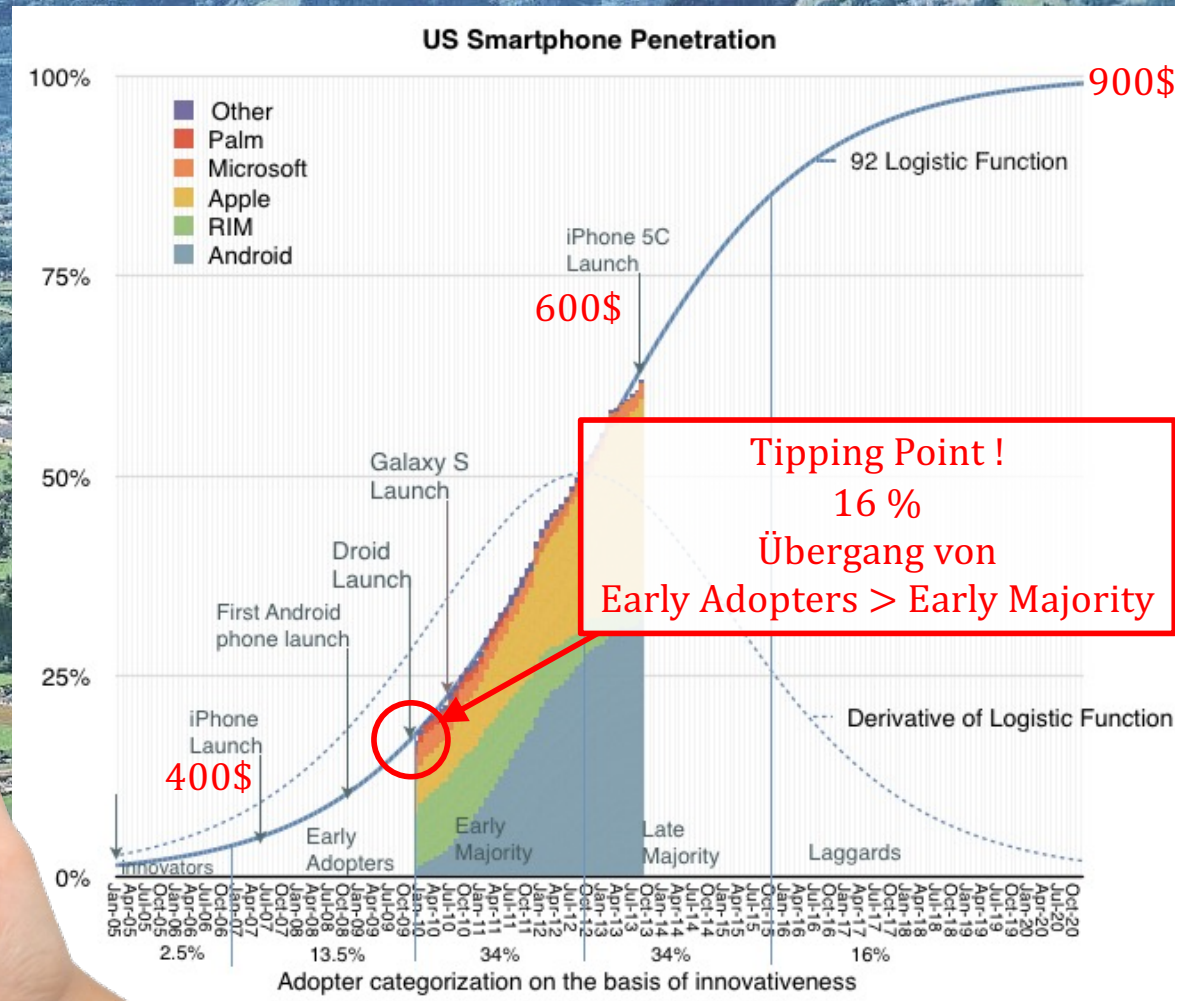
# Simulation Vollausbau

- PV-Anlagen mit *netzwirksamer Nennleistung*
  - Berücksichtigung der Reduktion durch die Ausrichtung
  - Berücksichtigung von ungeeigneten Dächern ⚡f(T)
  - Berücksichtigung von Dachaufbauten ⚡f(T)
- Erkenntnis
  - Aktuelle Beurteilung Netzanschlussgesuch ist sinnvoll
  - Das Netz ist *für Vollausbau geeignet....*
  - Verdreifachung der Transformatorleistung ⚡CHF
  - Einzelne traфонаhe Leitungen müssen verstärkt werden ⚡CHF

# Law of Diffusion of Innovation

Wachstum Photovoltaik  
hat begonnen

$$f_s = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$



## Zusammenfassung

# Wie viel Photovoltaik verträgt das Verteilnetz?

- Untersuchung Massnahmen für PV-Integration ohne Netzausbau
  - Aktive Regelung der Wirk- und/oder Blindleistung
  - Statische Regelung der Wirk- und/oder Blindleistung
- Beurteilung Netzsituation bei PV-Vollausbau (alle Dächer)
- Erkenntnis:
  - ***Das Netz ist gut vorbereitet*** für einen PV-Vollausbau
  - Beachte: ***Netzwirksame Leistung PV*** (nicht Nennleistung)
- Projektpartner Liechtensteinische Kraftwerke, Energiekommission Liechtenstein

