# Inselnetze und teilautarke Eigenheime mit erneuerbaren Energien

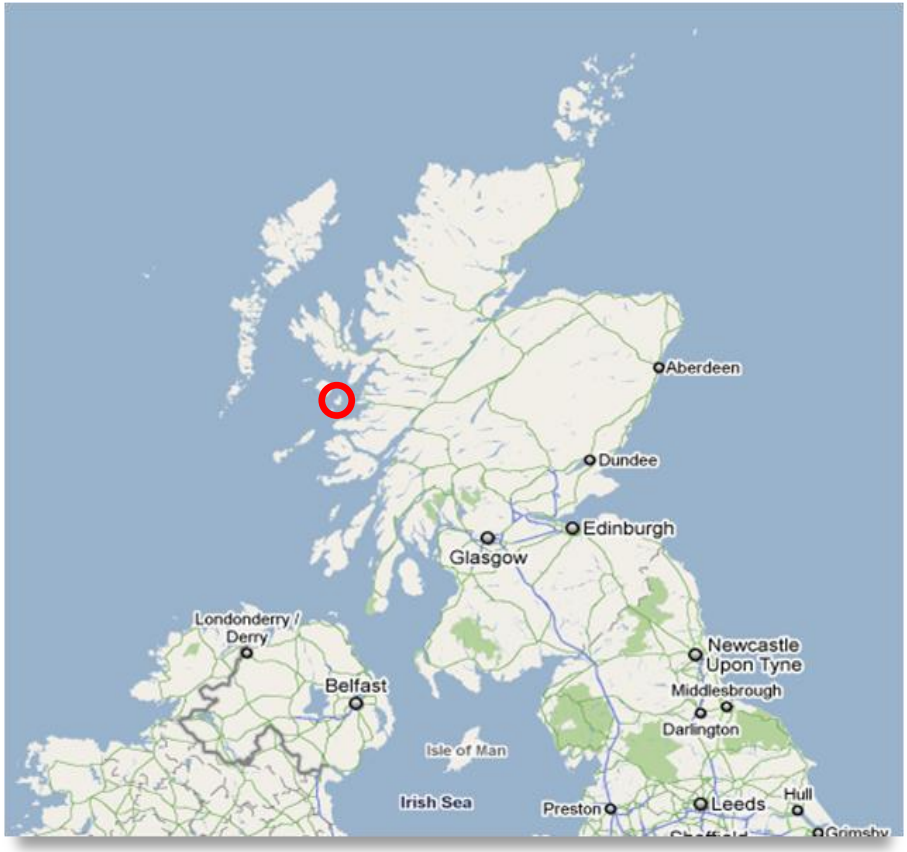
Dipl.-Ing. Martin Rothert, SMA Solar Technology AG

# Übersicht Teil 1 Inselnetze am Beispiel Eigg Island

1. Einleitung
2. Elektrifizierungsprogramm
3. Systemübersicht
4. Systemsteuerung
5. Nutzen für die Bewohner
6. Zusammenfassung

# 1. Einleitung

> Innere Hebriden, Schottland
> 16 km vom Festland entfernt
> Nord-Süd-Ausdehnung: 9 km
> Ost-West-Ausdehnung: 5 km
> Ca. 100 Einwohner
> Ca. 45 Privathaushalte, 26 Betriebe, 6 öffentliche Gebäude
> Wachsende Bevölkerungszahl



# 2. Elektrifizierungsprogramm

Vor dem Elektrifizierungsprogramm:

> Abhängig von eigener Energieerzeugung

> Hauptsächlich Dieselgeneratoren

> Wartung der Systeme notwendig

> Nachtabschaltung aller Systeme (Nutzung von Kerzenlicht)

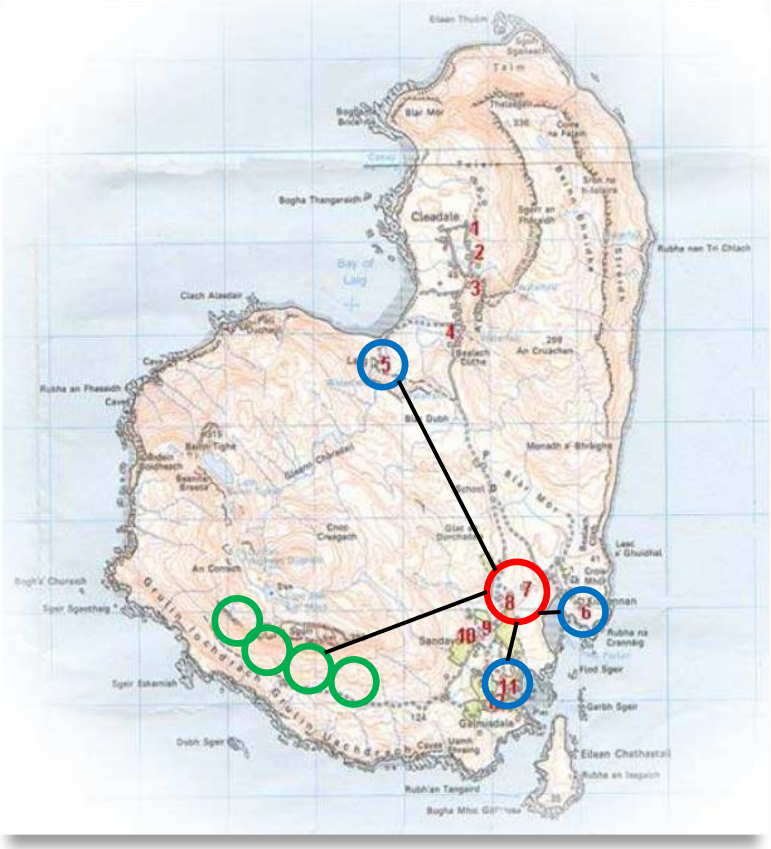
> Kein Anschluss an das Stromnetz des Festlands

- Am 1. Februar 2008 wurde die gesamte Inselgemeinschaft im Rahmen des Projekts „Isle of Eigg Electrification“ zum ersten Mal zentral mit Strom versorgt!

# 3. Systemübersicht

Im System sind verschiedene erneuerbare Energiequellen vereint

> Wasserkraft (110 kW)
> Wind (24 kW)
> Sonne (10 kWp)




Diese Energiequellen sind miteinander über ein **Mittelspannungsnetz** verbunden

# 3. Energieerzeuger: Wasserkraft-Generatoren

> 3 Wasserkraft-Generatoren

> 110 kW (größte erneuerbare Energiequelle)

- Ausreichende Stromerzeugung fast das gesamte Jahr über – außer im Sommer!

# 3. Energieerzeuger: Windenergieanlagen

> 4 Windenergieanlagen der Firma Proven mit Anschluss an Windy Boy 6000 A

> 24 kW (zweitgrößte erneuerbare Energiequelle)

- Erzeugen das ganze Jahr hindurch Strom ( aber niedrigste Erträge im Sommer)

# 3. Energieerzeuger: PV-Generator

> PV-Generator mit 165 W-Modulen und 3 Sunny Boy 3000

> 10 kWp (kleinste erneuerbare Energiequelle)

» Liefert zusätzliche Energie im Sommer

# 3. Die Systemsteuerung

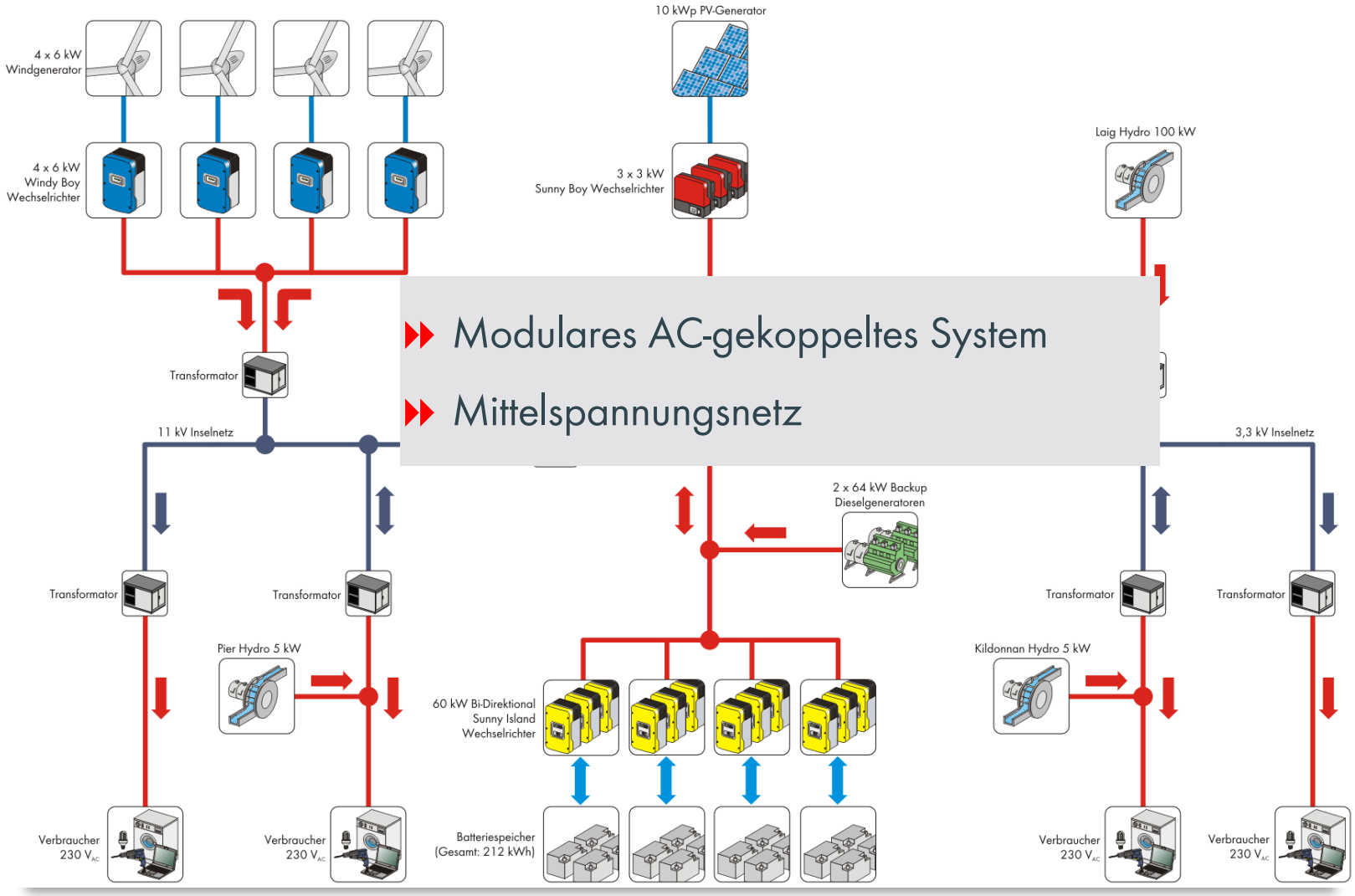
> 12 Batteriewechselrichter vom Typ Sunny Island 5048

> Peakleistung: 100 kW

> Batteriebank der Firma Rolls mit 212 kWh

- Sunny Island steuern vollautomatisch das gesamte System

# 3. Schematische Darstellung des Systems




- Modulares AC-gekoppeltes System
- Mittelspannungsnetz

# 4. Systemsteuerung - Eingangsgröße

> Die Sunny Island überwachen und steuern das System **automatisch**

> **Eingangsparamter:** Ladezustand (**SOC**) der Batterien:
  > **60** %: Generator wird eingeschaltet
  > **90** %: Generator wird abgeschaltet, Verbraucher werden durch die Batterien versorgt

- Der Dieselgenerator ist nur erforderlich, wenn die verfügbare erneuerbare Energie nicht ausreicht!

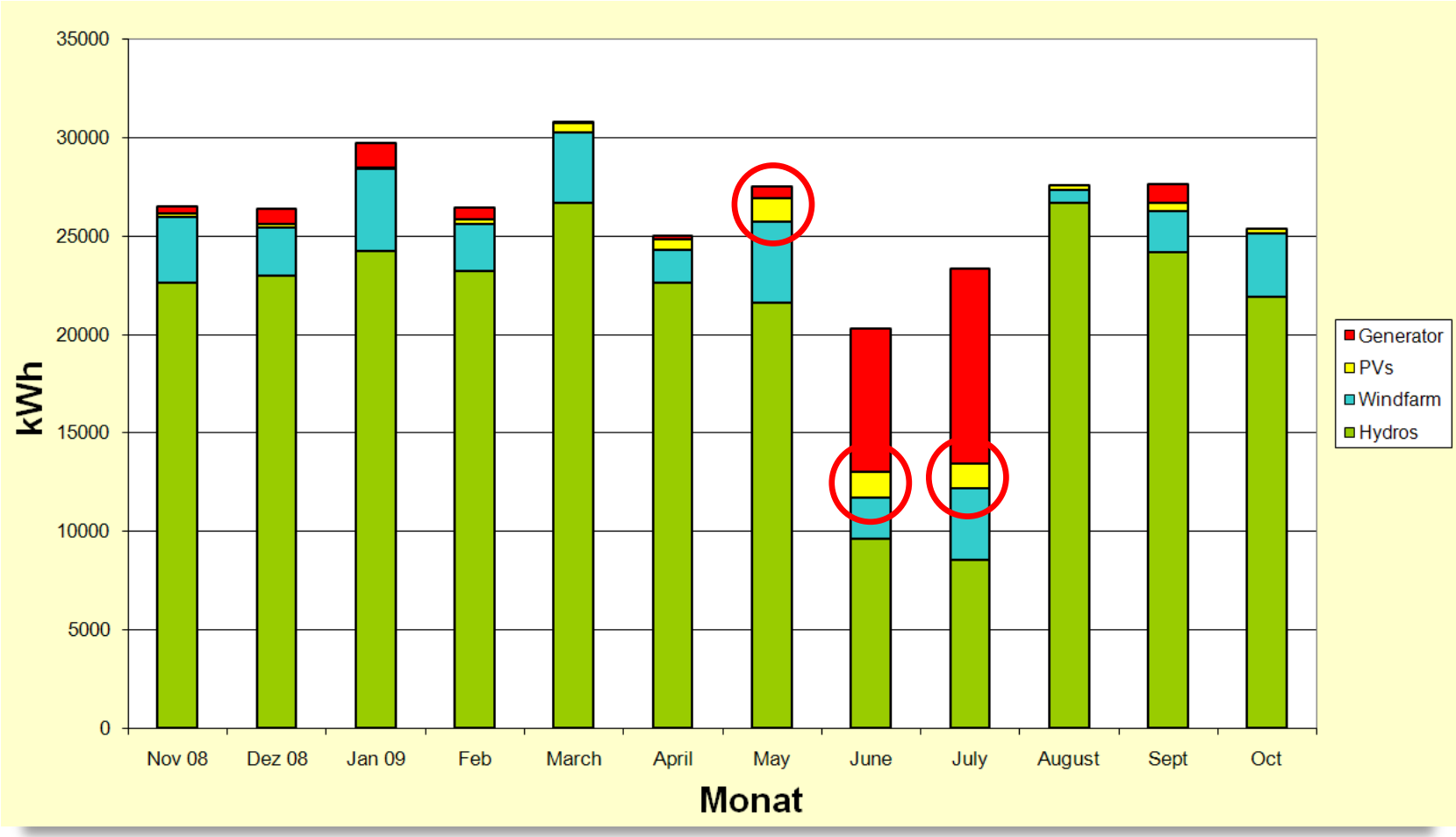
# 4. Systemsteuerung – Stellgröße

> Frequenzerhöhung (FSPC), wenn Batteriebank voll ist und mehr erneuerbare Energie als erforderlich erzeugt wird – Maßnahmen:

1. Aktivierung von Raumheizungen über frequenzgesteuerte Schalter
2. Anschluss zusätzlicher Abnehmer über frequenzgesteuerte Schalter
3. Ausgangsleistung von Wasserkraft, Wind und Solar wird beschränkt

- Systemsteuerung ohne zusätzliche Kommunikationsleitungen mit Standardgeräten möglich

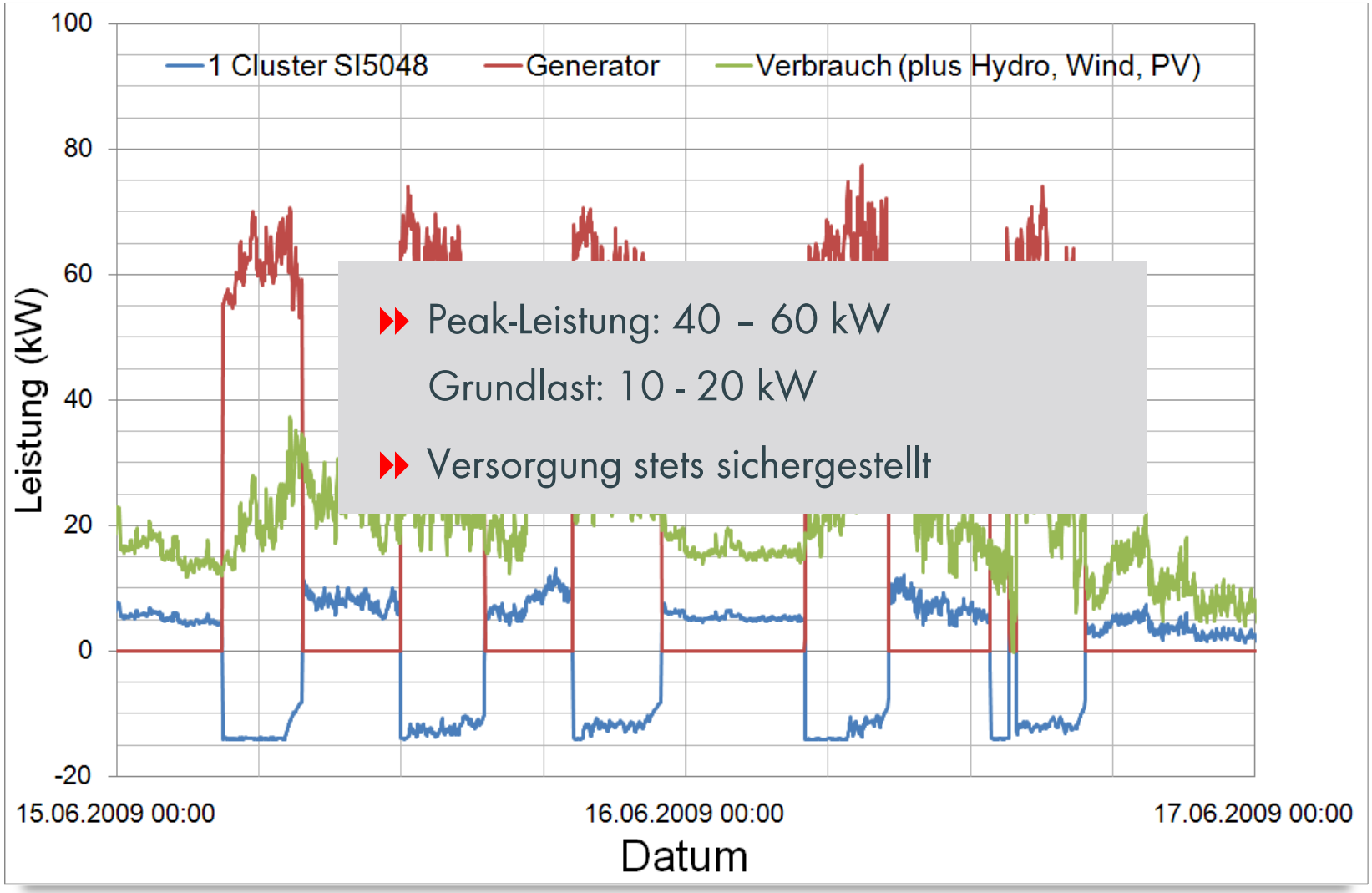
# 4. Stromerzeugung




Pro Monat erzeugter Strom nach Systemkomponenten (in kWh),
Daten: John Booth, Eigg Island Electricity

- 2% PV verdrängt den Dieselgenerator im Sommer → Wunsch: größere PV

# 4. Leistungsbilanzierung




- Peak-Leistung: 40 – 60 kW
  Grundlast: 10 - 20 kW
- Versorgung stets sichergestellt

# 5. Entwicklung in 2010/2011

> Neue Gebäude auf der Insel

> Steigender Energiebedarf

> Mai/Juni 2010 wenig Niederschläge auf Eigg – Senkung des Verbrauchs und stärkere Unterstützung durch Dieselgenerator

> 2011 wurde ein neuer PV-Generator mit 22 kWp installiert

- Der modulare Aufbau des Systems gewährleistet eine flexible Erweiterung sowohl durch zusätzliche Energieerzeuger als auch durch den Anschluss weiterer Verbraucher

# 5. Nutzen für die Anwohner

> Strom ist **rund um die Uhr** verfügbar

> Reparaturen und Wartung durch **lokales Wartungsteam**

> (Fast) vollständige **Unabhängigkeit** vom Festland und von fossilen Energiequellen

» Gleiche **Versorgungsqualität** wie auf dem Festland!

# 6. Überblick über die Systemeigenschaften

Großes modulares Hybridsystem:

> mit **Standardkomponenten**

> Verbraucher und Erzeuger über ein **Mittelspannungsnetz** mit mehreren Kilometern Länge verbunden

> Steuerung über **Netzfrequenz und Ladezustand**

> **hohe Zuverlässigkeit** dank dem modularen Konzept

> **unkomplizierte Wartung** durch lokale Elektrofachkräfte

# 6. Zusammenfassung

> Eines der ersten Systeme, bei dem **PV, Wind und Wasserkraft** in ein gemeinschaftlich genutztes Stromnetz integriert sind!

> **Sämtliche** Lasten werden seit 3 Jahren sicher versorgt

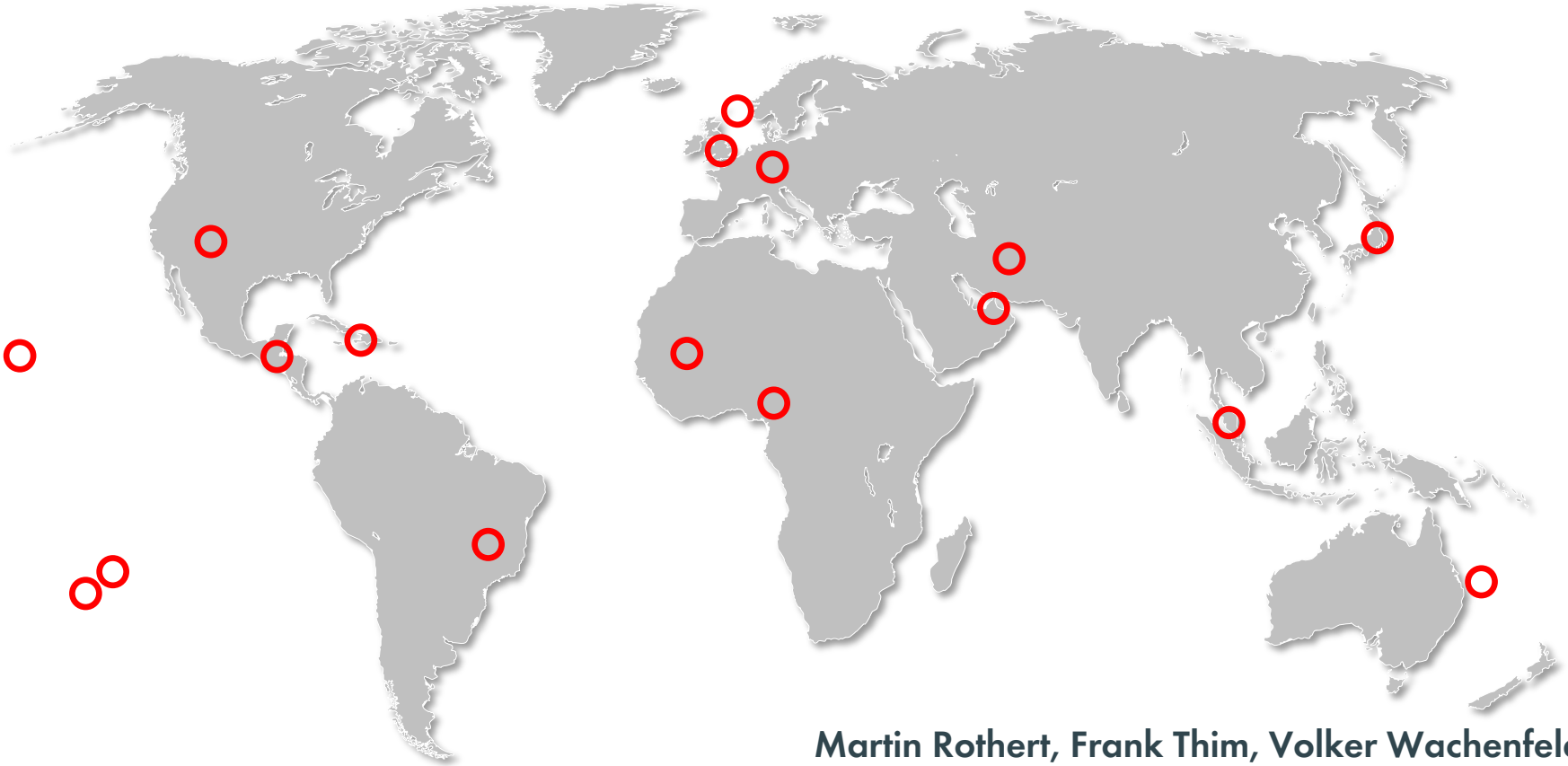
> **95 % des Stroms** aus **erneuerbaren** Energiequellen

> Kopplung auf der AC-Seite und Übertragung auf Mittelspannungsnivea hat sich bewährt.

:

**Große modulare Hybridsysteme mit mehr als 90% regenerativen Energien sind bereits heute möglich!**

# Eine Auswahl großer Off-grid Hybridsysteme

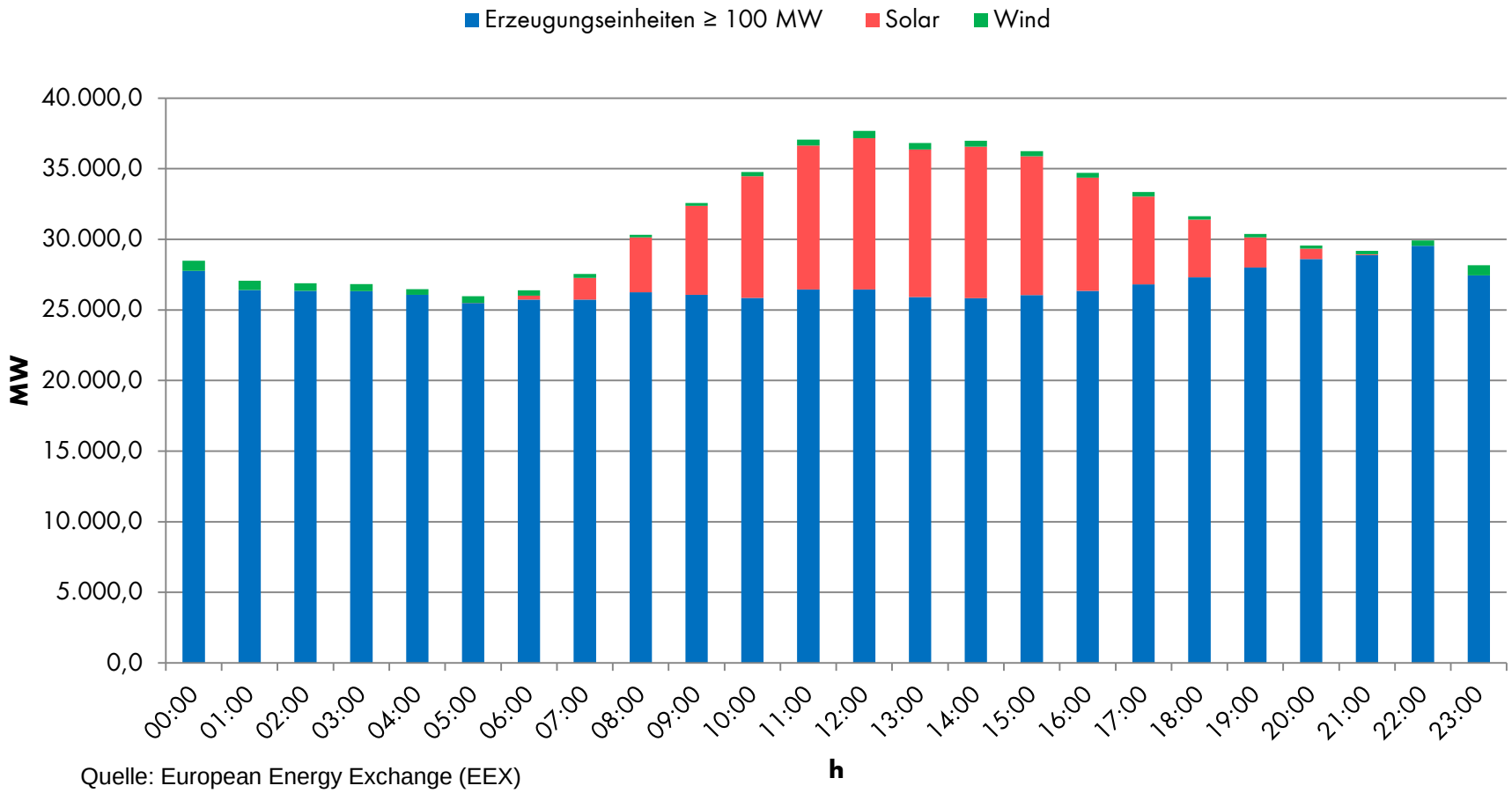


**Martin Rothert, Frank Thim, Volker Wachenfeld,**
**SMA Solar Technology AG**
**Steve Wade, Wind & Sun Ltd.**
**John Booth, Eigg Island Electricity**

# Übersicht Teil 2 – Teilautarke Eigenheime mit erneuerbaren Energien

- Einleitung
  - PV-Wachstum
  - Direkt/Eigenverbrauchsförderung
- Anforderung an dezentrale Speichersysteme
  - Analyse Verbrauch
  - Integration ins Hausnetz
  - Anforderung an die Systemauslegung
  - Anforderung an den Speicher
- Speicher
- Sunny Backup für Eigenverbrauch
- Ergebnisse aus dem Feldtest
- Wirtschaftlichkeit
- Ausblick

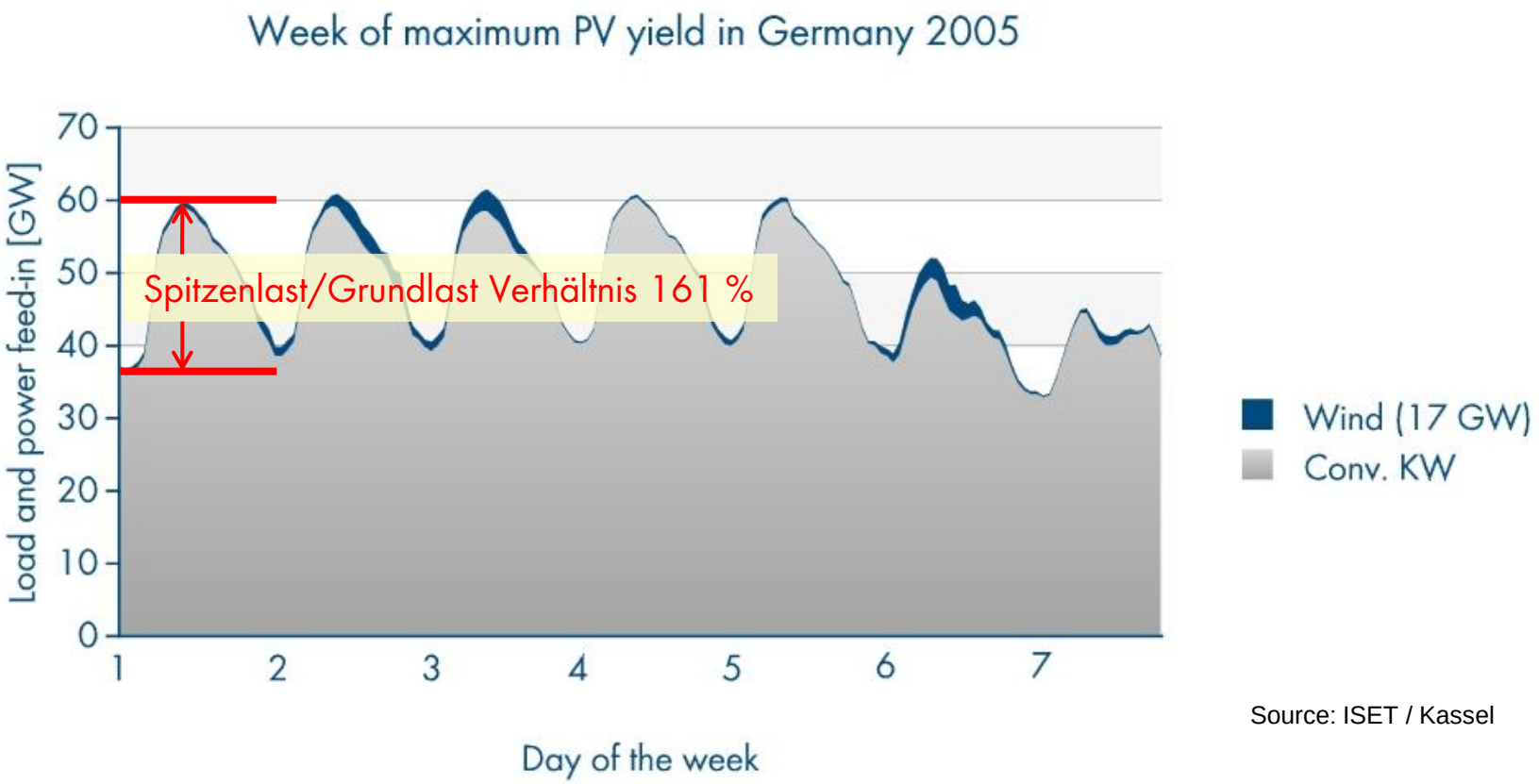
# Einfluss der PV-Erzeugung auf das deutsche Stromnetz nimmt zu (reale Daten Pfingstsonntag 12.06.2011)




Quelle: European Energy Exchange (EEX)

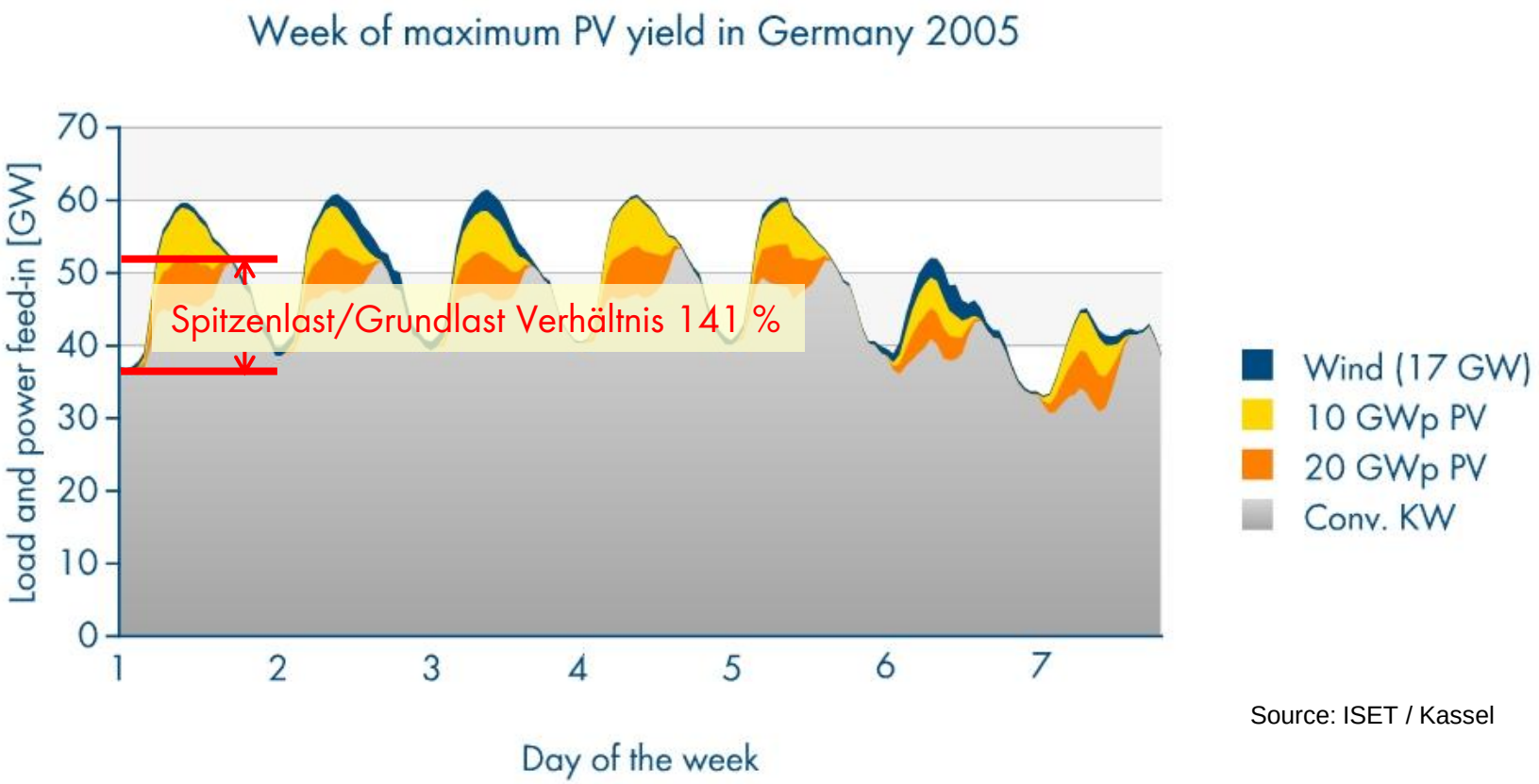
- 12 Uhr: konventionell 26,4 GW / Wind 0,52 GW / PV 10,7GW
- Anteil PV: 30.1 %

# Einfluss der PV-Erzeugung auf das deutsche Stromnetz




Source: ISET / Kassel

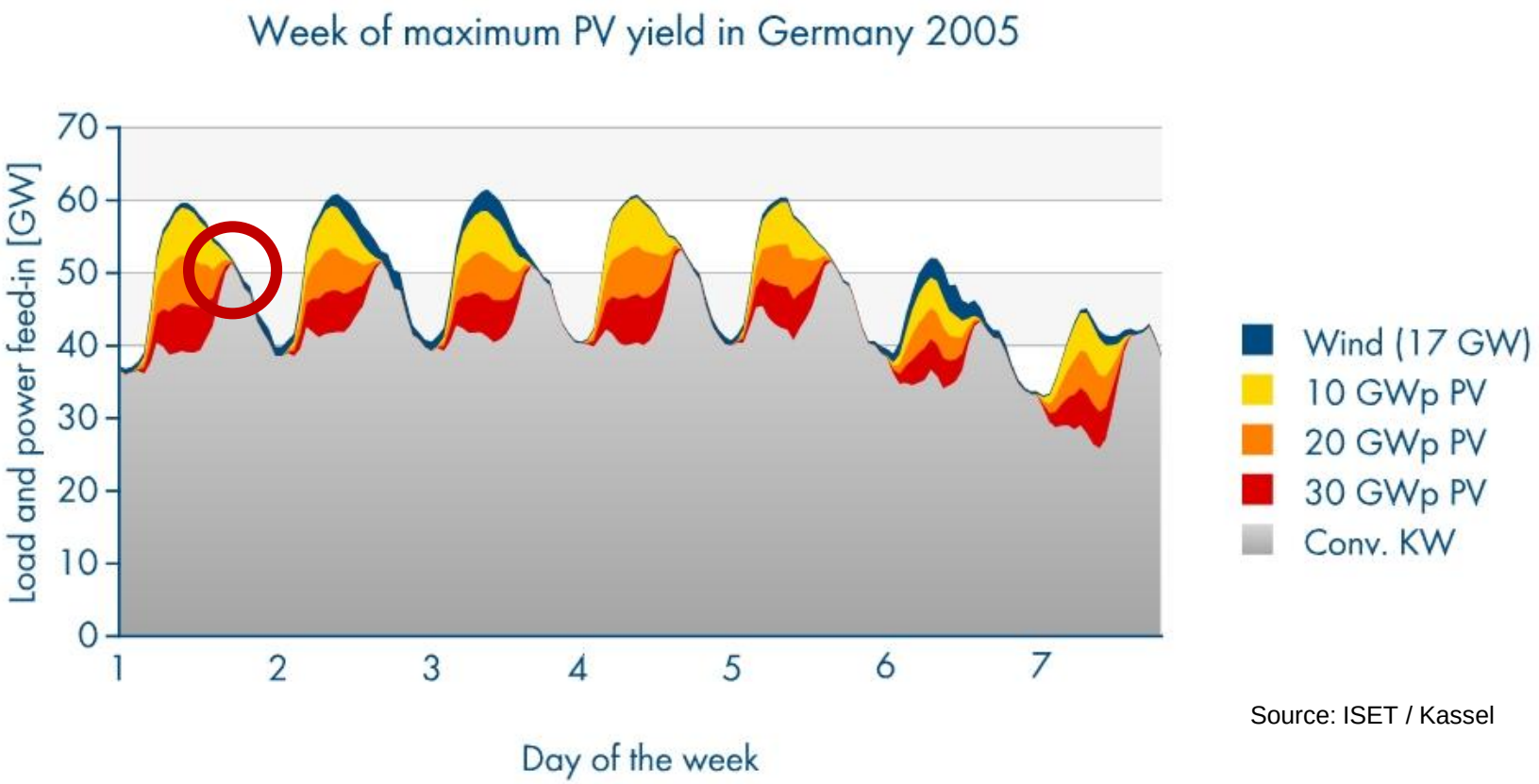
# Einfluss der PV-Erzeugung auf das deutsche Stromnetz




Source: ISET / Kassel

▸▸ Heute reduziert **PV-Leistung die Spitzenlast**!

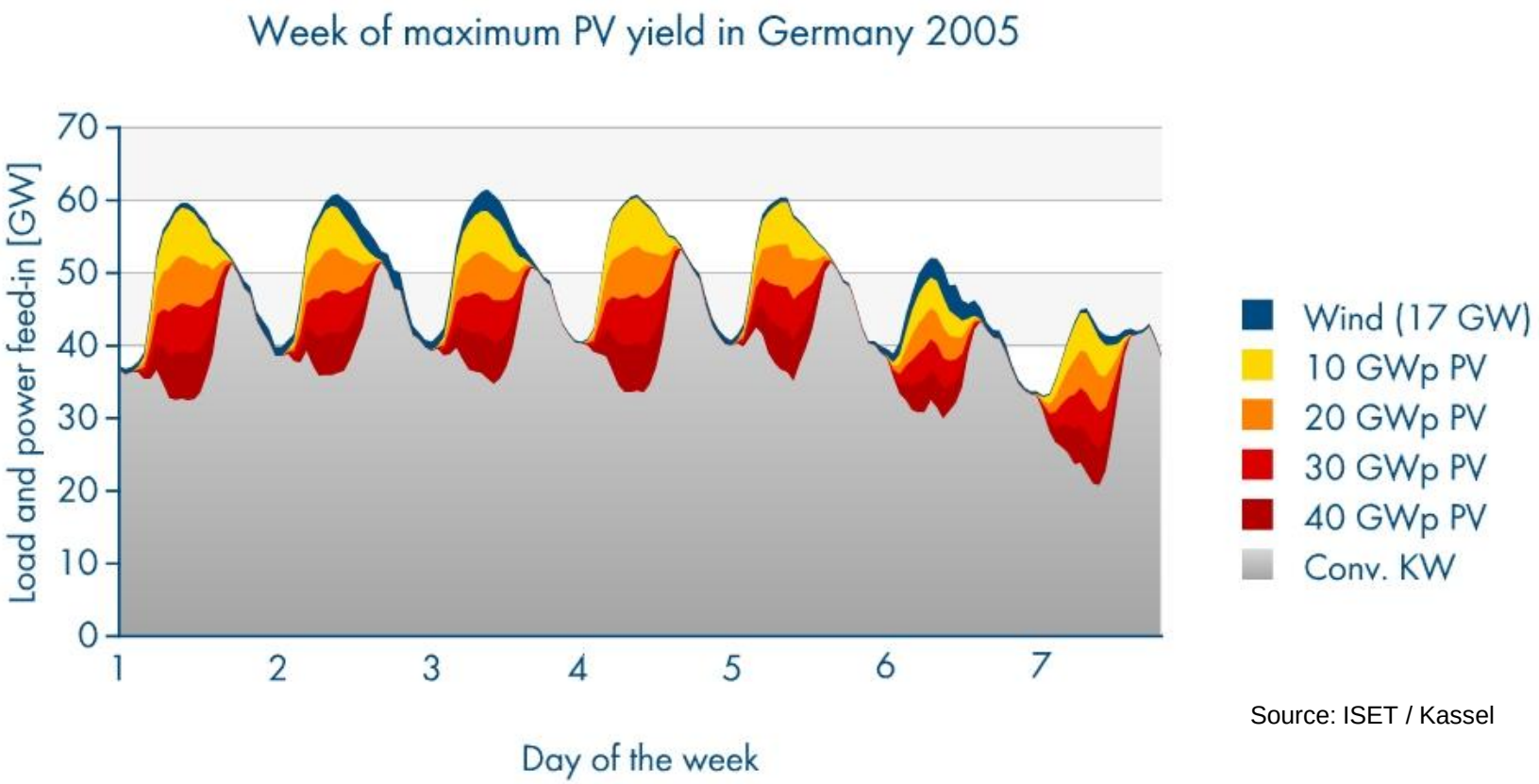
# Einfluss der PV-Erzeugung auf das deutsche Stromnetz




Source: ISET / Kassel

▸▸ **Keine weitere Reduktion** der Spitzenlast!

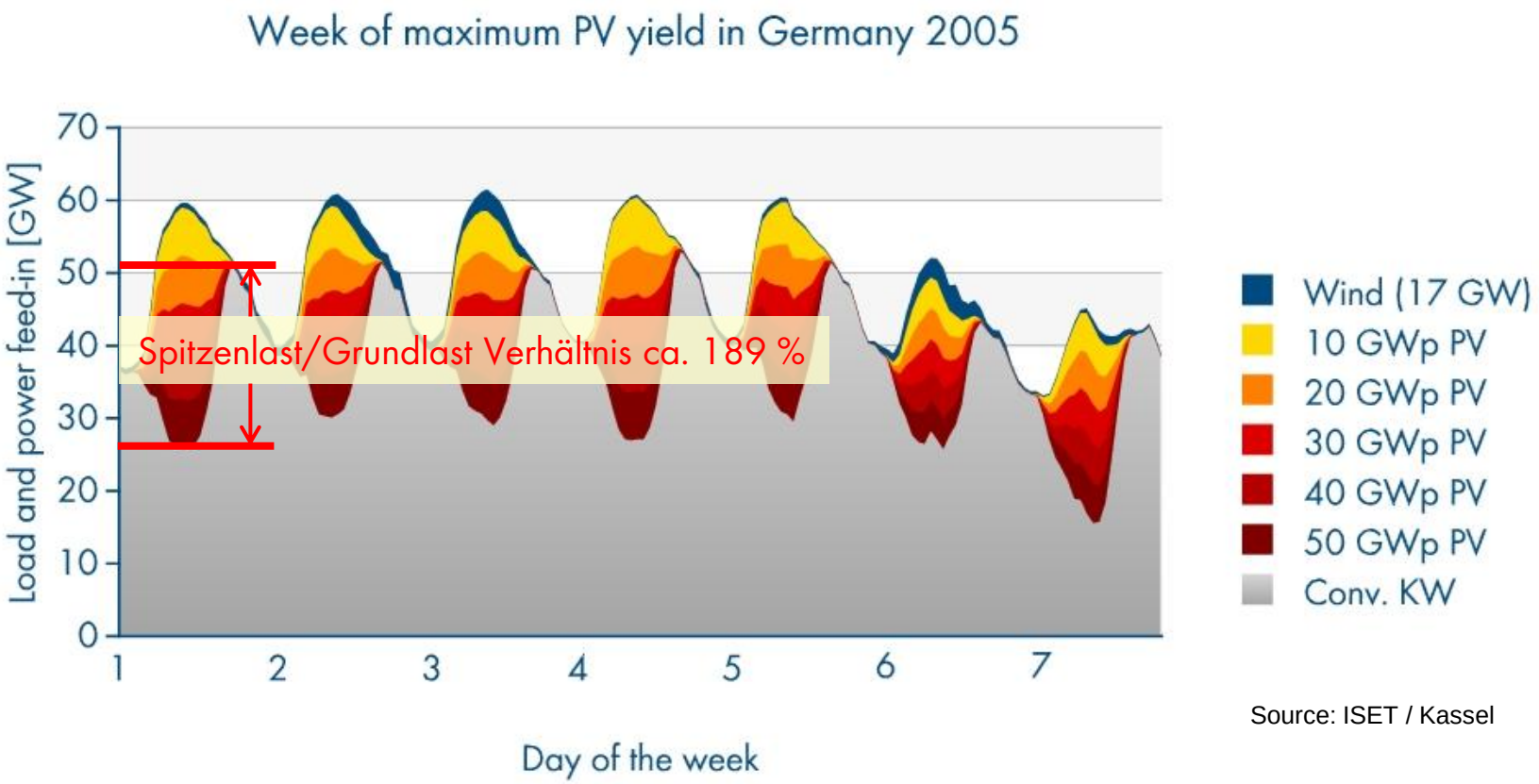
# Einfluss der PV-Erzeugung auf das deutsche Stromnetz




Source: ISET / Kassel

- Verhältnis Grundlast zu Spitzenlast **ähnlich wie ohne PV**!

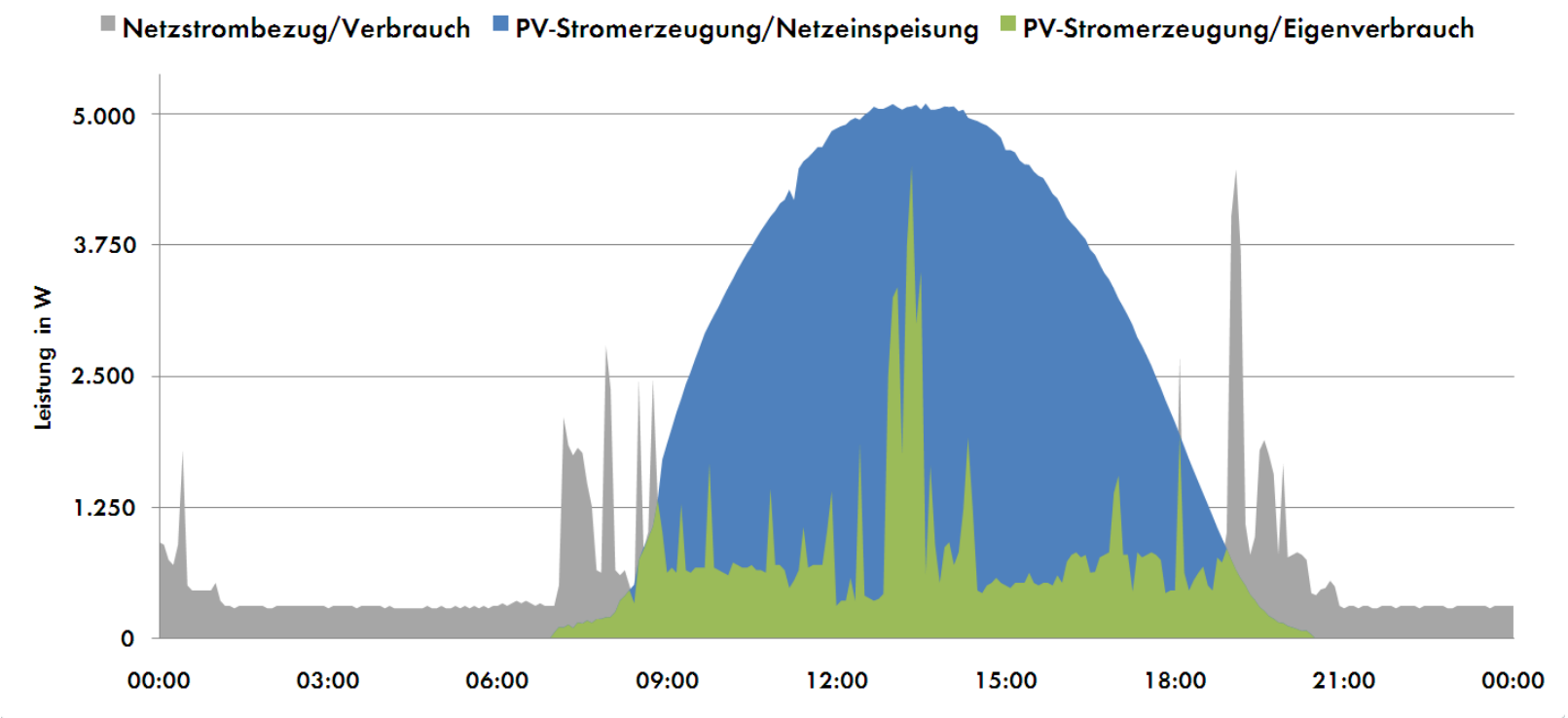
# Einfluss der PV-Erzeugung auf das deutsche Stromnetz




Source: ISET / Kassel

- Verhältnis Spitzenlast zu Grundlast **höher als ohne PV**!

# Eigenverbrauchförderung seit 2008 im EEG




> Die PV-Energie die vor Ort und zeitgleich verbraucht wird besonders gefördert

> Der Eigenverbrauch wird erhöht entspricht der grünen Fläche

# Eigenverbrauchförderung im EEG für Haushalte

> Der Eigenverbrauchsvorteil entspricht grundsätzlich dem Bruttostrombezugspreis minus 19,5 ct/kWh für den Anteil des PV-Stroms bis 30 % Eigenverbrauchsquote im Jahresmittel und 14,3 ct/kWh für den Anteil darüber*

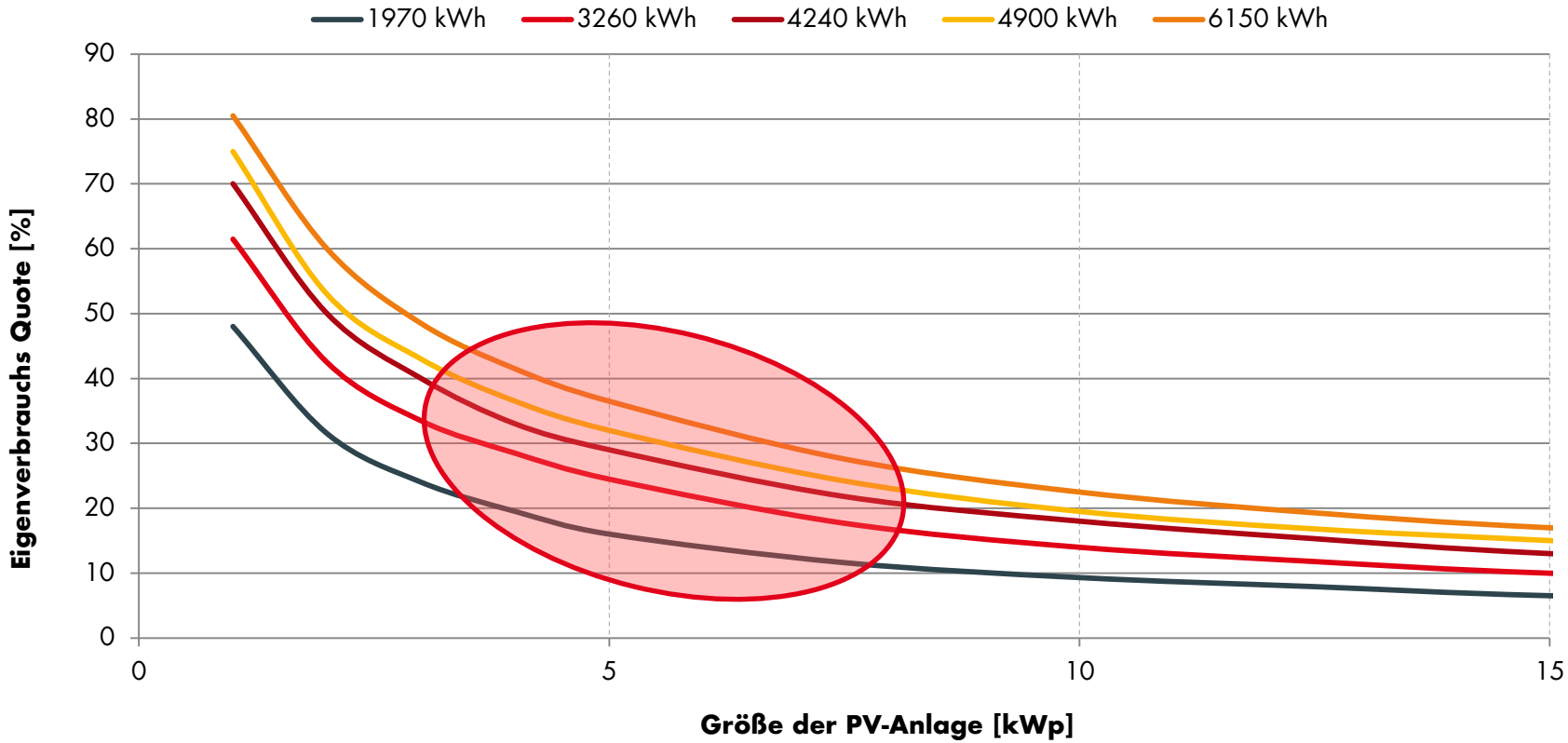
> Bei 23,8 ct/kWh Bruttostrombezugspreis ergibt sich ein Vorteil von 4,3 bzw. 9,5 ct/kWh

> Der Eigenverbrauchsvorteil steigt 1:1 mit jeder Strompreiserhöhung!

- Für PV-Anlagen auf Wohngebäuden lohnt sich Eigenverbrauch nahezu immer, besonders ab einer Eigenverbrauchquote über 30 %

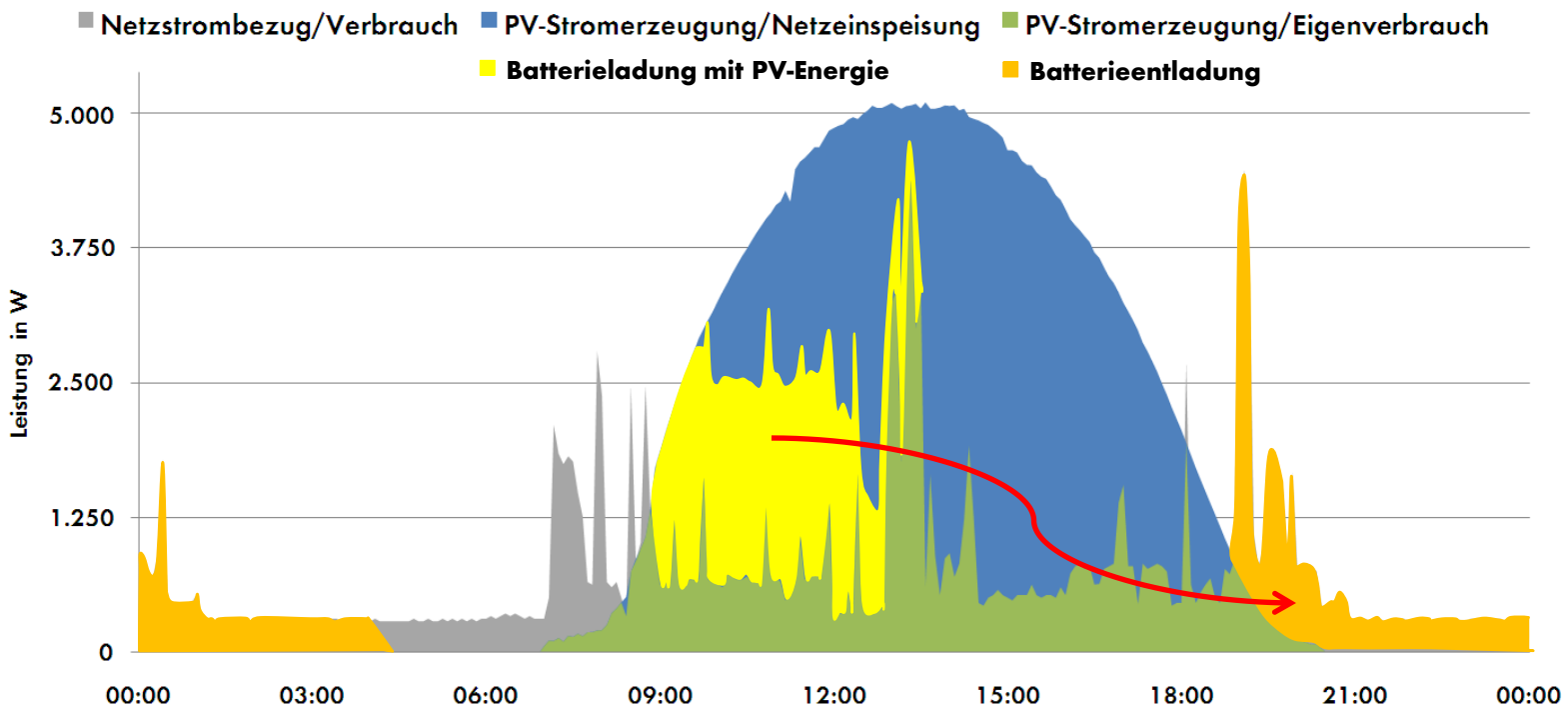
*entsprechend §33 Abs. 2 EEG:16,38 bzw. 12,00 Cent zzgl. jeweils 19% Umsatzsteuer für privaten Stromverbrauch

# Typische Eigenverbrauchsquoten im Haushalt - Jahresmittel




- In typischen Mehrpersonen-Haushalten wird mit 3 – 8 kWp PV-Anlagen-Leistung eine Eigenverbrauchsquote von 15 – 45 % ohne weitere Maßnahmen erreicht.

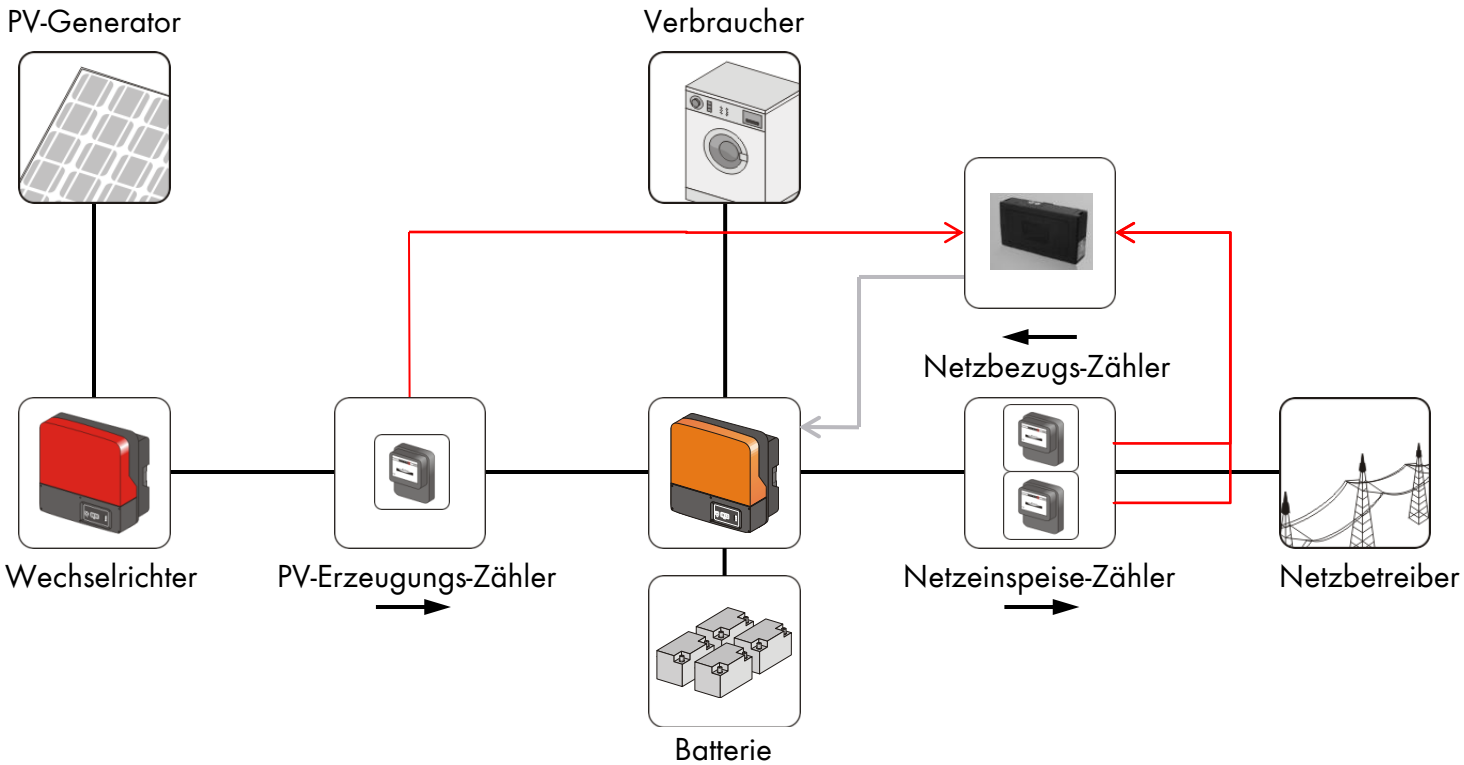
# Weitere Erhöhung des Eigenverbrauch nur durch Zwischenspeicherung




> Durch den Energiespeicher wird PV-Energie vom Tage in Abend und Nacht geschoben

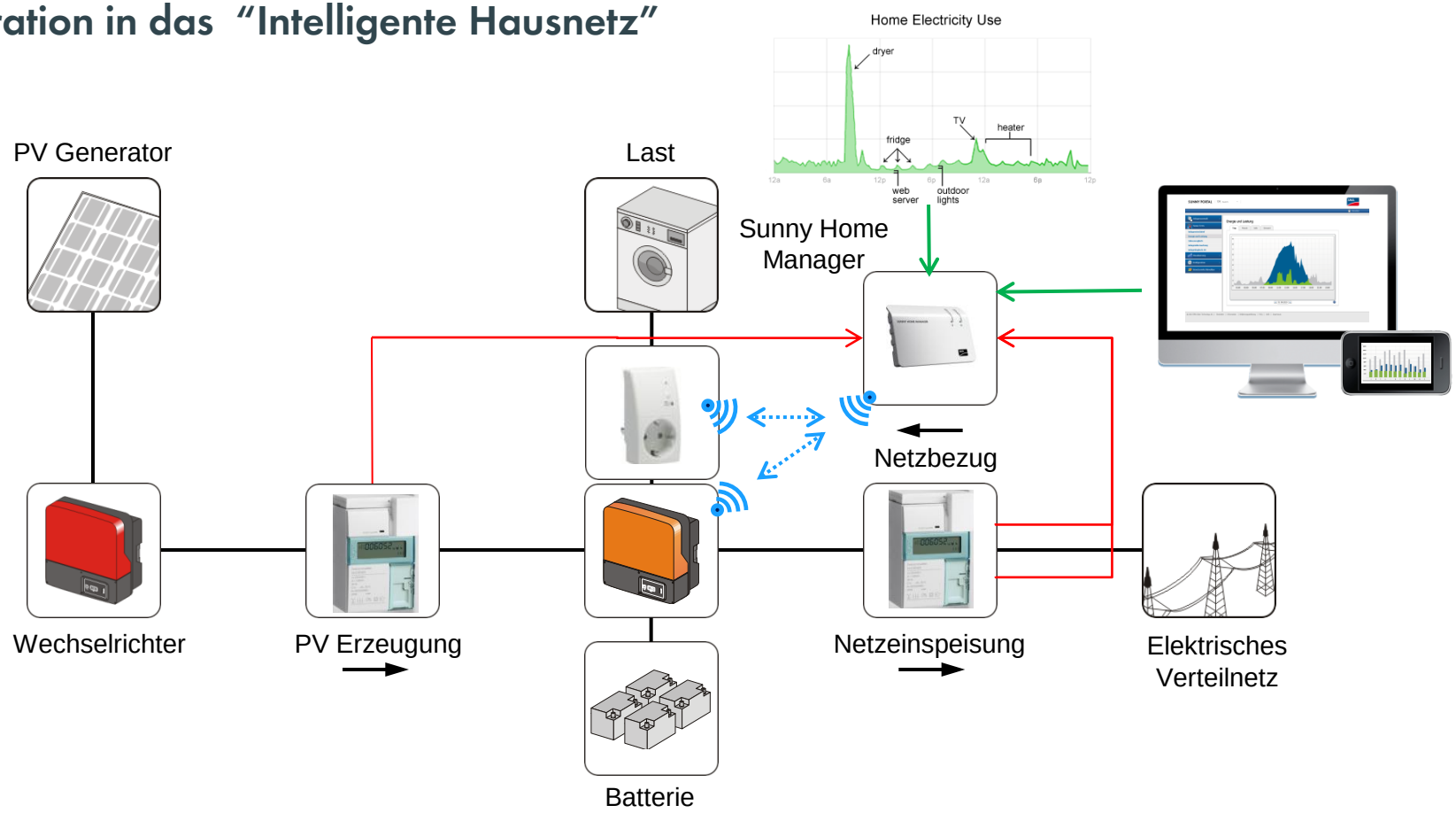
> Der Eigenverbrauch wird erhöht entspricht der grünen + gelben Fläche

# Integration ins Hausnetz



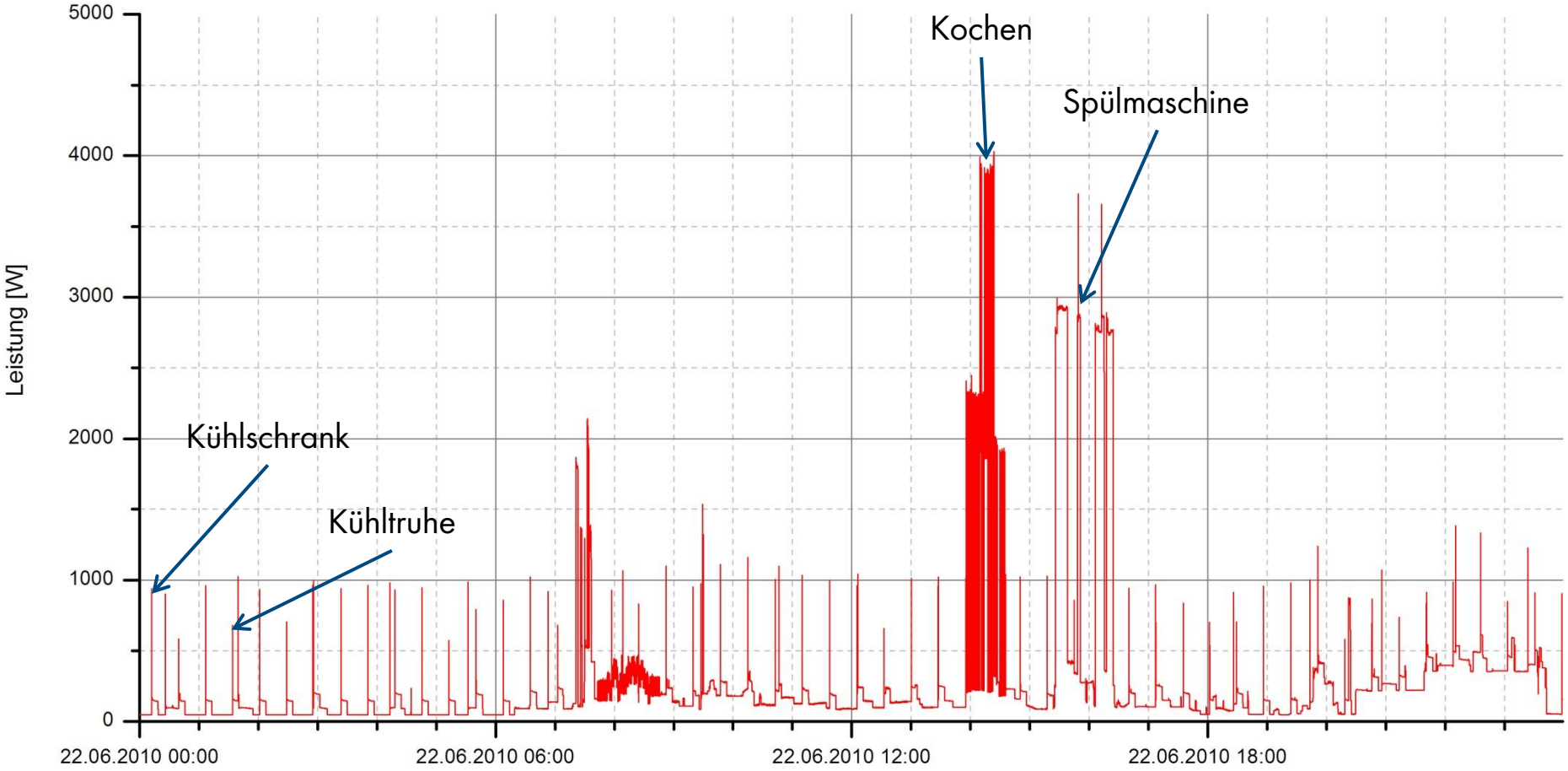

- Zugang zu aktuellen Messwerten: Nutzung der **abrechnungsrelevanten Zählerwerte**
- Die notwendige **Datenerfassungs- und Regelgeschwindigkeit** hängt von den typischen **Fluktuationsraten von Last und Erzeugung** ab

# Integration in das "Intelligente Hausnetz"

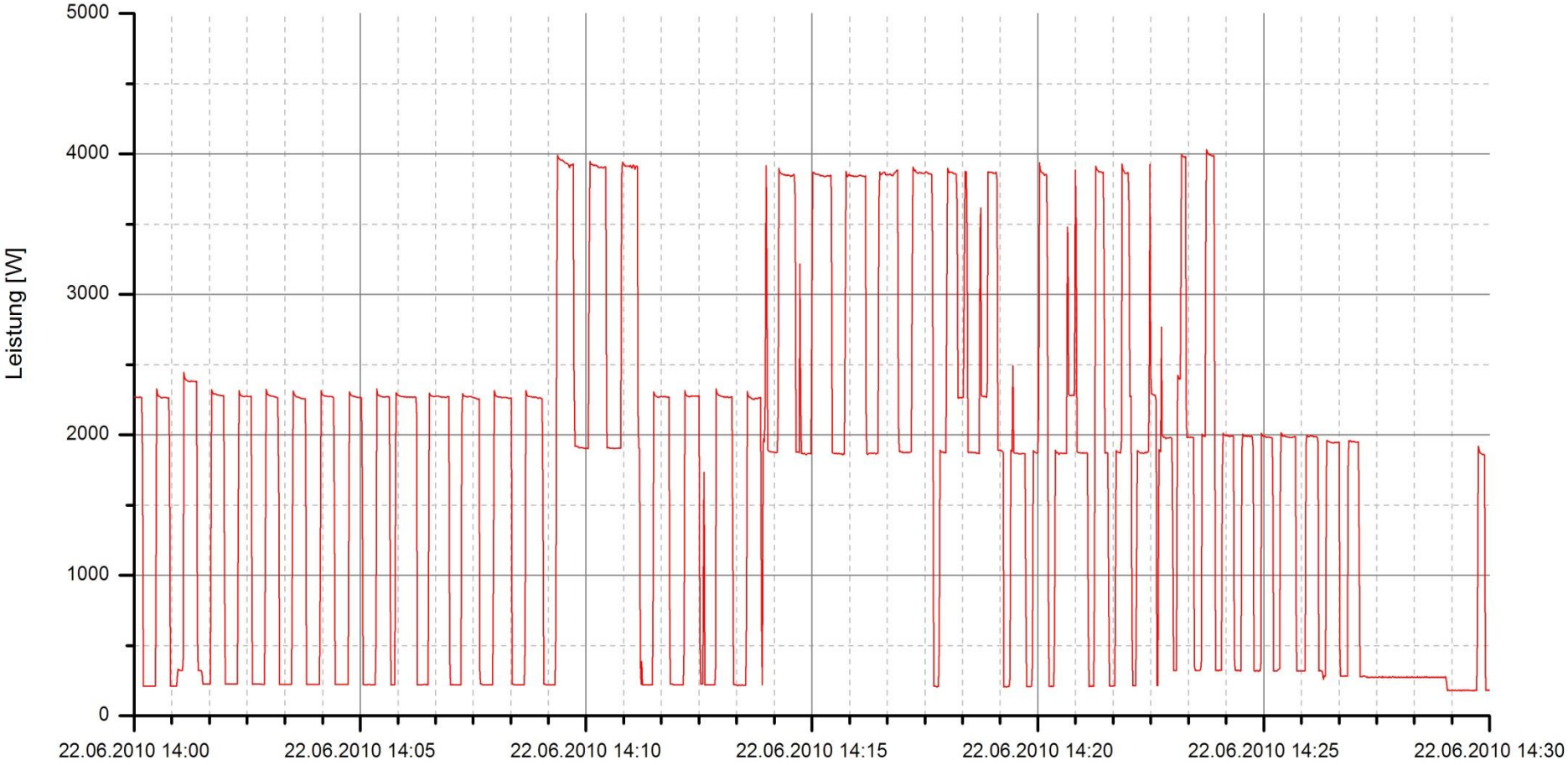



- Berechnung von Lastprofilen
- Übertragung von PV-Prognosen
- Integration von Lastmanagement

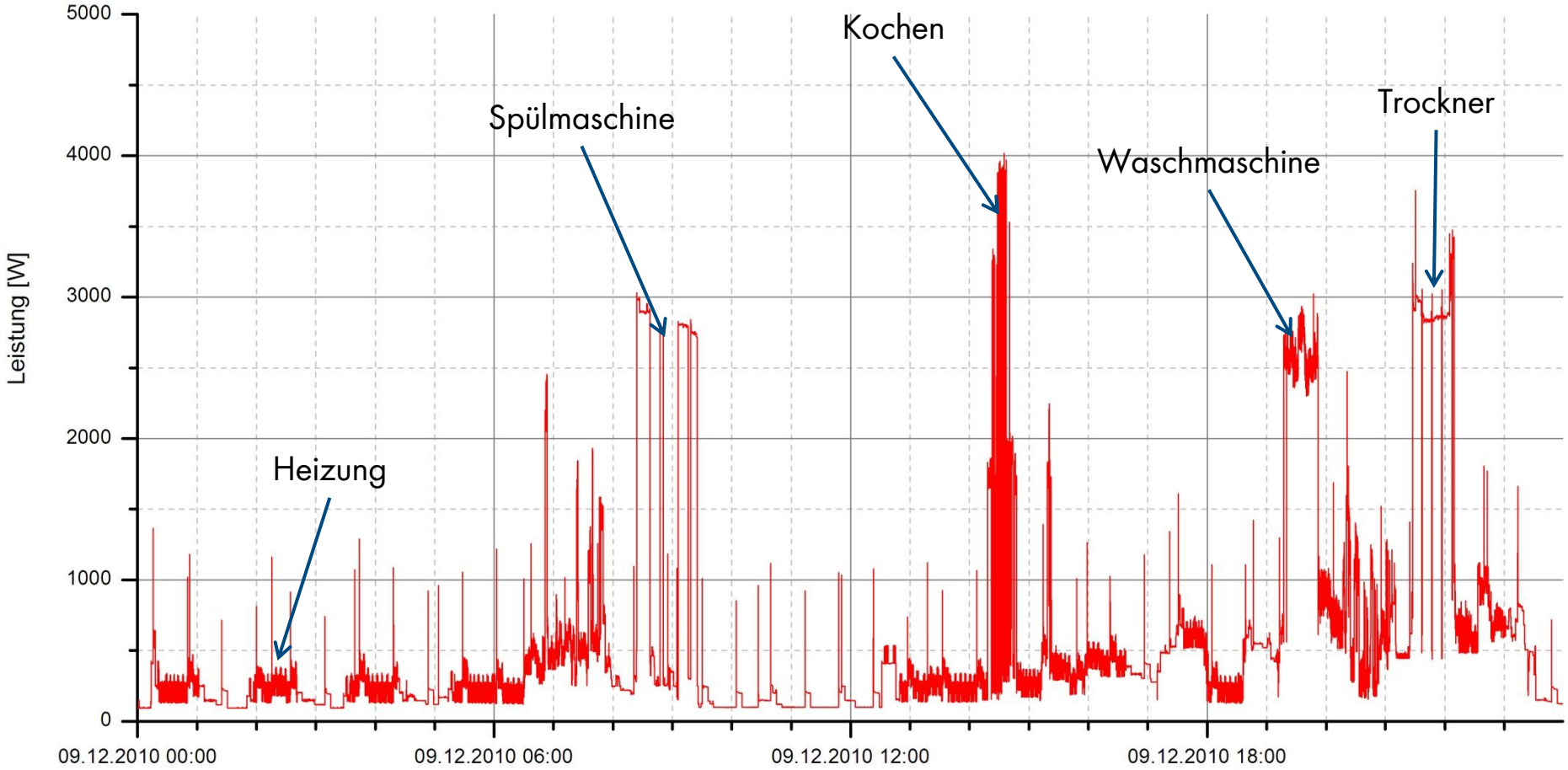
# Analyse des Stromverbrauchs: Sommertag



# Analyse des Stromverbrauchs: Kochen Mittags



# Analyse des Stromverbrauchs: Wintertag



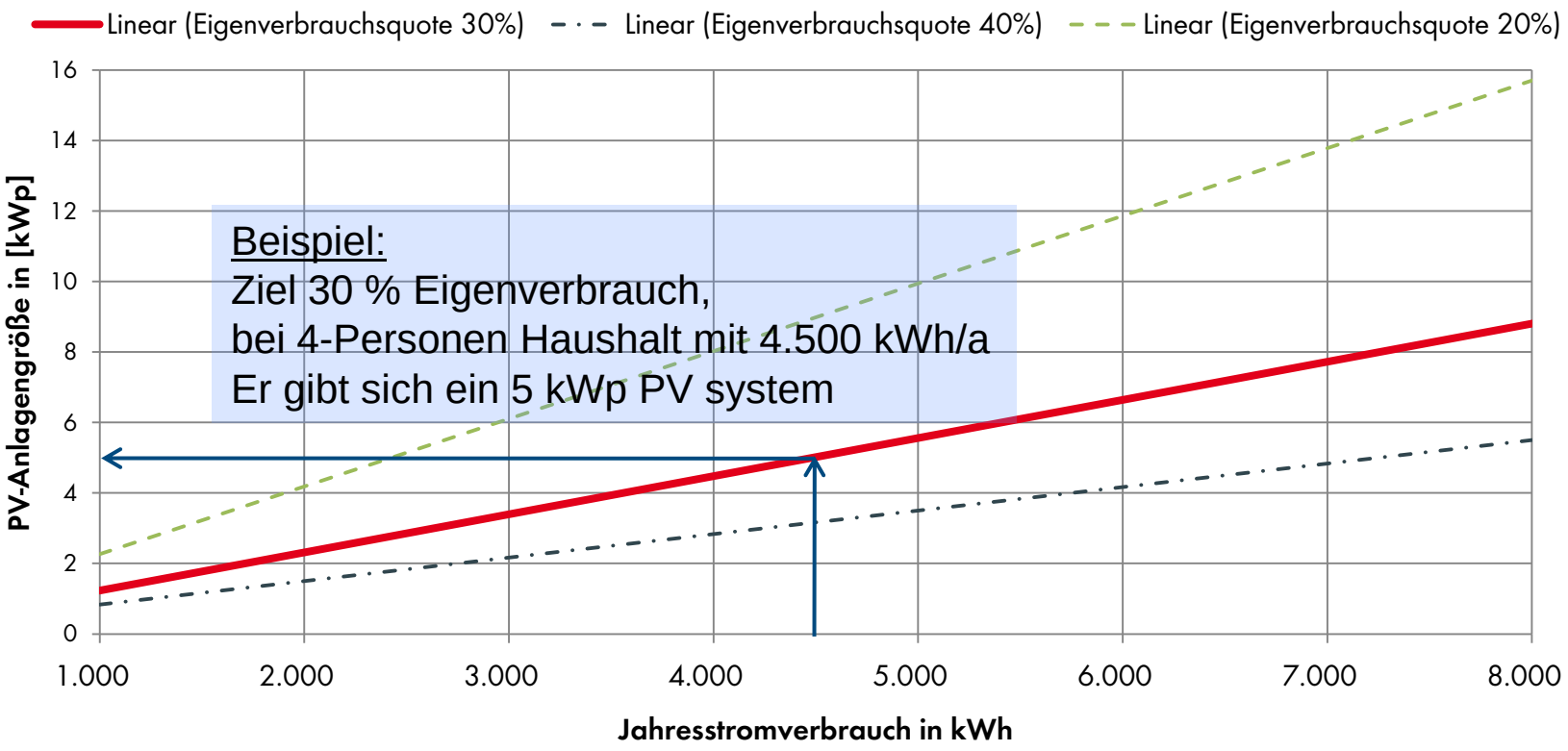

- Schnelle Erfassung von Verbrauch und Erzeugung ist notwendig

# Anforderung an die Leistungserfassung

- Anforderungen:
  - Schnelle Leistungserfassung
  - Abrechnungsrelevanter Wert
  - Möglichst Zählerstand mit anzeigen
  - Einfache Integration
  - Zukunftsfähig

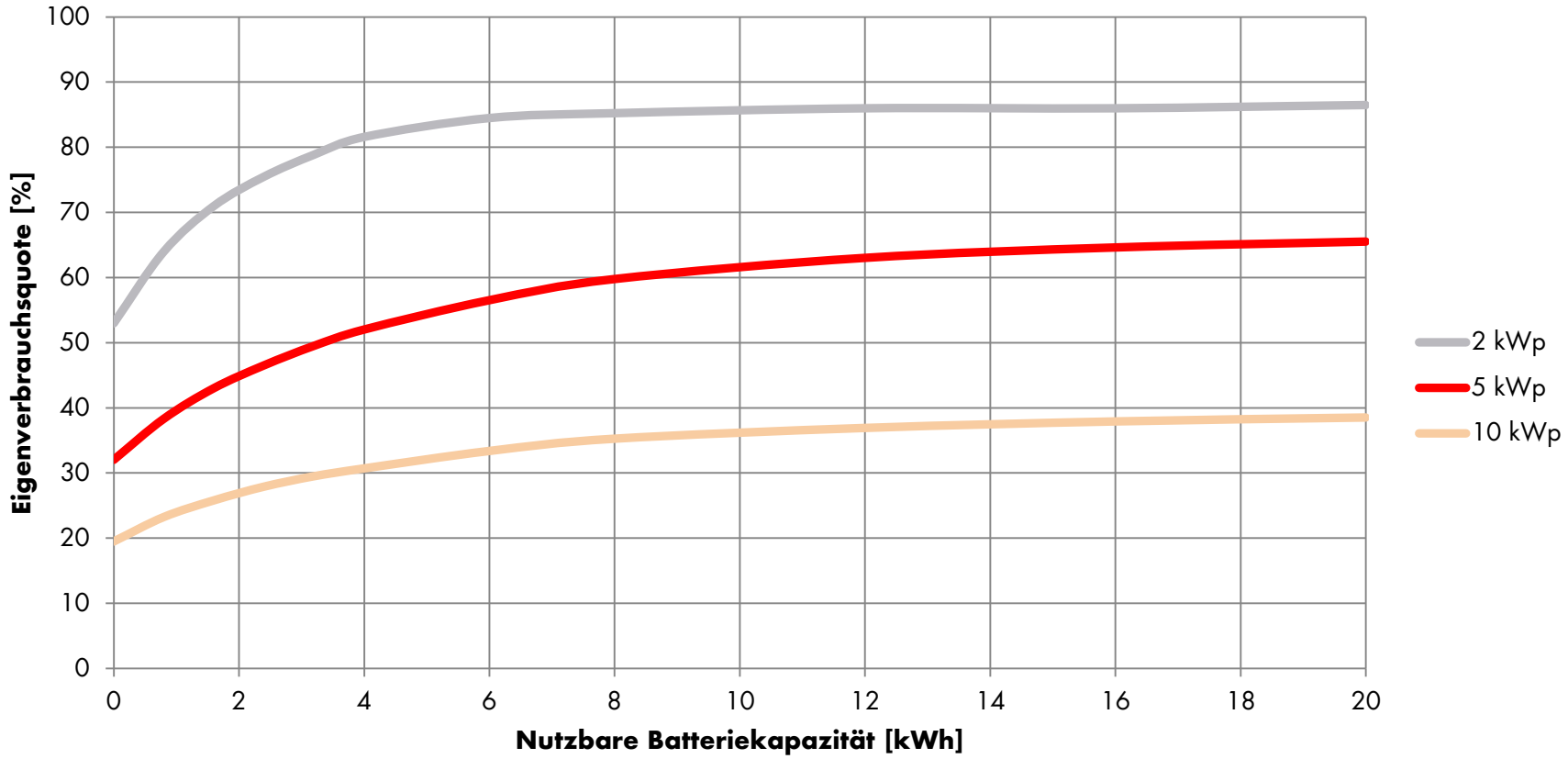
eHz mit D0-Schnittstelle ist der derzeit beste Kompromiss

# Anforderungen an die Systemauslegung




- 30 % natürlicher Eigenverbauch sollte ohne Speicher erreicht werden
- PV-Anlagengröße sollte kleiner als 1,1 kWp pro 1000 kWh Verbrauch sein

# Anforderungen an die Speicherauslegung: Beispiel 4 Personen Haushalt




- kleine PV-Anlagen mit kleinem Speicher bringen hohe Eigenverbrauchsquoten von über 80 %
- 100 % Eigenverbrauch ist nur mit PV-Anlagen kleiner 1,5 kWp und Speicher möglich

# Anforderungen an den Speicher

- **Wartungsfrei** oder wartungsarm
- **Langlebig**
- Hoher **Wirkungsgrad**
- **Sicherheit**
- **Zyklenfestigkeit** größer
  100 Nennenergiedurchsätze/Jahr
- Geringe **Investitionskosten**

# Vergleich verschiedener Speicher

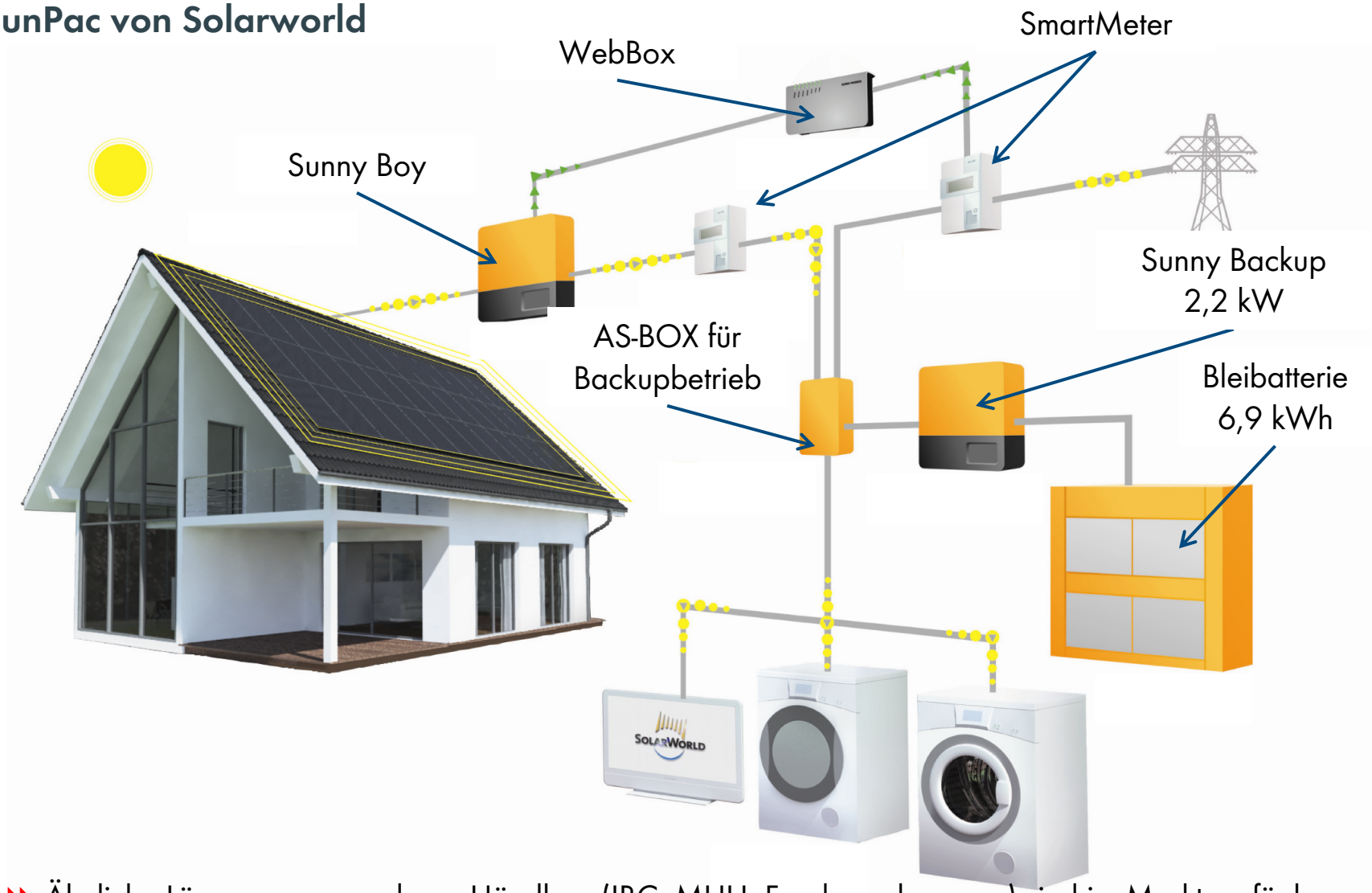
Origin: Hoppecke

Origin: Sony

| Anforderungen | Bleibatterie | Li-Ionen Batterie |
|---|---|---|
| Wartungsfreiheit | Ja ☑ | Ja ☑ |
| Lebensdauer | 10 Jahre ☑ | 10 Jahre ☑ |
| Wirkungsgrad | 85 % | > 95% ☑ |
| Sicherheit | hoch ☑ | offen |
| Zyklenfestigkeit | 1000 nom. Energie ☑ | 3000 nom. Energie ☑ |
| Verfügbarkeit am Markt | hoch ☑ | gering |
| Kosten | 200 – 300 €/kWh ☑ | 300 – 1000 – 1500 €/kWh |

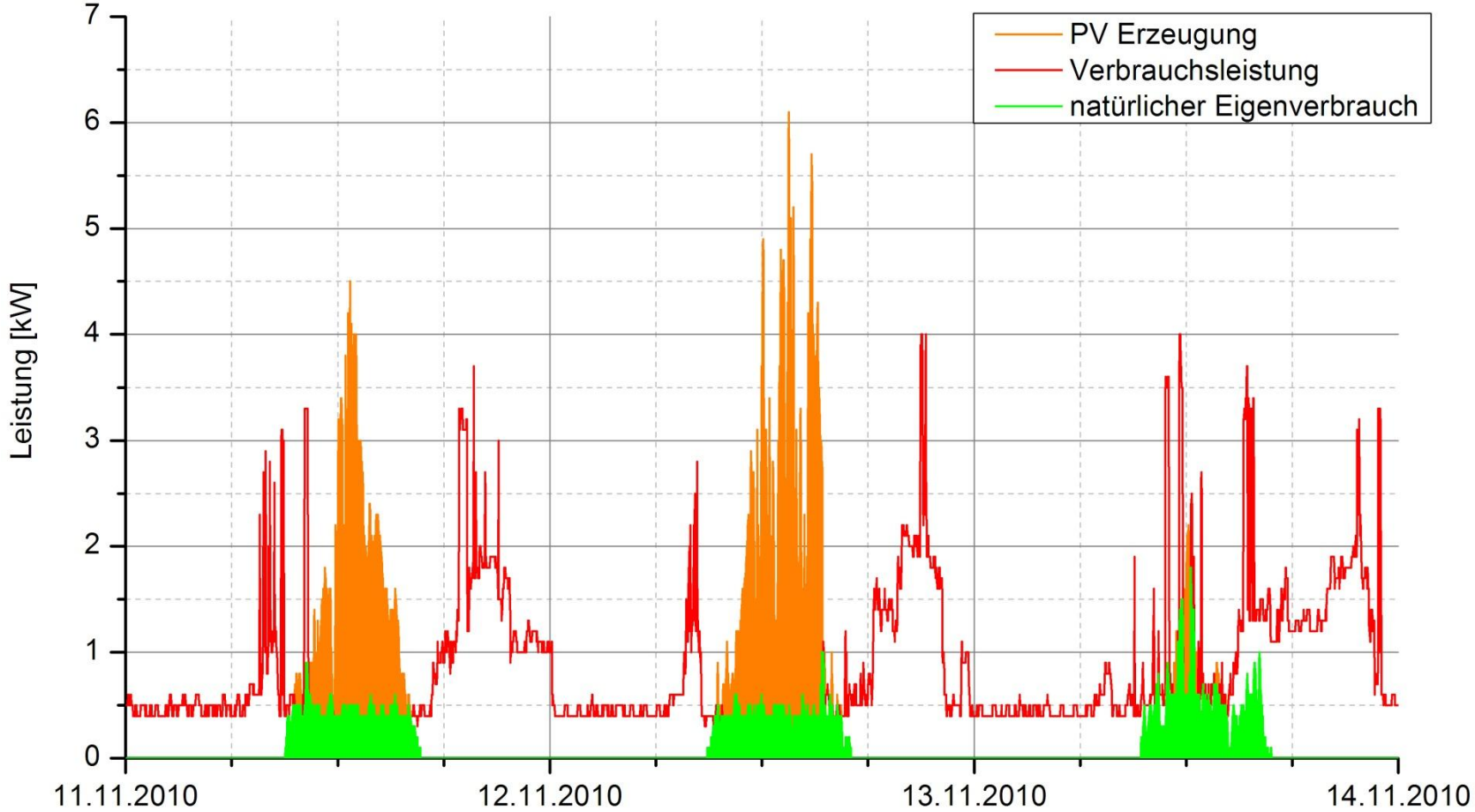
- **Blei-Batterien** gut geeignet **<u>für diese Anwendung</u>**...
- **Lithium-Ionen** Batterien sind sehr vielversprechend für **Zusatzservices** (z. B. Primärregelung ) und **variabele Stromtarife**

# Lösungen für Backup und Eingenverbrauch
# SunPac von Solarworld



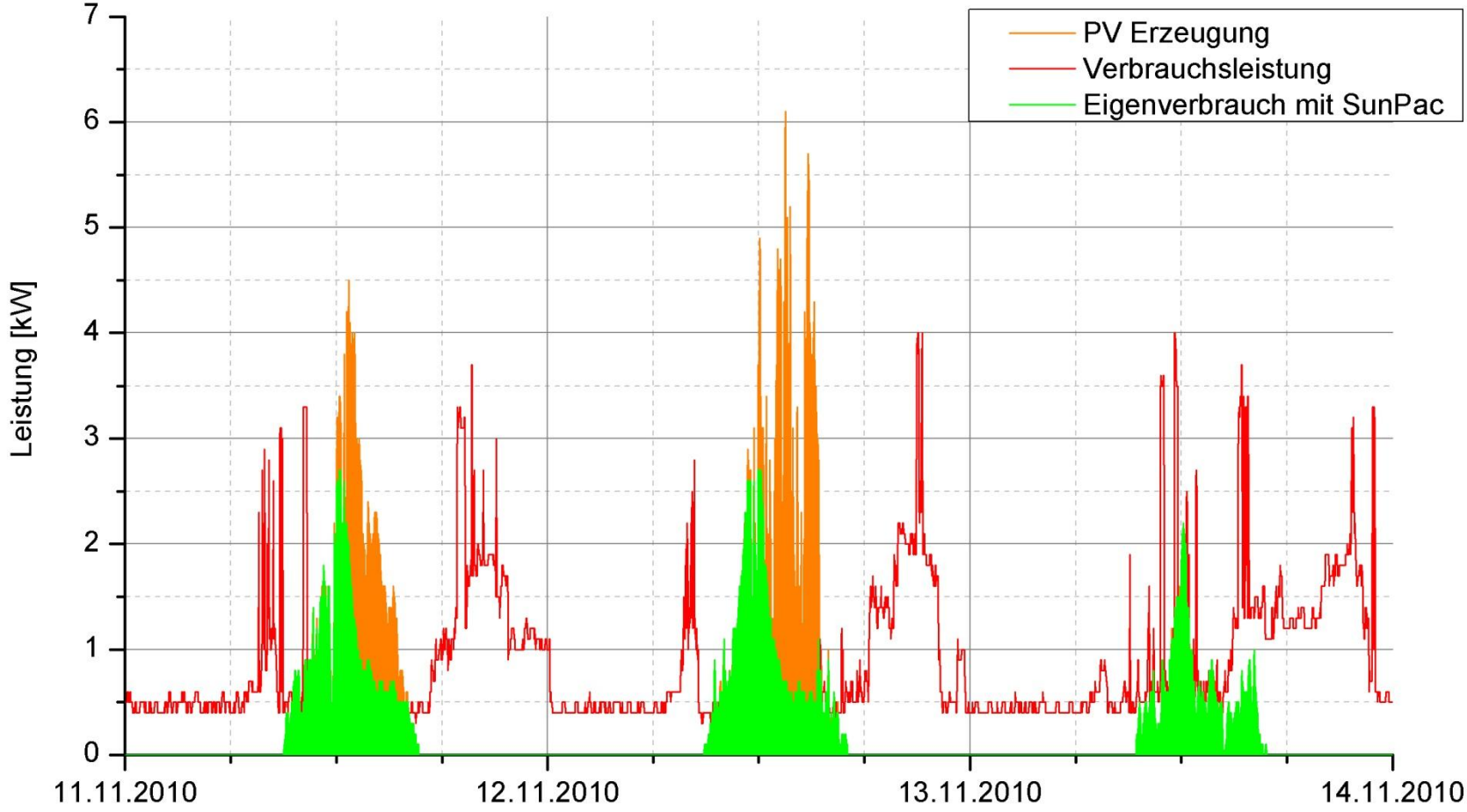

- Ähnliche Lösungen von anderen Händlern (IBC, MHH, Frankensolar, usw.) sind im Markt verfügbar

# Ergebnisse aus dem Feldtest



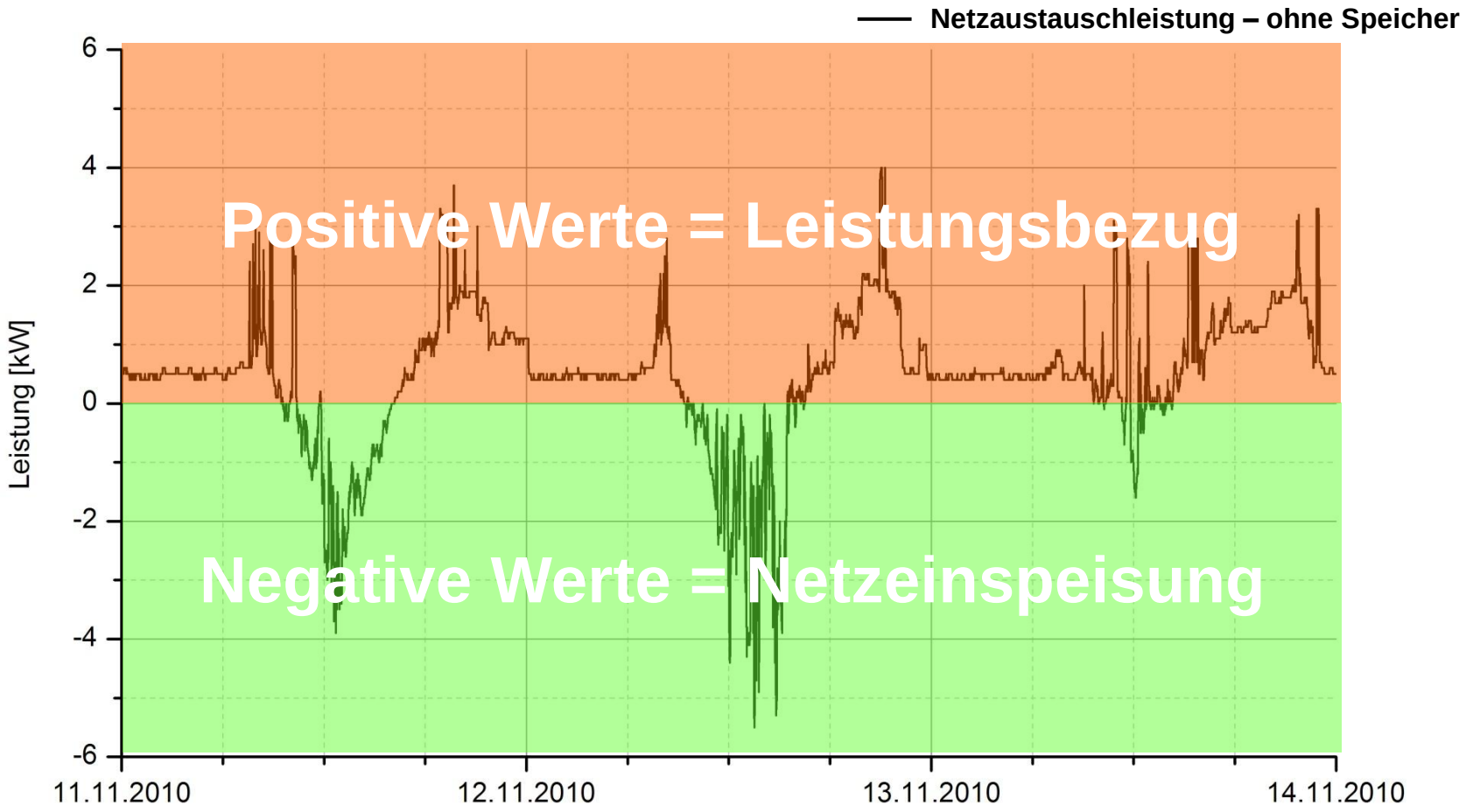

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Eigenverbrauchs-quote** | **27 %** | **29 %** | **80 %** |

# Ergebnisse aus dem Feldtest

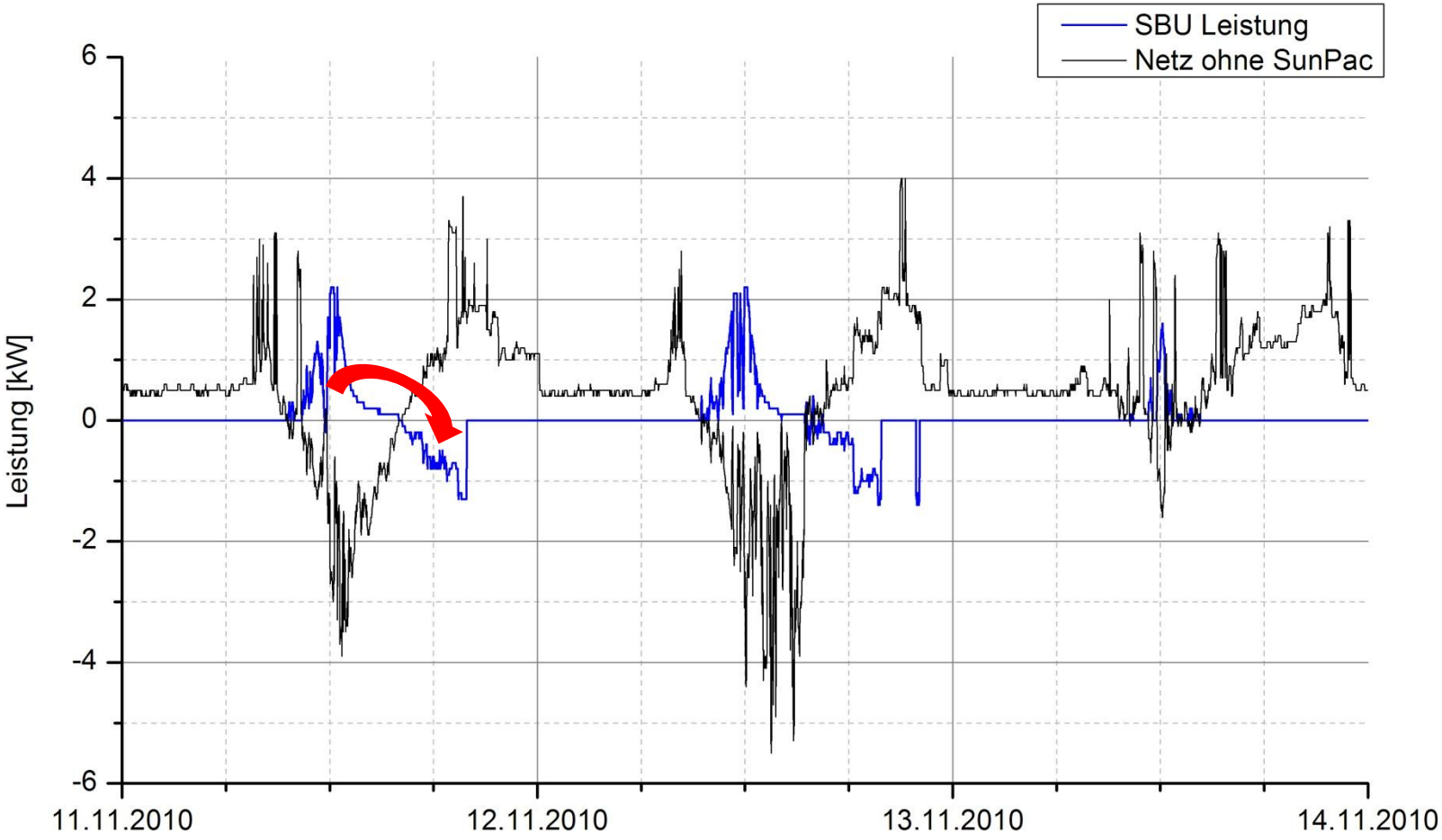



| | | | |
|---|---|---|---|
| **Eigenverbrauchs-quote** | **63 %** | **50 %** | **100 %** |

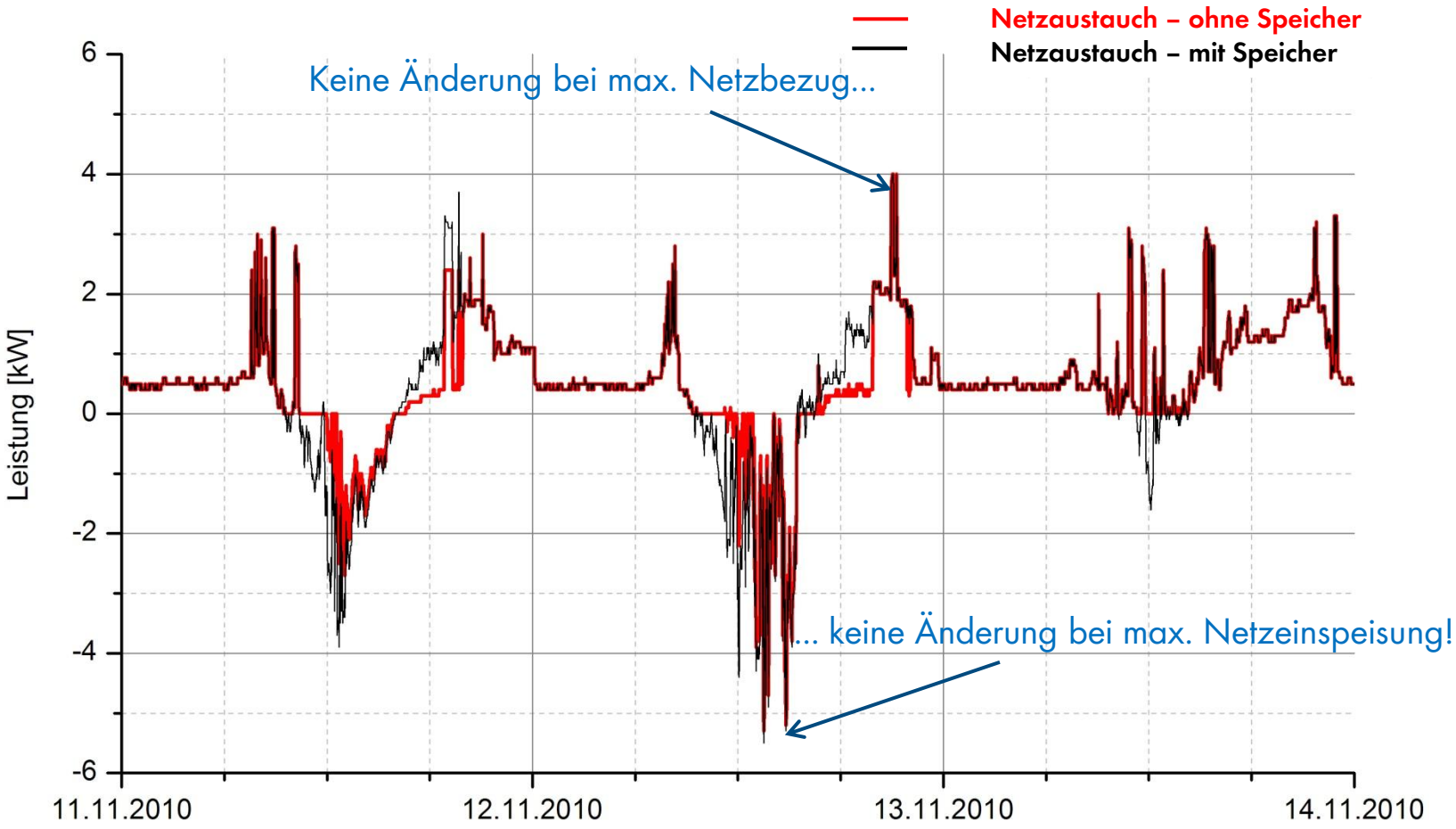
# Ergebnisse aus dem Feldtest



# Ergebnisse aus dem Feldtest

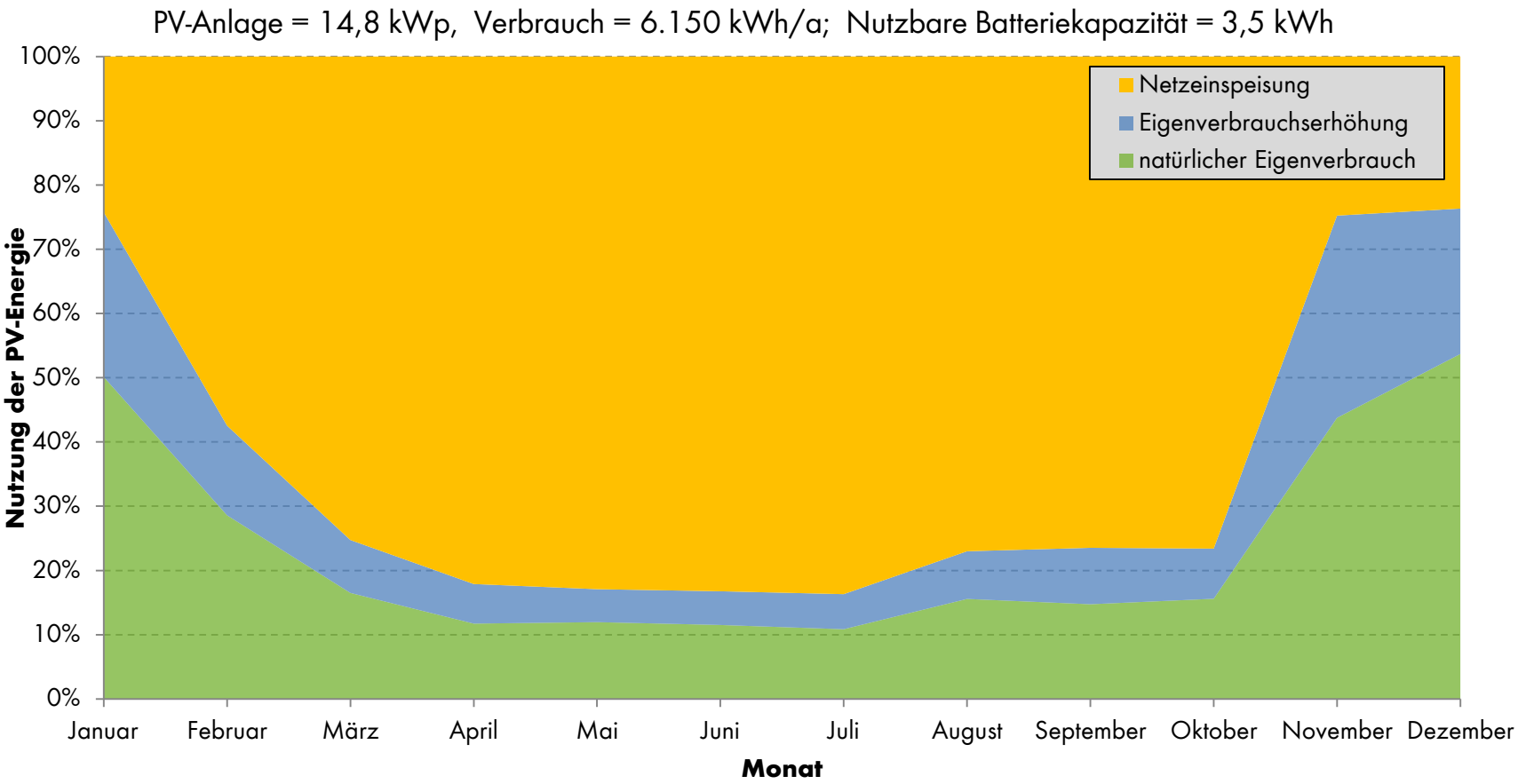


# Ergebnisse aus dem Feldtest




- Ohne Intelligenz keine Netzentlastung

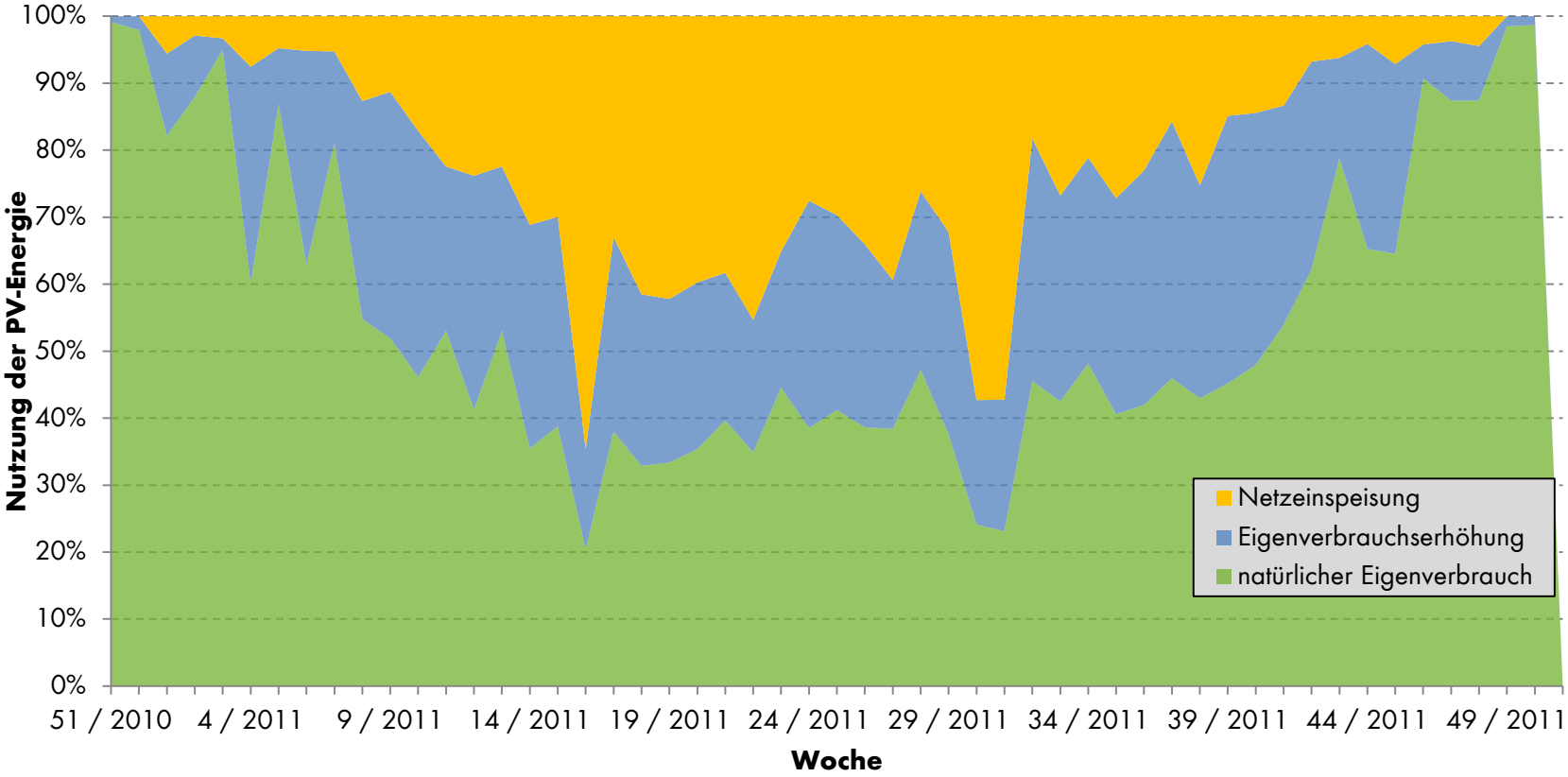
# **Eigenverbrauchsquote** (Monatsmittelwerte über 1 Jahr)




- **Eigenverbrauchsquote** im ersten Jahr **um 50 %** von 15 % auf 22 % **erhöht**
- **Nennenergiedurchsätze 127**

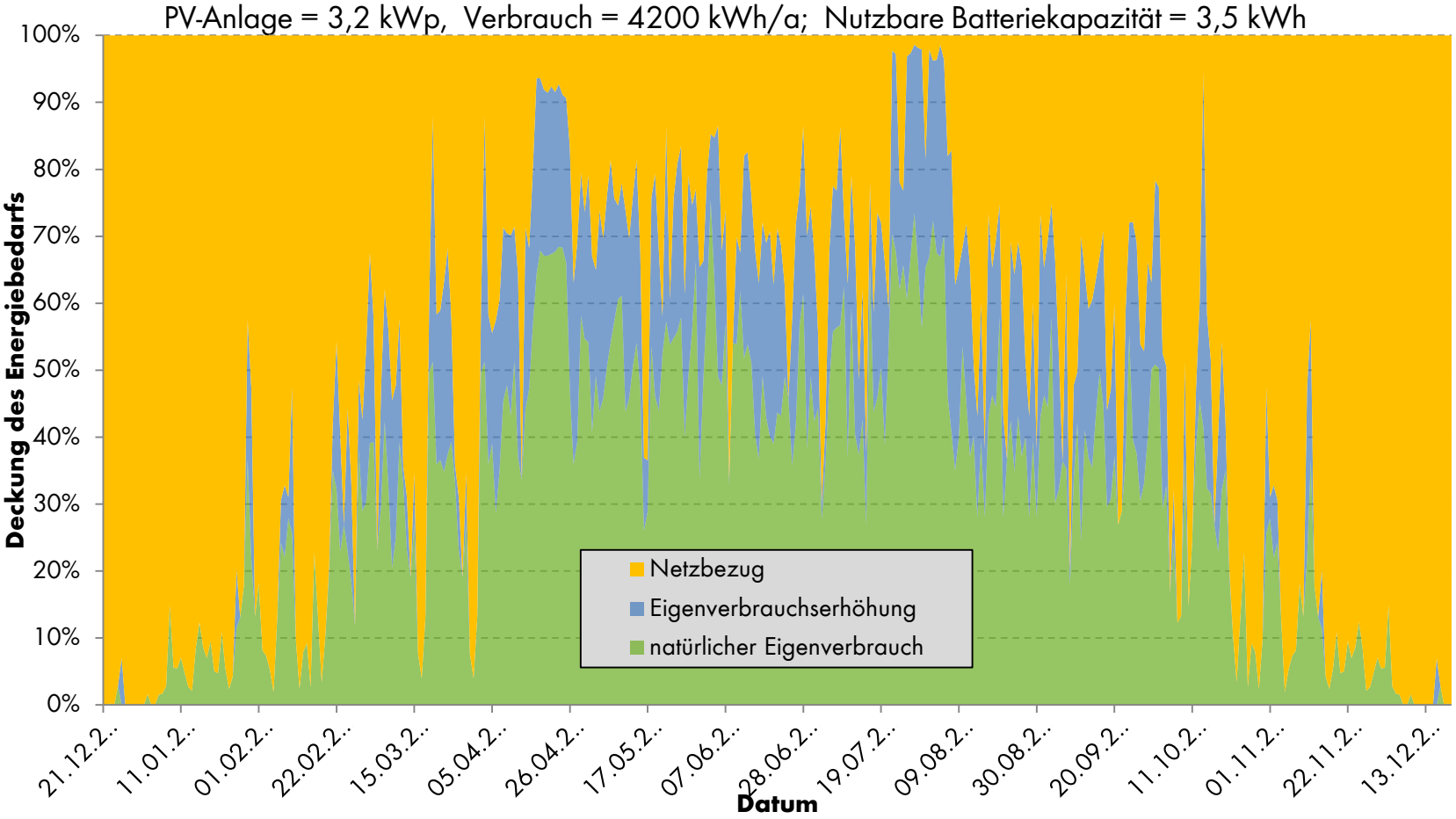
# **Eigenverbrauchsquote** (Wochenmittelwerte über 1 Jahr)

PV-Anlage = 3,2 kWp, Verbrauch = 4200 kWh/a; Nutzbare Batteriekapazität = 3,5 kWh




- **Eigenverbrauchsquote** im ersten Jahr **um 67 %** von 42 % auf 70 % **erhöht**
- **Nennenergiedurchsätze 106**

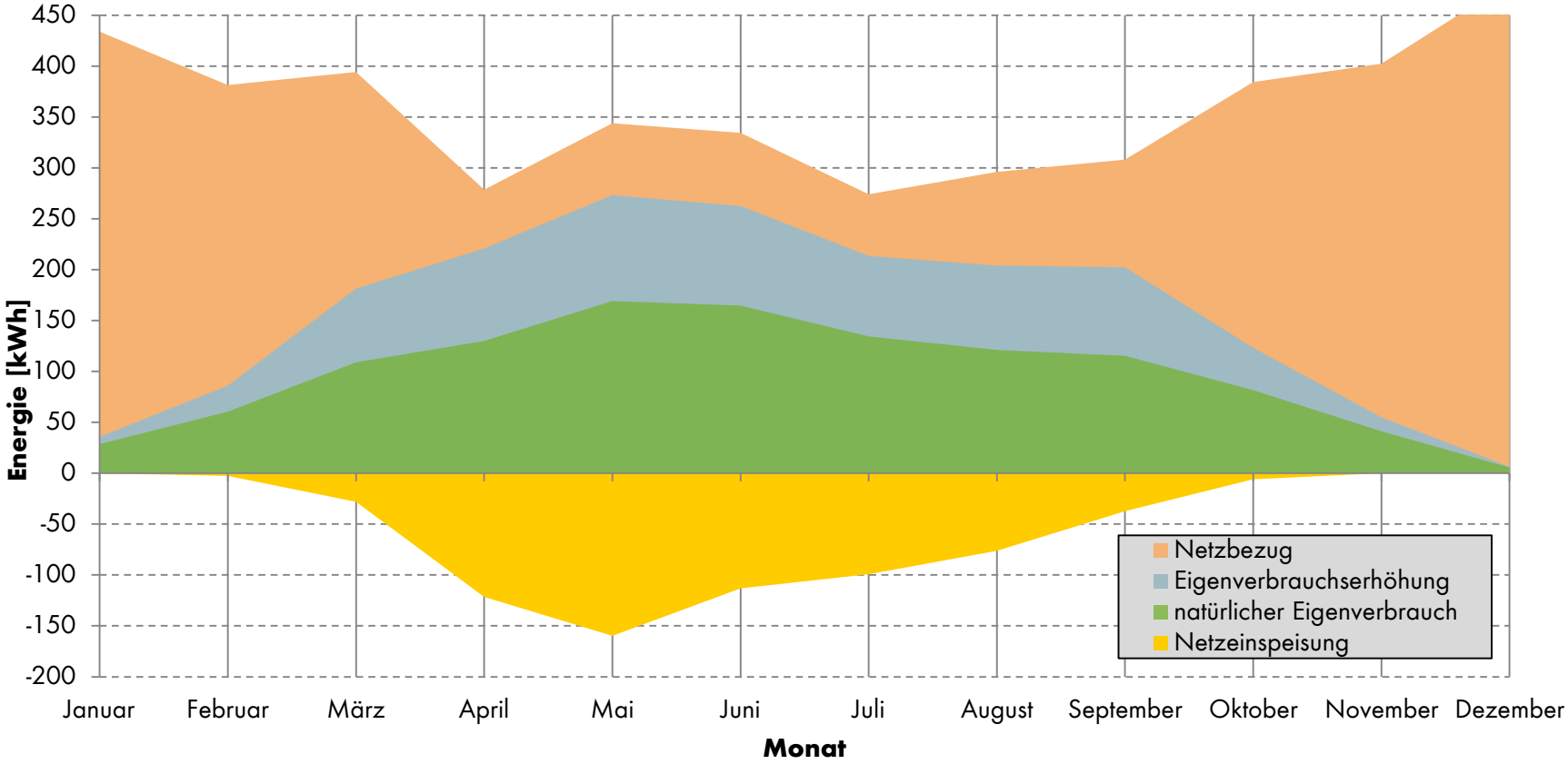
# **Autarkiegrad** (Tagesmittelwerte über 1 Jahr)




**An Sonnenreichen Tagen ist eine fast 100% Versorgung mit PV möglich**

# **Energiemengen** (Monatsmittelwerte über 1 Jahr)

PV-Anlage = 3,2 kWp, Verbrauch = 4200 kWh/a; Nutzbare Batteriekapazität = 3,5 kWh




- ohne Speicher 26% geringer Energiebezug
  mit Speicher **42% geringerer Energiebezug**

# Was kann ich erwarten ?

## Annahmen:

> Strompreis **23,8 ct/kWh** incl. MwSt. und **5 % Strompreissteigerung** (BMWI Durchschnittsstrompreis 2010)

> 4 Personenhaushalt mit **4900 kWh/a** (Forsa und RWI Essen)

> **5 kWp** PV-Anlage

> Best Case Simulationen mit 5 Minuten Mittelwert

| Natürlicher Eigenverbrauch | Maximaler Eigenverb. incl. Speicher | 100 % Zyklen pro Jahr | Mehrertrag über 20 Jahre |
|---|---|---|---|
| **30 %** | **47 %** | **110** | **bis zu 2400 €** |

**+ 56 %**

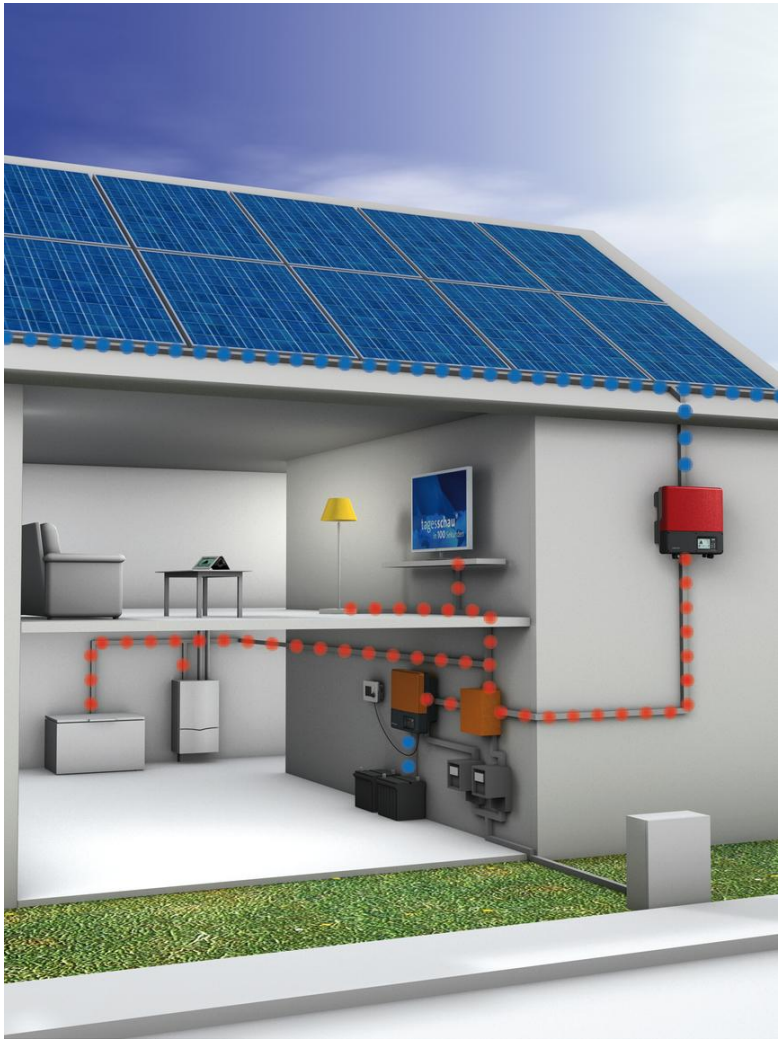
- **keine Refinanzierung** der Systemkosten von ca. 6000 € durch Eigenverbrauchsförderung **möglich**
- Die **Simulationen** wurden durch die realen Anlagen **leicht übertroffen**

# Fazit

> Dezentrale Speichersysteme für Backup und Eigenverbrauchserhöhung sind verfügbar

> Mit Bleibatterien stehen ausgereifte Speicher zur Verfügung
  > Zyklenfestigkeit ausreichend für Eigenverbrauch

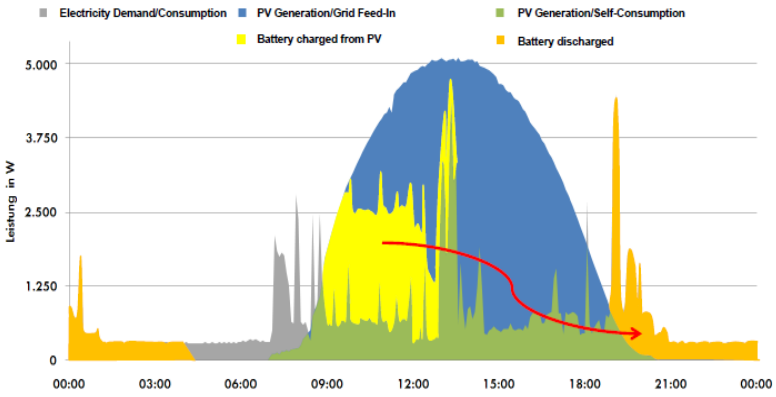
> Li-Ionen Batterien mit Preisen unter 500 €/kWh werden die Systeme attraktiver machen durch:
  > Höheren Wirkungsgrad und Zyklenfestigkeit

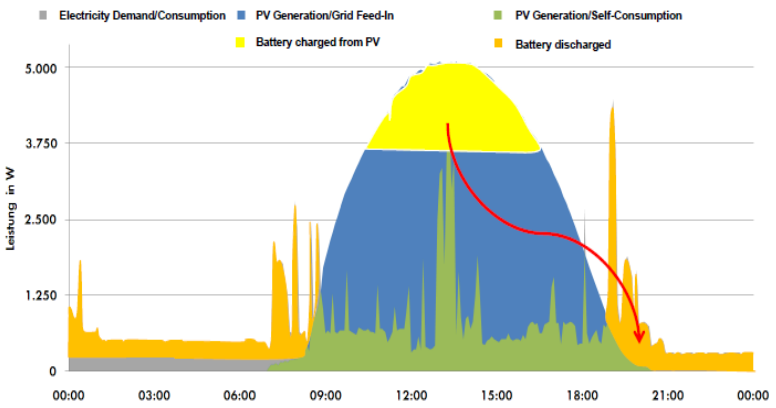


Ab 3/ 2012 werden erste Lösungen mit Li-Ionen Batterien zur Verfügung stehen

# Ausblick

> Speicher können mehr als Eigenverbrauchserhöhung und Ersatzstrom
  > Begrenzung der PV-Spitzen
  > Begrenzung von Verbrauchsspitzen
  > Regelleistung bereitstellen
  > Spannungsregelung im Netz
  > Reserveleistung bereitstellen nach Anforderung




- PV-Prognosen zukünftig wichtig
- Aber Anreize für Netzdienstleistungen notwendig
- Genormte Schnittstellen für Kommunikation zum Netzbetreiber notwendig

- Die erprobte Systemtechnik von Inselsysteme kann auch im Verbundnetz für die erforderlich Stabilität bei 100% regenerativer Erzeugung sorgen

Dipl.-Ing. Martin Rothert

Abteilungsleiter Produktmanagement
Off-Grid Solutions

SMA Solar Technology AG
Sonnenallee 1
34266 Niestetal

E-Mail: Martin.Rothert@sma.de