



PV-Anlagen für Privateigentümer- Kein Dach ohne Solarstrom!

Prof. Konrad Mertens

Labor für Optoelektronik und Sensorik, Photovoltaik-Prüflabor

Fachbereich Elektrotechnik und Informatik

Fachhochschule Münster

Gliederung:

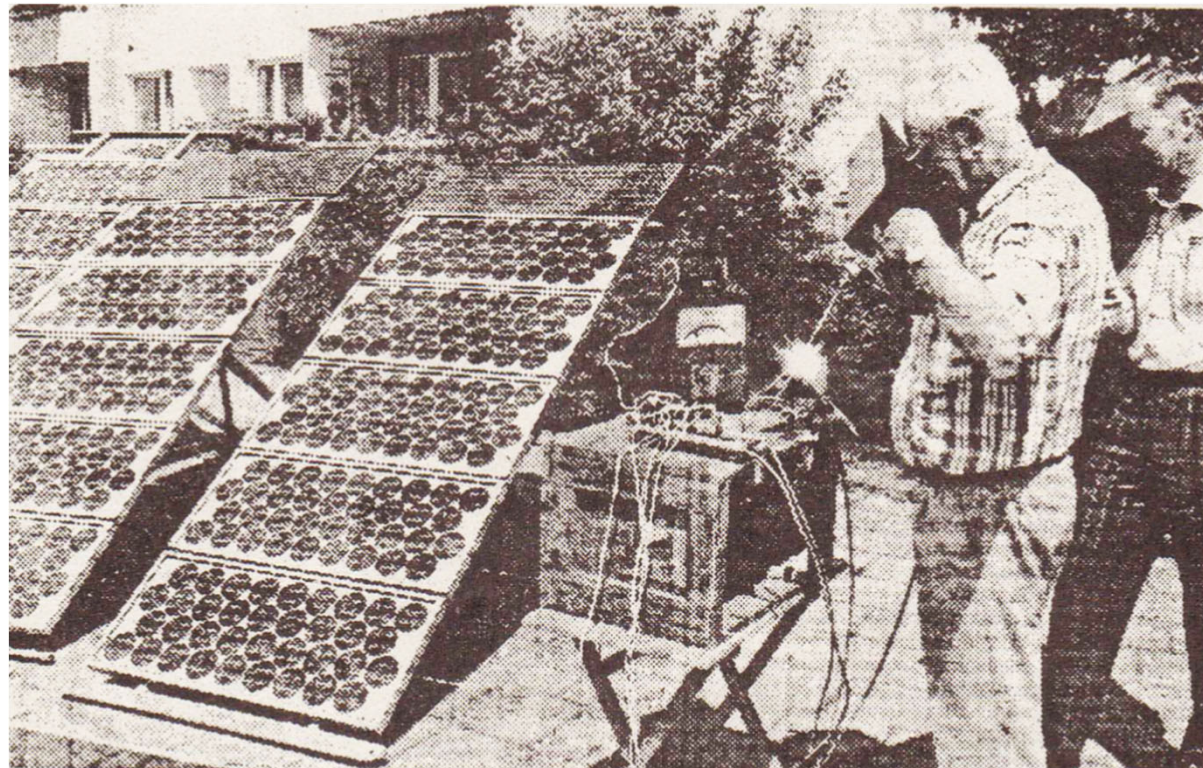
1. Was heißt hier Klimaschutz?
2. Einführung zur Photovoltaik
3. Markt- und Preisentwicklung
4. Wirtschaftlichkeit von konkreten Anlagenbeispielen
5. Speicherung von Solarstrom
6. Photovoltaik und Elektroautos?
7. Fazit

Zur Person

- Seit 1991 im Solarenergie-Förderverein Aachen (SFV):



Vorführung: Schweißen mit Solarenergie...



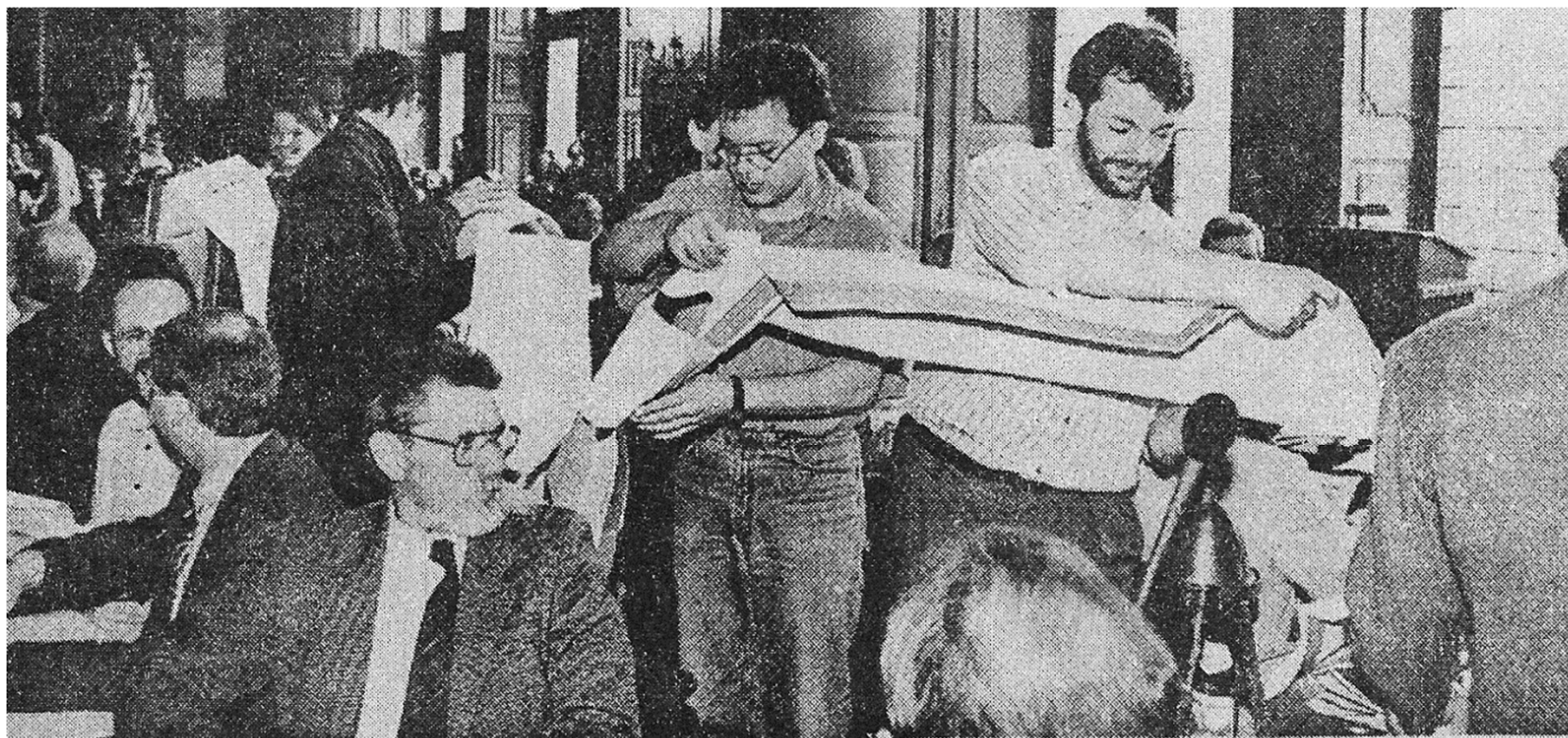
Zur Person

Vorführung: Betrieb von Geräten mit Solarenergie (Halle, 1990)



Zur Person

Einsatz für kostendeckende Vergütung...

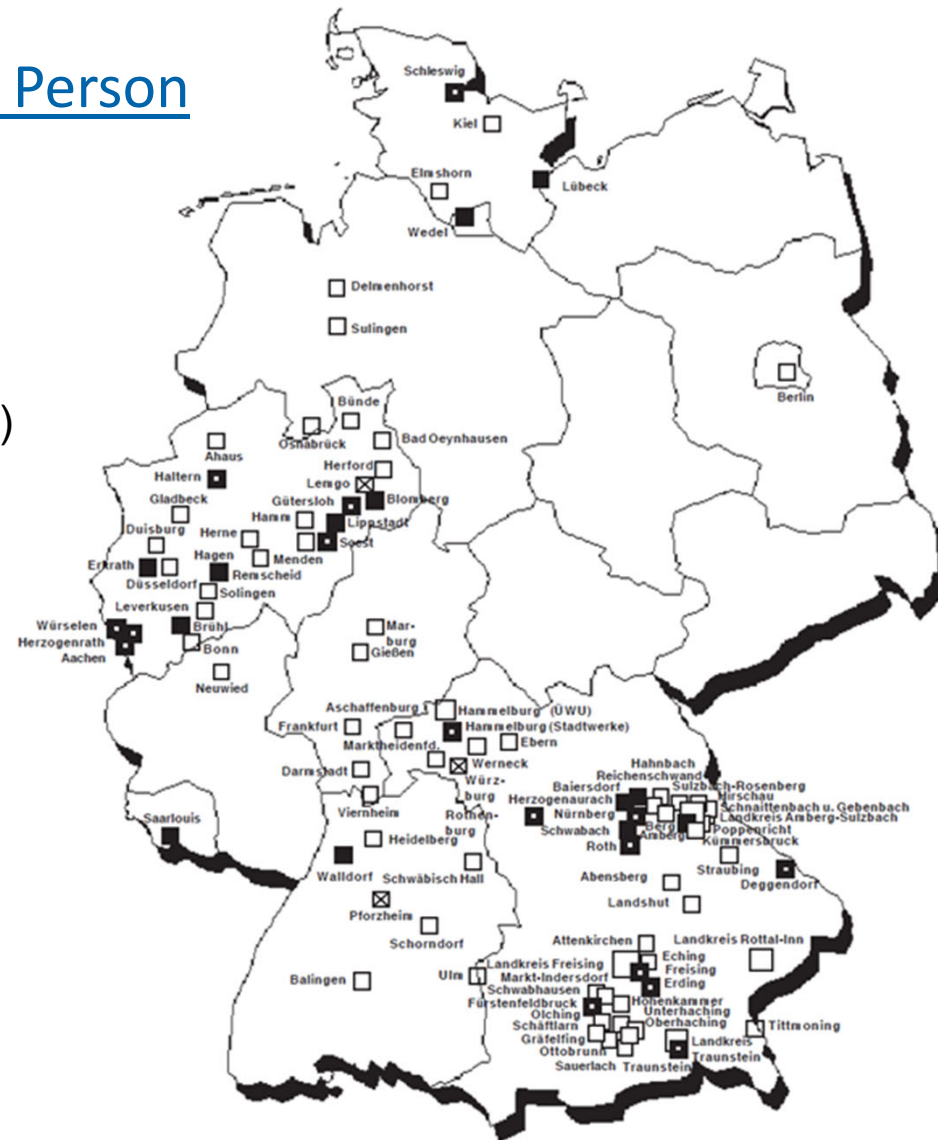


Befürworter des „Aachener Modells“ entrollten im Rathaus eine 60 Meter lange Papierbahn: zusammengelebte Blätter mit rund 2 500 Unterschriften für die kostengerechte Vergütung.

Fotos: Harald Krömer

Zur Person

- 1995: Errichtung der ersten Anlage mit kostendeckender Vergütung (2 DM/kWh)
- Innerhalb von 4 Jahren übernehmen 40 weitere Städte das Aachener Modell!



⇒ Dies war die Blaupause für die Einführung des EEG im Jahr 2000!

Zur Person

- 1996: Bau einer eigenen Photovoltaikanlage (2 kWp)



Zur Person



- Studium und Promotion (Elektrotechnik) an der RWTH Aachen
- Industrietätigkeit im Bereich Erneuerbare Energien und Intelligente Netze
- Seit 2000 Professor an der Fachhochschule Münster:

Lehre:

- Photovoltaik
- Sensorik
- Lichtwellenleitertechnik

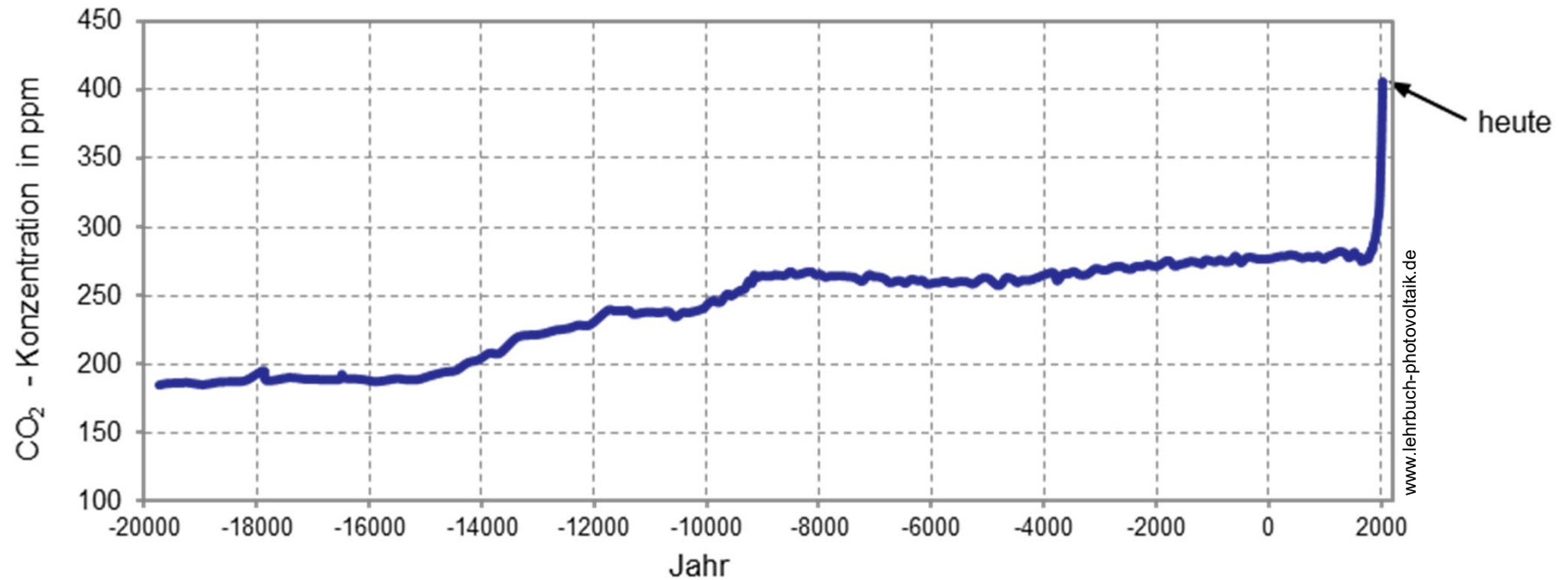
Forschung:

- Photovoltaik-Prüflabor
- Qualitätsüberprüfung von Photovoltaikanlagen



1. Was heißt hier Klimaschutz?

Verlauf der CO₂-Konzentration im Lauf der letzten 20.000 Jahre:



- ⇒ Temperaturanstieg
- ⇒ Häufiger Stürme und Überflutungen
- ⇒ Verschiebung von Klimazonen

Der Klimawandel hat schon begonnen:



Der Klimawandel hat schon begonnen:



Der Klimawandel hat schon begonnen:

Wald: Klimawandel verursacht Milliarden-Schäden



© Adobestock

agrarheute, 28.08.2019

Der Klimawandel hat schon begonnen:



Trockenheit lässt Buchen sterben, WAZ, 28.08.2019

Der Klimawandel hat schon begonnen:



Photo: David Gray/Getty Images

Australien, Herbst 2019

Der Klimawandel hat schon begonnen:



Australien, Frühjahr 2020

Der Klimawandel hat schon begonnen:



Kalifornien, Herbst 2020

Der Klimawandel hat schon begonnen:



Deutschland, Sommer 2021

Der Klimawandel hat schon begonnen:



Deutschland, Sommer 2021

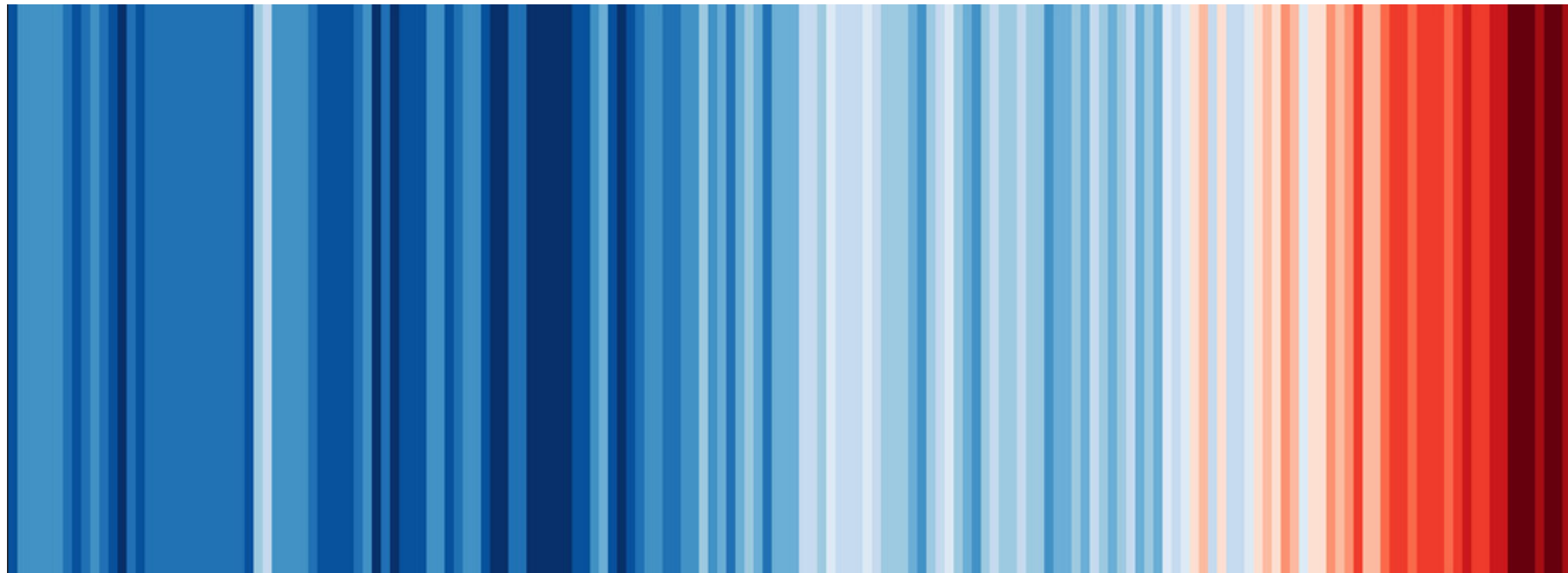
Der Klimawandel hat schon begonnen:



Australien, Queensland, Frühjahr 2022

Was ist das?

Jahrestemperaturen seit 1881:

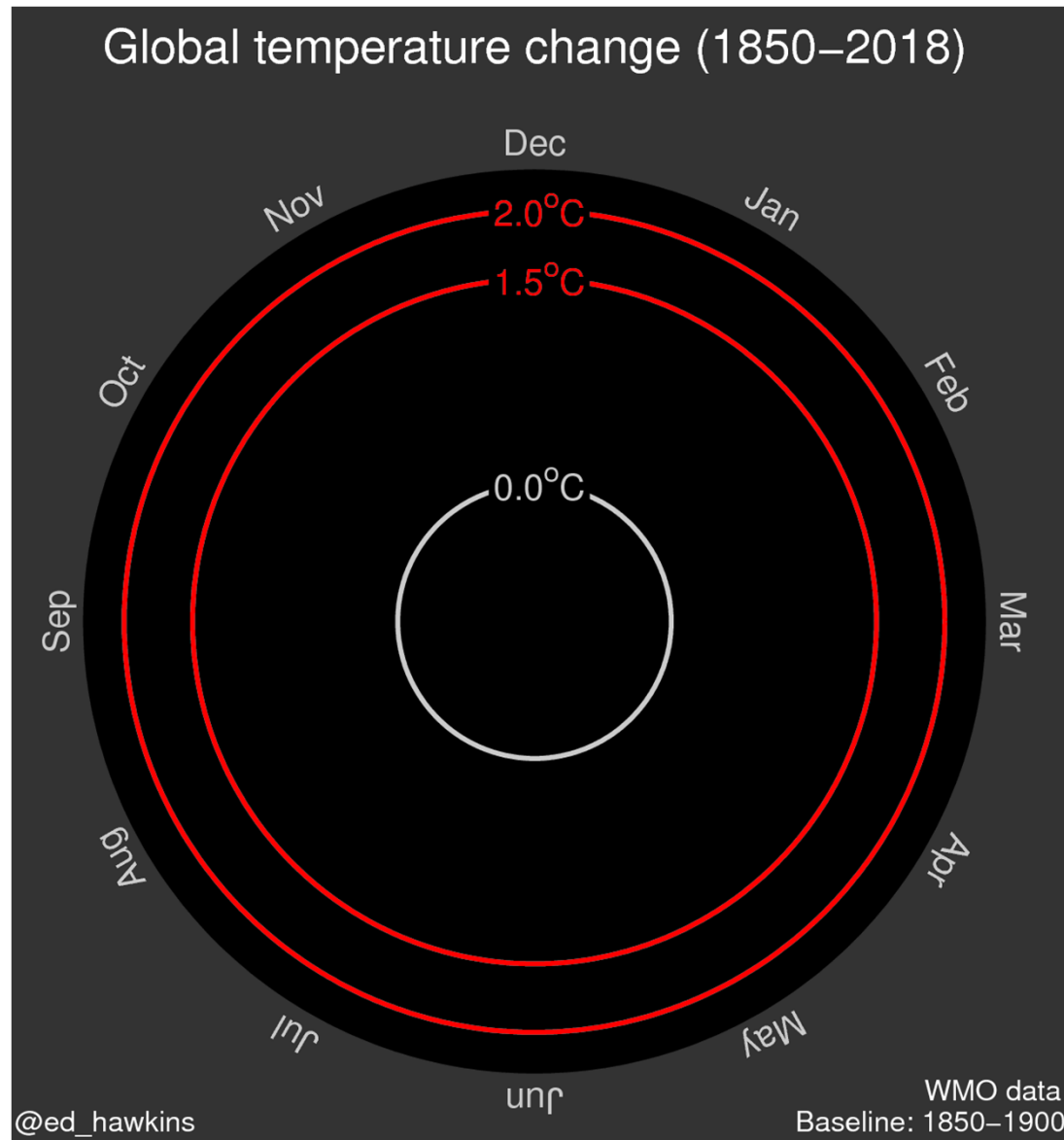


1881

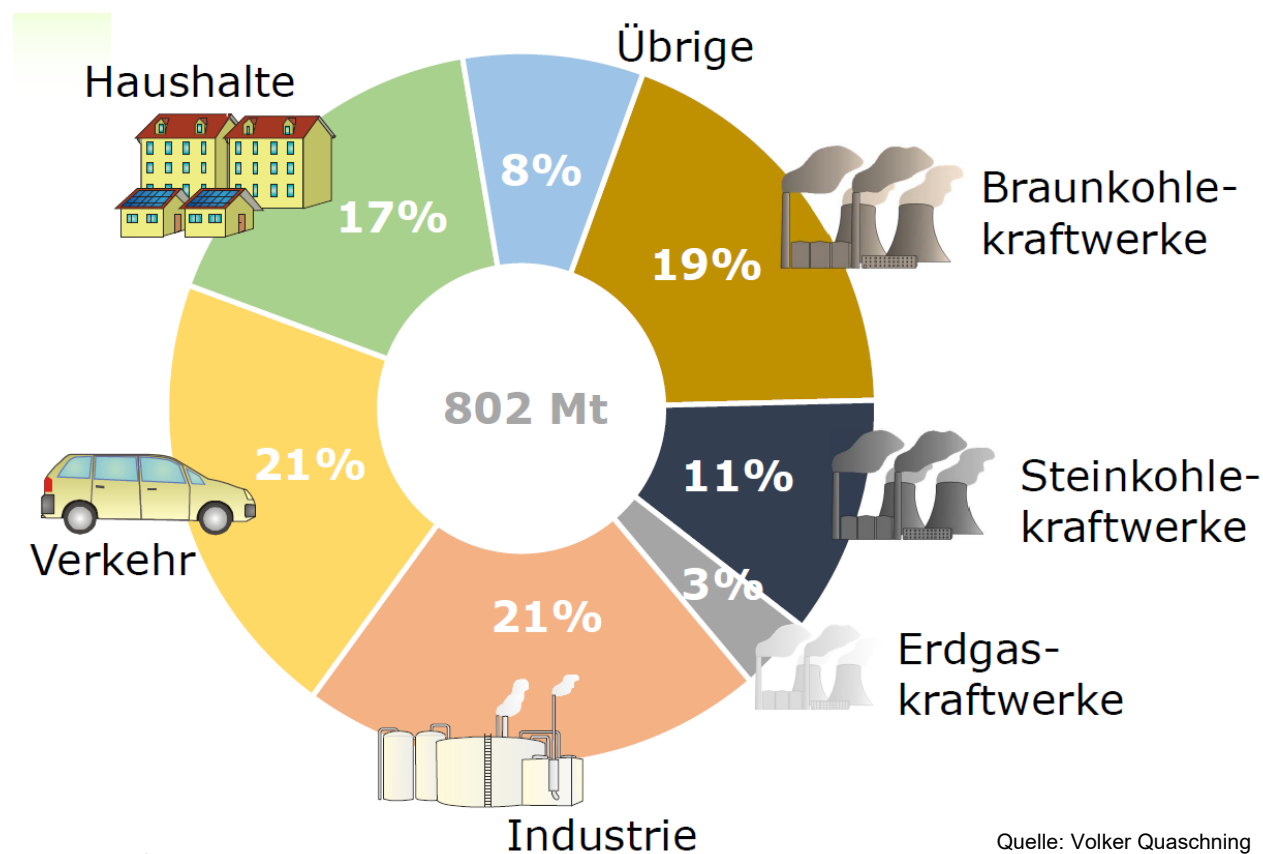
2021

Quelle: U.S. NASA; U.S. ESRL; DWD

Gliederung:



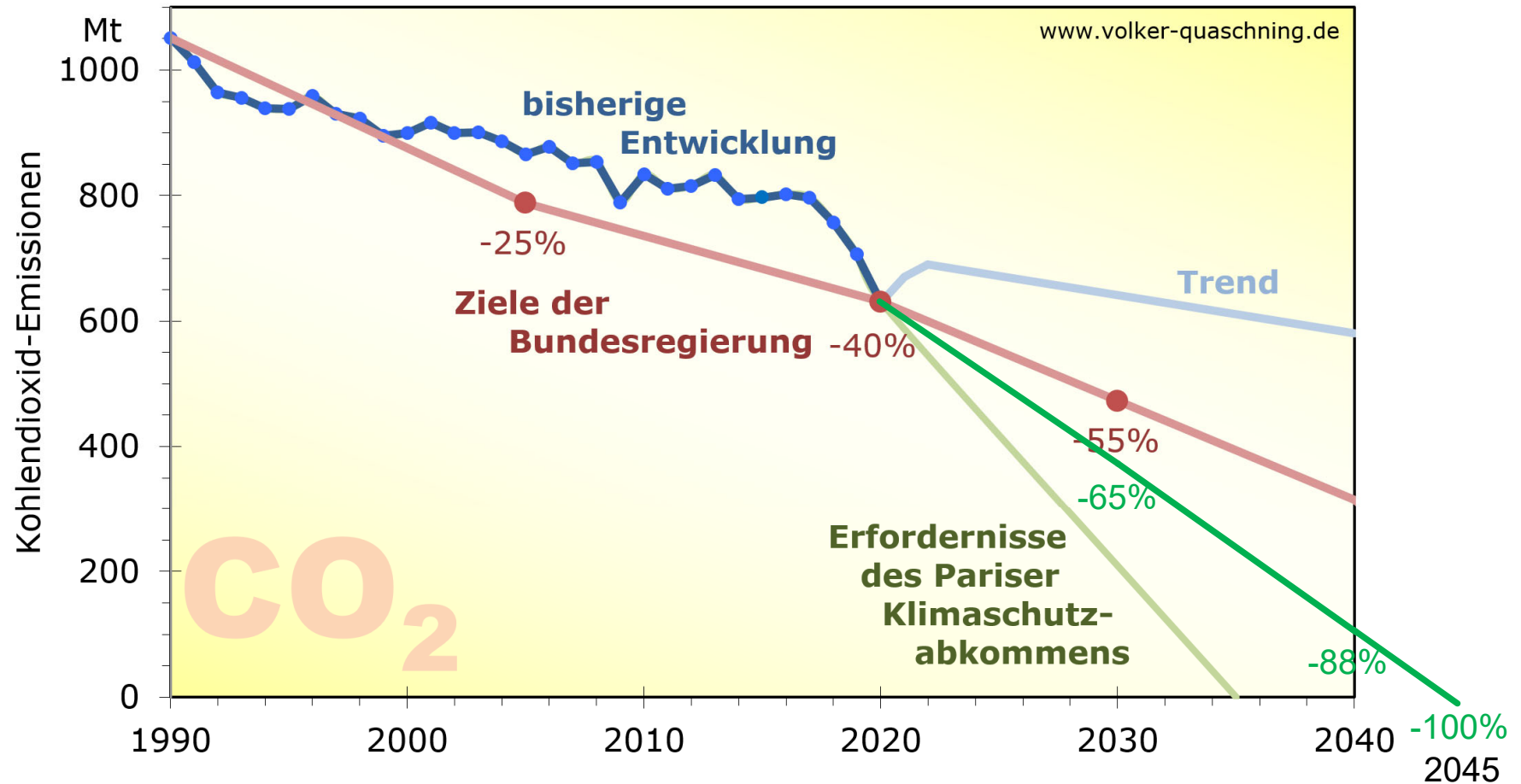
Verursacher der deutschen CO2-Emissionen:



⇒ Start mit Kohlekraftwerken ist sinnvoll

⇒ Parallel müssen die anderen Sektoren umgebaut werden!

Zukunft der Kohlendioxidemissionen in Deutschland:



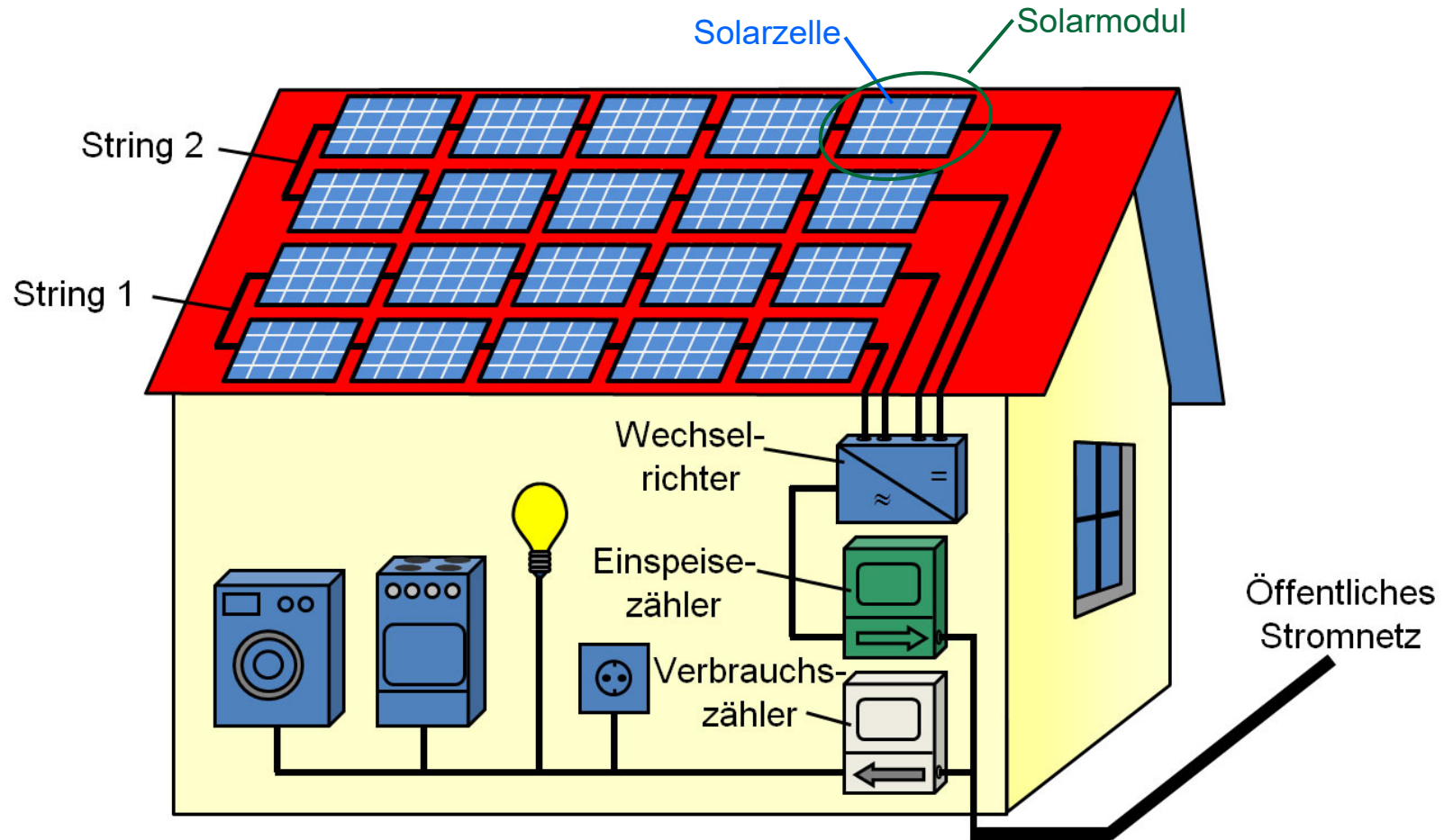
⇒ Wo soll die Energie denn herkommen?

⇒ Aus Solarstrom? Ja, unter anderem!



2. Einführung zur Photovoltaik

Prinzipieller Aufbau einer „klassischen“ Photovoltaikanlage:



Wirkungsgrad von Solarmodulen:



$$\eta_{\text{Modul}} = \frac{\text{Elektrische Leistung}}{\text{Optische Leistung}} = \frac{P_{\text{Elektrisch}}}{P_{\text{Optisch}}}$$

z.B. Wirkungsgrad $\eta_{\text{Modul}} = 20 \%$

- Was heißt das? Bei voller Sonneneinstrahlung (1000 W/m^2) bringt ein Solarmodul (Fläche $1,7 \text{ m}^2$, Wirkungsgrad 20%) eine maximale Leistung (Peakleistung) von:

- Modul:

$$P_{\text{Modul}} = 1000 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \cdot 1,7 \text{ m}^2 \cdot 20 \% = 340 \text{ Watt}_p \quad \swarrow \text{„Peak“}$$

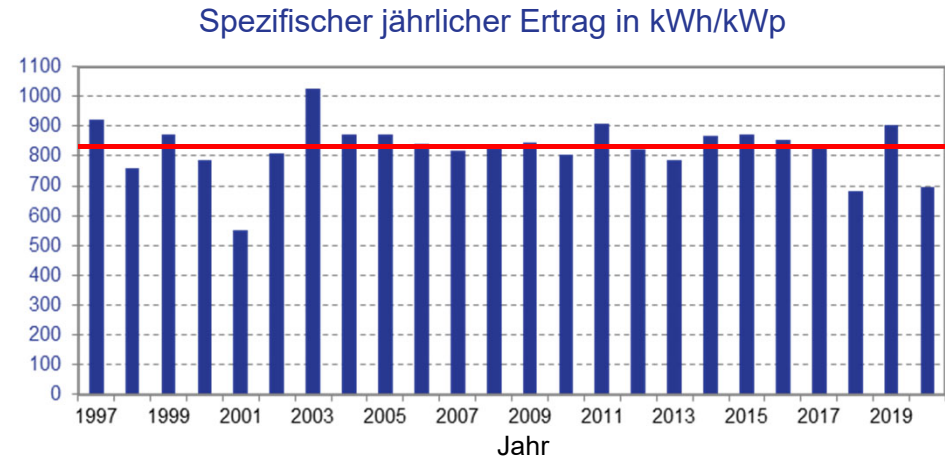
- Ganze Anlage: z.B. 30 Module: $P_{\text{Anlage}} = 30 \text{ Module} \cdot 340 \text{ Watt}_p = 10,2 \text{ kW}_p \approx 10 \text{ kW}_p$

⇒ Merke: z.B. 50 Quadratmeter reichen für eine 10 kWp – Anlage!

Beispiel des Energieertrags realer Anlagen:

a) Anlage Aachen

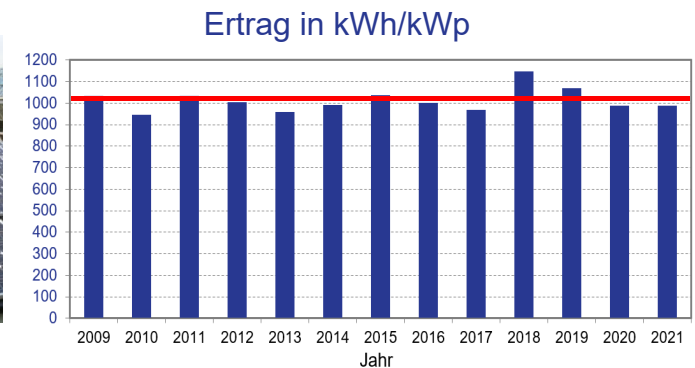
- Baujahr: 1996
- Leistung: 2 kWp
- Ausrichtung: Süd
- Dachneigung: 45°
- „alte Technik“



⇒ Durchschnittlicher Ertrag: 830 kWh/kWp

b) Anlage Steinfurt

- Baujahr: 2008
- Leistung: 25 kWp
- Ausrichtung: Süd
- Neigung: 25°
- „moderne Technik“



⇒ Durchschnittlicher Ertrag: 1015 kWh/kWp

⇒ 900 kWh/kWp sind in unseren Breiten ohne Weiteres machbar!

Ertragsabhängigkeit von der Dachausrichtung

| | | Dachneigung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0° | 5° | 10° | 15° | 20° | 25° | 30° | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° | |
| Dachausrichtung | Ost | -90° | 87,8 | 87,6 | 87,0 | 86,2 | 85,2 | 84,1 | 82,8 | 81,3 | 79,7 | 78,0 | 76,2 | 74,1 | 71,9 | 69,5 | 67,0 | 64,4 | 61,7 | 58,7 | 55,7 |
| | | -85° | 87,8 | 87,9 | 87,6 | 87,0 | 86,3 | 85,4 | 84,3 | 83,0 | 81,6 | 80,0 | 78,2 | 76,2 | 74,0 | 71,6 | 69,1 | 66,3 | 63,6 | 60,7 | 57,5 |
| | | -80° | 87,8 | 88,2 | 88,2 | 87,9 | 87,5 | 86,8 | 85,9 | 84,8 | 83,5 | 81,9 | 80,2 | 78,2 | 76,0 | 73,6 | 71,1 | 68,3 | 65,3 | 62,3 | 59,2 |
| | | -75° | 87,8 | 88,4 | 88,8 | 88,8 | 88,5 | 88,1 | 87,4 | 86,4 | 85,2 | 83,8 | 82,1 | 80,2 | 78,0 | 75,5 | 73,0 | 70,2 | 67,1 | 64,0 | 60,7 |
| | | -70° | 87,8 | 88,8 | 89,3 | 89,6 | 89,6 | 89,3 | 88,8 | 88,0 | 86,9 | 85,6 | 83,9 | 82,1 | 79,9 | 77,4 | 74,7 | 72,0 | 68,9 | 65,5 | 62,1 |
| | | -65° | 87,8 | 89,0 | 89,8 | 90,3 | 90,6 | 90,5 | 90,2 | 89,6 | 88,5 | 87,3 | 85,7 | 83,8 | 81,7 | 79,3 | 76,4 | 73,5 | 70,5 | 67,1 | 63,5 |
| | Südost | -60° | 87,8 | 89,3 | 90,3 | 91,1 | 91,6 | 91,6 | 91,5 | 90,9 | 90,1 | 88,9 | 87,4 | 85,5 | 83,3 | 80,9 | 78,2 | 75,1 | 71,9 | 68,5 | 64,8 |
| | | -55° | 87,8 | 89,6 | 90,9 | 91,8 | 92,4 | 92,8 | 92,7 | 92,3 | 91,6 | 90,4 | 88,9 | 87,1 | 84,9 | 82,4 | 79,7 | 76,7 | 73,3 | 69,7 | 66,1 |
| | | -50° | 87,8 | 89,7 | 91,3 | 92,5 | 93,3 | 93,8 | 93,9 | 93,6 | 92,9 | 91,8 | 90,4 | 88,7 | 86,4 | 83,8 | 81,1 | 78,0 | 74,6 | 70,8 | 67,1 |
| | | -45° | 87,8 | 90,0 | 91,7 | 93,1 | 94,1 | 94,8 | 95,0 | 94,8 | 94,2 | 93,1 | 91,7 | 90,0 | 87,9 | 85,3 | 82,3 | 79,2 | 75,7 | 72,0 | 68,0 |
| | | -40° | 87,8 | 90,2 | 92,2 | 93,7 | 94,9 | 95,6 | 95,9 | 95,8 | 95,3 | 94,4 | 93,0 | 91,1 | 89,0 | 86,5 | 83,6 | 80,2 | 76,8 | 72,9 | 68,8 |
| | | -35° | 87,8 | 90,3 | 92,5 | 94,3 | 95,5 | 96,3 | 96,8 | 96,8 | 96,3 | 95,5 | 94,1 | 92,3 | 90,1 | 87,6 | 84,6 | 81,3 | 77,6 | 73,7 | 69,5 |
| | | -30° | 87,8 | 90,5 | 92,8 | 94,7 | 96,1 | 97,0 | 97,6 | 97,7 | 97,2 | 96,3 | 95,1 | 93,3 | 91,0 | 88,4 | 85,5 | 82,1 | 78,3 | 74,3 | 70,1 |
| | | -25° | 87,8 | 90,7 | 93,0 | 95,0 | 96,6 | 97,7 | 98,3 | 98,3 | 98,0 | 97,1 | 95,8 | 94,1 | 91,9 | 89,2 | 86,2 | 82,7 | 78,9 | 74,8 | 70,5 |
| | | -20° | 87,8 | 90,8 | 93,3 | 95,4 | 97,0 | 98,1 | 98,8 | 99,0 | 98,6 | 97,7 | 96,4 | 94,7 | 92,5 | 89,8 | 86,8 | 83,2 | 79,5 | 75,3 | 70,8 |
| | | -15° | 87,8 | 90,9 | 93,5 | 95,6 | 97,3 | 98,5 | 99,1 | 99,4 | 99,1 | 98,3 | 97,0 | 95,2 | 93,0 | 90,3 | 87,2 | 83,7 | 79,8 | 75,5 | 71,0 |
| | | -10° | 87,8 | 90,9 | 93,6 | 95,7 | 97,5 | 98,8 | 99,5 | 99,7 | 99,4 | 98,7 | 97,4 | 95,6 | 93,4 | 90,6 | 87,5 | 83,9 | 80,0 | 75,7 | 71,1 |
| | | Süd | -5° | 87,8 | 90,9 | 93,6 | 95,9 | 97,7 | 98,9 | 99,7 | 99,9 | 99,7 | 98,9 | 97,6 | 95,8 | 93,6 | 90,8 | 87,6 | 84,1 | 80,2 | 75,8 |
| | 0° | | 87,8 | 90,9 | 93,6 | 95,9 | 97,7 | 99,0 | 99,7 | 100,0 | 99,7 | 98,9 | 97,6 | 95,7 | 93,6 | 90,9 | 87,7 | 84,2 | 80,2 | 75,8 | 71,2 |
| | 5° | | 87,8 | 90,9 | 93,6 | 95,9 | 97,7 | 98,9 | 99,7 | 99,9 | 99,7 | 98,9 | 97,6 | 95,8 | 93,6 | 90,8 | 87,6 | 84,1 | 80,2 | 75,8 | 71,2 |
| | 10° | | 87,8 | 90,9 | 93,6 | 95,7 | 97,5 | 98,8 | 99,5 | 99,7 | 99,4 | 98,7 | 97,4 | 95,6 | 93,4 | 90,6 | 87,5 | 83,9 | 80,0 | 75,7 | 71,1 |
| | 15° | | 87,8 | 90,9 | 93,5 | 95,6 | 97,3 | 98,5 | 99,1 | 99,4 | 99,1 | 98,3 | 97,0 | 95,2 | 93,0 | 90,3 | 87,2 | 83,7 | 79,8 | 75,5 | 71,0 |
| | 20° | | 87,8 | 90,8 | 93,3 | 95,4 | 97,0 | 98,1 | 98,8 | 99,0 | 98,6 | 97,7 | 96,4 | 94,7 | 92,5 | 89,8 | 86,8 | 83,2 | 79,5 | 75,3 | 70,8 |
| | 25° | | 87,8 | 90,7 | 93,0 | 95,0 | 96,6 | 97,7 | 98,3 | 98,3 | 98,0 | 97,1 | 95,8 | 94,1 | 91,9 | 89,2 | 86,2 | 82,7 | 78,9 | 74,8 | 70,5 |
| | 30° | | 87,8 | 90,5 | 92,8 | 94,7 | 96,1 | 97,0 | 97,6 | 97,7 | 97,2 | 96,3 | 95,1 | 93,3 | 91,0 | 88,4 | 85,5 | 82,1 | 78,3 | 74,3 | 70,1 |
| | Südwest | 35° | 87,8 | 90,3 | 92,5 | 94,3 | 95,5 | 96,3 | 96,8 | 96,8 | 96,3 | 95,5 | 94,1 | 92,3 | 90,1 | 87,6 | 84,6 | 81,3 | 77,6 | 73,7 | 69,5 |
| | | 40° | 87,8 | 90,2 | 92,2 | 93,7 | 94,9 | 95,6 | 95,9 | 95,8 | 95,3 | 94,4 | 93,0 | 91,1 | 89,0 | 86,5 | 83,6 | 80,2 | 76,8 | 72,9 | 68,8 |
| | | 45° | 87,8 | 90,0 | 91,7 | 93,1 | 94,1 | 94,8 | 95,0 | 94,8 | 94,2 | 93,1 | 91,8 | 90,4 | 88,7 | 86,4 | 83,8 | 81,1 | 78,0 | 74,6 | 70,8 |
| | | 50° | 87,8 | 89,7 | 91,3 | 92,5 | 93,3 | 93,8 | 93,9 | 93,6 | 92,9 | 91,8 | 90,4 | 88,7 | 86,4 | 83,8 | 81,1 | 78,0 | 74,6 | 70,8 | 67,1 |
| | | 55° | 87,8 | 89,6 | 90,9 | 91,8 | 92,4 | 92,8 | 92,7 | 92,3 | 91,6 | 90,4 | 88,9 | 87,4 | 85,5 | 83,3 | 80,9 | 78,2 | 75,1 | 71,9 | 68,5 |
| 60° | | 87,8 | 89,3 | 90,3 | 91,1 | 91,6 | 91,6 | 91,5 | 90,9 | 90,1 | 88,9 | 87,4 | 85,5 | 83,3 | 80,9 | 78,2 | 75,1 | 71,9 | 68,5 | 64,8 | |
| 65° | | 87,8 | 89,0 | 89,8 | 90,3 | 90,6 | 90,5 | 90,2 | 89,6 | 88,5 | 87,3 | 85,7 | 83,8 | 81,7 | 79,3 | 76,4 | 73,5 | 70,5 | 67,1 | 63,5 | |
| 70° | | 87,8 | 88,8 | 89,3 | 89,6 | 89,6 | 89,3 | 88,8 | 88,0 | 86,9 | 85,6 | 83,9 | 82,1 | 79,9 | 77,4 | 74,7 | 72,0 | 68,9 | 65,5 | 62,1 | |
| 75° | | 87,8 | 88,4 | 88,8 | 88,8 | 88,5 | 88,1 | 87,4 | 86,4 | 85,2 | 83,8 | 82,1 | 80,2 | 78,0 | 75,5 | 73,0 | 70,2 | 67,1 | 64,0 | 60,7 | |
| 80° | | 87,8 | 88,2 | 88,2 | 87,9 | 87,5 | 86,8 | 85,9 | 84,8 | 83,5 | 81,9 | 80,2 | 78,2 | 76,0 | 73,6 | 71,1 | 68,3 | 65,3 | 62,3 | 59,2 | |
| West | 85° | 87,8 | 87,9 | 87,6 | 87,0 | 86,3 | 85,4 | 84,3 | 83,0 | 81,6 | 80,0 | 78,2 | 76,2 | 74,0 | 71,6 | 69,1 | 66,3 | 63,6 | 60,7 | 57,5 | |
| | 90° | 87,8 | 87,6 | 87,0 | 86,2 | 85,2 | 84,1 | 82,8 | 81,3 | 79,7 | 78,0 | 76,2 | 74,1 | 71,9 | 69,5 | 67,0 | 64,4 | 61,7 | 58,7 | 55,7 | |

z.B. Westdach mit 30 Grad Neigung:

- 17 % Minderung
- (entspricht Ertrag von rund 738 kWh/kWp)

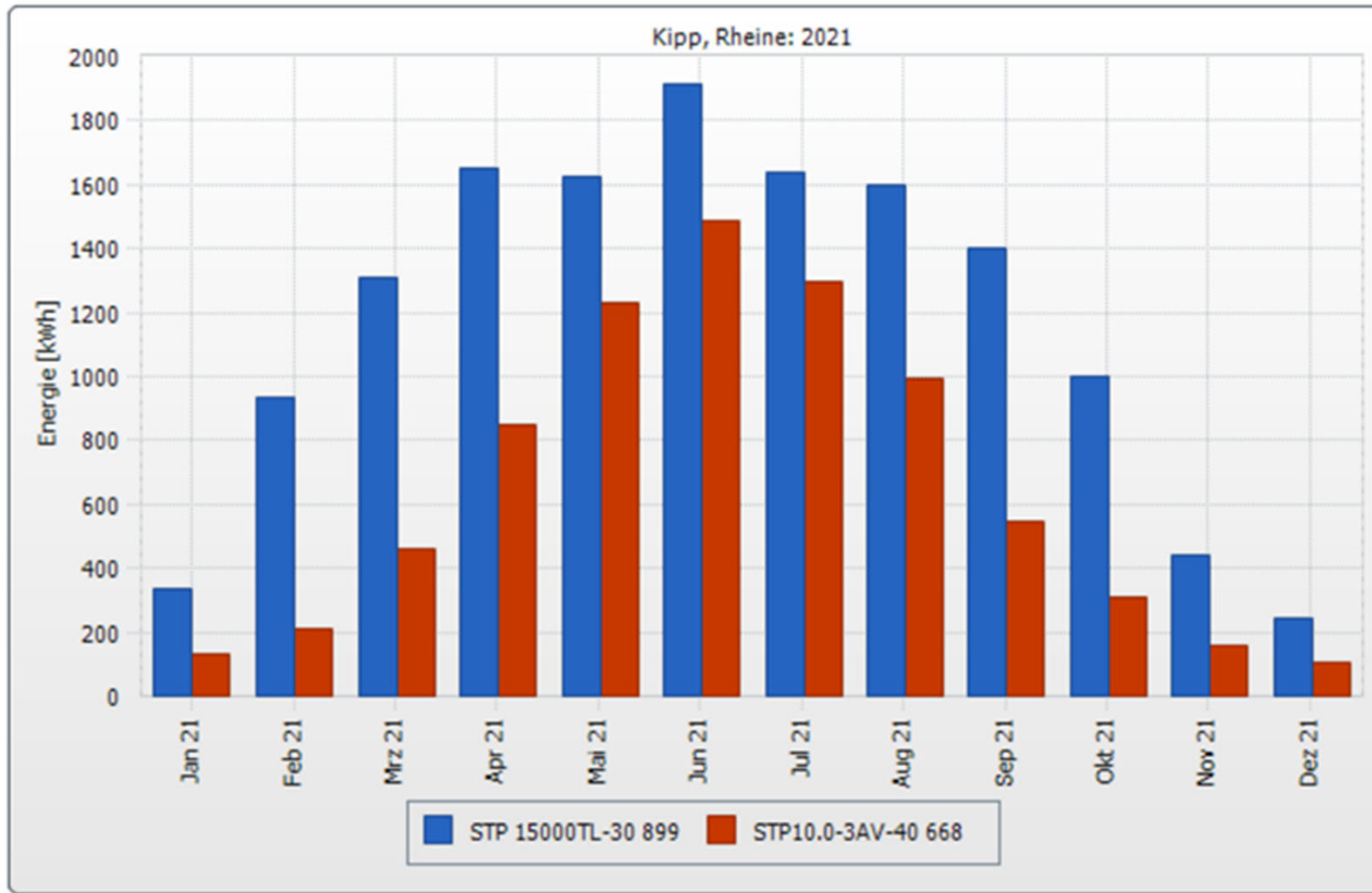
Ertragsabhängigkeit von der Dachausrichtung

| | | Neigungswinkel β | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------|------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | 0° | 5° | 10° | 15° | 20° | 25° | 30° | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° | | |
| Azimuth α | Nord | -180° | 87,8 | 84,2 | 80,2 | 75,9 | 71,7 | 67,5 | 63,4 | 59,3 | 55,4 | 51,5 | 48,0 | 44,8 | 41,9 | 39,8 | 38,0 | 36,5 | 35,0 | 33,6 | 32,2 | |
| | | -175° | 87,8 | 84,2 | 80,2 | 76,0 | 71,7 | 67,5 | 63,4 | 59,4 | 55,4 | 51,5 | 48,0 | 44,8 | 42,0 | 39,9 | 38,1 | 36,6 | 35,1 | 33,7 | 32,3 | |
| | | -170° | 87,8 | 84,2 | 80,2 | 76,1 | 71,9 | 67,7 | 63,6 | 59,5 | 55,5 | 51,8 | 48,4 | 45,2 | 42,4 | 40,3 | 38,6 | 37,0 | 35,5 | 34,0 | 32,6 | |
| | | -165° | 87,8 | 84,3 | 80,4 | 76,2 | 72,1 | 68,0 | 63,9 | 59,9 | 56,0 | 52,3 | 48,9 | 45,7 | 43,1 | 41,1 | 39,3 | 37,7 | 36,1 | 34,6 | 33,2 | |
| | | -160° | 87,8 | 84,4 | 80,6 | 76,5 | 72,5 | 68,4 | 64,4 | 60,5 | 56,7 | 53,0 | | | | | | | | | | |
| | | -155° | 87,8 | 84,5 | 80,9 | 76,9 | 72,9 | 68,9 | 65,0 | 61,2 | 57,4 | 53,9 | | | | | | | | | | |
| | Nordost | -150° | 87,8 | 84,6 | 81,1 | 77,4 | 73,5 | 69,6 | 65,8 | 62,1 | 58,4 | 55,0 | | | | | | | | | | |
| | | -145° | 87,8 | 84,8 | 81,5 | 77,8 | 74,1 | 70,3 | 66,7 | 63,0 | 59,6 | 56,3 | | | | | | | | | | |
| | | -140° | 87,8 | 84,9 | 81,8 | 78,4 | 74,8 | 71,3 | 67,7 | 64,2 | 61,0 | 58,0 | | | | | | | | | | |
| | | -135° | 87,8 | 85,2 | 82,2 | 79,0 | 75,6 | 72,2 | 68,9 | 65,6 | 62,6 | 59,8 | | | | | | | | | | |
| | | -130° | 87,8 | 85,4 | 82,7 | 79,6 | 76,5 | 73,4 | 70,2 | 67,2 | 64,3 | 61,6 | | | | | | | | | | |
| | | -125° | 87,8 | 85,6 | 83,1 | 80,3 | 77,5 | 74,6 | 71,6 | 68,8 | 66,1 | 63,6 | | | | | | | | | | |
| | Ost | -120° | 87,8 | 85,9 | 83,6 | 81,1 | 78,5 | 75,8 | 73,2 | 70,6 | 68,1 | 65,6 | 63,3 | 61,0 | 58,7 | 56,6 | 54,3 | 52,0 | 49,7 | 47,3 | 45,0 | |
| | | -115° | 87,8 | 86,2 | 84,2 | 81,9 | 79,5 | 77,2 | 74,8 | 72,3 | 70,0 | 67,7 | 65,4 | 63,2 | 61,0 | 58,7 | 56,4 | 54,0 | 51,7 | 49,2 | 46,7 | |
| | | -110° | 87,8 | 86,4 | 84,7 | 82,8 | 80,7 | 78,5 | 76,3 | 74,2 | 72,0 | 69,8 | 67,6 | 65,4 | 63,2 | 60,8 | 58,6 | 56,1 | 53,6 | 51,2 | 48,6 | |
| | | -105° | 87,8 | 86,7 | 85,3 | 83,6 | 81,8 | 79,9 | 78,0 | 76,0 | 74,0 | 71,8 | 69,8 | 67,5 | 65,4 | 63,1 | 60,7 | 58,2 | 55,6 | 53,1 | 50,4 | |
| | | -100° | 87,8 | 86,9 | 85,8 | 84,5 | 82,9 | 81,3 | 79,5 | 77,7 | 75,9 | 73,9 | 71,9 | 69,8 | 67,5 | 65,3 | 62,8 | 60,3 | 57,7 | 55,0 | 52,3 | |
| | | -95° | 87,8 | 87,3 | 86,4 | 85,4 | 84,1 | 82,7 | 81,2 | 79,5 | 77,8 | 76,0 | 74,1 | 72,0 | 69,7 | 67,4 | 64,9 | 62,4 | 59,7 | 56,8 | 54,0 | |
| | | -90° | 87,8 | 87,6 | 87,0 | 86,2 | 85,2 | 84,1 | 82,8 | 81,3 | 79,7 | 78,0 | 76,2 | 74,1 | 71,9 | 69,5 | 67,0 | 64,4 | 61,7 | 58,7 | 55,7 | |
| | | -85° | 87,8 | 87,9 | 87,6 | 87,0 | 86,3 | 85,4 | 84,3 | 83,0 | 81,6 | 80,0 | 78,2 | 76,2 | 74,0 | 71,6 | 69,1 | 66,3 | 63,6 | 60,7 | 57,5 | |
| | | -80° | 87,8 | 88,2 | 88,2 | 87,9 | 87,5 | 86,8 | 85,9 | 84,8 | 83,5 | 81,9 | 80,2 | 78,2 | 76,0 | 73,6 | 71,1 | 68,3 | 65,3 | 62,3 | 59,2 | |
| | | -75° | 87,8 | 88,4 | 88,8 | 88,8 | 88,5 | 88,1 | 87,4 | 86,4 | 85,2 | 83,8 | 82,1 | 80,2 | 78,0 | 75,5 | 73,0 | 70,2 | 67,1 | 64,0 | 60,7 | |
| | | -70° | 87,8 | 88,8 | 89,3 | 89,6 | 89,6 | 89,3 | 88,8 | 88,0 | 86,9 | 85,6 | 83,9 | 82,1 | 79,9 | 77,4 | 74,7 | 72,0 | 68,9 | 65,5 | 62,1 | |
| | | -65° | 87,8 | 89,0 | 89,8 | 90,3 | 90,6 | 90,5 | 90,2 | 89,6 | 88,5 | 87,3 | 85,7 | 83,8 | 81,7 | 79,3 | 76,4 | 73,5 | 70,5 | 67,1 | 63,5 | |
| | -60° | 87,8 | 89,3 | 90,3 | 91,1 | 91,6 | 91,6 | 91,5 | 90,9 | 90,1 | 88,9 | 87,4 | 85,5 | 83,3 | 80,9 | 78,2 | 75,1 | 71,9 | 68,5 | 64,8 | | |
| | Südost | -55° | 87,8 | 89,6 | 90,9 | 91,8 | 92,4 | 92,8 | 92,7 | 92,3 | 91,6 | 90,4 | 88,9 | 87,1 | 84,9 | 82,4 | 79,7 | 76,7 | 73,3 | 69,7 | 66,1 | |
| | | -50° | 87,8 | 89,7 | 91,3 | 92,5 | 93,3 | 93,8 | 93,9 | 93,6 | 92,9 | 91,8 | 90,4 | 88,7 | 86,4 | 83,8 | 81,1 | 78,0 | 74,6 | 70,8 | 67,1 | |
| | | -45° | 87,8 | 90,0 | 91,7 | 93,1 | 94,1 | 94,8 | 95,0 | 94,8 | 94,2 | 93,1 | 91,7 | 90,0 | 87,9 | 85,3 | 82,3 | 79,2 | 75,7 | 72,0 | 68,0 | |
| | | -40° | 87,8 | 90,2 | 92,2 | 93,7 | 94,9 | 95,6 | 95,9 | 95,8 | 95,3 | 94,4 | 93,0 | 91,1 | 89,0 | 86,5 | 83,6 | 80,2 | 76,8 | 72,9 | 68,8 | |
| | | -35° | 87,8 | 90,3 | 92,5 | 94,3 | 95,5 | 96,3 | 96,8 | 96,8 | 96,3 | 95,5 | 94,1 | 92,3 | 90,1 | 87,6 | 84,6 | 81,3 | 77,6 | 73,7 | 69,5 | |
| -30° | | 87,8 | 90,5 | 92,8 | 94,7 | 96,1 | 97,0 | 97,6 | 97,7 | 97,2 | 96,3 | 95,1 | 93,3 | 91,0 | 88,4 | 85,5 | 82,1 | 78,3 | 74,3 | 70,1 | | |
| Süd | -25° | 87,8 | 90,7 | 93,0 | 95,0 | 96,6 | 97,7 | 98,3 | 98,3 | 98,0 | 97,1 | 95,8 | 94,1 | 91,9 | 89,2 | 86,2 | 82,7 | 78,9 | 74,8 | 70,5 | | |
| | -20° | 87,8 | 90,8 | 93,3 | 95,4 | 97,0 | 98,1 | 98,8 | 99,0 | 98,6 | 97,7 | 96,4 | 94,7 | 92,5 | 89,8 | 86,8 | 83,2 | 79,5 | 75,3 | 70,8 | | |
| | -15° | 87,8 | 90,9 | 93,5 | 95,6 | 97,3 | 98,5 | 99,1 | 99,4 | 99,1 | 98,3 | 97,0 | 95,2 | 93,0 | 90,3 | 87,2 | 83,7 | 79,8 | 75,5 | 71,0 | | |
| | -10° | 87,8 | 90,9 | 93,6 | 95,7 | 97,5 | 98,8 | 99,5 | 99,7 | 99,4 | 98,7 | 97,4 | 95,6 | 93,4 | 90,6 | 87,5 | 83,9 | 80,0 | 75,7 | 71,1 | | |
| | -5° | 87,8 | 90,9 | 93,6 | 95,9 | 97,7 | 98,9 | 99,7 | 99,9 | 99,7 | 98,9 | 97,6 | 95,8 | 93,6 | 90,8 | 87,6 | 84,1 | 80,2 | 75,8 | 71,2 | | |
| | 0° | 87,8 | 90,9 | 93,6 | 95,9 | 97,7 | 99,0 | 99,7 | 100,0 | 99,7 | 98,9 | 97,6 | 95,7 | 93,6 | 90,9 | 87,7 | 84,2 | 80,2 | 75,8 | 71,2 | | |
| 5° | 87,8 | 90,9 | 93,6 | 95,9 | 97,7 | 98,9 | 99,7 | 99,9 | 99,7 | 98,9 | 97,6 | 95,8 | 93,6 | 90,8 | 87,6 | 84,1 | 80,2 | 75,8 | 71,2 | | | |
| 10° | 87,8 | 90,9 | 93,6 | 95,7 | 97,5 | 98,8 | 99,5 | 99,7 | 99,4 | 98,7 | 97,4 | 95,6 | 93,4 | 90,6 | 87,5 | 83,9 | 80,0 | 75,7 | 71,1 | | | |

z.B. Norddach mit 35 Grad Neigung:

- 41 % Minderung
- (entspricht Ertrag von rund 533 kWh/kWp)

Anlage auf dem Norddach?



Quelle: Peter Nagelmann, Marienstr 21, Rheine

Mai bis Dezember: Nord zu Süddach: 60,5 %



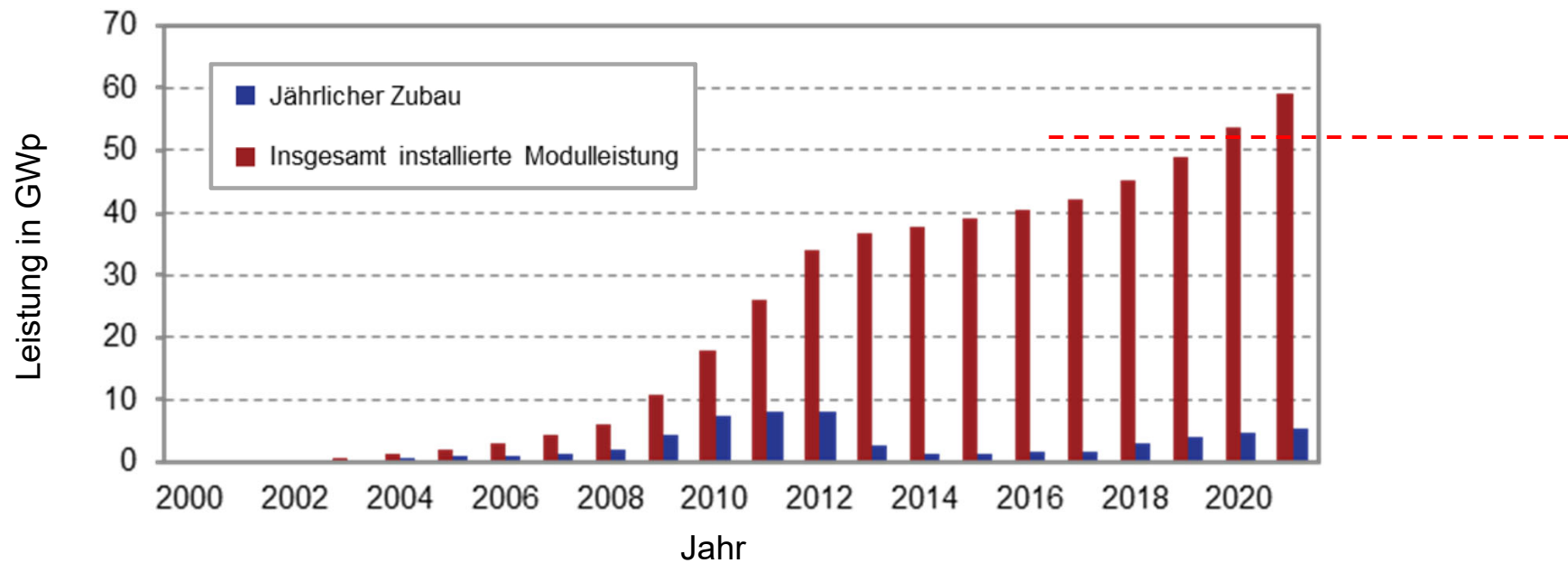
3. Markt- und Preisentwicklung

Ausbau der Photovoltaik in Deutschland

- Installierte Leistung in GWp:



Der 52 GW-Deckel!

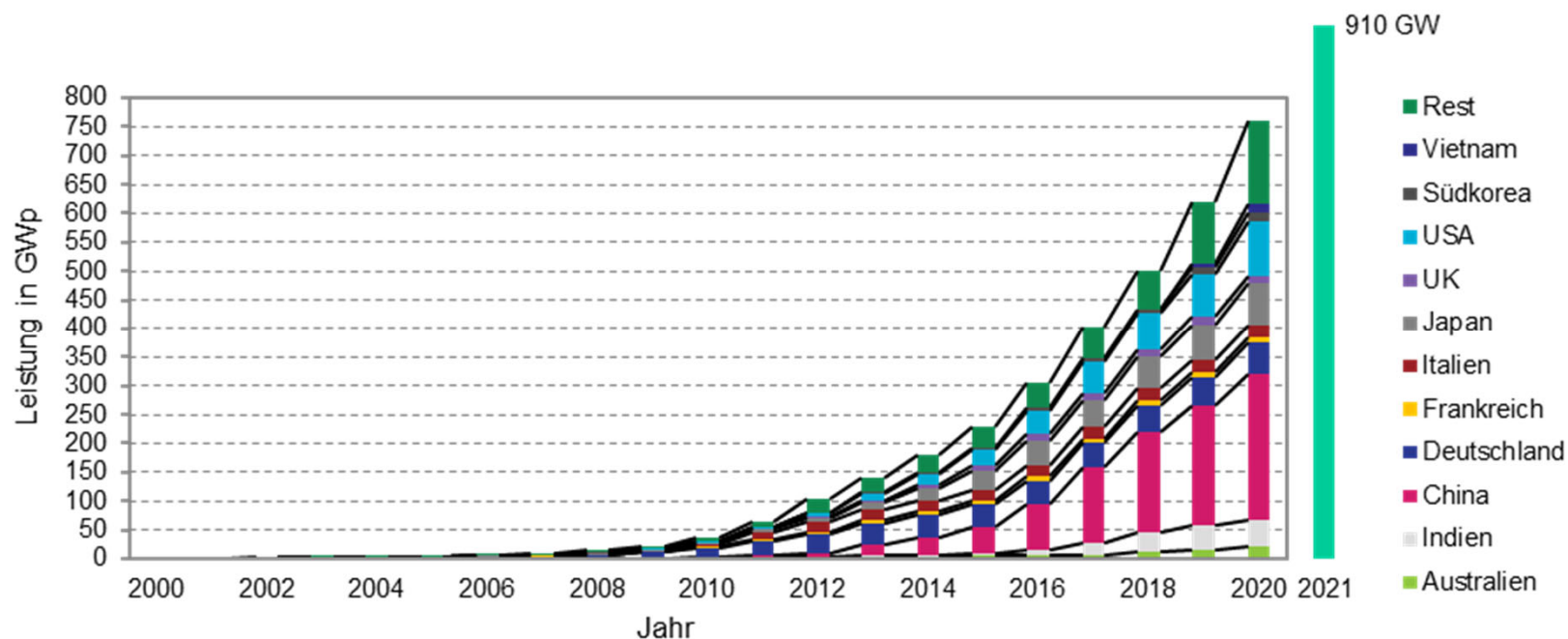


- **Der 52 GW-Deckel ist weg!**
- Jährlicher Zubau zwischenzeitlich bei ca. 7 GWp/Jahr
- Aktuell (2021): ca. 5 GWp/Jahr
- Eigentlich brauchen wir 10 - 15 GWp/Jahr



Weltweites Wachstum der Photovoltaik

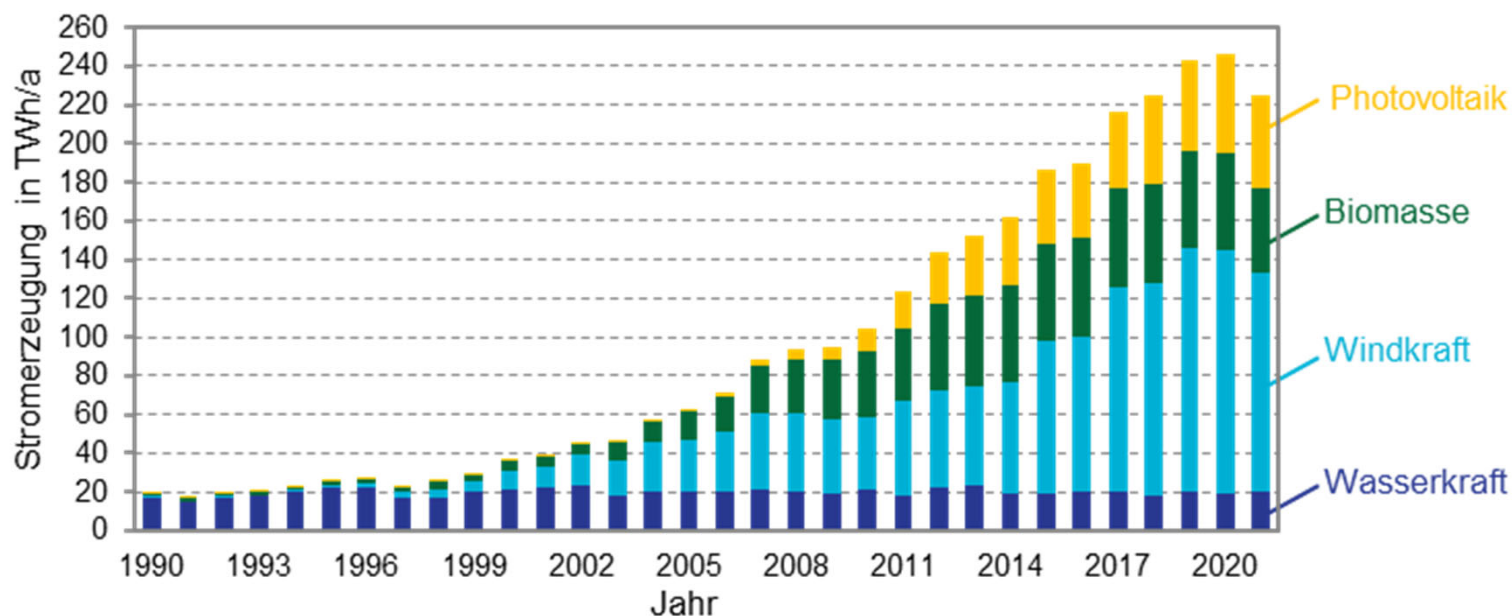
- Bislang weltweit installierte Leistung in GWp:



- Wachstumsraten über 40 %
- 2021: rund 150 GWp zusätzlich installiert!
- Europa spielt aktuell kaum noch eine Rolle

Stromerzeugung durch erneuerbare Energien in Deutschland

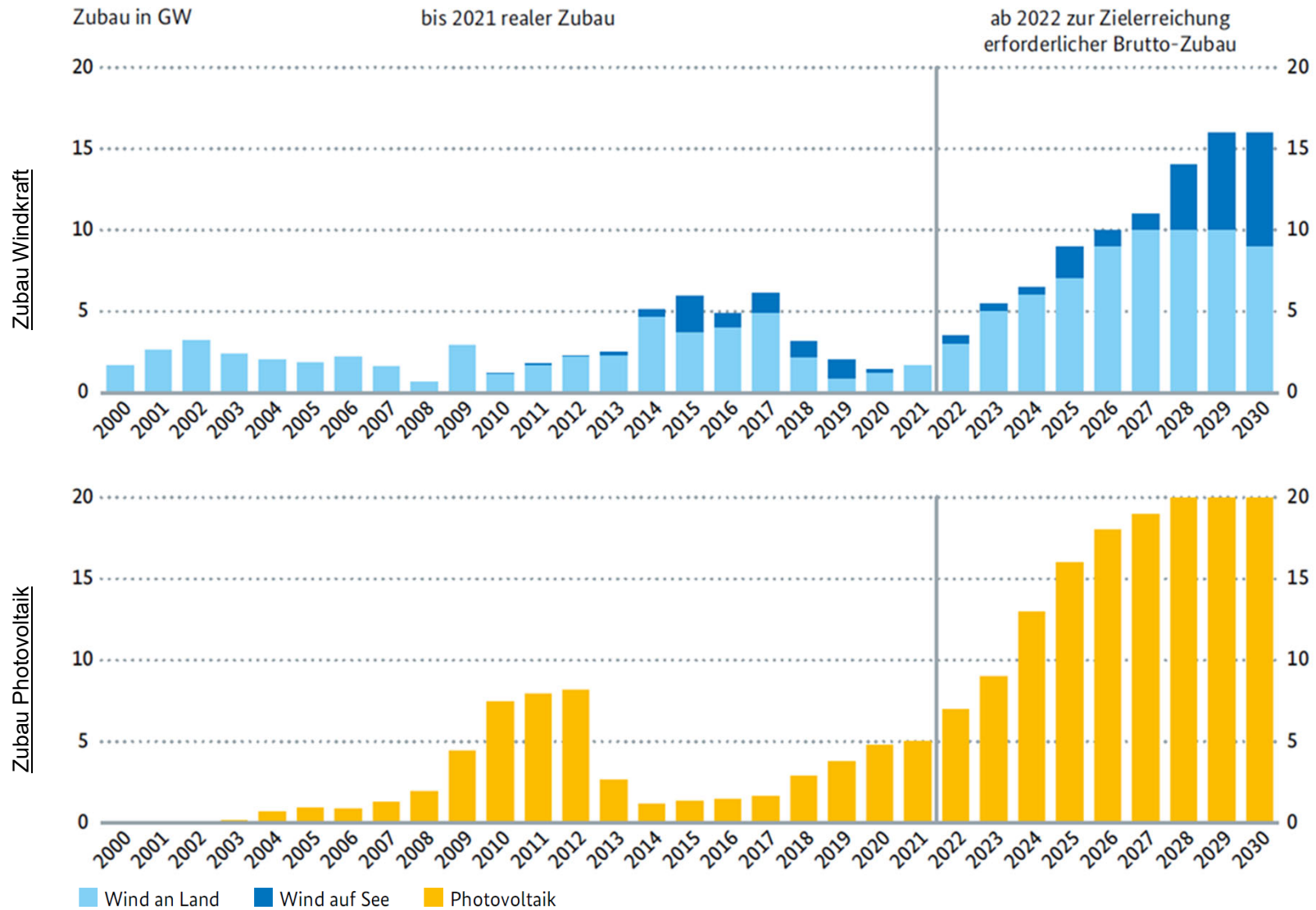
- Stromerzeugung in Mrd. kWh



Aktueller Status (2021):

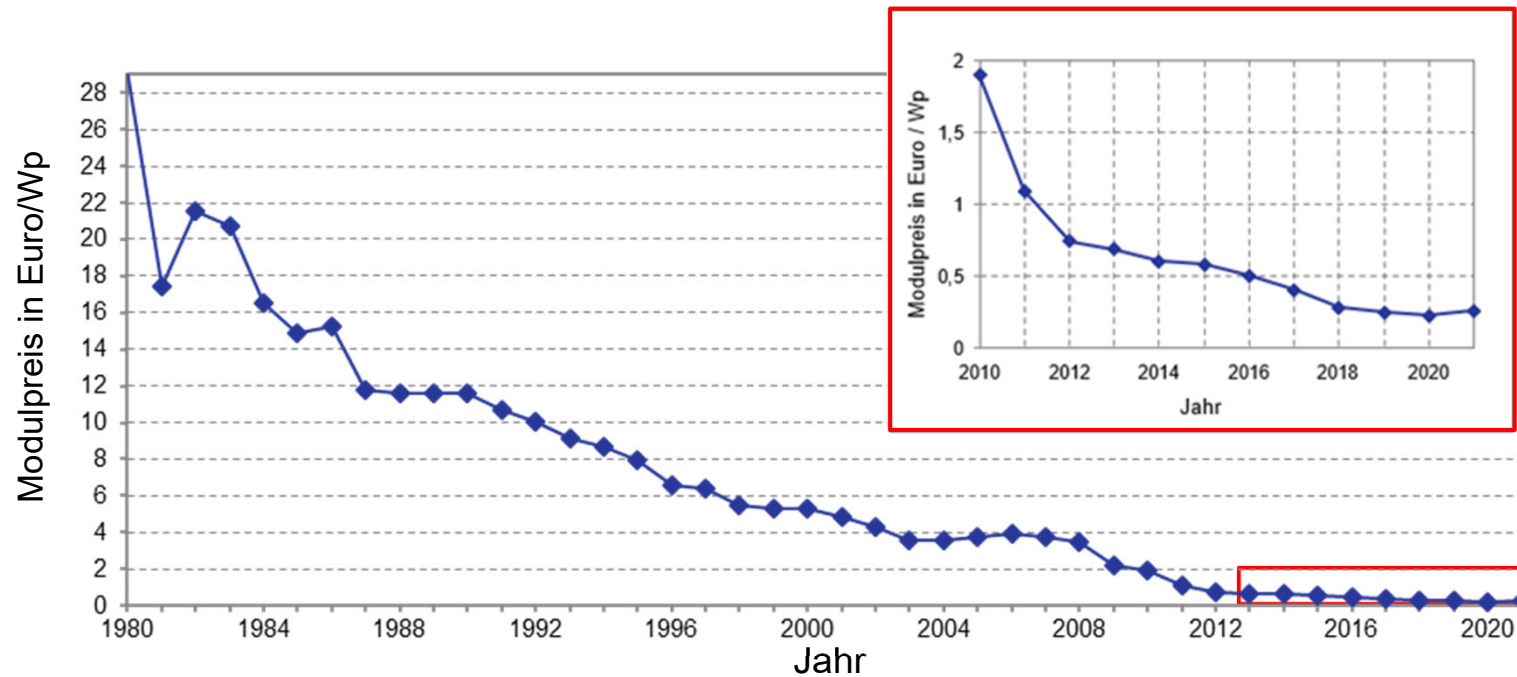
- Anteil der erneuerbaren Energien am Nettostrombedarf: 50 %
- Anteil der Photovoltaik am Nettostrombedarf: 10 %

Geplanter Ausbau von Photovoltaik und Windkraft durch die neue Regierung



Preisentwicklung:

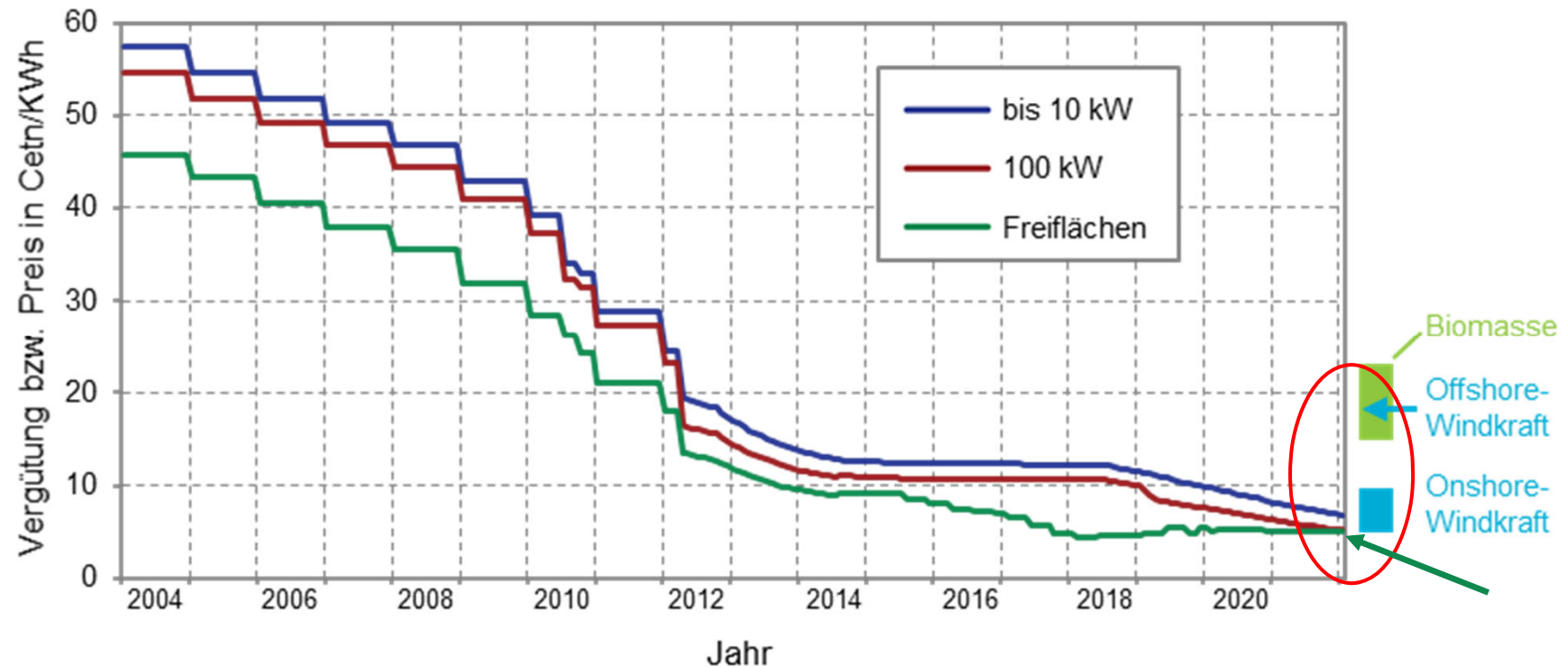
- Modulpreise seit 1980 (inflationsbereinigt):



- Reduzierung von 27 Euro/Wp auf unter 25 Cent/Wp!

Preisentwicklung:

- Entwicklung der Einspeisevergütung seit 2004:



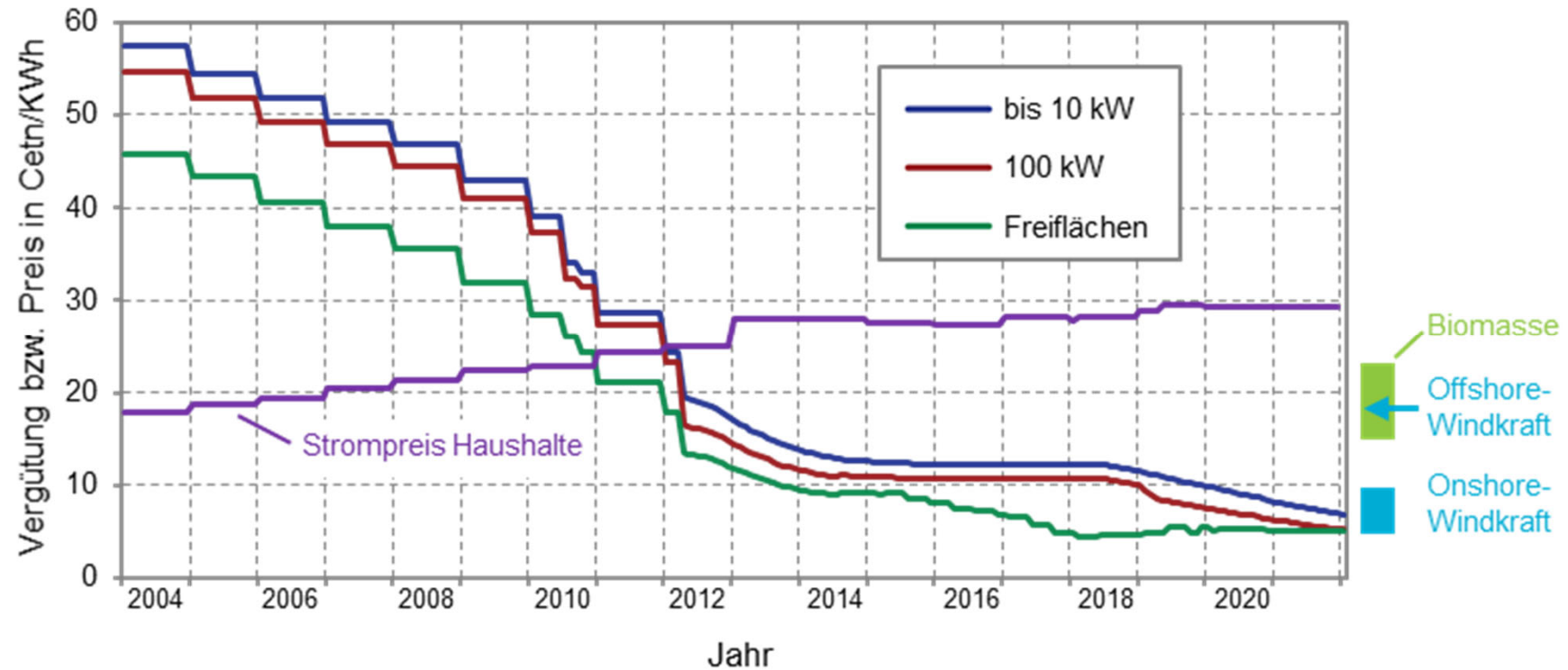
⇒ Photovoltaikstrom ist inzwischen günstiger als Biomasse und Offshore-Windkraft!

⇒ Ausschreibungen von Freiflächenanlagen: Betreiber bieten 5 Ct/kWh!

⇒ Ausschreibung in Abu Dhabi: Betreiber bietet 1,1 Ct/kWh!

Preisentwicklung:

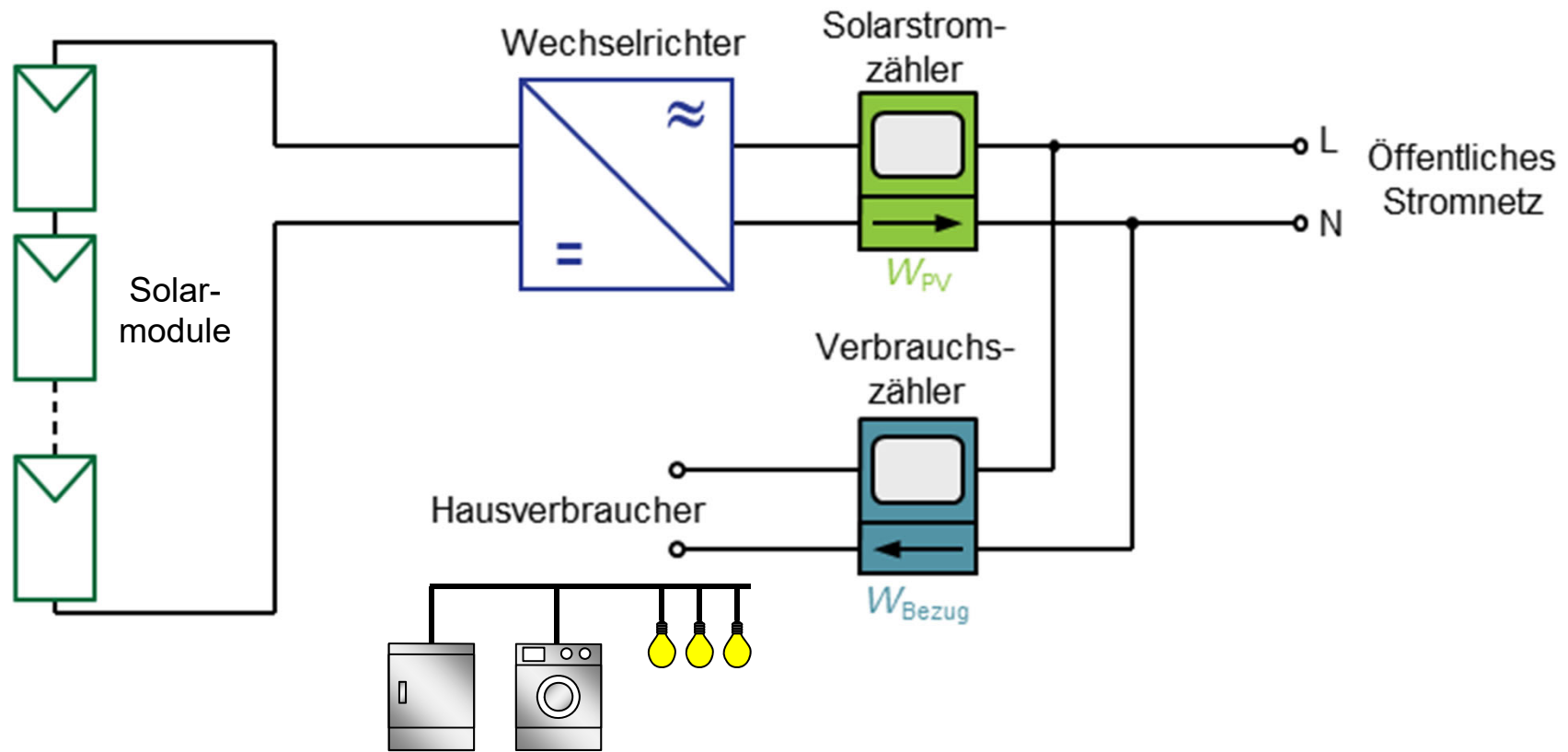
- Einspeisevergütung und Strompreis



⇒ Eigenverbrauch lohnt sich!

4. Wirtschaftlichkeit von konkreten Anlagenbeispielen

Beispiel A: 10 kWp-Anlage ohne Eigenverbrauch



Beispiel A: 10 kWp-Anlage ohne Eigenverbrauch (Nettopreise)

Investitionskosten: z.B. 12.000 Euro (entspricht 1.200 Euro/kWp)

Stromertrag: 10 kWp x 900 kWh/(kWp x Jahr) = 9000 kWh/Jahr

⇒ Einnahmen: 6,5 ct/kWh x 900 kWh/Jahr x 10 kWp = 585 Euro/Jahr

Laufende jährliche Kosten: 1,5 % der Investitionskosten: 180 Euro/Jahr

⇒ Ausgaben: 180 Euro/Jahr

⇒ Überschuss: (585 – 180) Euro/Jahr = 405 Euro/Jahr

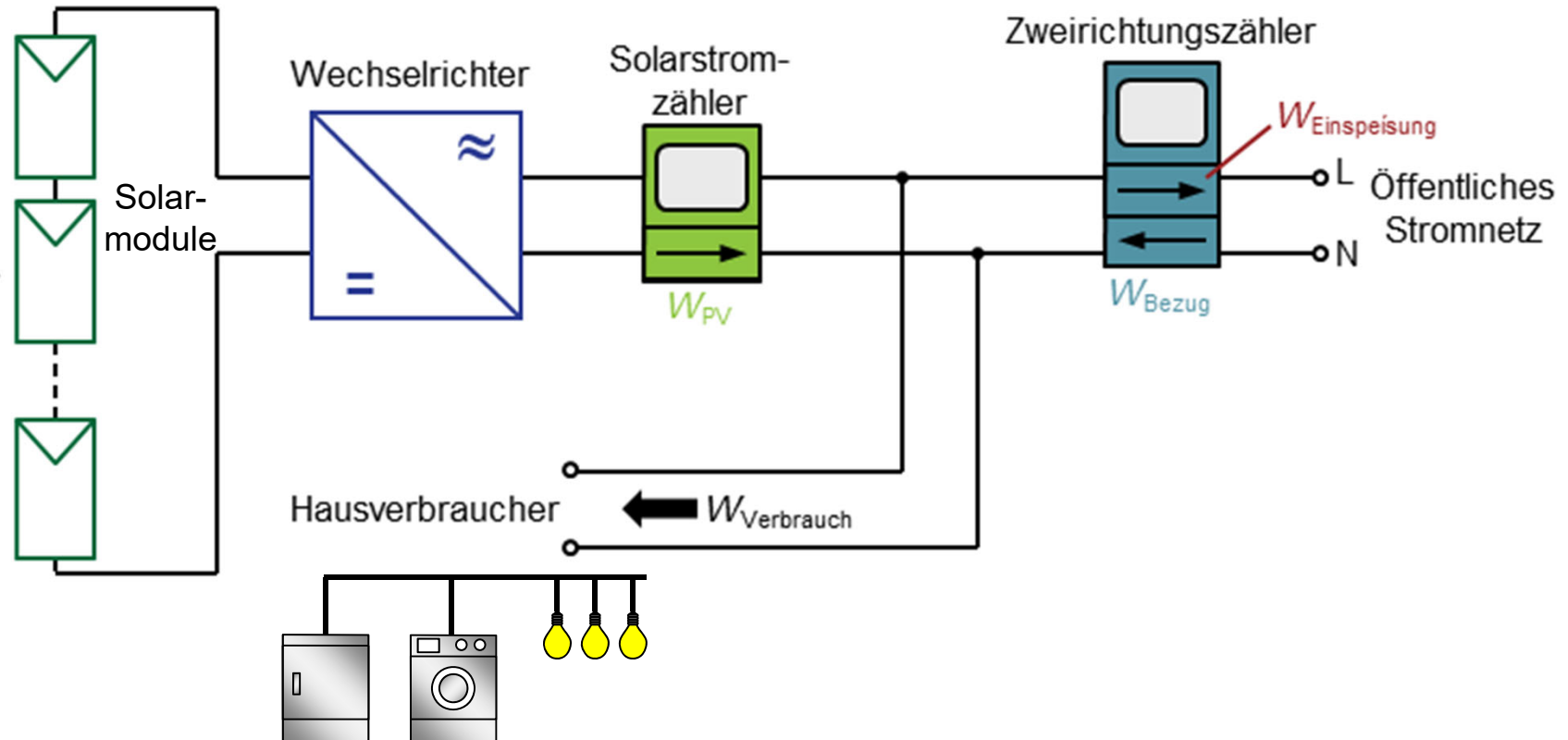
⇒ Amortisationszeit: 12.000 Euro / 405 Euro/Jahr = 29,6 Jahre

⇒ Rendite: = -3,5 %

⇒ kein guter Deal...

⇒ Was kann man tun, um die Rendite zu verbessern?

Beispiel B: 10 kWp-Anlage mit Eigenverbrauch



Beispiel B: 10 kWp-Anlage mit Eigenverbrauch

- z.B. 1/3 des erzeugten Stroms wird selbst verbraucht, Tarifstrom kostet z.B. 30 ct/kWh

- Neue Rechnung:

| | | |
|---------------------------------|--|------------------------|
| ⇒ Einnahmen durch Einspeisung: | $6,5 \text{ ct/kWh} \times 2/3 \times 9000 \text{ kWh/Jahr} =$ | <u>390 Euro/Jahr</u> |
| ⇒ Vorteil durch Eigenverbrauch: | $30 \text{ ct/kWh} \times 1/3 \times 9000 \text{ kWh/Jahr} =$ | <u>900 Euro/Jahr</u> |
| | ⇒ Gesamteinnahmen: | <u>1.290 Euro/Jahr</u> |

Laufende jährliche Kosten: 1,5 % der Investitionskosten: 180 Euro/Jahr

⇒ Ausgaben: 180 Euro/Jahr

⇒ Überschuss: $(1290 - 180) \text{ Euro/Jahr} =$ 1.110 Euro/Jahr

⇒ Amortisationszeit: $12.000 \text{ Euro} / 1.110 \text{ Euro/Jahr} =$ 10,8 Jahre

⇒ Rendite: = 5,9 %

⇒ Rendite ist deutlich verbessert!

Aktuelle Änderungen durch das Osterpaket

- Neue Einspeisevergütungen:

- PV < 10 kWp: 8,6 Cent/kWh
- PV < 40 kWp: 7,5 Cent/kWh
- PV-Volleinspeiser < 10 kWp: 13,4 Cent/kWh
- PV-Volleinspeiser < 40 kWp: 11,3 Cent/kWh
- Entschließungsantrag: bis 30 kWp: keine Steuerpflicht mehr!
- Solar-Randstreifen für Autobahnen etc. von 200 auf 500 Meter verbreitert
- PV < 20 kWp auf eigenem Grundstück errichtbar, wenn Dach nicht nutzbar

Konkrete Empfehlungen bei Planung und Kauf einer PV-Anlage:

- Dacheignung prüfen (steht ggf. Sanierung an?)
- Installierbare PV-Leistung abschätzen
- Verschiedene Varianten durchrechnen lassen
- Mehrere Angebote einholen!

⇒ Geeignete Solaranlage installieren

Welche Art von Modulen?

multikristallin:



Wirkungsgrad: 18 %

monokristallin:

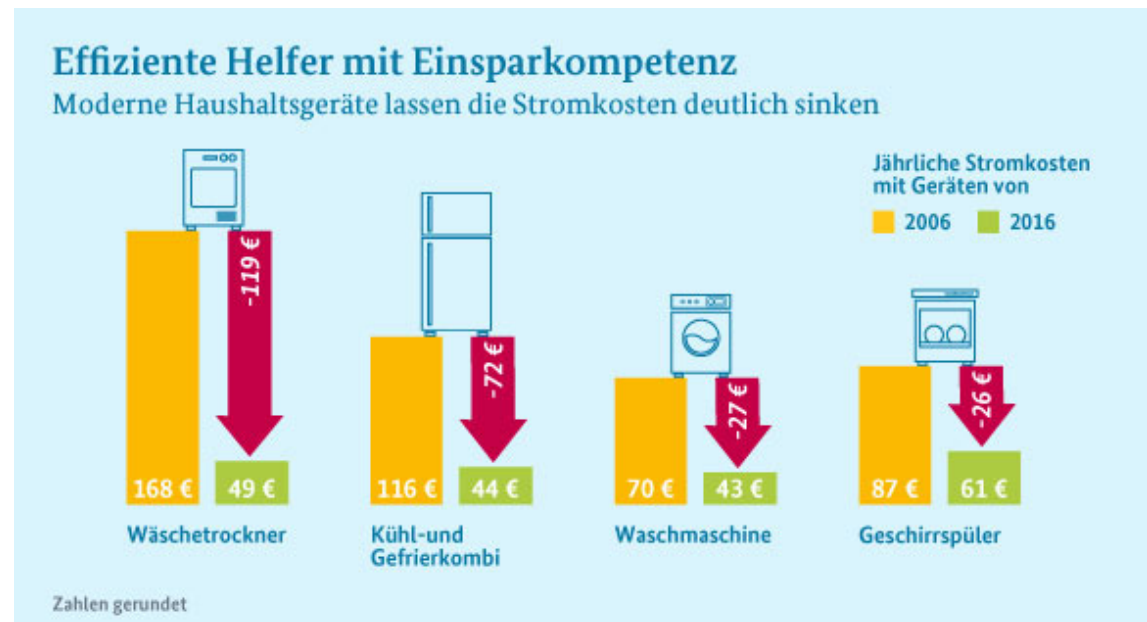
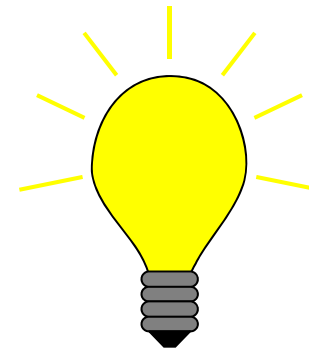


Wirkungsgrad: 22 %

Bilder: Solarwatt

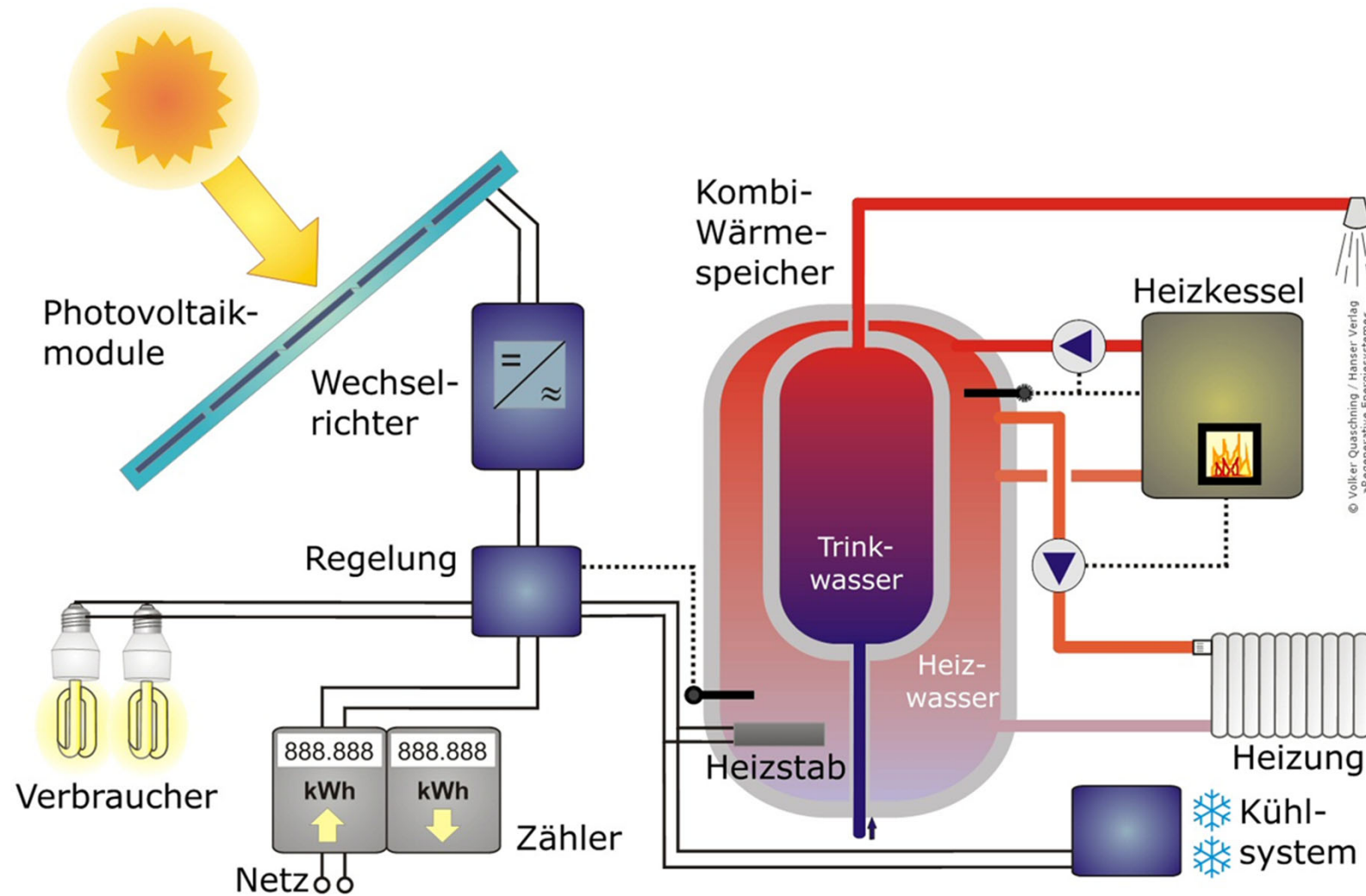
Ebenfalls zu überlegen:

- Gibt es Energieeinsparpotential?
 - z.B. Beleuchtung:
 - z.B. Haushaltsgeräte:

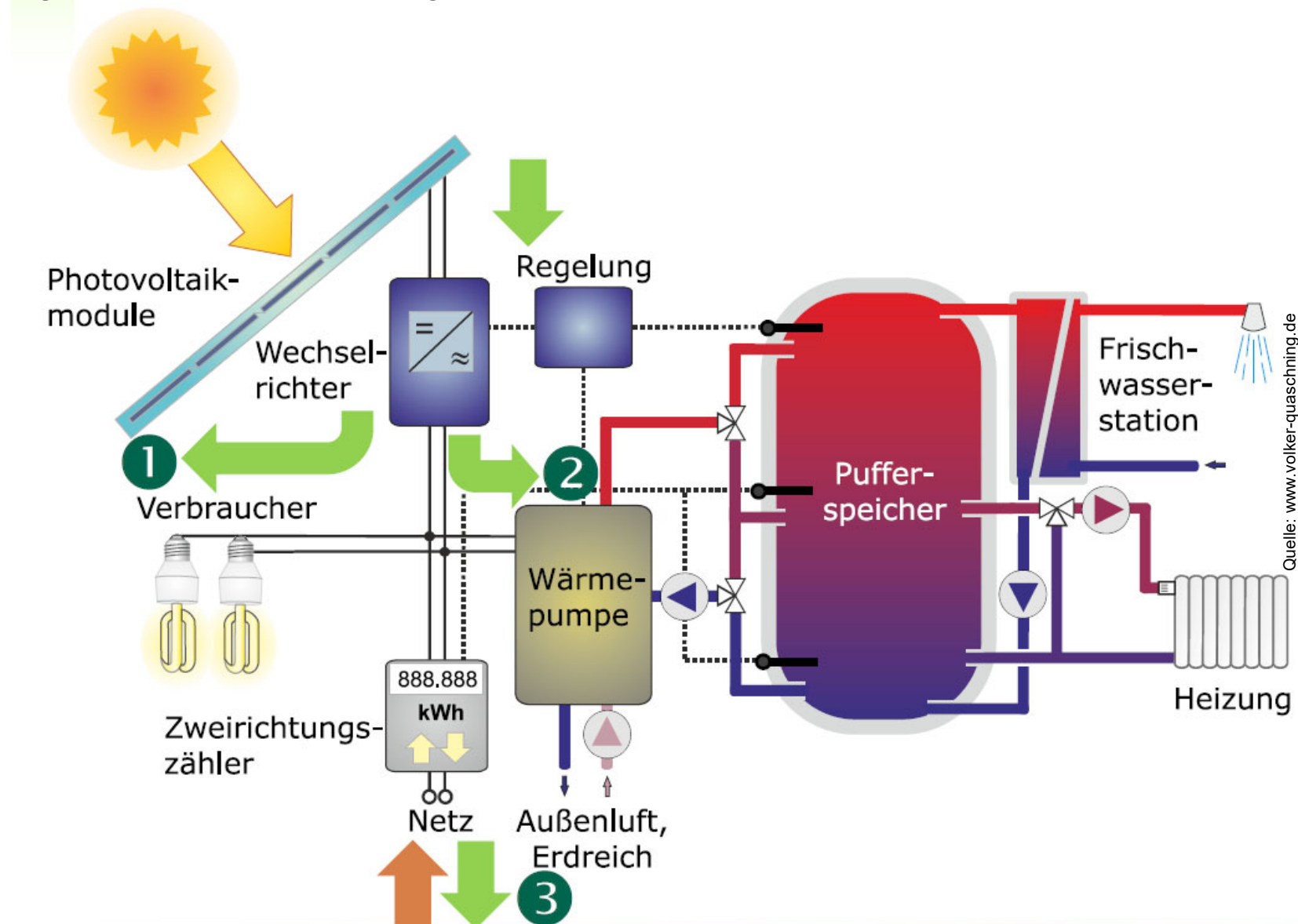


- Macht ggf. Wärmeerzeugung mit Strom Sinn? (Brauchwasser oder Heizung)

Eigenverbrauchserhöhung durch Wärmeproduktion: Mit Heizstab



Eigenverbrauchserhöhung durch Wärmeproduktion: Mit Wärmepumpe

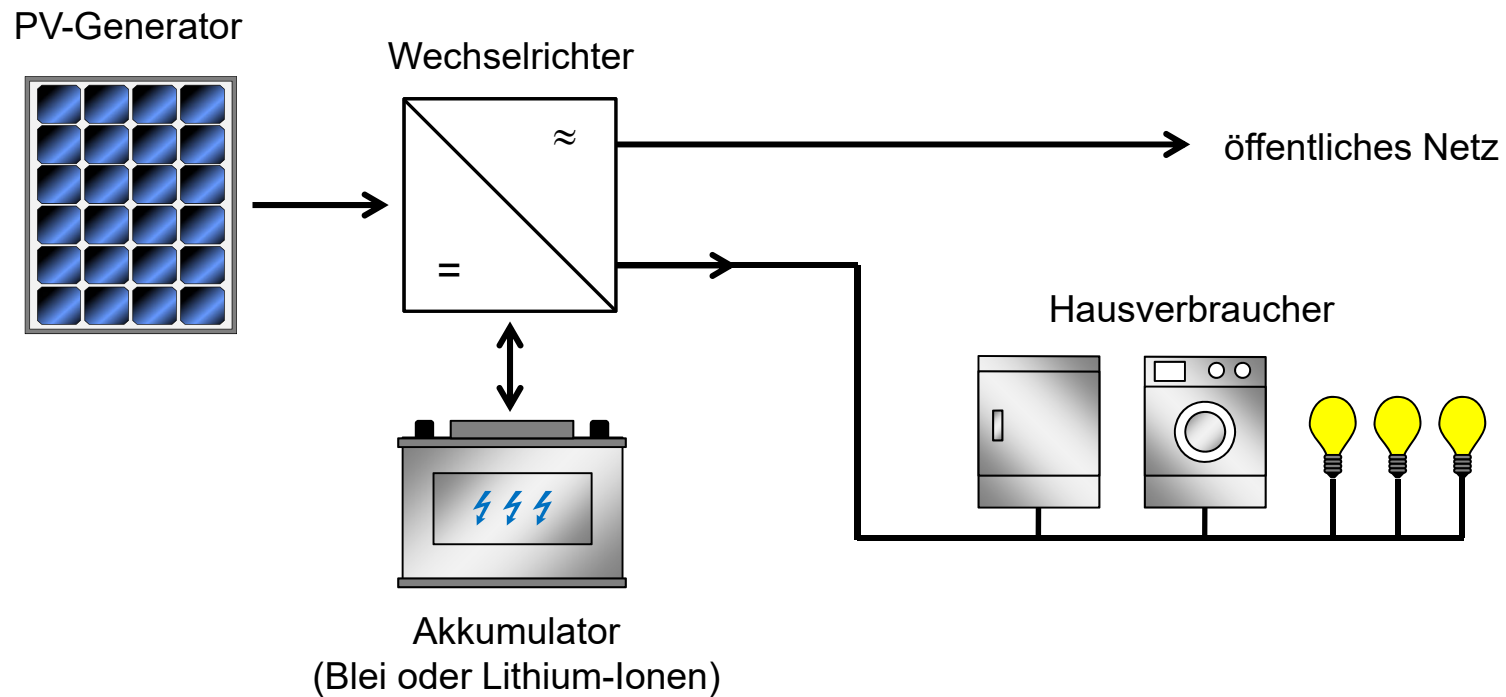




5. Speicherung von Solarstrom

Prinzip

- Ein Teil des Stroms wird zwischengespeichert, um den Eigenverbrauchsanteil zu erhöhen



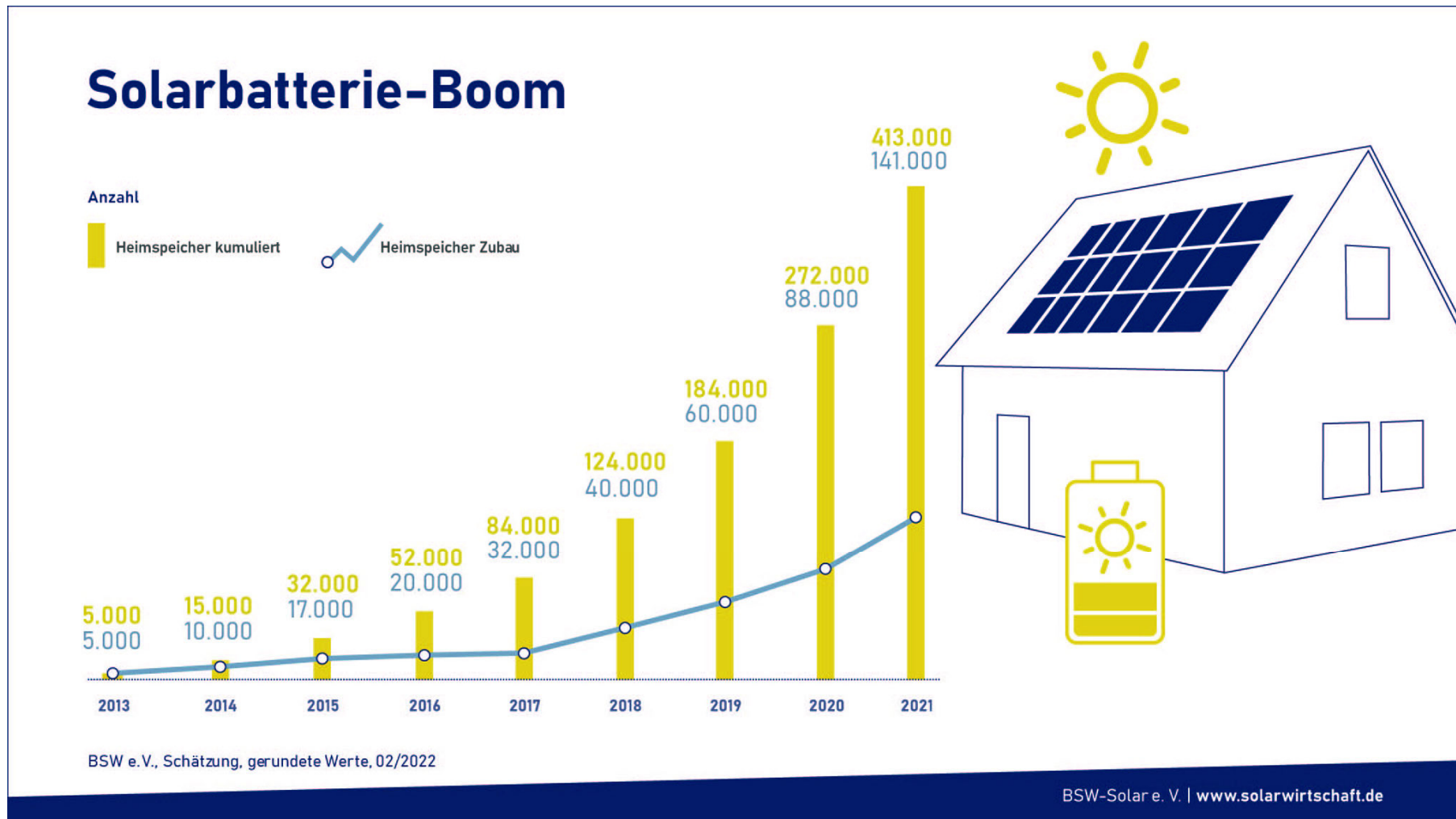
Aktuelle Situation:

- Lithium-Ionen-Speicher haben sich praktisch durchgesetzt ggü. Bleispeichern



- Zusatzfeatures: z.B. Notstromfunktion, Anbindung an Elektroauto, etc.

Aktuelle Situation:

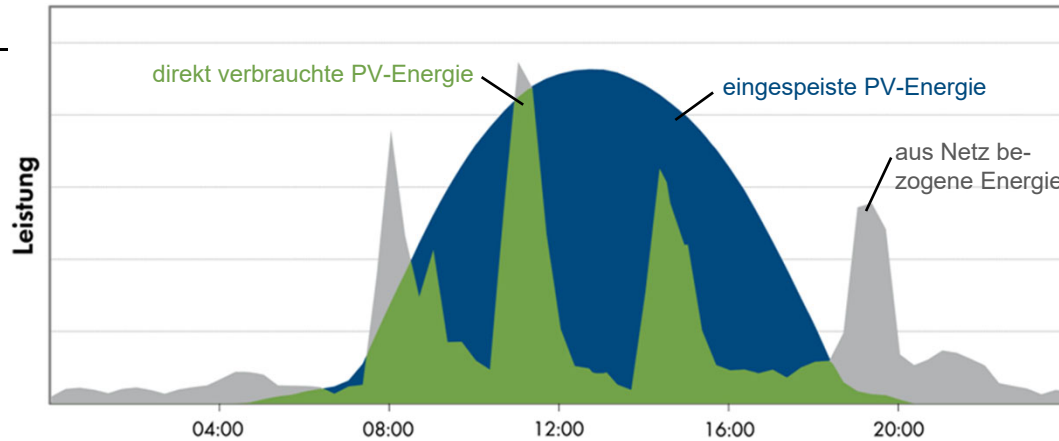


- Mehr als jede 2. PV-Anlage wird mit Speicher gekauft

Intelligentes System zur Erhöhung des Eigenverbrauchs (EFH):

Typisches Haushaltslastprofil mit PV-Anlage (5 kWp)

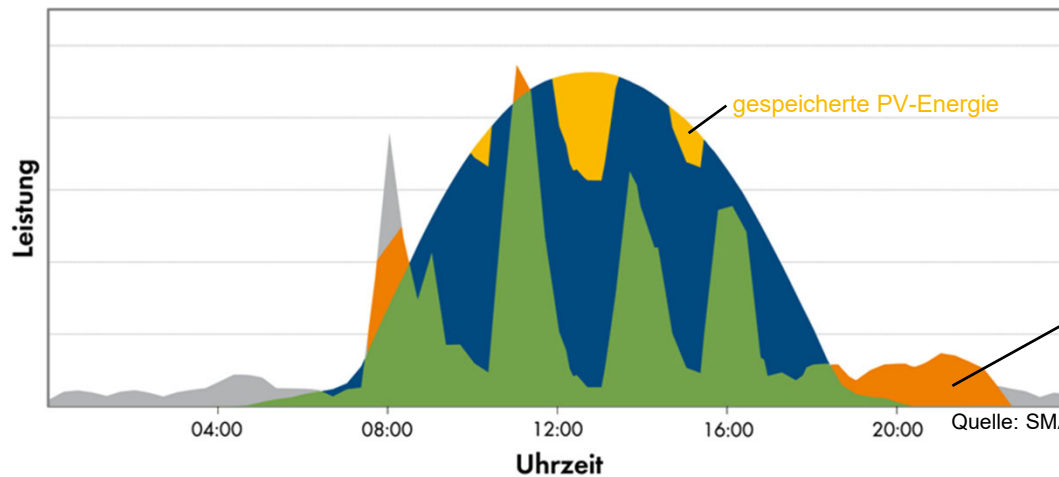
a) Ohne Speicher und Lastmanagement:



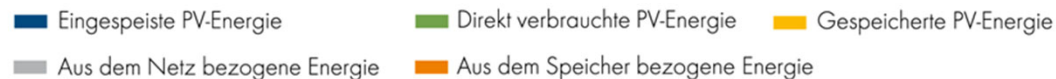
⇒ ca. 30 % Eigenanteil

b) Mit Speicher und Lastmanagement:

Lastprofil mit Sunny Home Manager und Sunny Boy 5000 Smart Energy



⇒ ca. 60 % Eigenanteil



Durchaus sinnvoll: Hybrid-Wechselrichter nehmen:



Fronius Symo Hybrid



SMA Sunny Tripower
Smart Energy



Kostal Plenticore

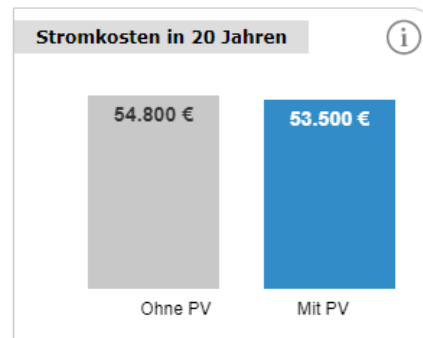
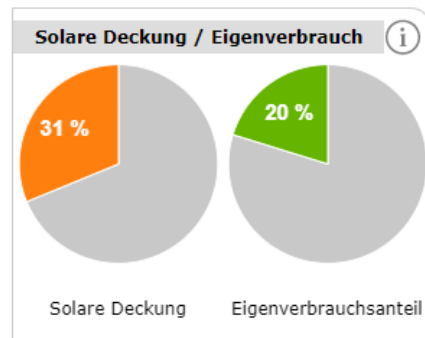


z.B. BYD-Speicher mit 10 Kilowattstunden Speicherkapazität
erst nachträglich kaufen

Speicherauslegung mit pv-now-easy:

Fall A: ohne Speicher:

Gesamtstrombedarf 6.000 kWh
 Anlagen-nennleistung 10 kWp
 Speicherkapazität kein Speicher
 Elektro-Fahrzeug kein E-Auto
 Investitionssumme 15.000 € (+0 %)
 Best-/Worstcase neutral



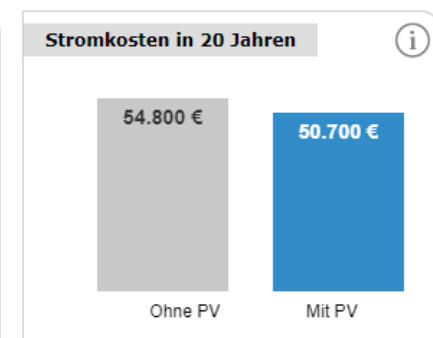
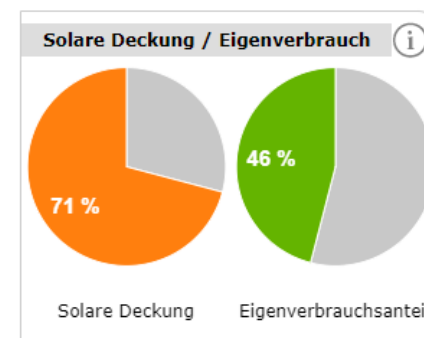
Zusammenfassung

Vorteil/Nachteil durch PV: **1.300 €**

Rendite auf Ihr eingesetztes Kapital: **0,8 %**

Fall B: mit Speicher:

Gesamtstrombedarf 6.000 kWh
 Anlagen-nennleistung 10 kWp
 Speicherkapazität 10 kWh
 Elektro-Fahrzeug kein E-Auto
 Investitionssumme 24.000 € (+0 %)
 Best-/Worstcase neutral



Zusammenfassung

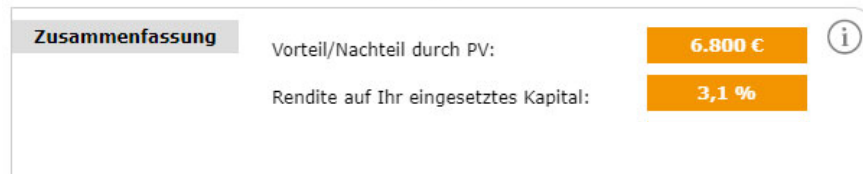
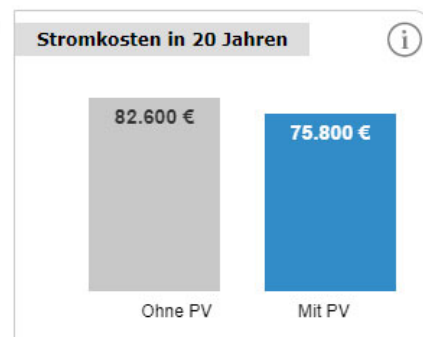
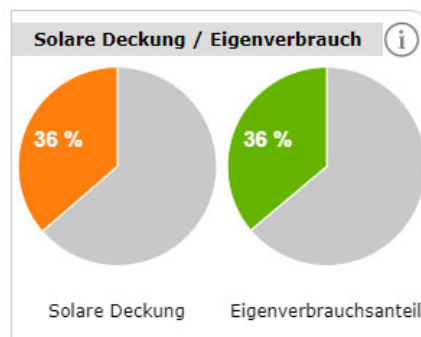
Vorteil/Nachteil durch PV: **4.100 €**

Rendite auf Ihr eingesetztes Kapital: **1,5 %**

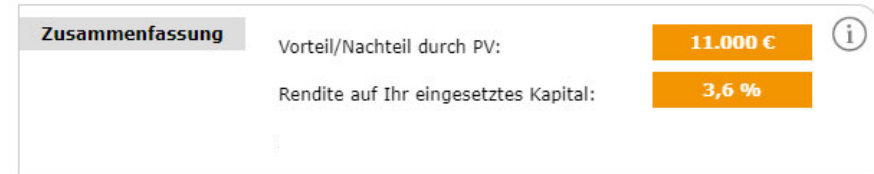
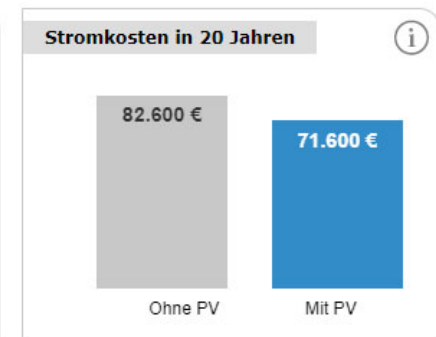
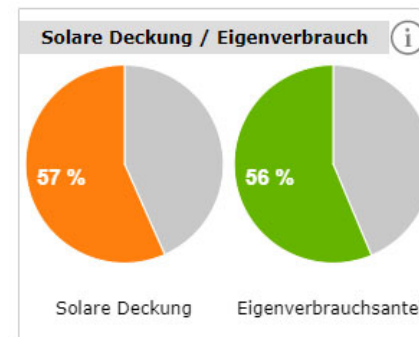
www.pv-now-easy.de

Speicherauslegung mit pv-now-easy:

Fall C: ohne Speicher, mit Elektroauto:



Fall D: mit Speicher, mit Elektroauto:



www.pv-now-easy.de

Aktuelle Situation:

- Bislang wurden in Deutschland gut 400.000 Heimspeicher installiert
- Kosten von Speichern sinken (insb. Lithium-Ionen-Speicher)
- Kosten zur Speicherung einer Kilowattstunde liegen aber immer noch über 15 bis 20 Cent

⇒ Speicher rechnen sich bislang nur in Ausnahmefällen!

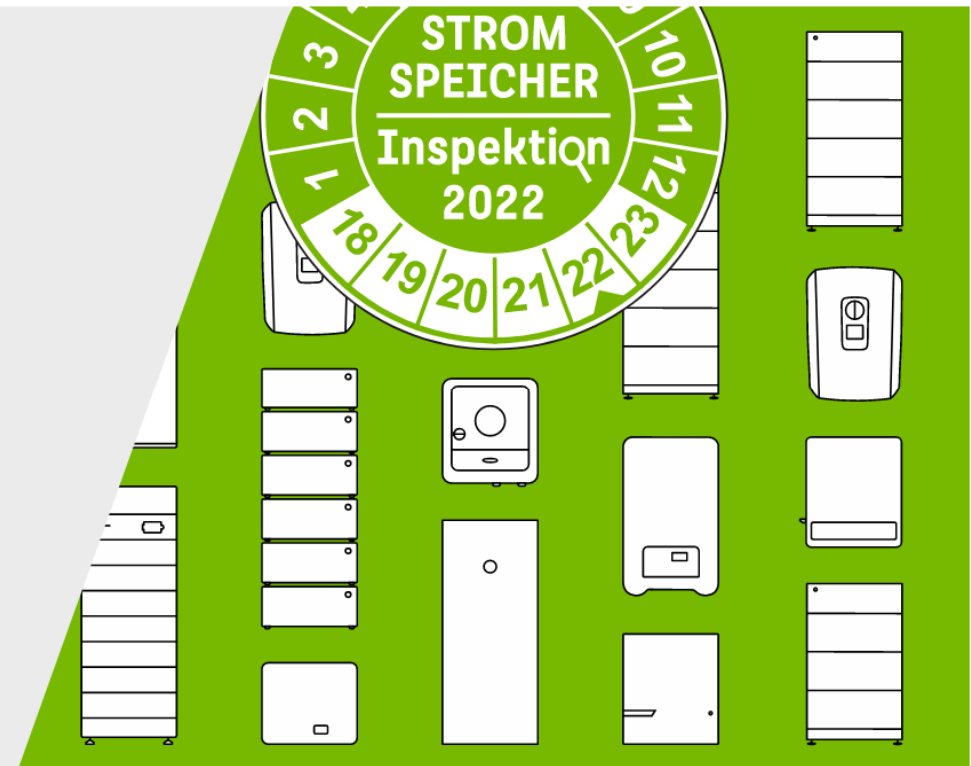
⇒ Speicherung in Wärme (z.B. in Kombination mit Wärmepumpen) ist eher wirtschaftlich!

Studie zur Effizienz von aktuellen Stromspeichern:

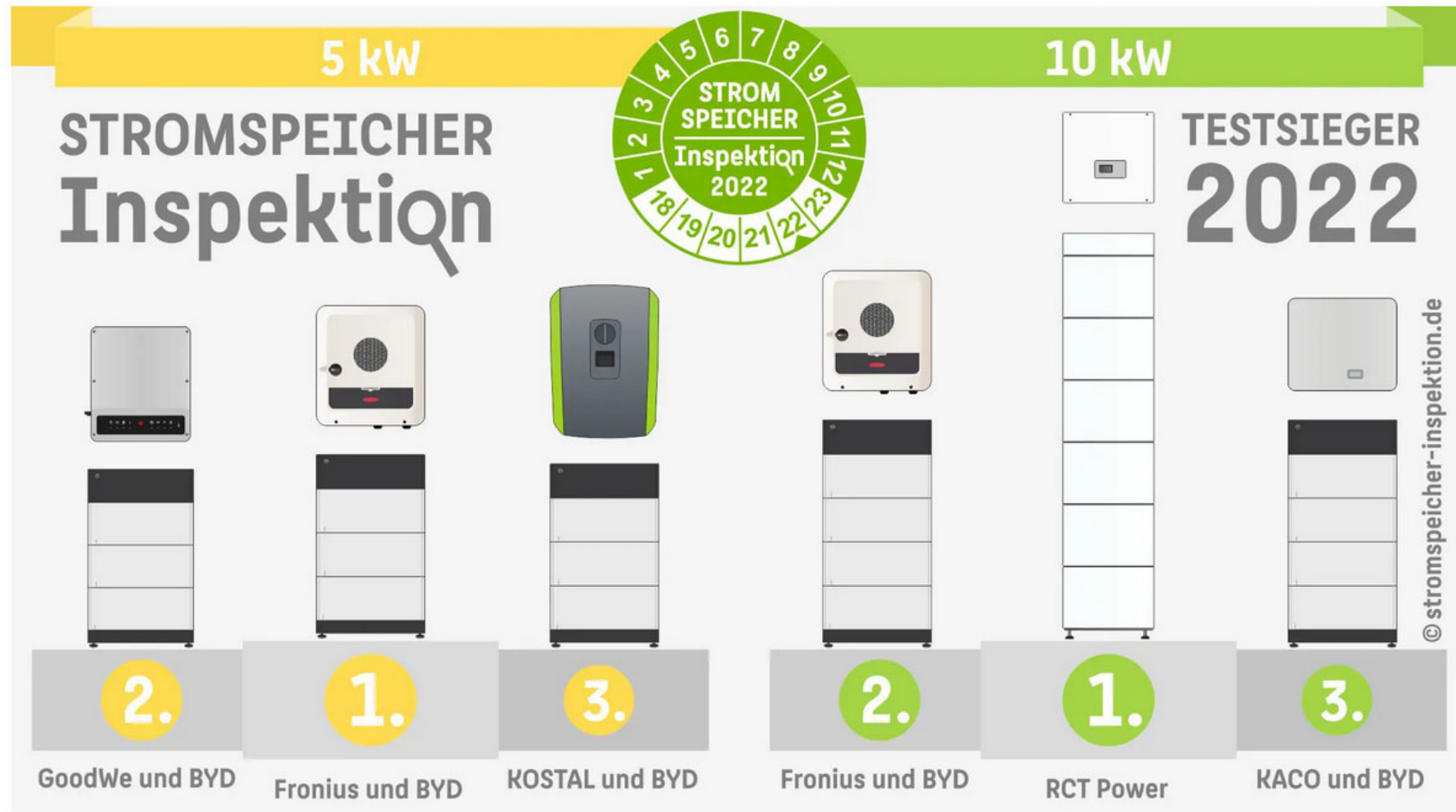
Studie

STROMSPEICHER- INSPEKTION 2022

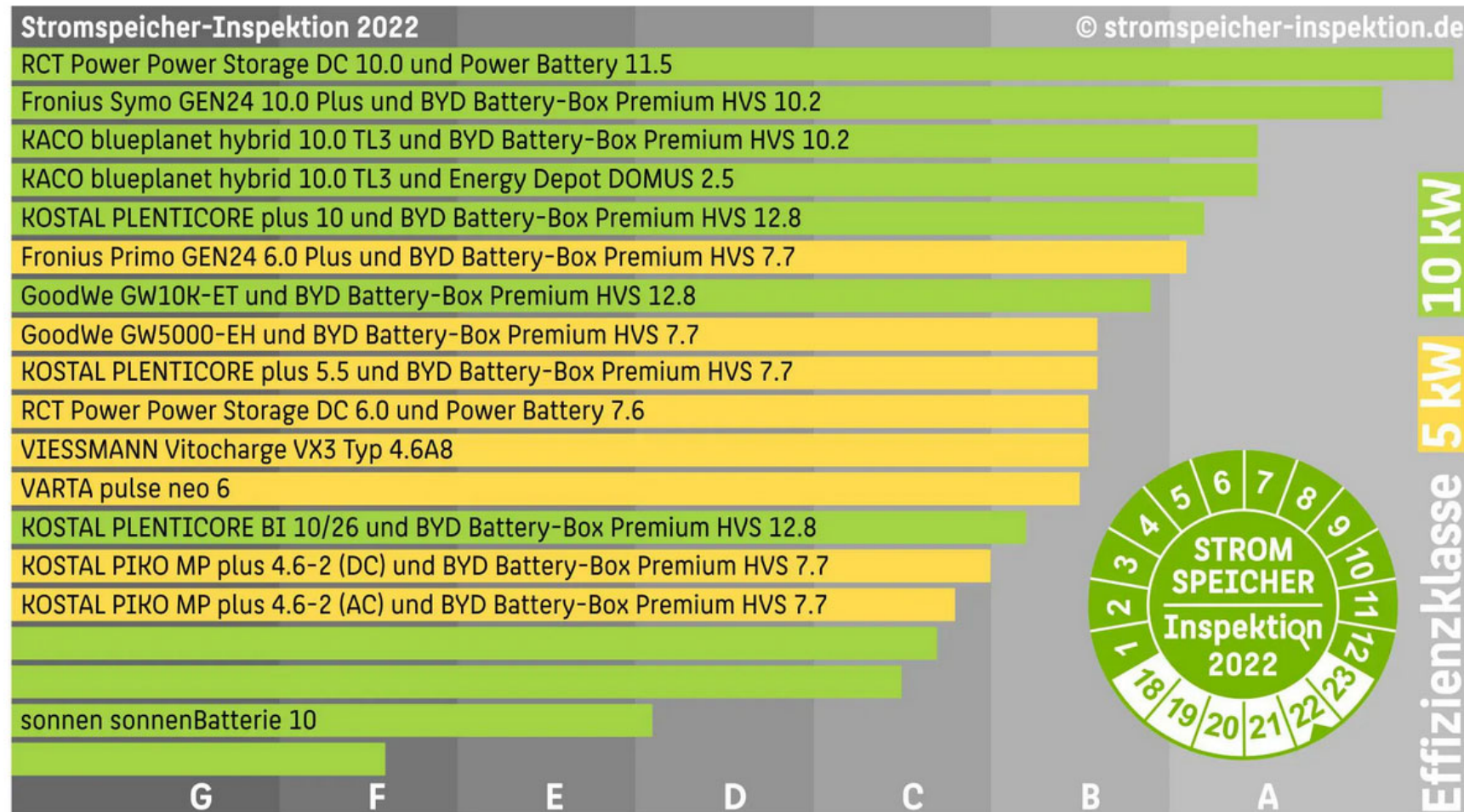
21 Solarstromspeicher im Vergleich: Testsieger der Stromspeicher-Inspektion 2022 aus dem Hause RCT Power, Fronius und BYD verteidigen ihre Titel.



Studie zur Effizienz von aktuellen Stromspeichern:



Studie zur Effizienz von aktuellen Stromspeichern:



└ Rangliste und Effizienzklassen der 19 mit dem System Performance Index (SPI) bewerteten Stromspeichersysteme.

<https://solar.htw-berlin.de/studien/speicher-inspektion-2022/>

Was ist hier falsch?



Foto: K. Mertens

Nutzt die Dächer!



Pixabay



Foto: Mertens



Foto: Mertens



Foto: Mertens



Pixabay



Pixabay



www.solaranlagen-portal.com



Pixabay



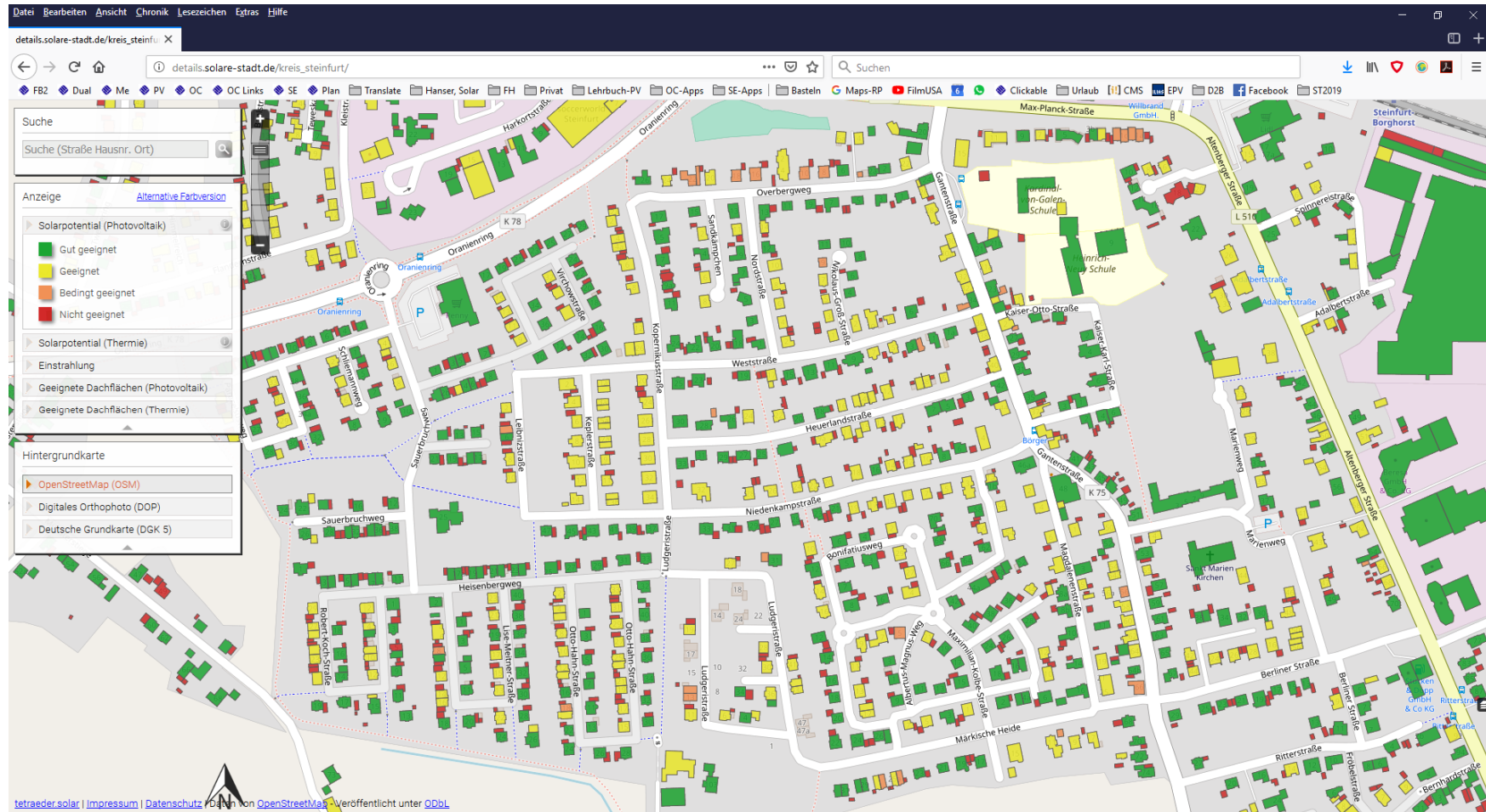
www.pv-magazine.de

Macht die Dächer voll!



Die Dächer müssen genutzt werden: Es ist noch genug Platz...

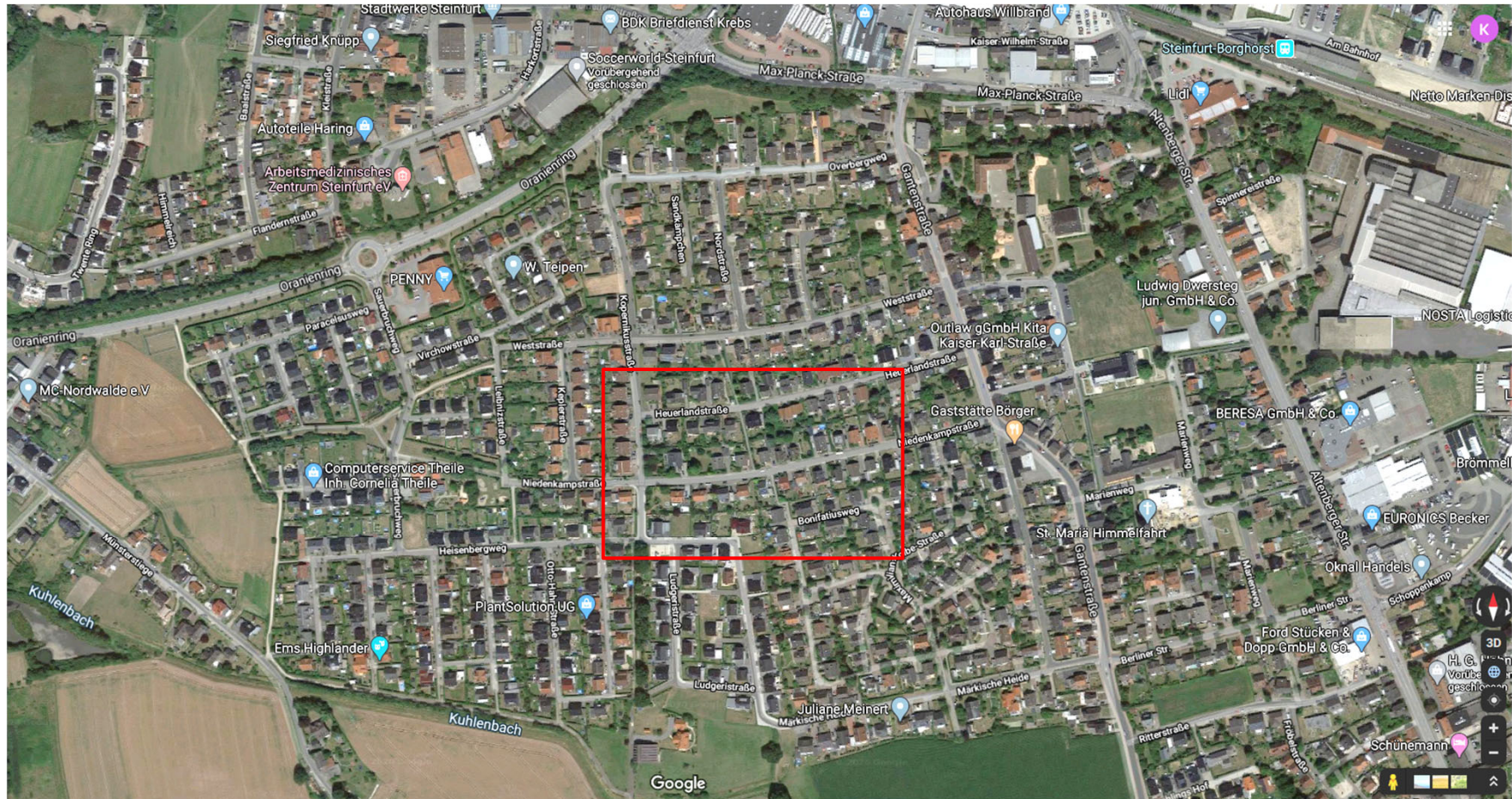
Beispiel Steinfurt



⇒ http://details.solare-stadt.de/kreis_steinfurt/

Die Dächer müssen genutzt werden: Es ist noch genug Platz...

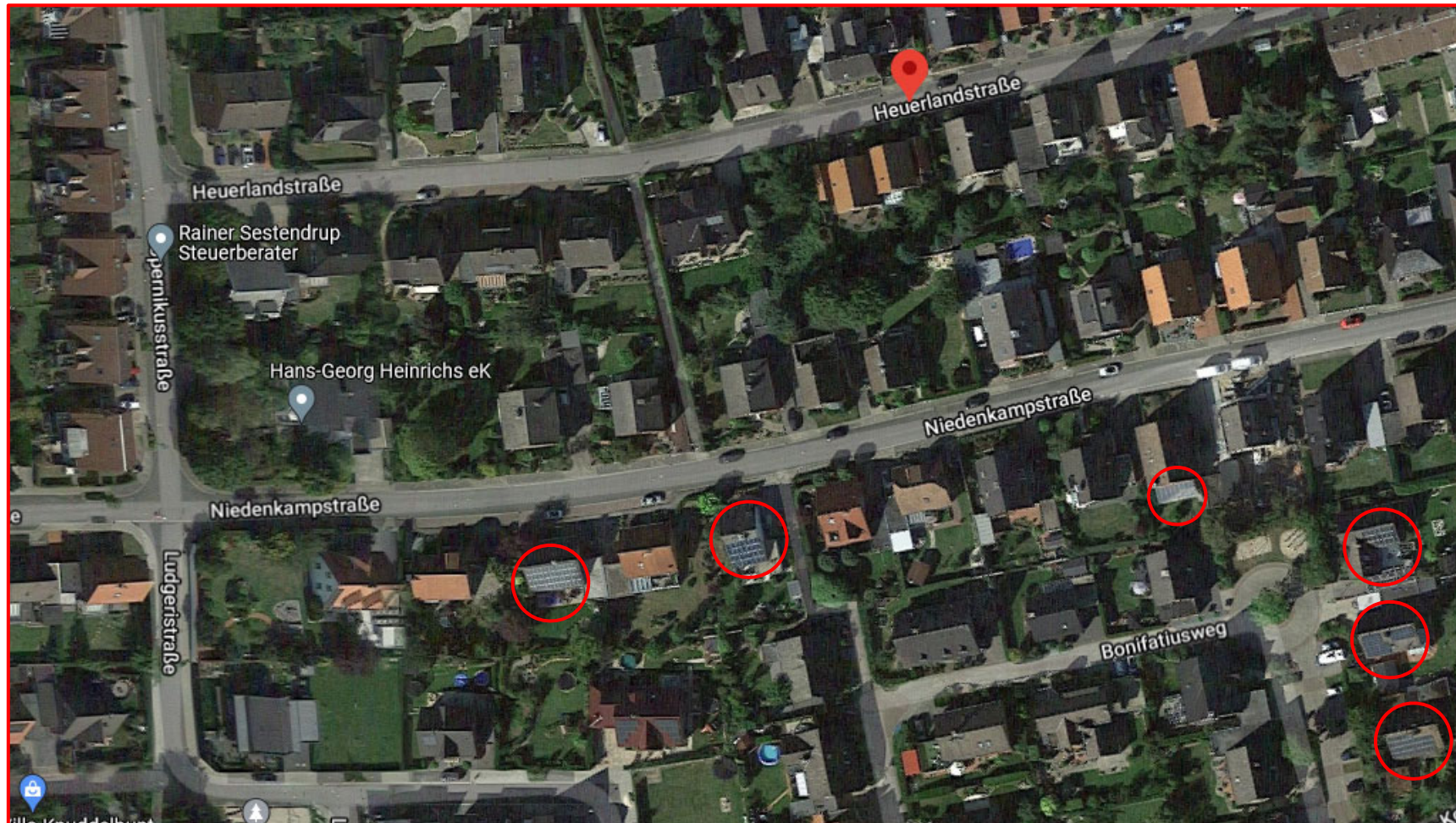
Beispiel Steinfurt:



Quelle: google maps

Die Dächer müssen genutzt werden: Es ist noch genug Platz...

Beispiel Steinfurt:



Quelle: google maps



6. Photovoltaik und Elektroautos?

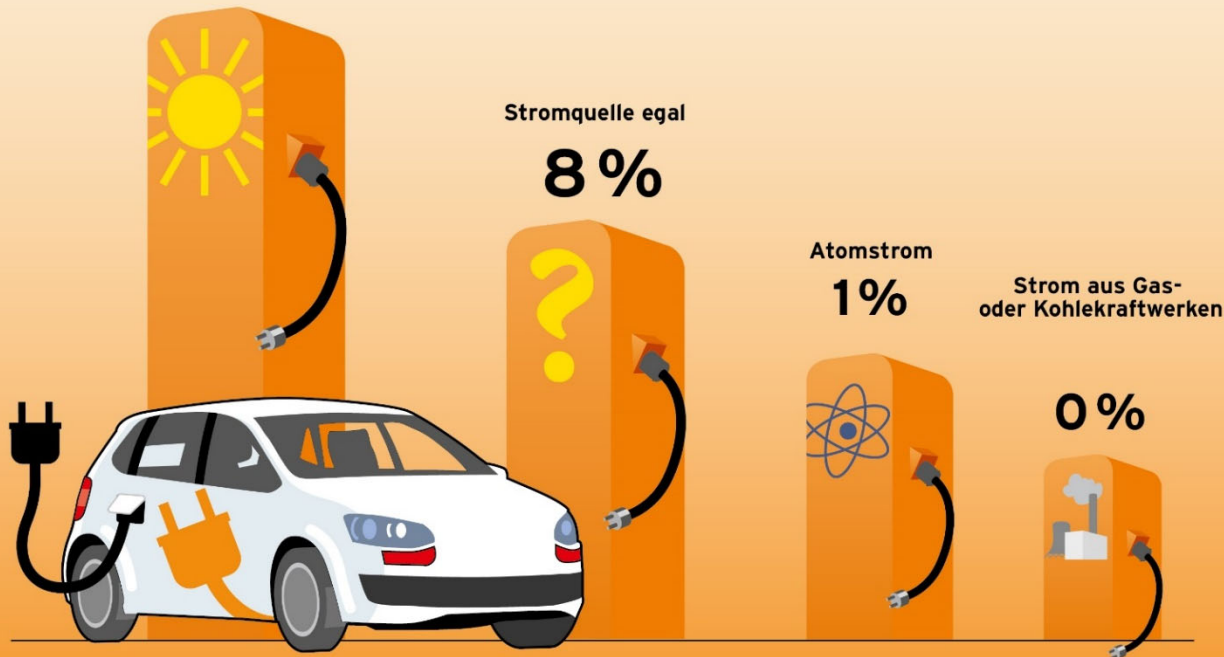
Nutzt die Dächer... auch für das Elektroauto...

90 Prozent würden Solarstrom tanken

Womit würden Sie bei gleichem Preis vorzugsweise tanken?

Solarenergie und andere
Erneuerbare Energien

90%



Basis: Autofahrer, für die grundsätzlich die Anschaffung eines Elektroautos in Frage kommt | An 100 Prozent fehlende Angaben = „weiß nicht“ | Forsa-Umfrage im Auftrag des BSW-Solar, 6/2018

www.solarwirtschaft.de

SOLARGRAFIK.de

Nutzt die Dächer... auch für das Elektroauto...

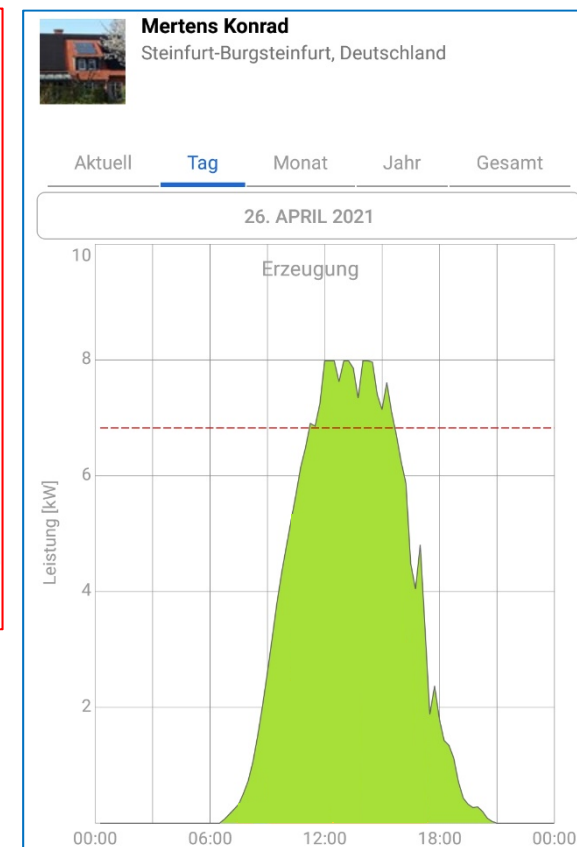
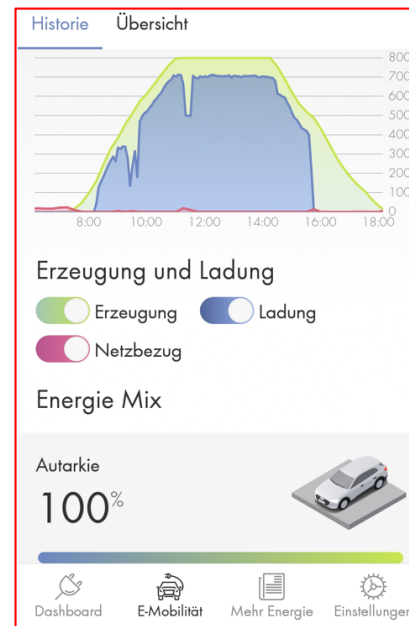
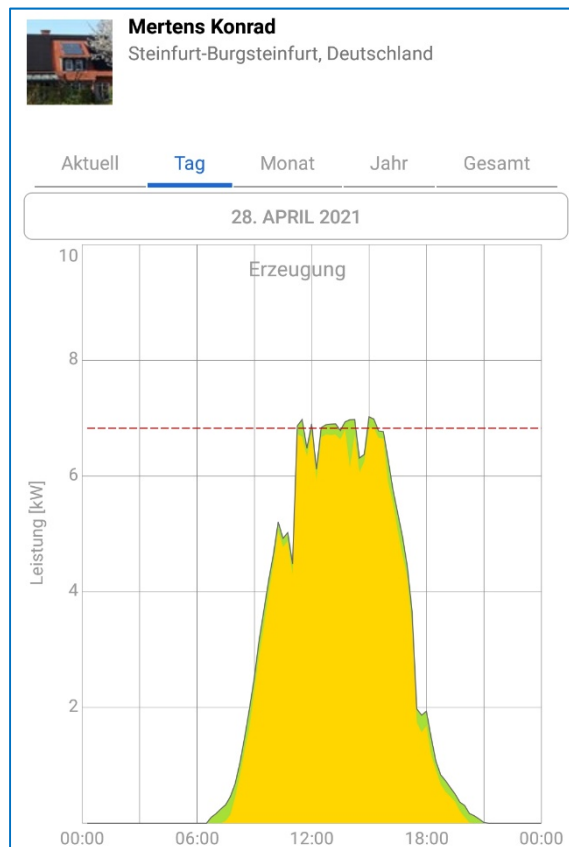
ohne Elektroauto

Tagesertrag: 54 kWh
Eigenverbrauch: 3 kWh



mit Elektroauto
(einphasig)

Tagesertrag: 58 kWh
Eigenverbrauch: 31 kWh



Nutzt die Dächer... auch für das Elektroauto...



⇒ z.B. 5 kWp - Anlage: 25.000 km pro Jahr!

⇒ besser: 10 kWp - Anlage: 25.000 km pro Jahr + 4500 kWh für Haushalt...

Wie man es nicht machen sollte:



Gewöhnungsbedürftig...



So bekommt man einen hohen Eigenverbrauchsanteil...☺



Wie man es nicht machen sollte:



Wie man es nicht machen sollte:





7. Fazit

Fazit

- Solarstrom ist inzwischen deutlich günstiger als Biomasse- und Offshore-Windkraft
- Die Einspeisevergütung allein reicht aktuell kaum noch für einen auskömmlichen Betrieb
- Durch Eigenverbrauch ist die Rendite dennoch akzeptabel bis sehr gut
- Speicher rechnen sich im Moment i.A. noch nicht, werden aber immer günstiger
- Die Elektromobilität wird den weiteren Ausbau der Photovoltaik beschleunigen
- Macht die Dächer voll, woher soll der Strom denn sonst kommen???

Lehrbuch: Photovoltaik – Grundlagen, Technologie und Praxis

Photovoltaik verstehen?
www.lehrbuch-photovoltaik.de



★★★★★ **Vermutlich das PV Standardwerk - empfehlenswert !**

Rezension aus Deutschland vom 14. November 2019

Verifizierter Kauf

Das Buch ist selbst für ambitionierte Nichttechniker extrem hilfreich und gibt einen guten Überblick über PV - Wissen Stand der Technik. Kann das Buch wirklich empfehlen, da es die technischen Grundlagen gut verstehbar vermittelt.

Abbildungen des Lehrbuchs Photovoltaik

Im Folgenden finden Sie eine Auswahl der im Lehrbuch Photovoltaik vorhandenen Abbildungen.

Diese dürfen nur unter Angabe der Quelle "**K. Mertens, www.lehrbuch-photovoltaik.de**" verwendet werden.

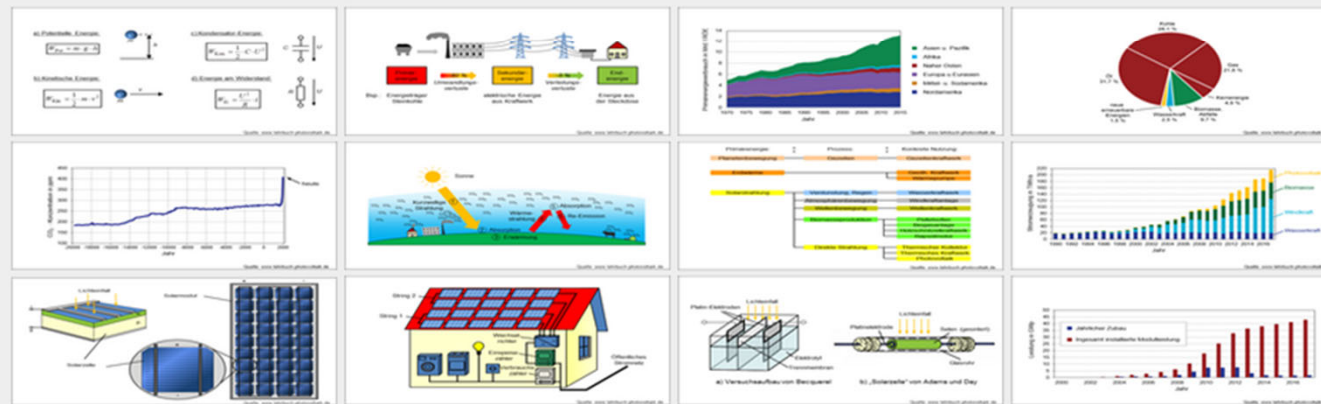
Alternativ kann die vollständige Quellenangabe genutzt werden:

Konrad Mertens, "Photovoltaik - Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis", Hanser Verlag, 2018

Tipps:

- Die Titel der Bilder erscheinen beim Überfahren mit der Maus.
- Um die Bilder elegant durchblättern zu können, erlauben Sie bitte die Option "Java-Script" an ihrem Browser.
- Zum Speichern eines Bildes auf dem eigenen Rechner klicken Sie direkt, nachdem Sie auf das gewünschte Bild geblättert haben, mit der rechten Maustaste auf das gewünschte Bild und wählen "Grafik speichern unter".

Abbildungen aus Kapitel 1: Einführung



- Startseite
- Informationen zum Buch
- Abbildungen
- Übungsaufgaben
- Software
- Links
- Errata
- Kontakt
- Englisches Buch

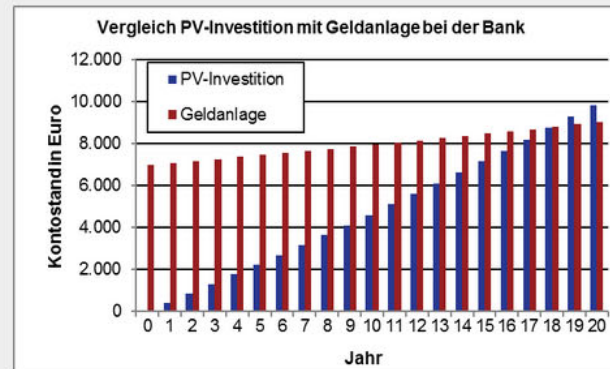
Software zum Lehrbuch Photovoltaik

Zur Vertiefung der Inhalte des Buches finden Sie hier einige Programme.

Diese dürfen kostenlos heruntergeladen und genutzt werden.

Objektrenditeberechnung 2.0

Dieses Programm dient zur einfachen und nachvollziehbaren Berechnung der Rendite einer Photovoltaikanlage. Hierzu wird die Objektrendite ermittelt, bei der man die Investition in eine Photovoltaikanlage vergleicht mit der Geldanlage bei einer Bank.



[Download](#)

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | | | | |
|----|--|-----------------------|---------|----------|---|---|---|---|---|---|--------|----------------|------------|-----------|
| 1 | Eingaben | | | | <div style="text-align: center;"> <p>Vergleich PV-Investition mit Geldanlage bei der Bank</p> </div> | | | | | | | | | |
| 2 | Investitionssumme | K_0 | 7.000 | Euro | | | | | | | | | | |
| 3 | Installierte PV-Leistung | P_{PV} | 5,00 | kWp | | | | | | | | | | |
| 4 | Kosten pro installierter Leistung | k_0 | 1400,00 | Euro/kWp | | | | | | | | | | |
| 5 | Erwarteter spezifischer Jahresertrag | w_{Jahr} | 900 | kWh/kWp | | | | | | | | | | |
| 6 | Vergütung laut EEG | k_{EEG} | 12,0 | Cent/kWh | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Ergebnisse | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Jährliche Betriebskosten (1,5 % von K_0) | $K_{Betrieb}$ | 105,00 | Euro | | | | | | | | | | |
| 10 | Jährliche Einnahmen | K_{Ein} | 540,00 | Euro | | | | | | | | | | |
| 11 | Jährlicher Überschuss | $K_{Überschuss}$ | 435,00 | Euro | | | | | | | | | | |
| 12 | Amortisationszeit | T_A | 16,1 | Jahre | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Vergleich zwischen PV-Investition und Geldanlage bei der Bank: | | | | | | | | | | Jahr | PV-Investition | Geldanlage | Differenz |
| 16 | | | | | | | | | | | [Euro] | [Euro] | [Euro] | |
| 17 | Angenommener Zinssatz / Rendite | ρ | 1,3 | % | | | | | | | 0 | 0 | 7.000 | -7.000 |
| 18 | | Zinssatz ist zu klein | | | | | | | | | 1 | 435 | 7.090 | -6.655 |
| 19 | Differenz nach 20 Jahren: | D | 815 | Euro | | | | | | | 2 | 876 | 7.181 | -6.305 |



Vortragsfolien zum Download: www.fh-muenster.de/mertens
(ganz unten...)

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!