

Photovoltaik für Privateigentümer - Kein Dach ohne Solarstrom!

Prof. Konrad Mertens

Labor für Optoelektronik und Sensorik, Photovoltaik-Prüflabor

Fachbereich Elektrotechnik und Informatik

Fachhochschule Münster

Gliederung:

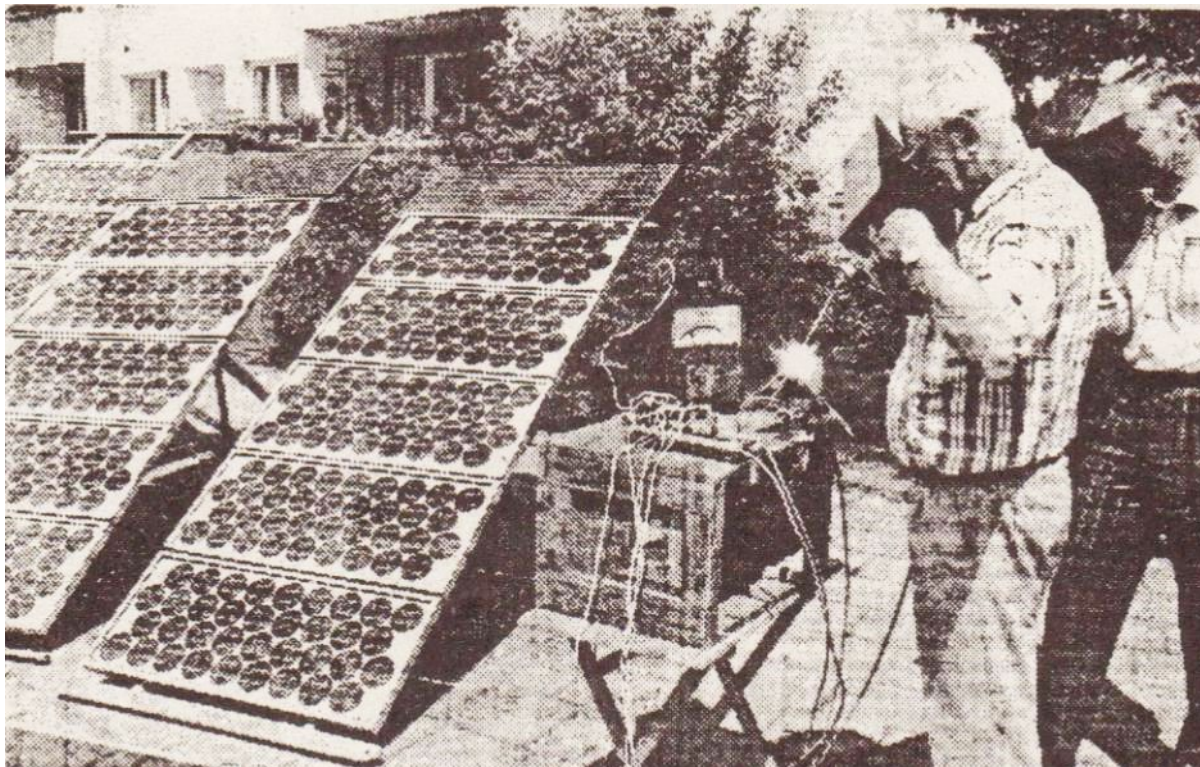
1. Was heißt hier Klimaschutz?
2. Einführung zur Photovoltaik
3. Markt- und Preisentwicklung
4. Wirtschaftlichkeit von konkreten Anlagenbeispielen
5. Speicherung von Solarstrom
6. Photovoltaik und Elektroautos?
7. Fazit

Zur Person

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



Vorführung: Schweißen mit Solarenergie...



www.sfv.de

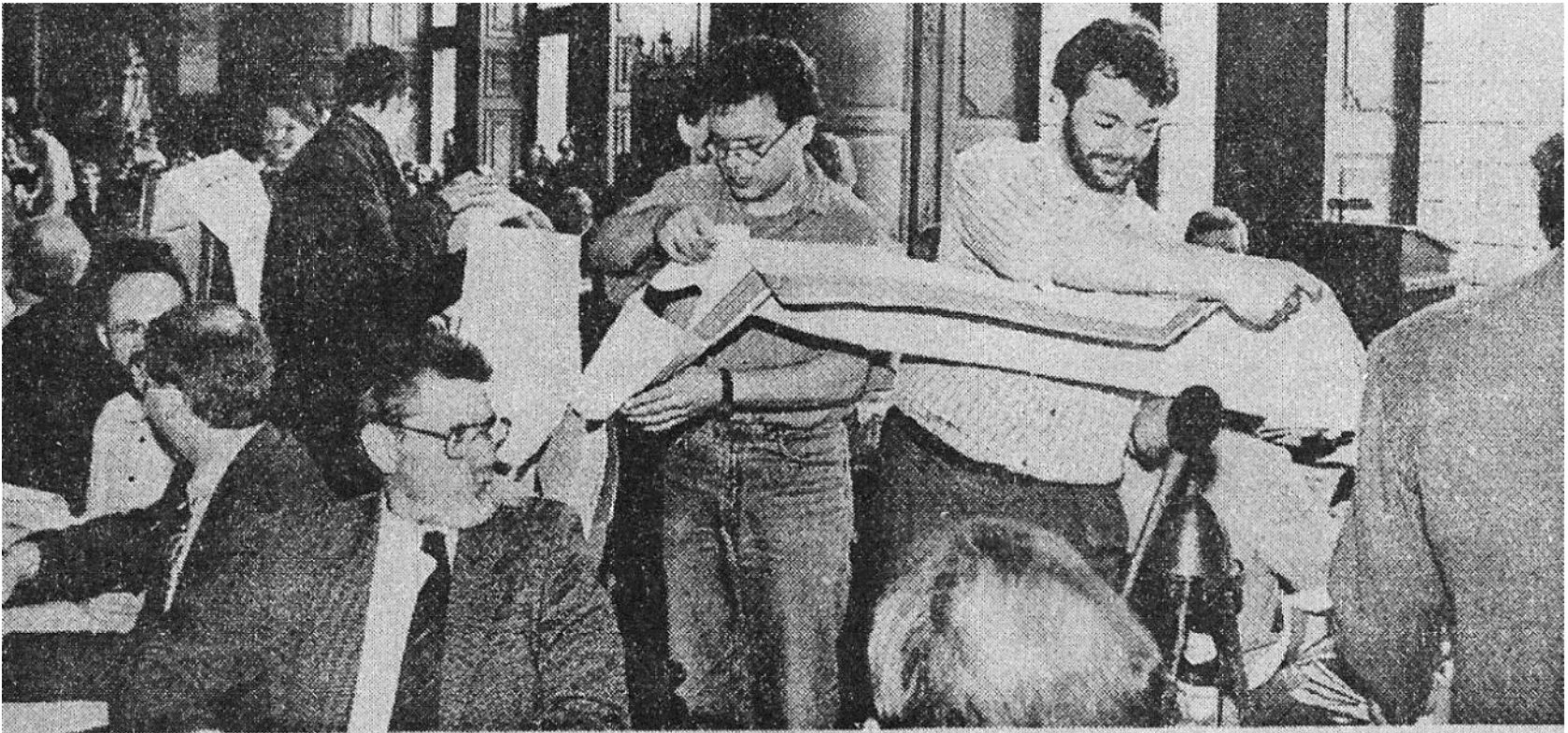
Zur Person

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



Zur Person

Einsatz für kostendeckende Vergütung...

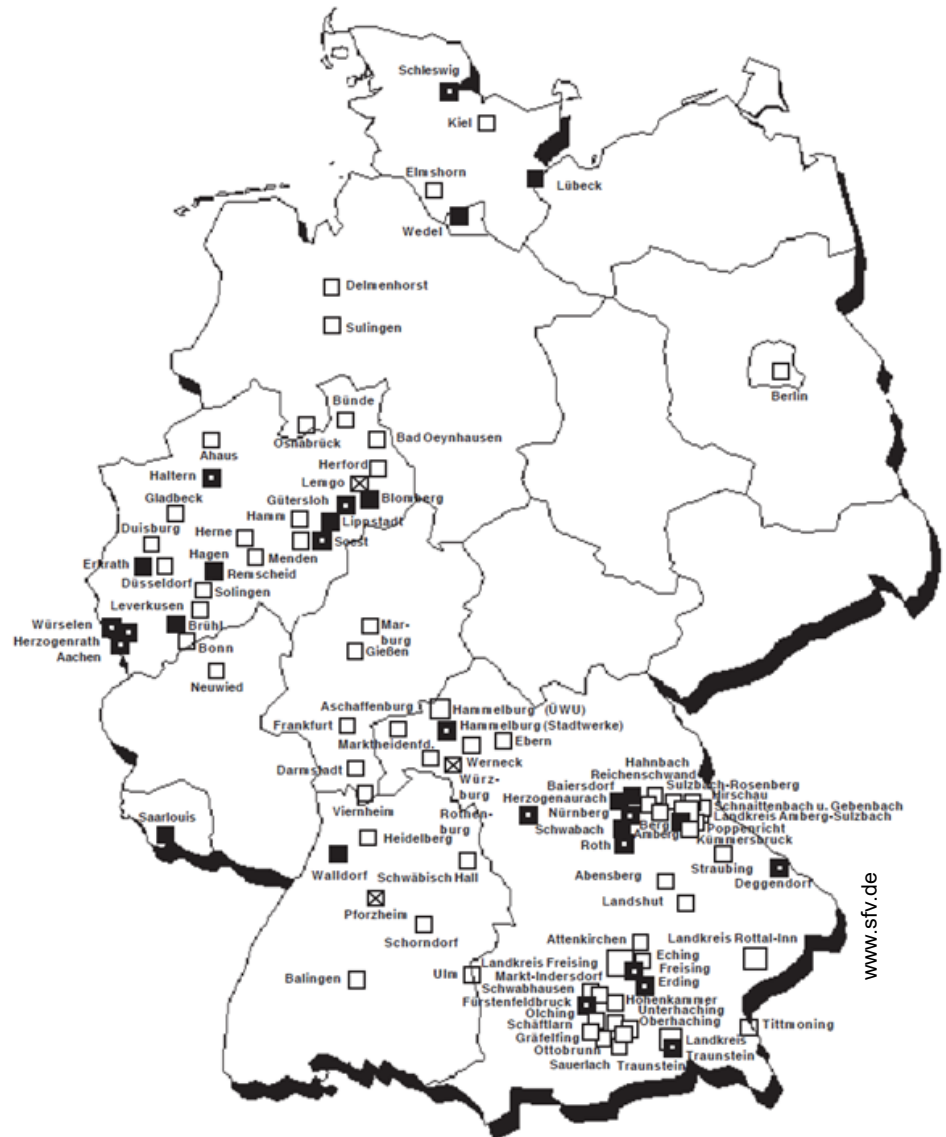


Befürworter des „Aachener Modells“ entrollten im Rathaus eine 60 Meter lange Papierbahn: zusammengeklebte Blätter mit rund 2 500 Unterschriften für die kostengerechte Vergütung. Fotos: Harald Krömer

www.sfv.de

Zur

- 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)



Foto: Mertens

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:

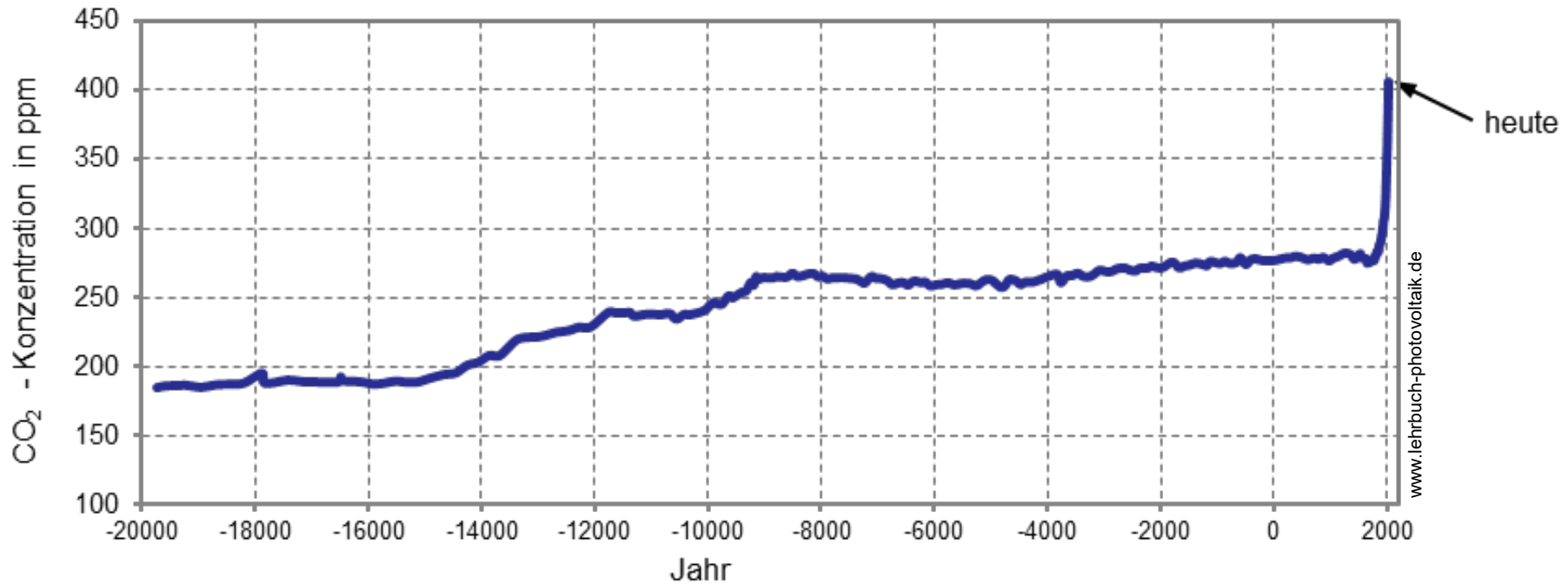
- Photovoltaik
- Sensorik
- Lichtwellenleitertechnik

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:



Foto: Dean Miller/dpa

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

Der Klimawandel hat schon begonnen:

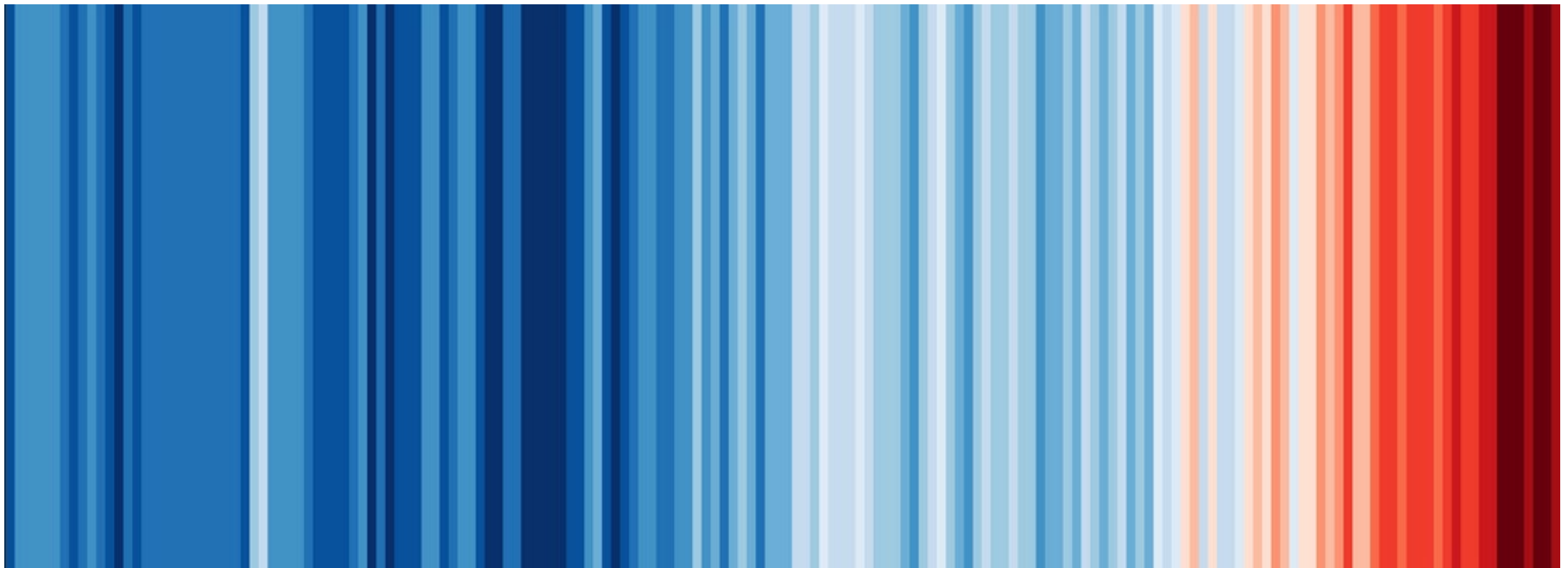


Norditalien, Sommer 2022

Quelle: Mauro Ujetto/NurPhoto via Getty Images

Was ist das?

Jahrestemperaturen seit 1881:

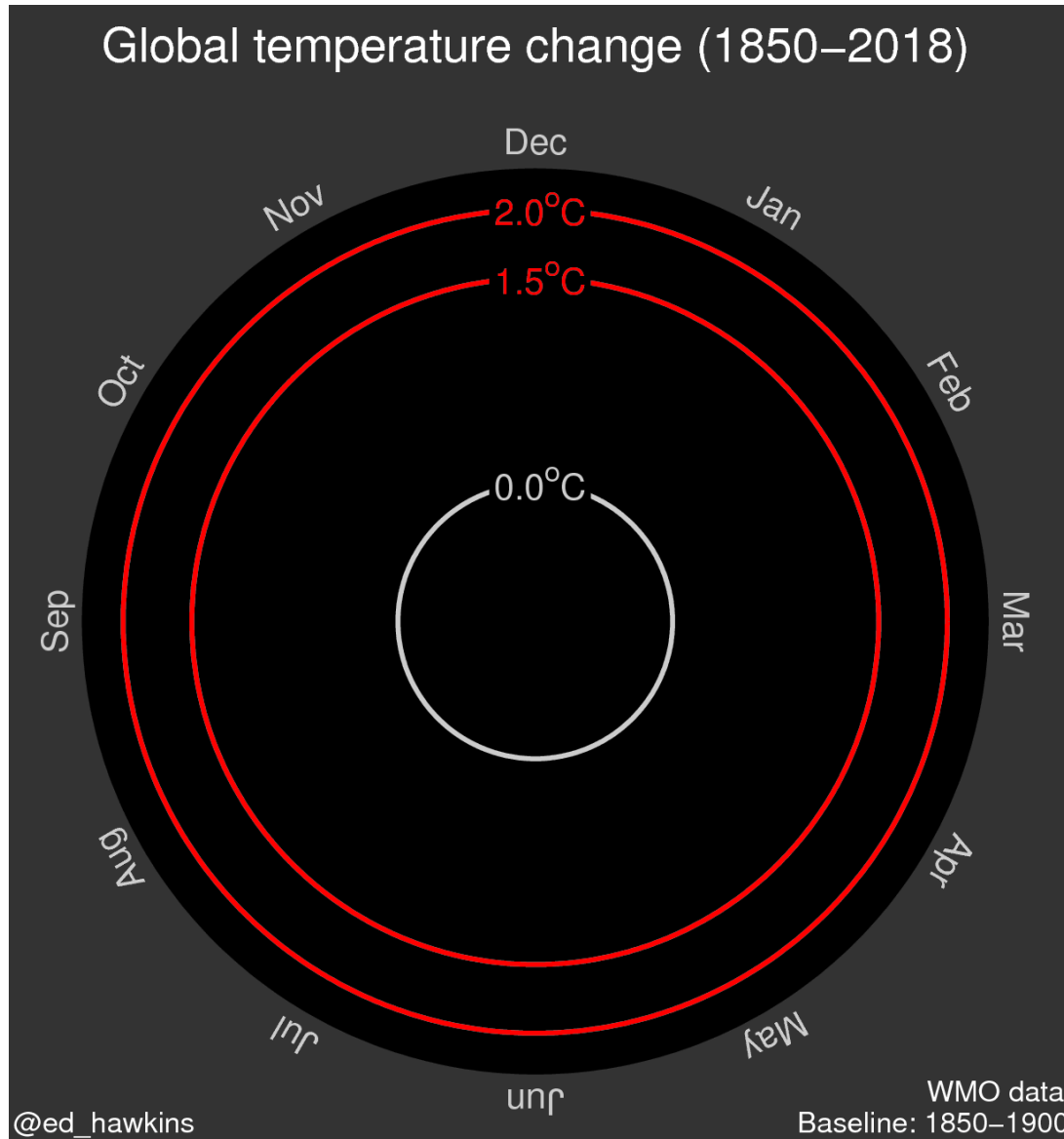


1881

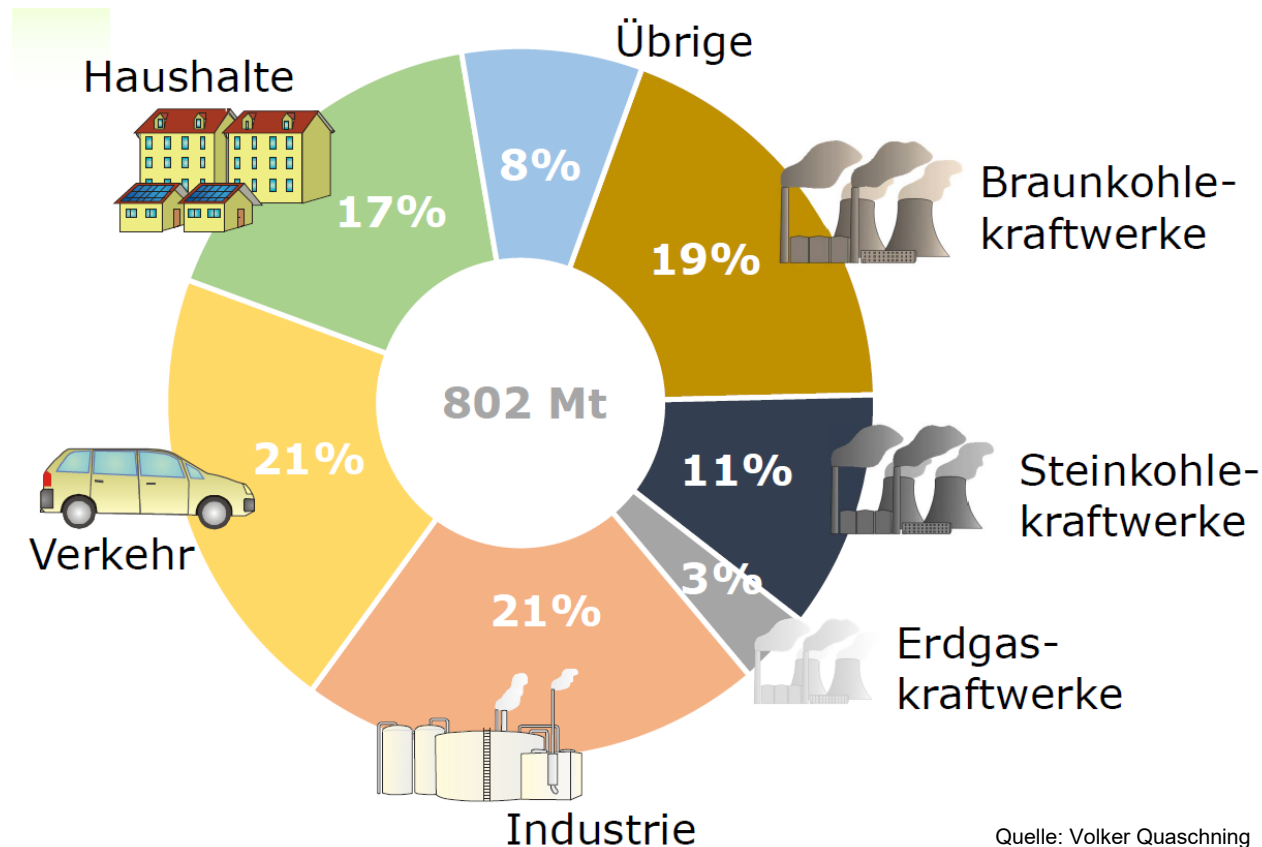
2021

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

Gliederung:

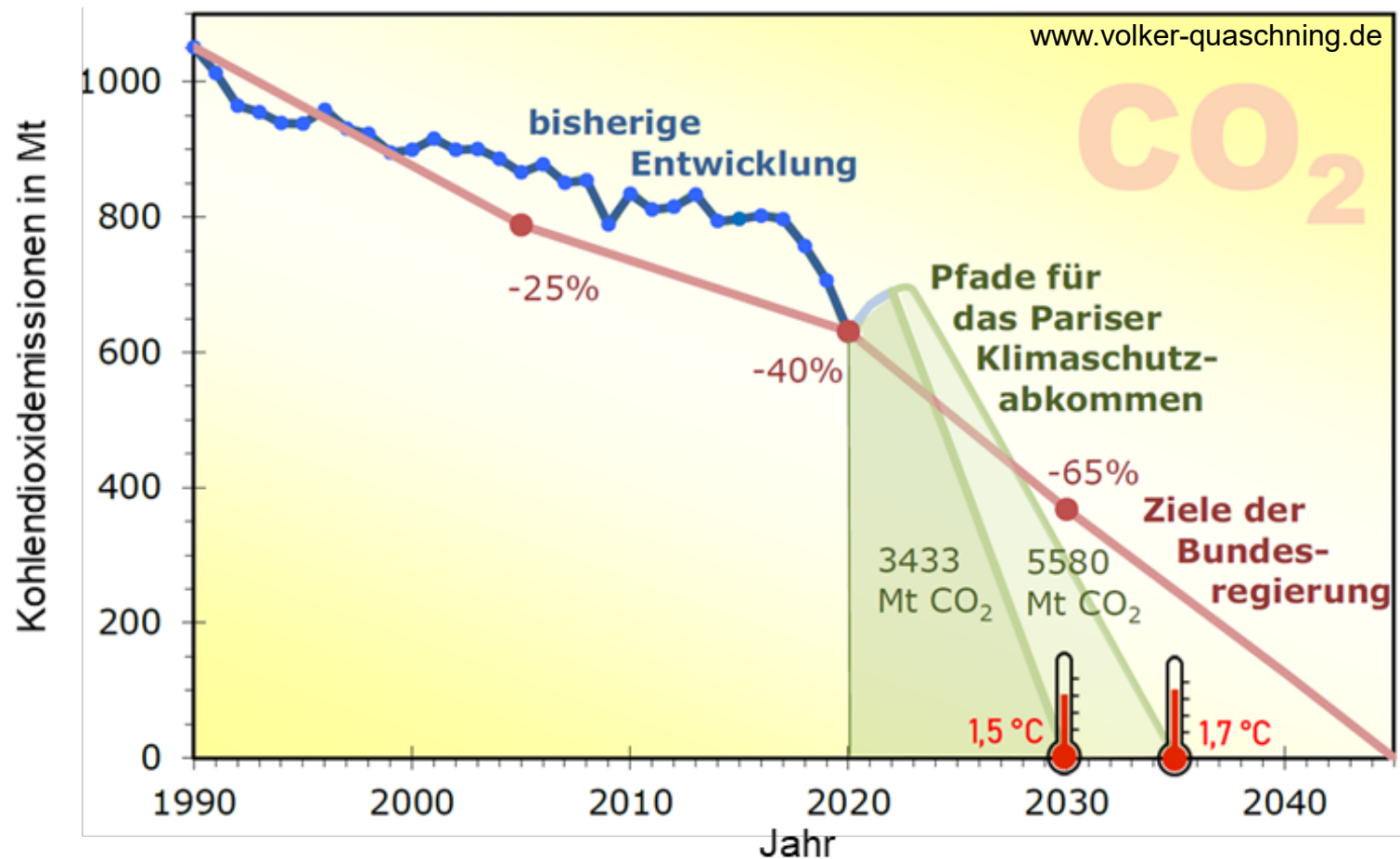


Verursacher der deutschen CO2-Emissionen:



- ⇒ Start mit Kohlekraftwerken ist sinnvoll
- ⇒ Parallel müssen die anderen Sektoren umgebaut werden!

Zukunft der Kohlendioxidemissionen in Deutschland:

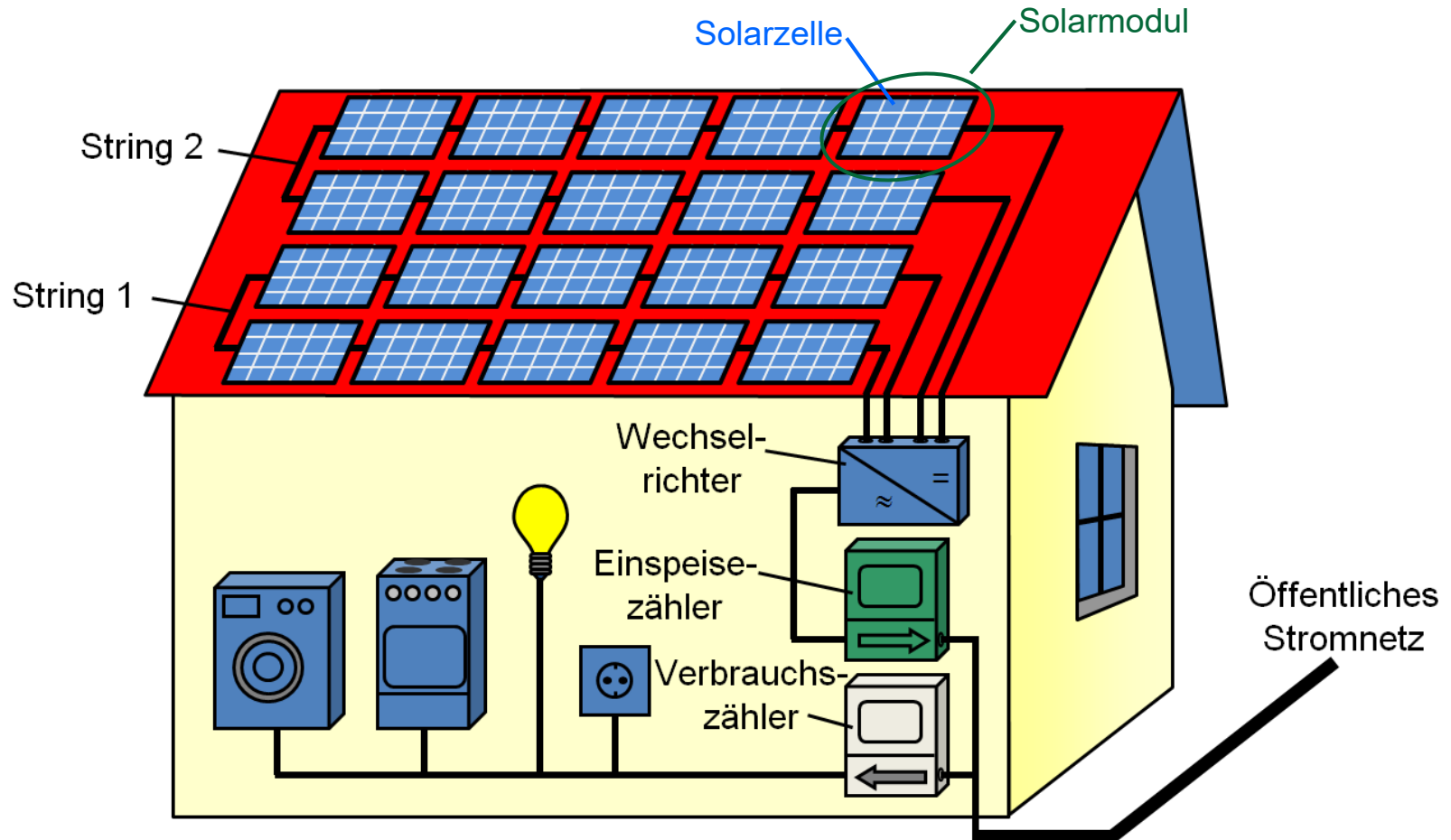


⇒ Wo soll die Energie denn herkommen?

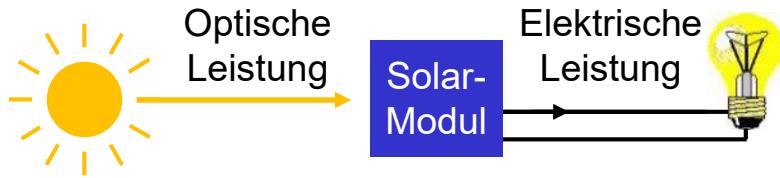
⇒ Aus Solarstrom? Ja, unter anderem!

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!

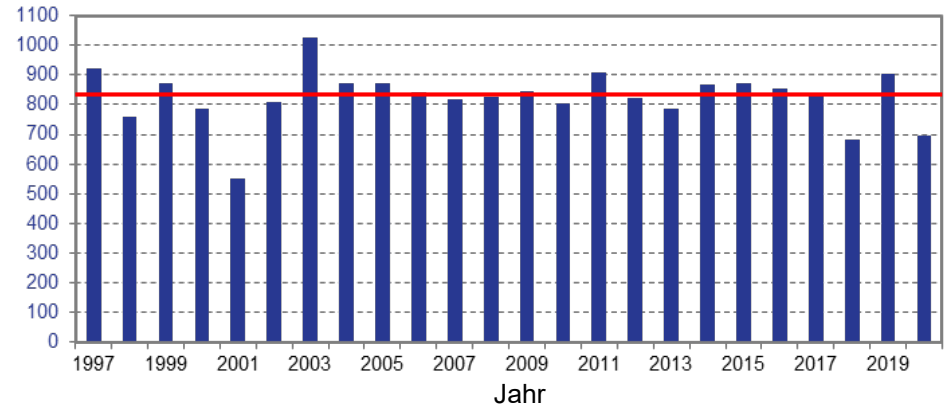
Beispiel des Energieertrags realer Anlagen:

a) Anlage Aachen

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



Spezifischer jährlicher Ertrag in kWh/kWp



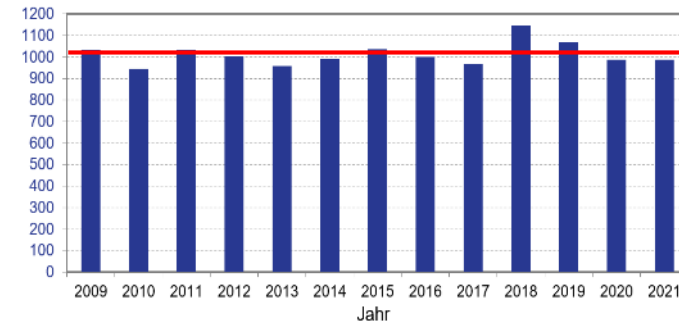
⇒ Durchschnittlicher Ertrag: 830 kWh/kWp

b) Anlage Steinfurt

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



Ertrag in kWh/kWp



⇒ 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
	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
	Südwest	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
		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	87,1	84,9	82,4	79,7	76,7	73,3	69,7	66,1
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	
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	
West	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	
	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 755 kWh/kWp)

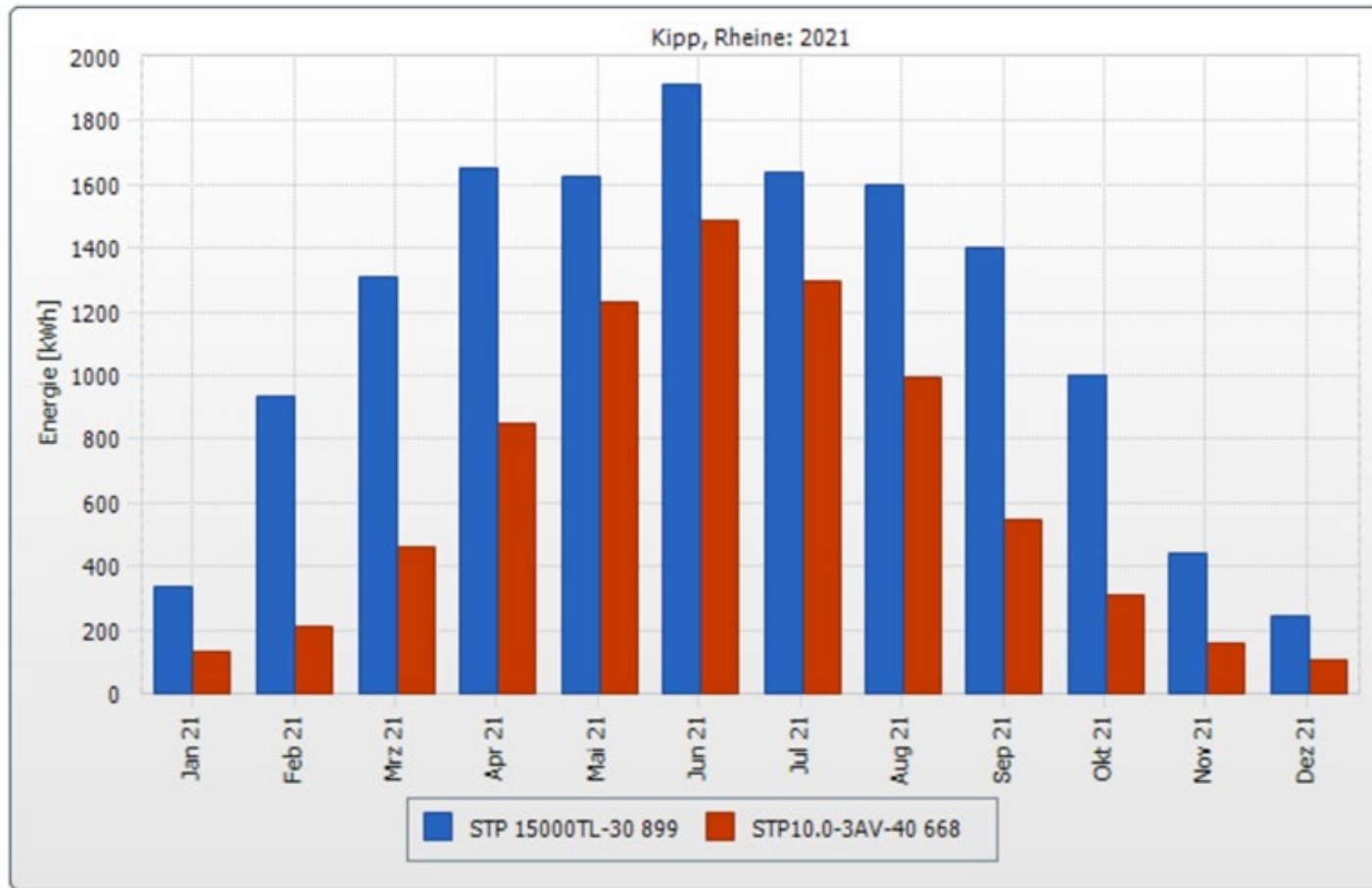
Ertragsabhängigkeit von der Dachausrichtung

		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									
		-175°	87,8	84,2	80,2	76,0	71,7	67,5	63,4	59,4	55,4	51,5									
		-170°	87,8	84,2	80,2	76,1	71,9	67,7	63,6	59,5	55,5	51,8									
		-165°	87,8	84,3	80,4	76,2	72,1	68,0	63,9	59,9	56,0	52,3									
		-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	57,2	54,8	52,6	50,4	48,3	46,2	44,1	42,1	40,1
		-130°	87,8	85,4	82,7	79,6	76,5	73,4	70,2	67,2	64,3	61,6	59,2	56,8	54,6	52,4	50,1	48,0	45,9	43,8	41,7
		-125°	87,8	85,6	83,1	80,3	77,5	74,6	71,6	68,8	66,1	63,6	61,2	58,9	56,7	54,4	52,2	50,0	47,8	45,5	43,3
		-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
		Ost	-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
	-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
	Südost	-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
		-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	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. Nordostdach mit 30 Grad Neigung:

- 31 % Minderung
- (entspricht Ertrag von rund 621 kWh/kWp)

Anlage auf dem Norddach?



Quelle: Peter Nagelmann, Marienstr 21, Rheine

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

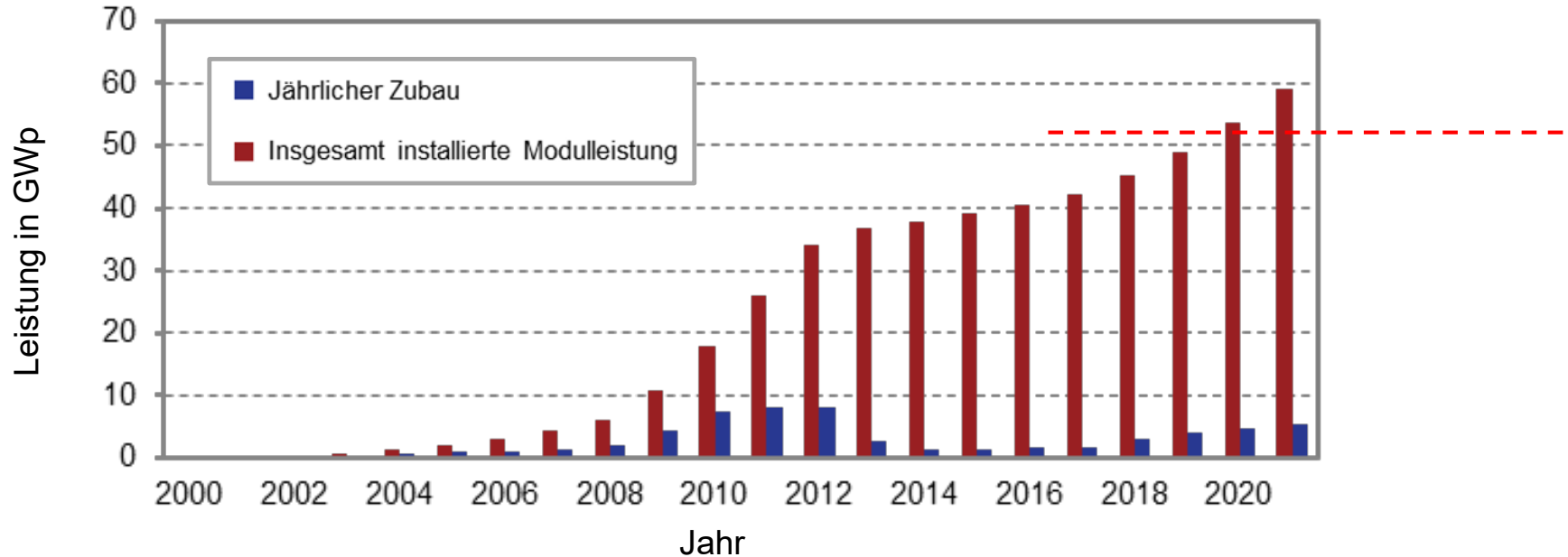
3. Markt- und Preisentwicklung

Ausbau der Photovoltaik in Deutschland

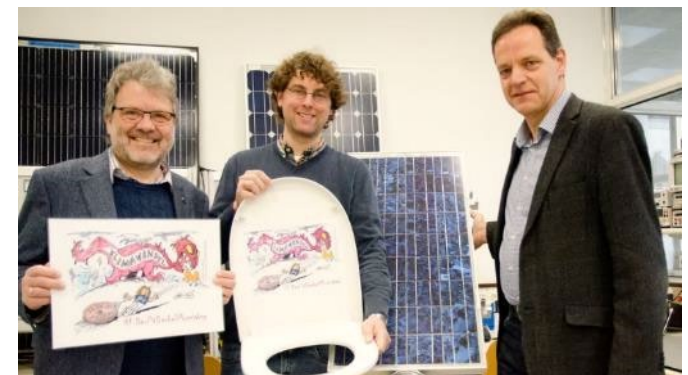
- Installierte Leistung in GWp:



Der 52 GW-Deckel!

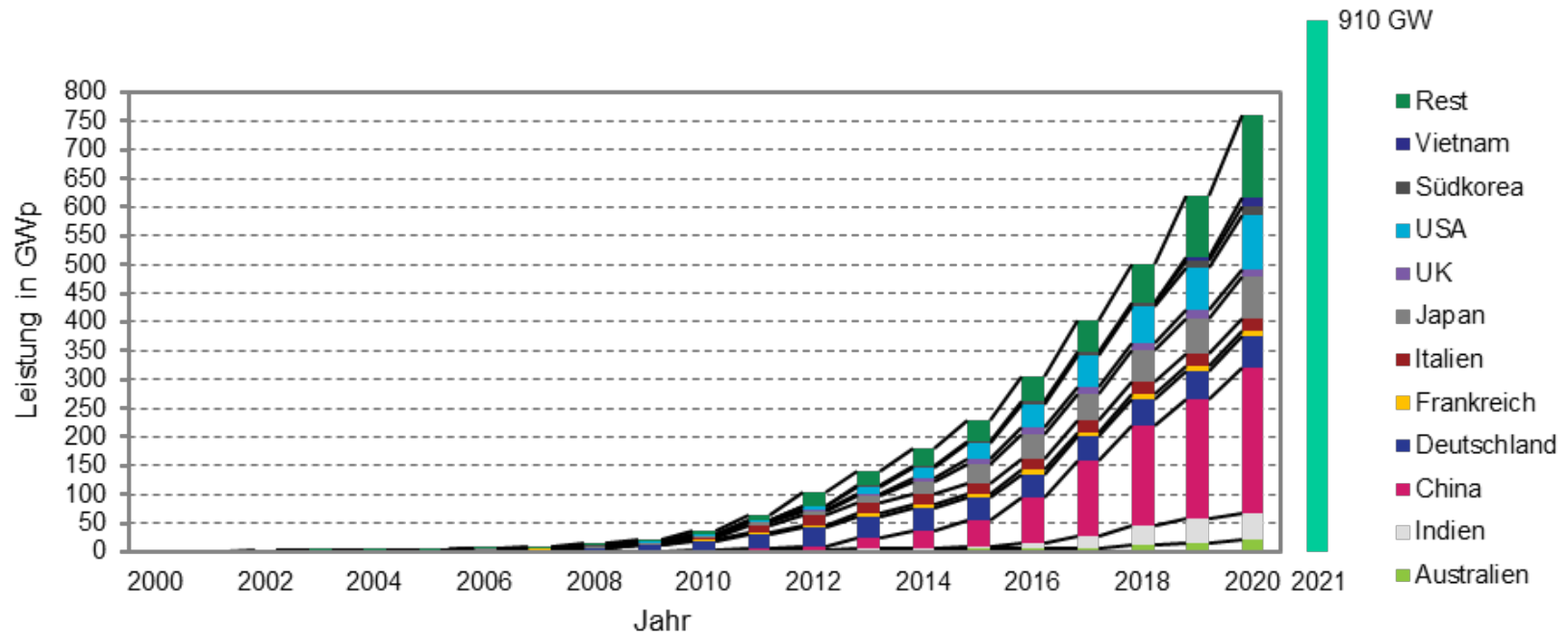


- Jährlicher Zubau zwischenzeitlich bei ca. 7 GWp/Jahr
- Aktuell (2022): ca. 7 GWp/Jahr
- Eigentlich brauchen wir 10 - 15 GWp/Jahr
- **Der 52 GW-Deckel ist weg!**



Weltweites Wachstum der Photovoltaik

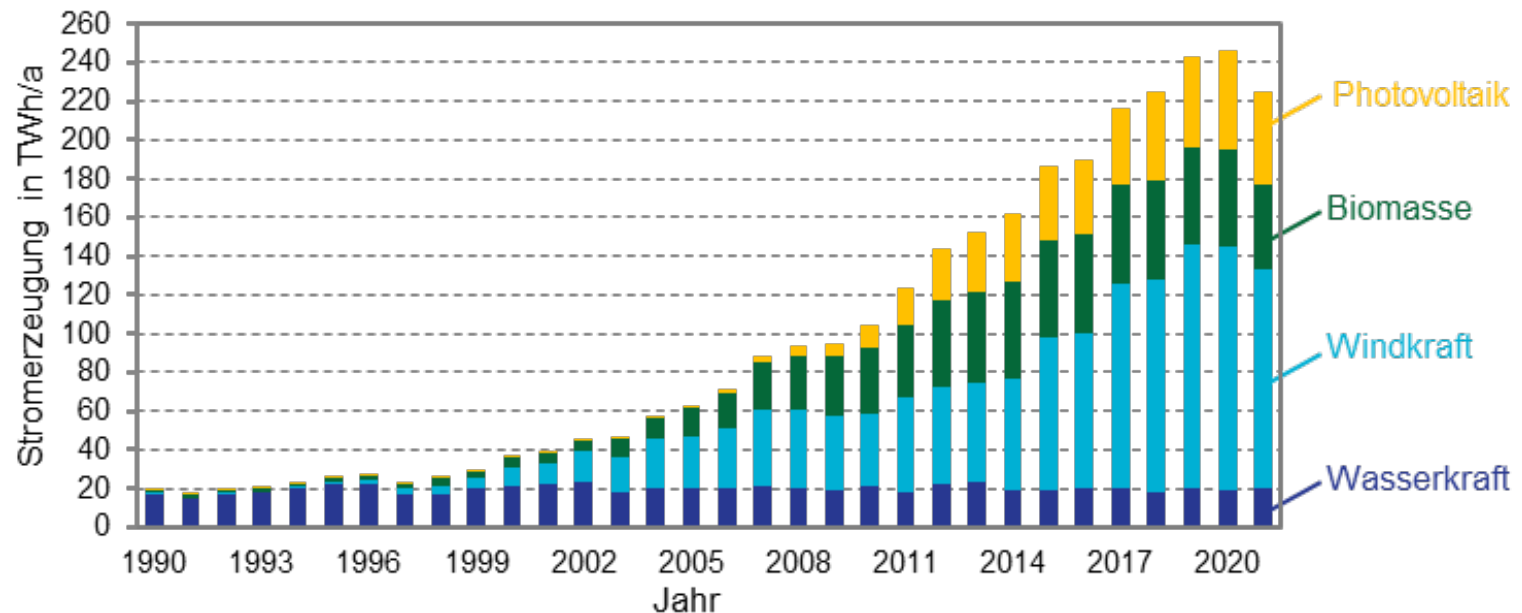
- Bislang weltweit installierte Leistung in GWp:



- Wachstumsraten über 40 %
- 2019 bis 2021: jeweils rund 100 GWp zusätzlich installiert!
- Europa spielt aktuell kaum noch eine Rolle

Stromerzeugung durch erneuerbare Energien in Deutschland

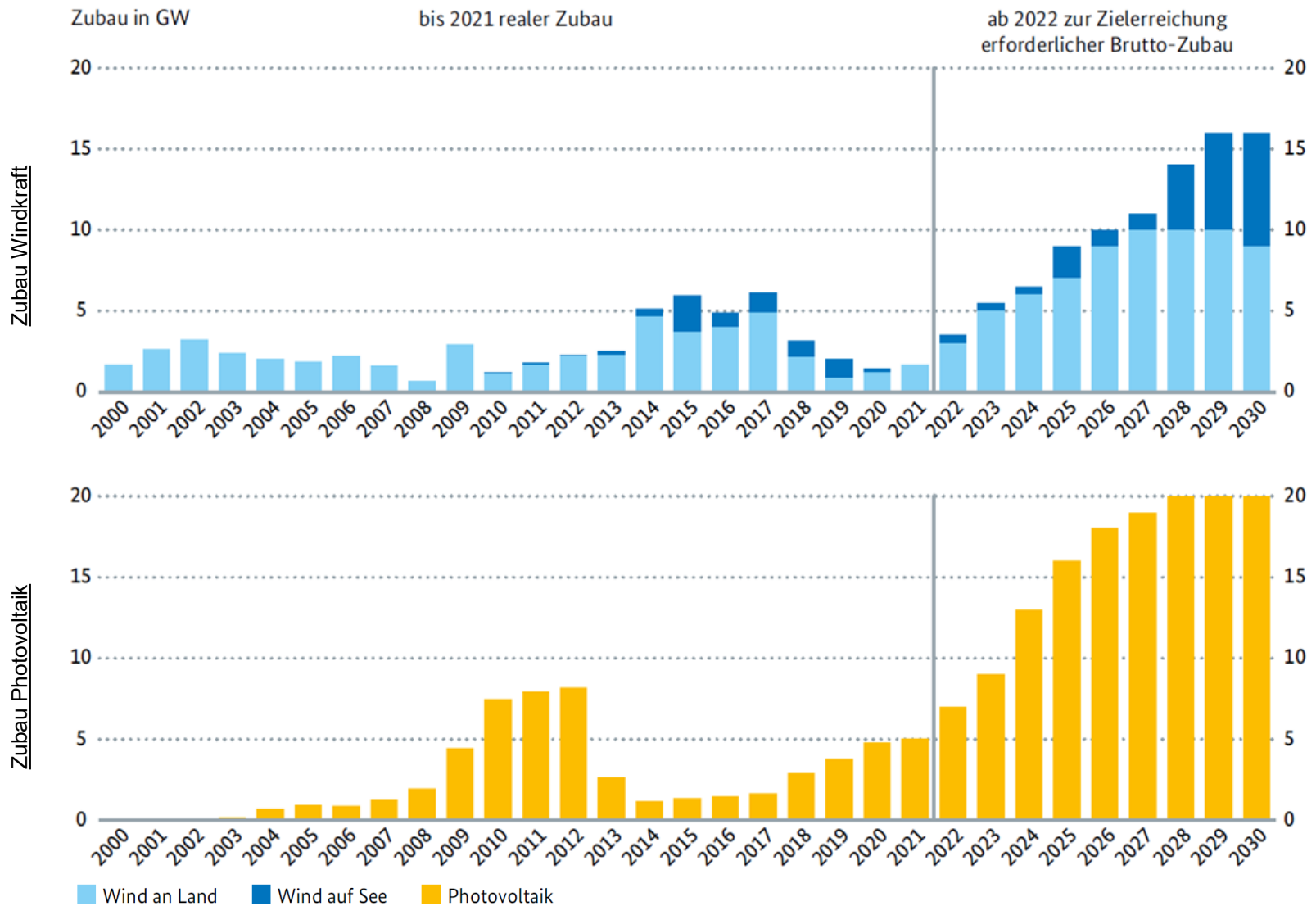
- Stromerzeugung in Mrd. kWh



Aktueller Status (2021):

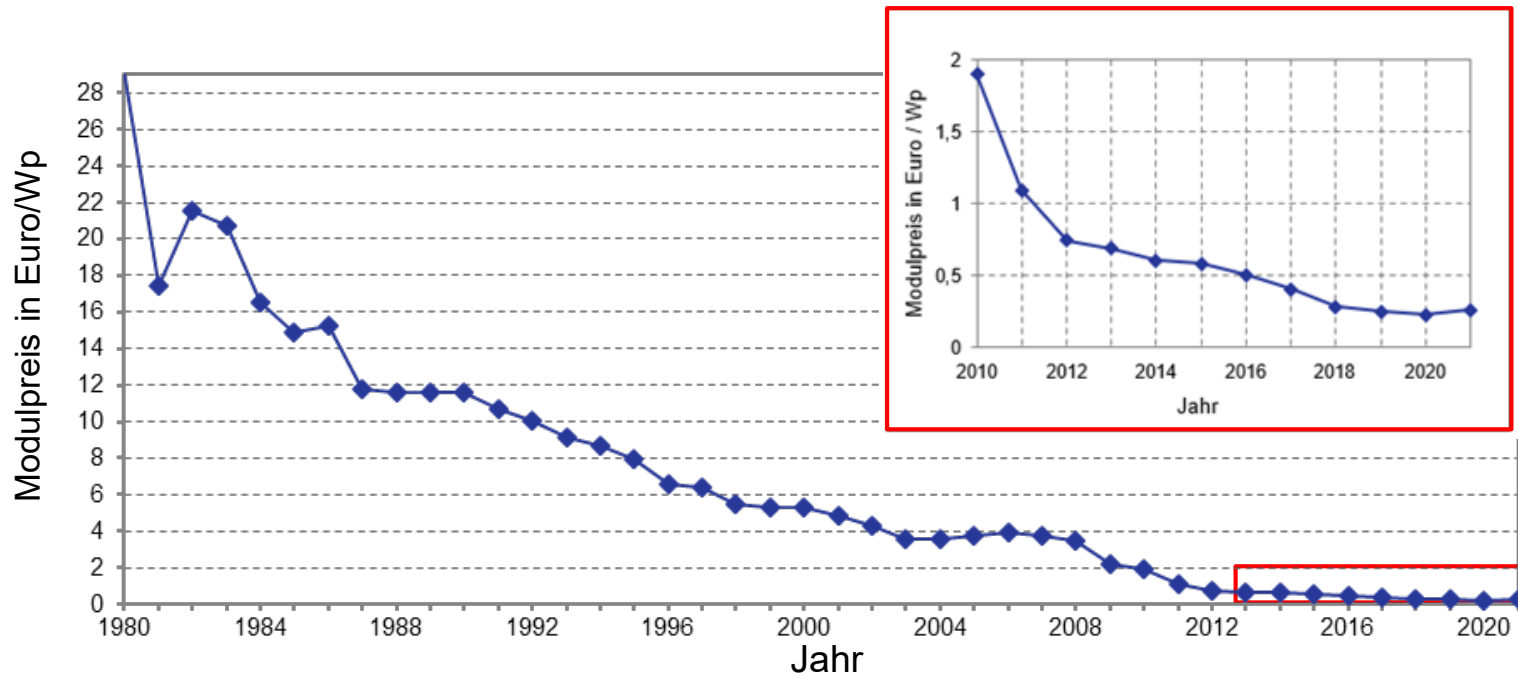
- Anteil der erneuerbaren Energien am Nettostrombedarf: 50 %
- Anteil der Photovoltaik am Nettostrombedarf: 10 %

Geplanter Ausbau von Photovoltaik und Windkraft durch die neue Regierung



Preisentwicklung:

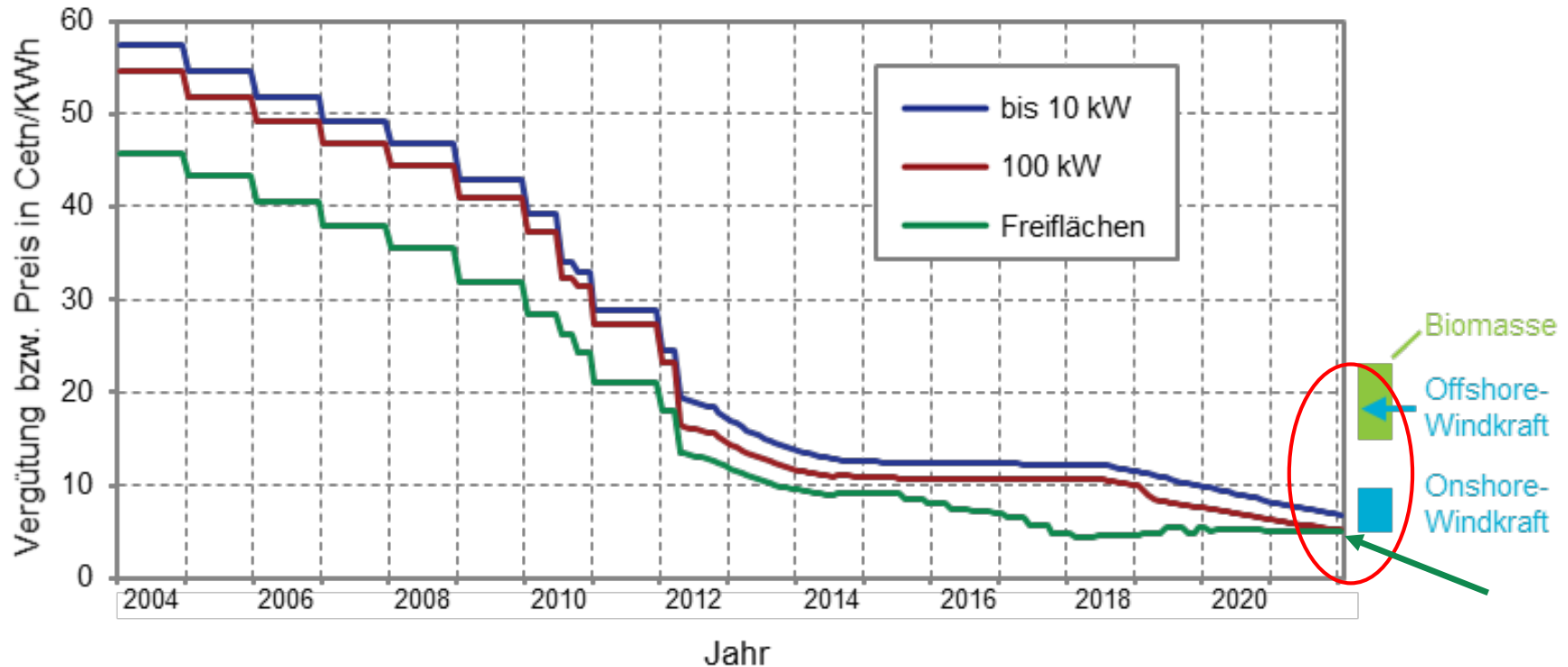
- Modulpreise seit 1980 (inflationsbereinigt):



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

Preisentwicklung:

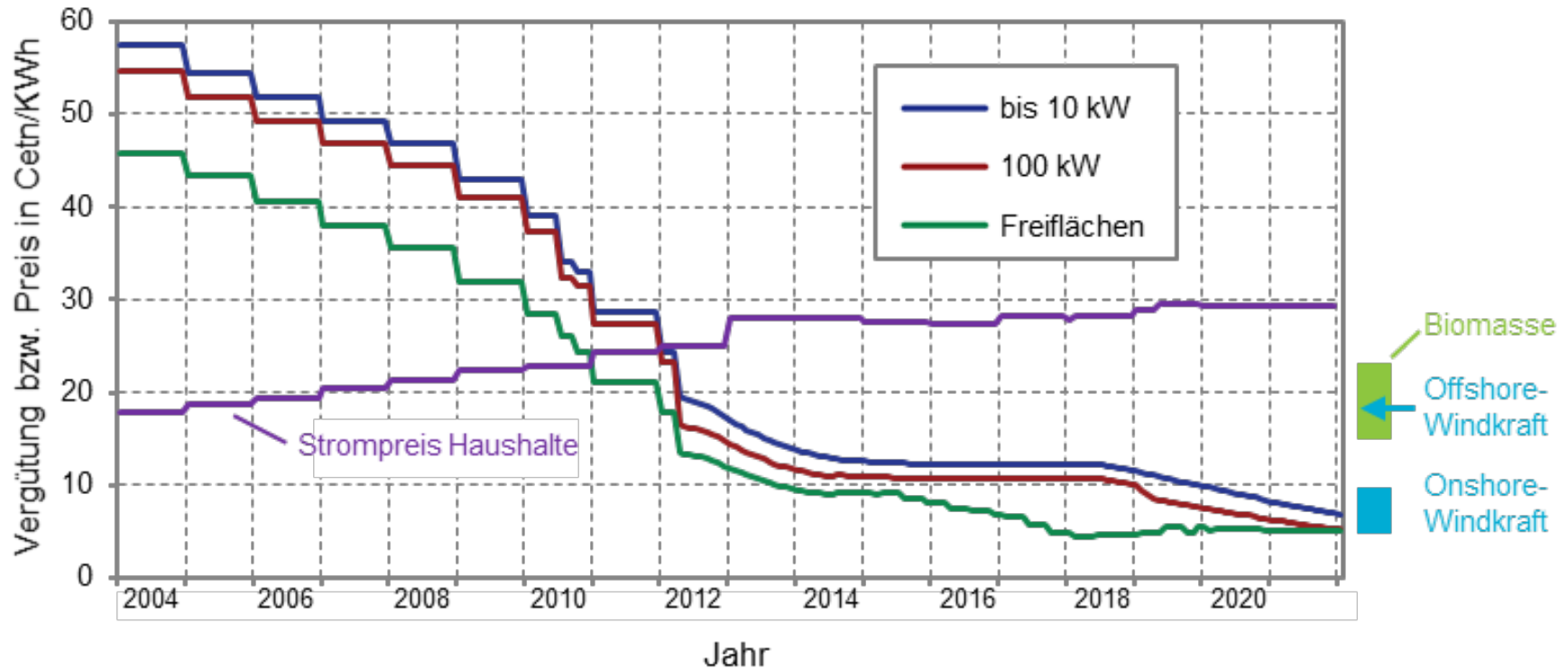
- Entwicklung der Einspeisevergütung seit 2004:



- ⇒ 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:

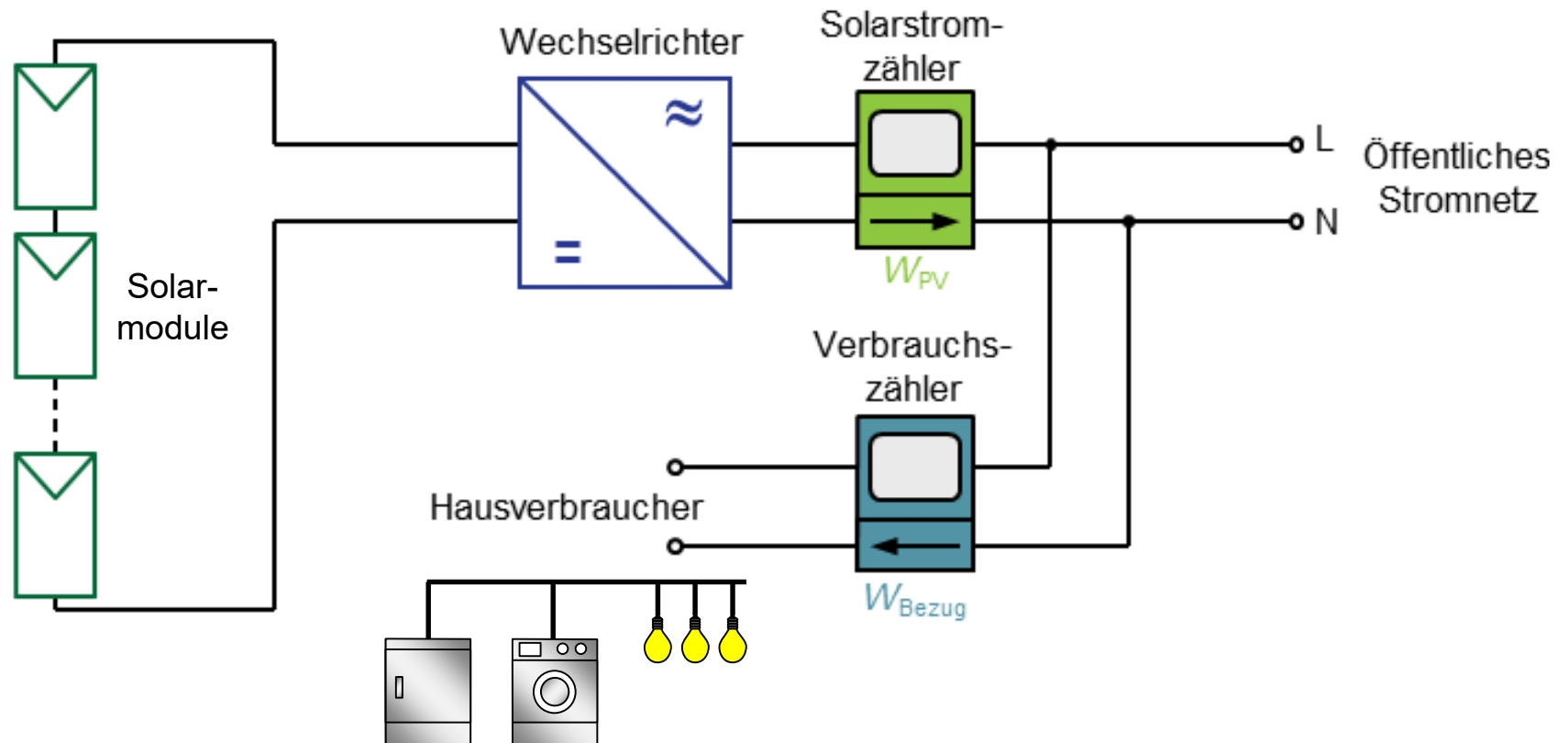
- Einspeisevergütung und Strompreis



⇒ Eigenverbrauch lohnt sich!

4. Wirtschaftlichkeit von konkreten Anlagenbeispielen

Beispiel A: 10 kWp-Anlage ohne Eigenverbrauch



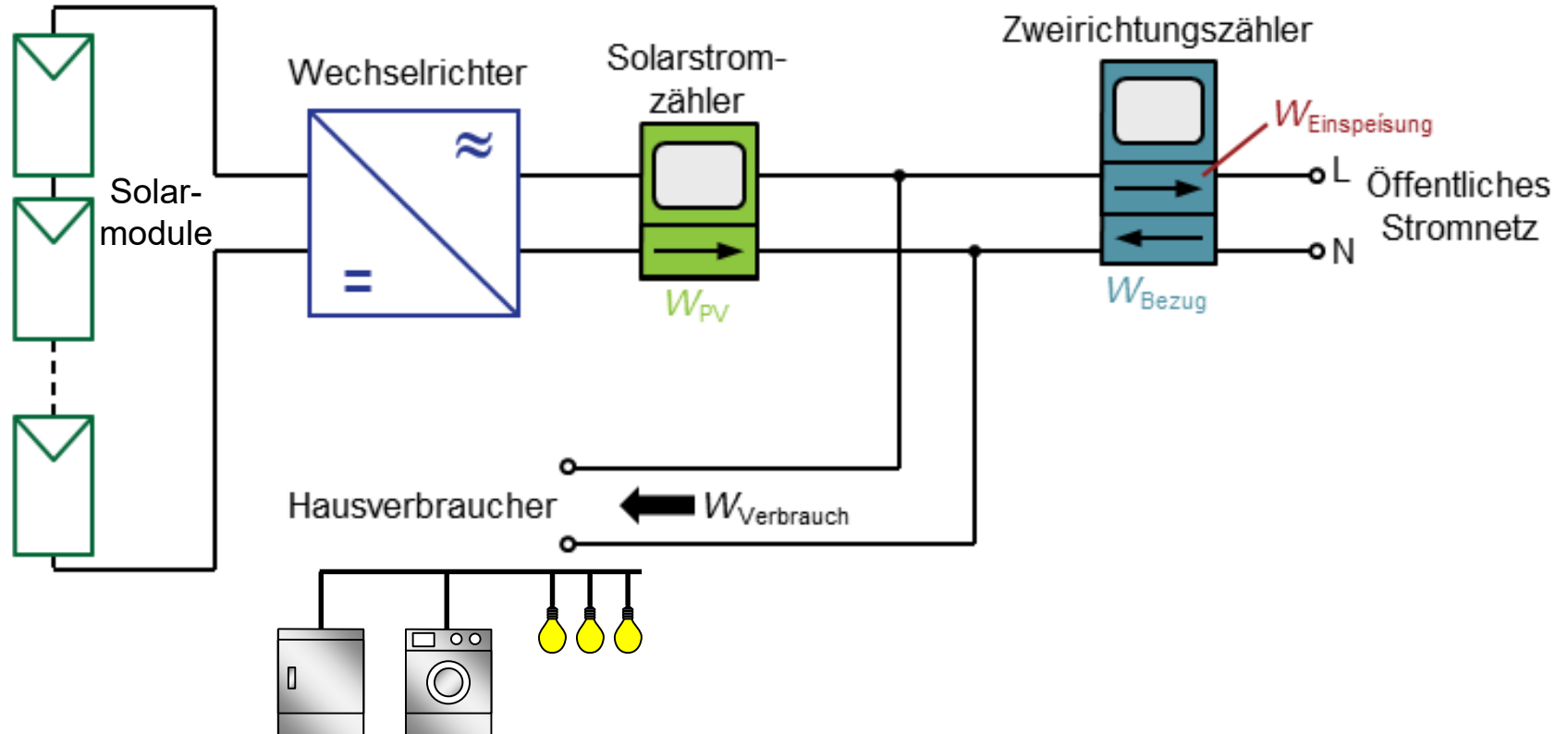
Beispiel A: 10 kWp-Anlage ohne Eigenverbrauch (Nettopreise)

Investitionskosten:	z.B. 12.000 Euro (entspricht 1.200 Euro/kWp)	
Stromertrag:	10 kWp x 900 kWh/(kWp x Jahr) = <u>9000 kWh/Jahr</u>	
⇒ Einnahmen:	6,5 ct/kWh x 900 kWh/Jahr x 10 kWp =	<u>585 Euro/Jahr</u>
Laufende jährliche Kosten:	1,5 % der Investitionskosten:	<u>180 Euro/Jahr</u>
⇒ Ausgaben:		<u>180 Euro/Jahr</u>
⇒ Überschuss:	(585 – 180) Euro/Jahr =	<u>405 Euro/Jahr</u>
⇒ Amortisationszeit:	12.000 Euro / 405 Euro/Jahr =	<u>29,6 Jahre</u>
⇒ Rendite:	=	<u>-3,5 %</u>

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

Laufende jährliche Kosten:	1,5 % der Investitionskosten:	<u>180 Euro/Jahr</u>
----------------------------	-------------------------------	-----------------------------

⇒ Ausgaben:		<u>180 Euro/Jahr</u>
-------------	--	-----------------------------

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

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

⇒ Rendite:	=	<u>5,9 %</u>
------------	---	---------------------

⇒ 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:

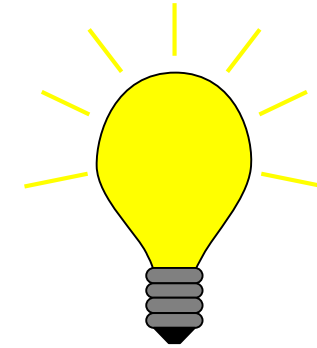


Bilder: Solarwatt

Wirkungsgrad: 22 %

Ebenfalls zu überlegen:

- Gibt es Energieeinsparpotential?



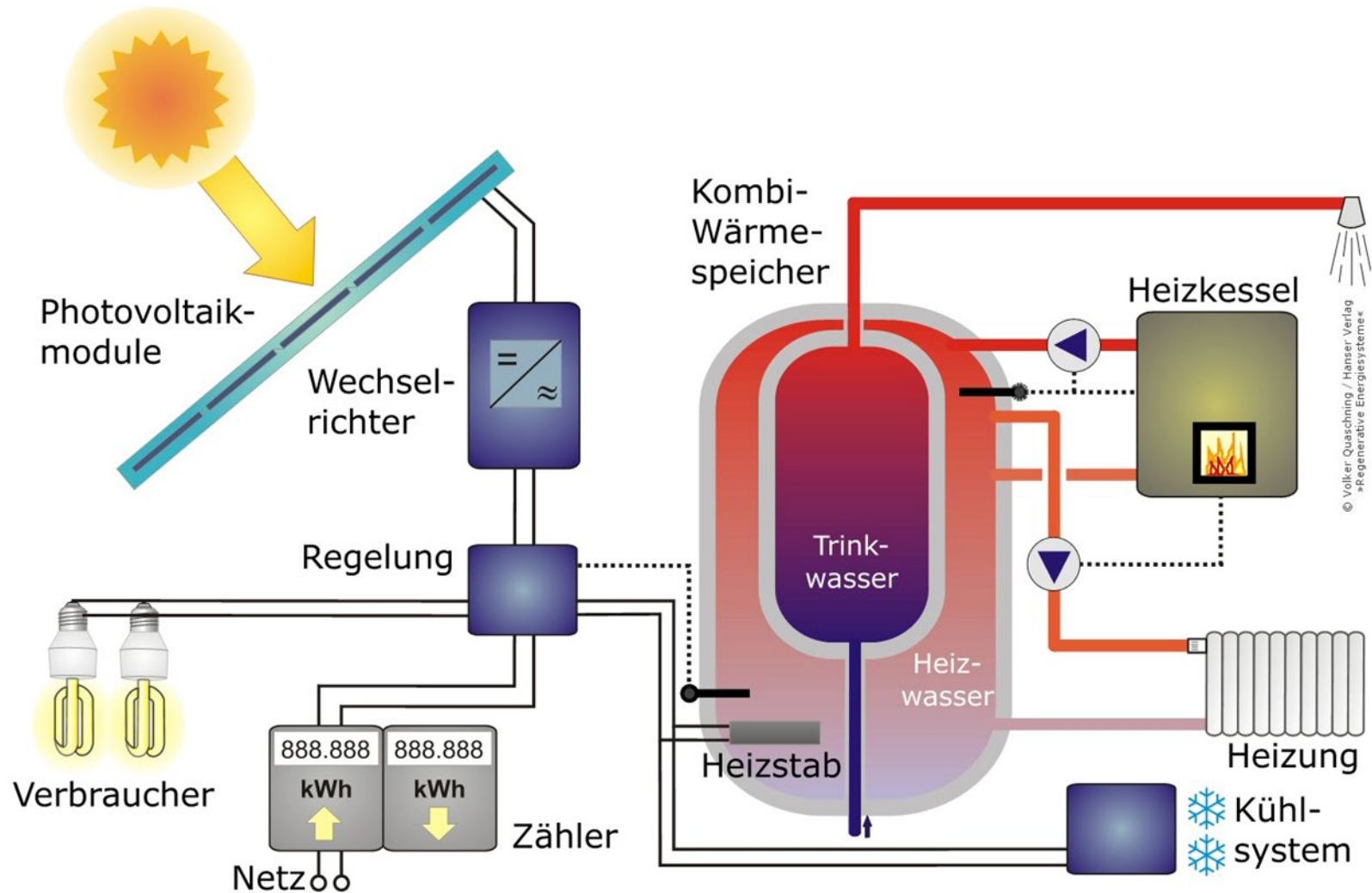
- z.B. Beleuchtung:

- z.B. Haushaltsgeräte:

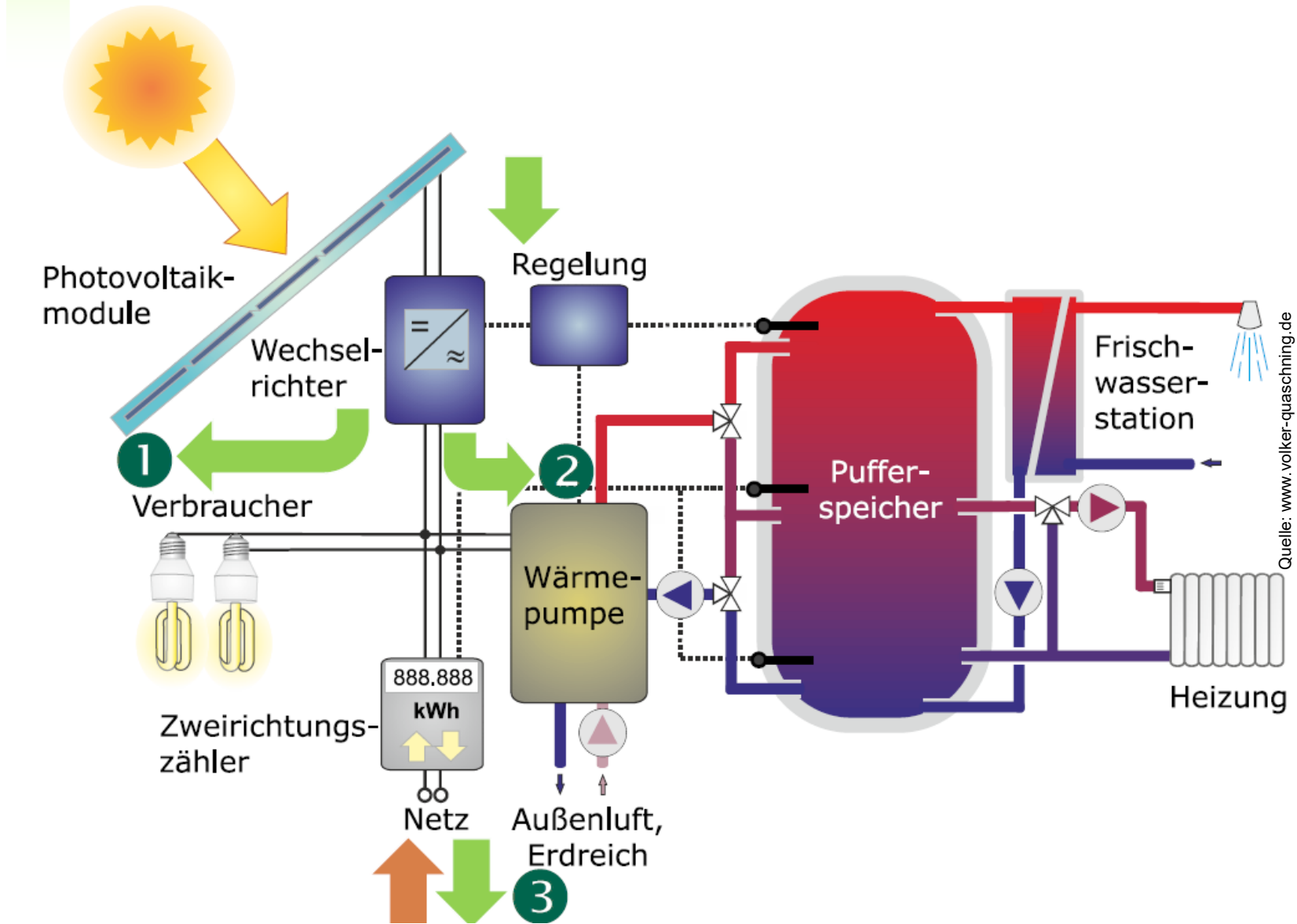


- Macht ggf. Wärmeerzeugung mit Strom Sinn? (Brauchwasser oder Heizung)

Eigenverbrauchserhöhung durch Wärmeproduktion: Mit Heizstab



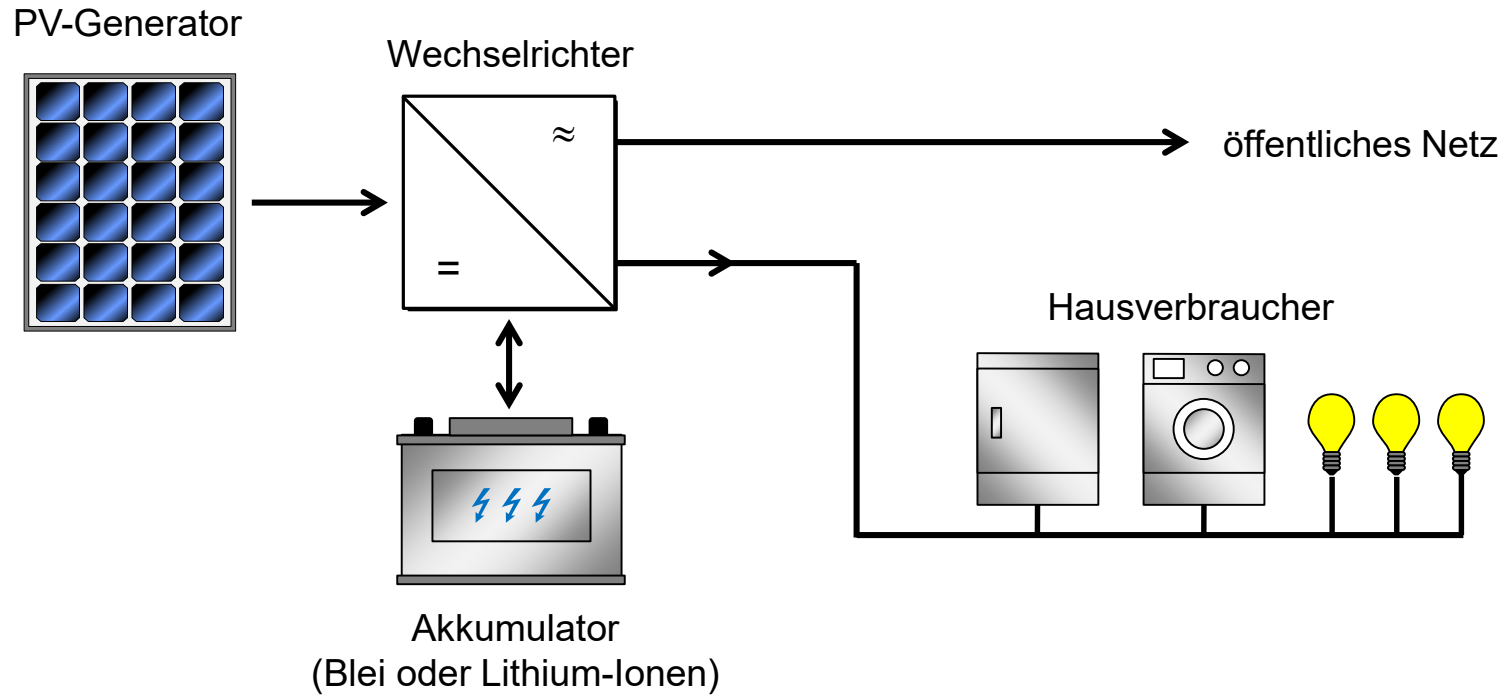
Eigenverbrauchserhöhung durch Wärmeproduktion: Mit Wärmepumpe



5. Speicherung von Solarstrom

Prinzip

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



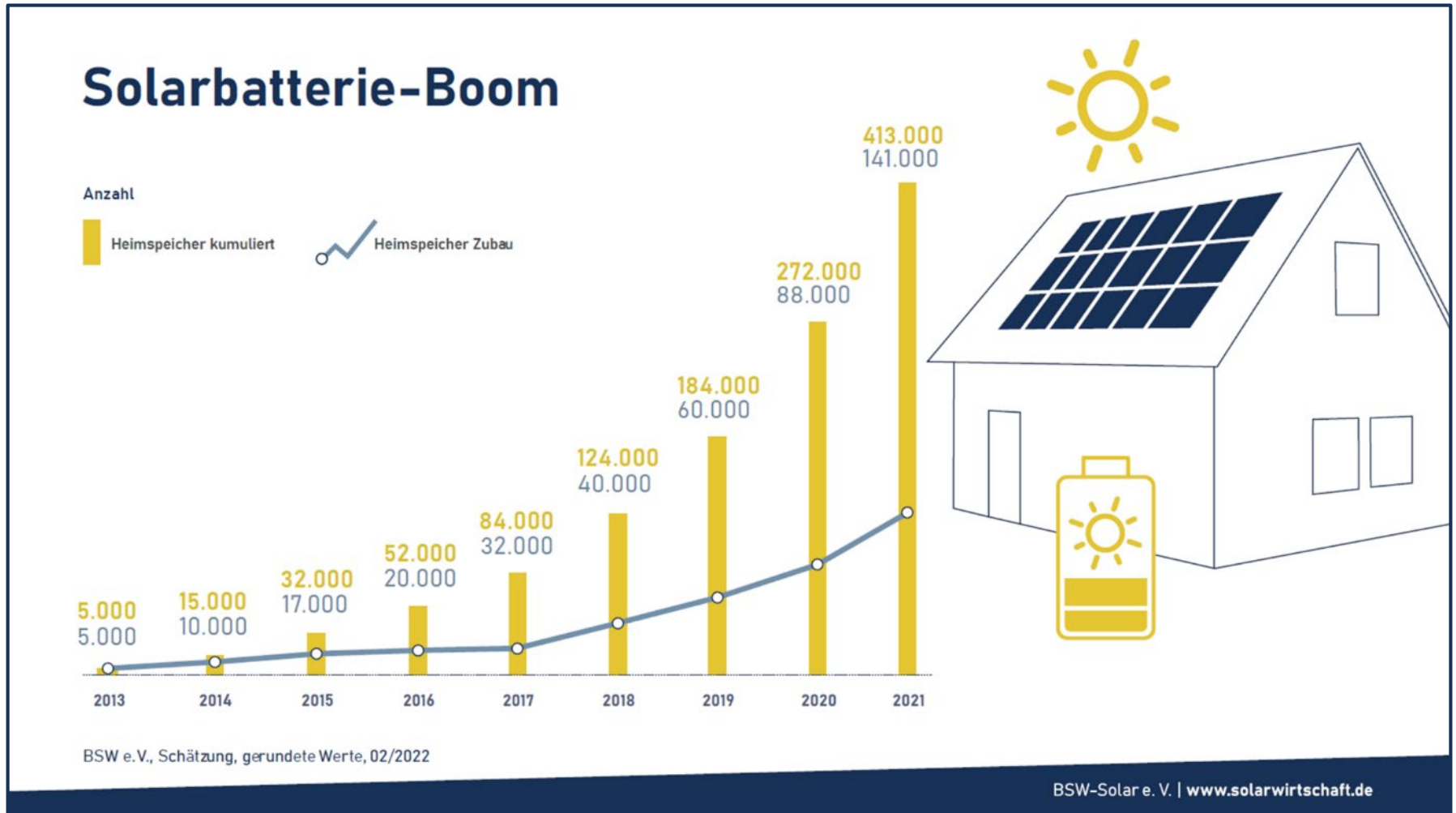
Aktuelle Situation:

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



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

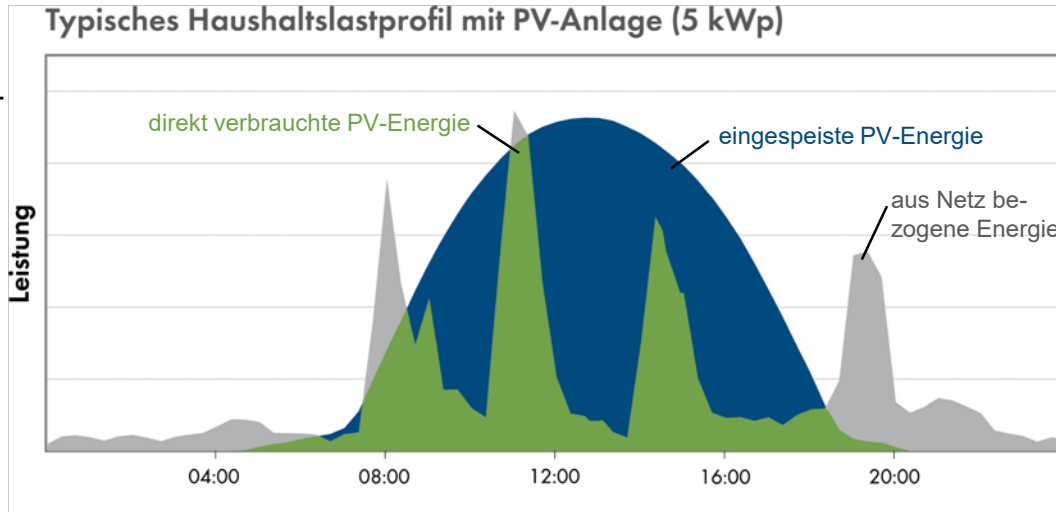
Aktuelle Situation:



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

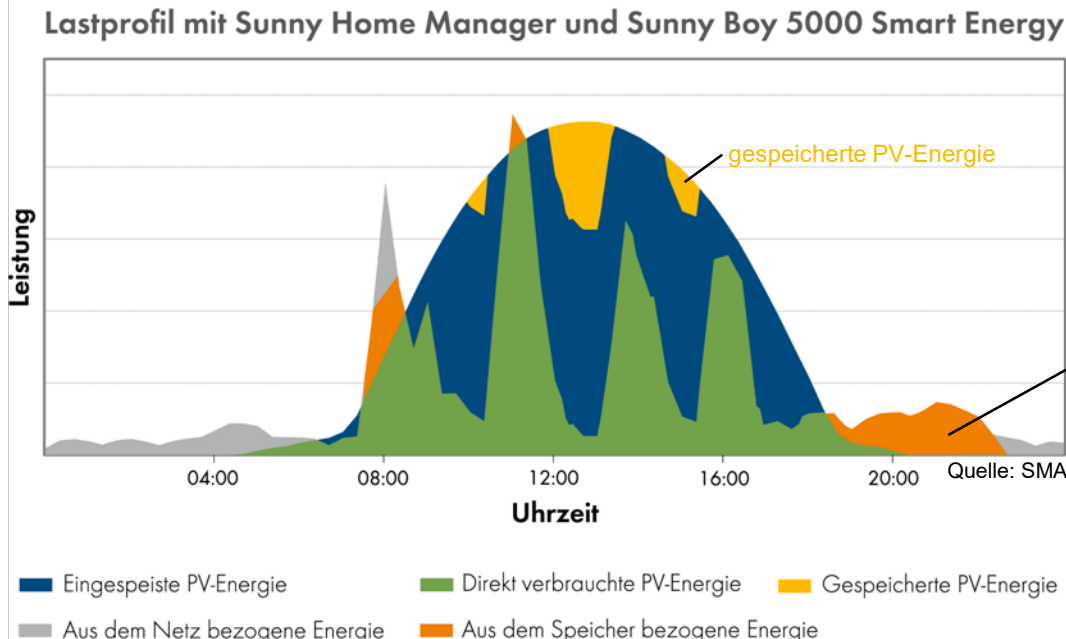
Intelligentes System zur Erhöhung des Eigenverbrauchs (EFH):

a) Ohne Speicher und Lastmanagement:



⇒ ca. 30 % Eigenanteil

b) Mit Speicher und Lastmanagement:



⇒ 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

Aktuelle Situation:

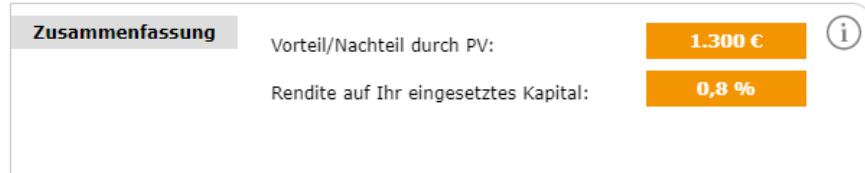
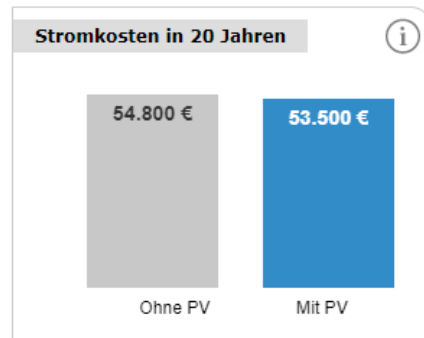
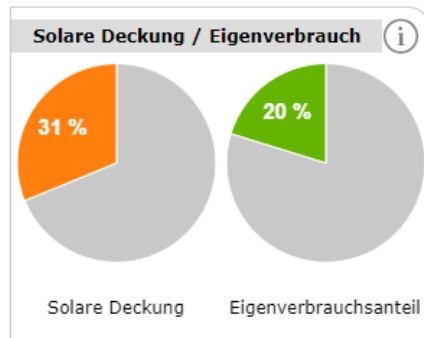
- Bislang wurden in Deutschland gut 400.000 Heimspeicher installiert
- Kosten von Speichern sinken (insb. Lithium-Ionen-Speicher)
- Kosten zur Speicherung einer Kilowattstunde liegen aber immer noch über 15 bis 20 Cent

⇒ Speicher rechnen sich bislang nur in Ausnahmefällen!

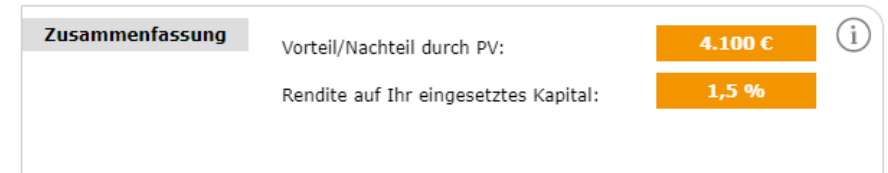
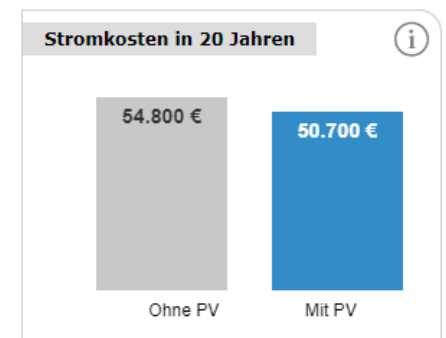
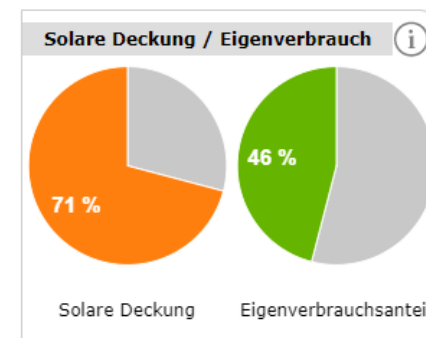
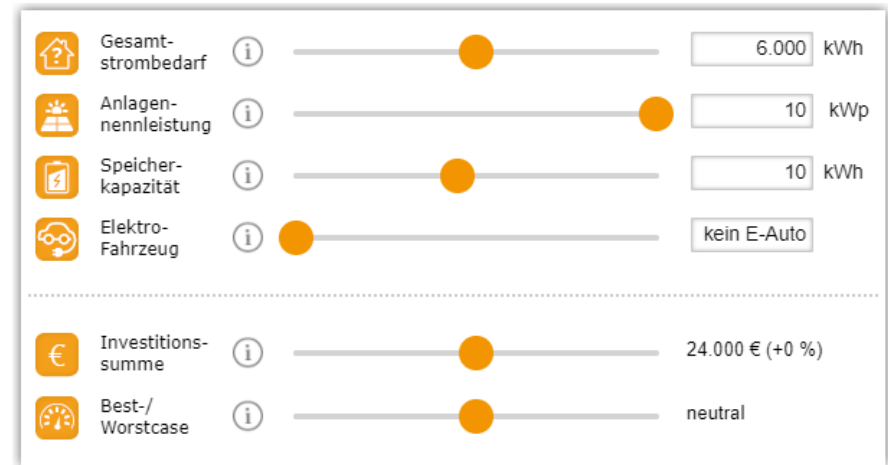
⇒ Speicherung in Wärme (z.B. in Kombination mit Wärmepumpen) ist eher wirtschaftlich!

Speicherauslegung mit pv-now-easy:

Fall A: ohne Speicher:

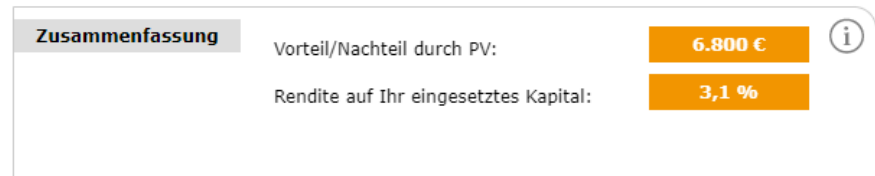
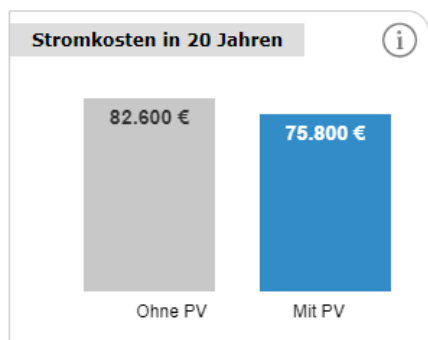
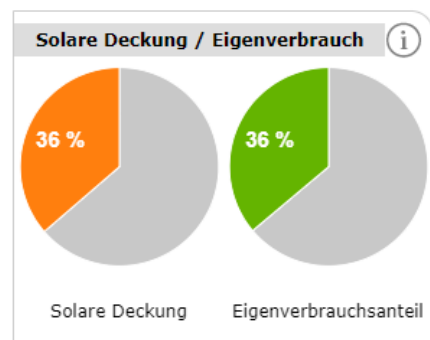
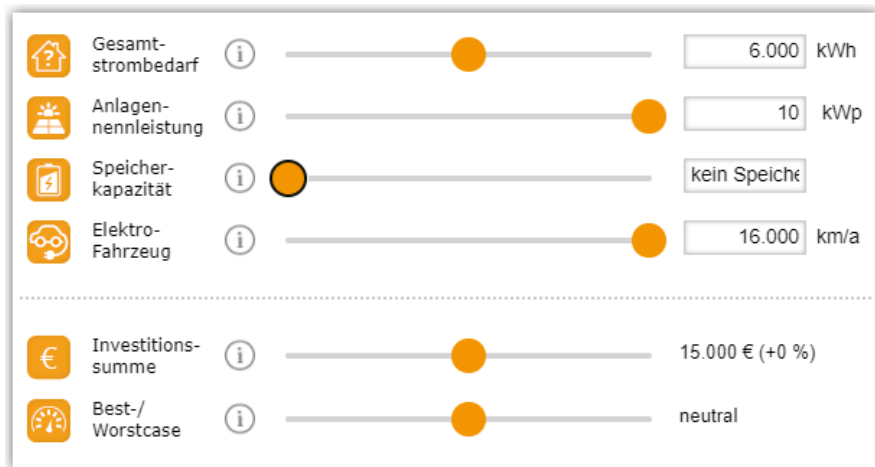


Fall B: mit Speicher:

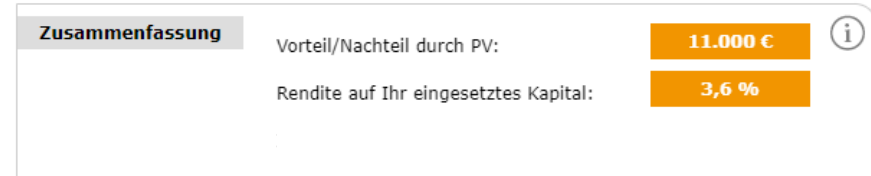
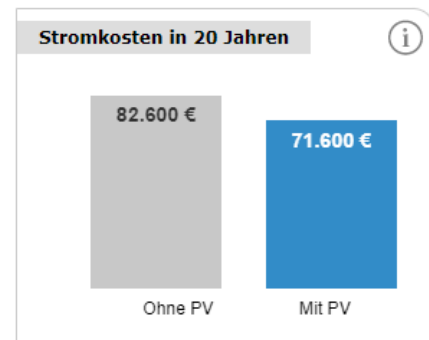
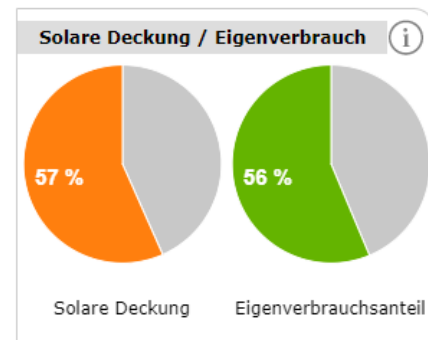


Speicherauslegung mit pv-now-easy:

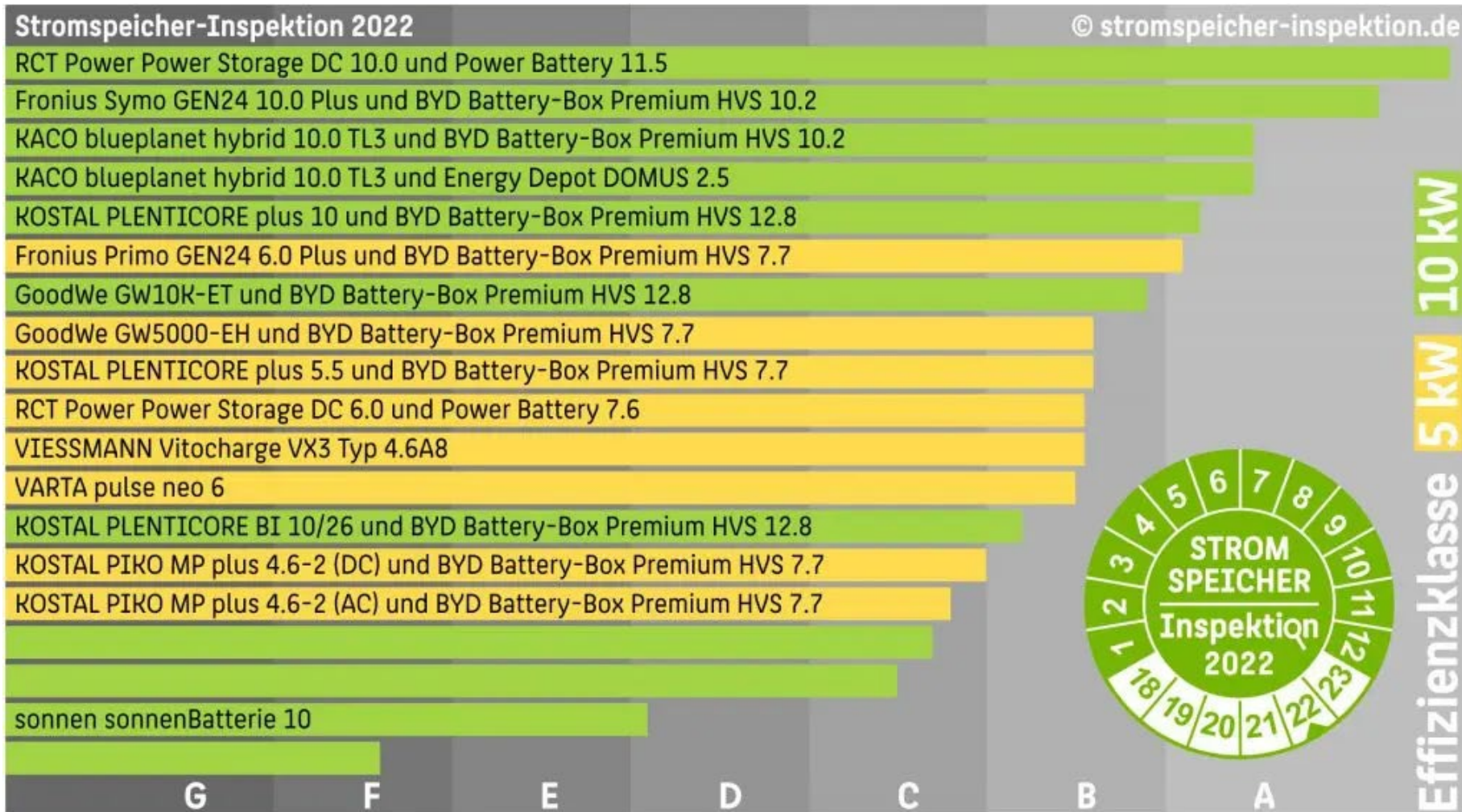
Fall C: ohne Speicher, mit Elektroauto:



Fall D: mit Speicher, mit Elektroauto:



Studie zur Effizienz von aktuellen Stromspeichern:



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

Was ist hier falsch?



Foto: K. Mertens

Nutzt die Dächer!

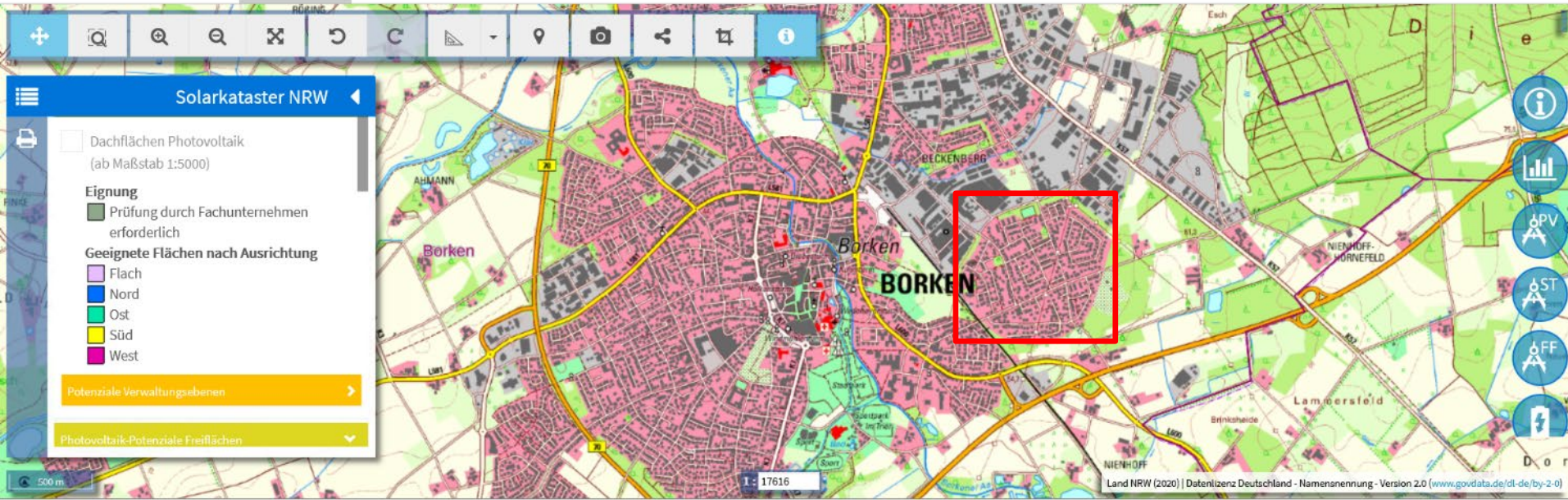


Macht die Dächer voll!



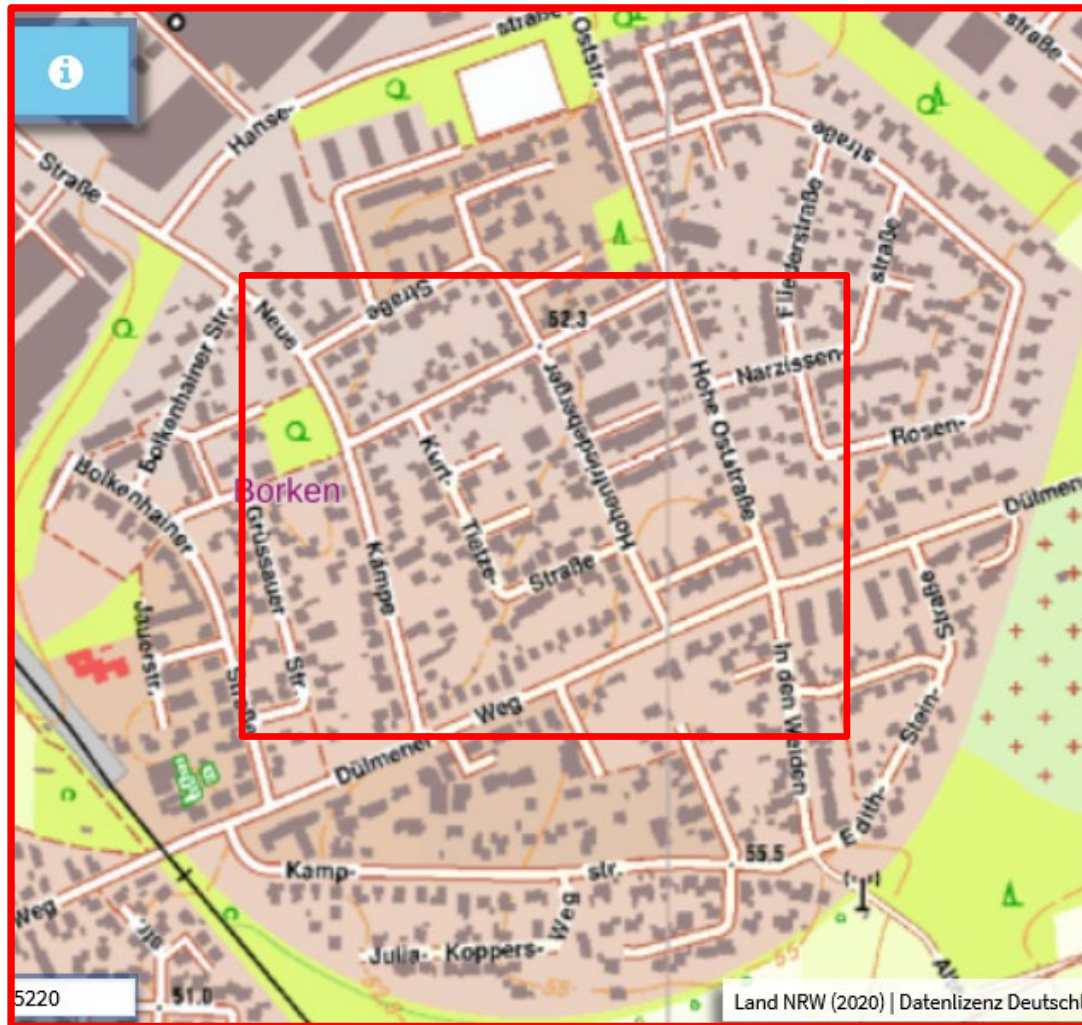
Die Dächer müssen genutzt werden: Es ist noch genug Platz...

Beispiel Borken



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

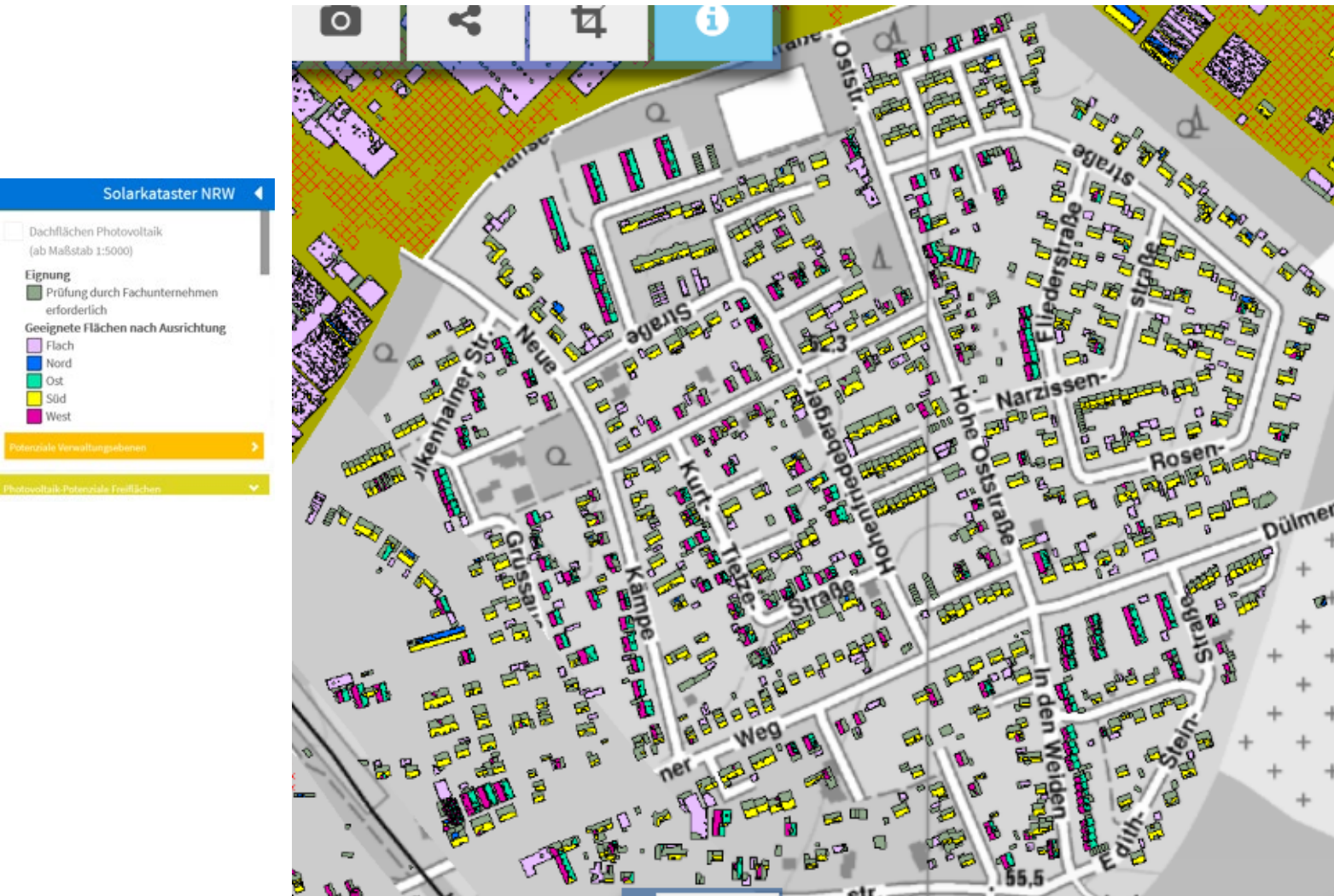
Beispiel Borken



https://www.energieatlas.nrw.de/site/karte_solarkataster

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

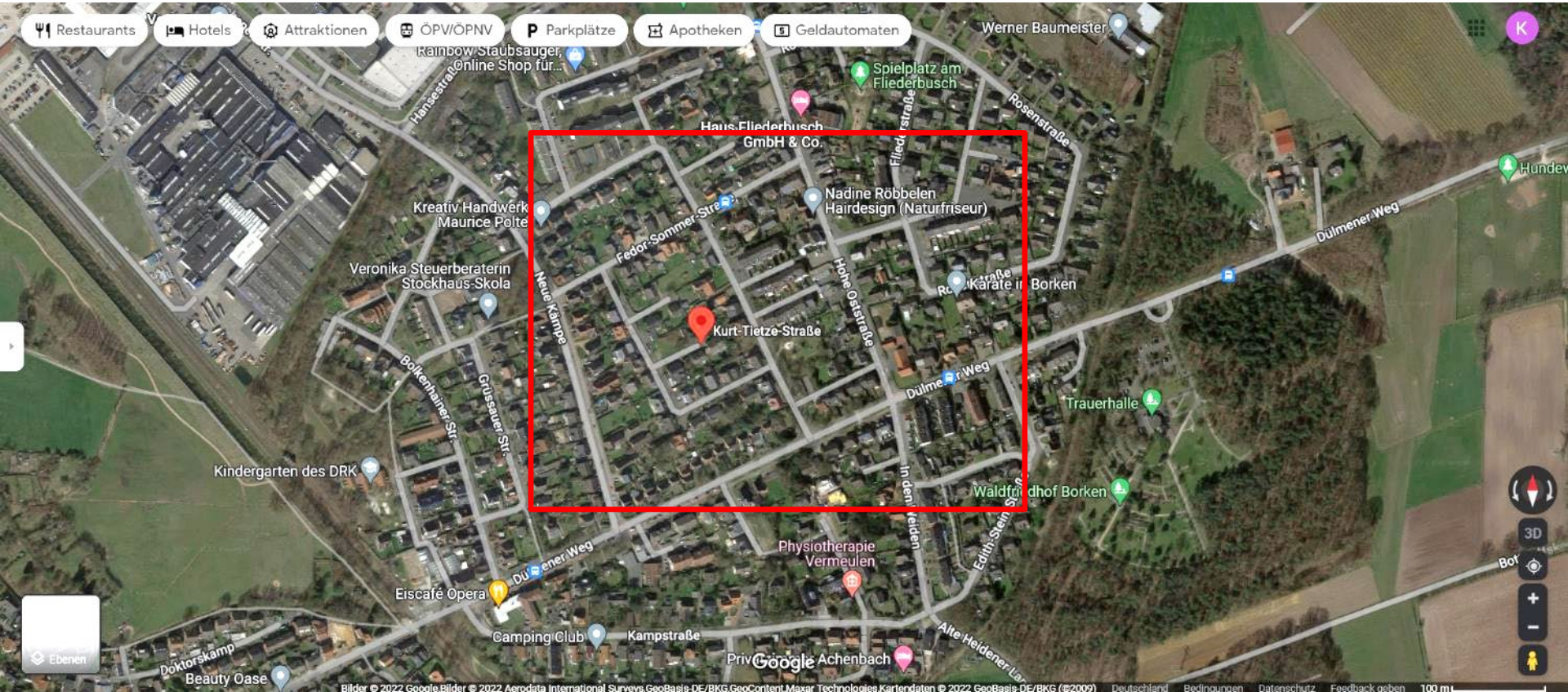
Beispiel Borken



https://www.energieatlas.nrw.de/site/karte_solarkataster

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

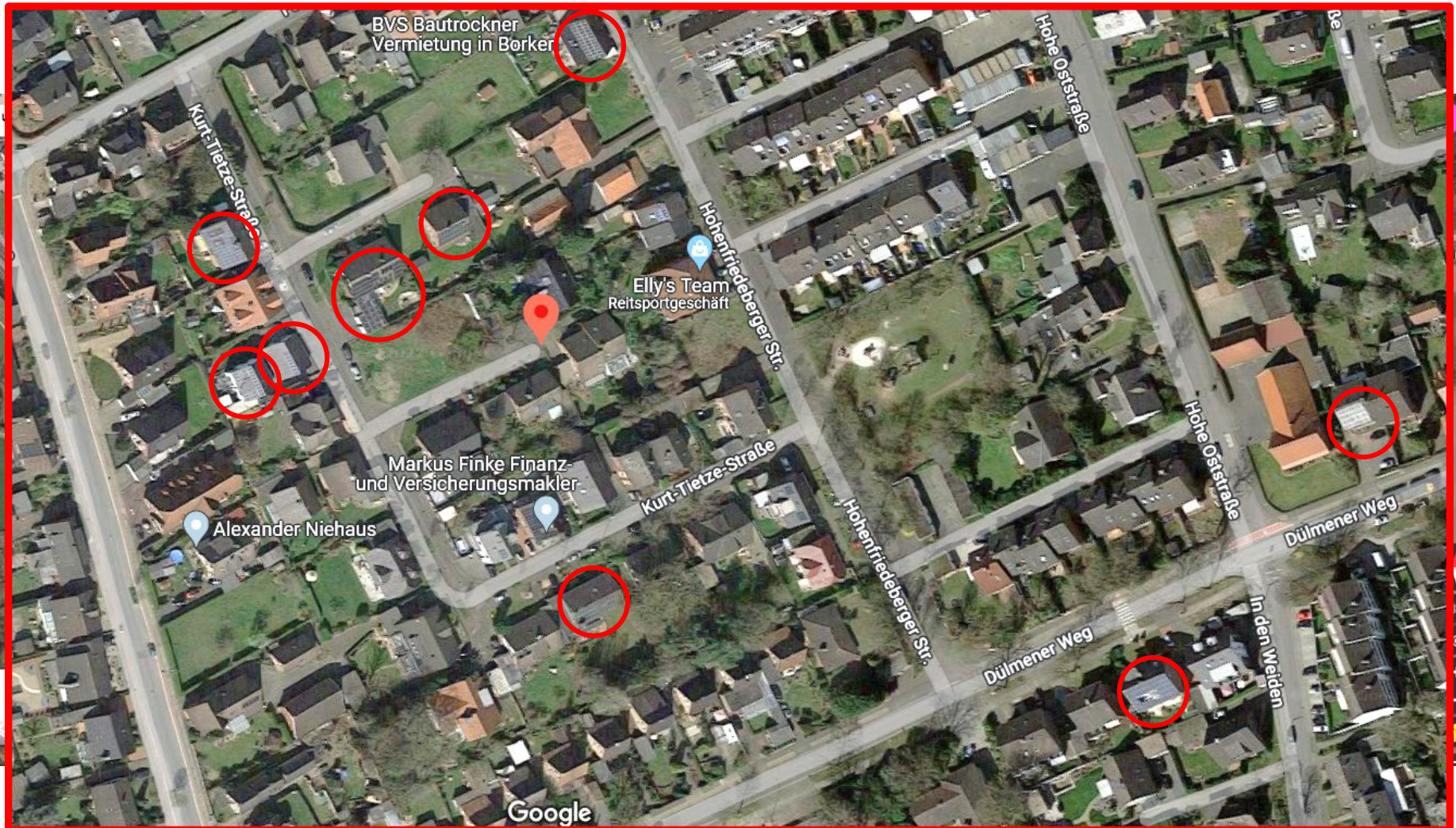
Beispiel Borken



[Google Maps](#)

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

Beispiel Borken



[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%

Stromquelle egal

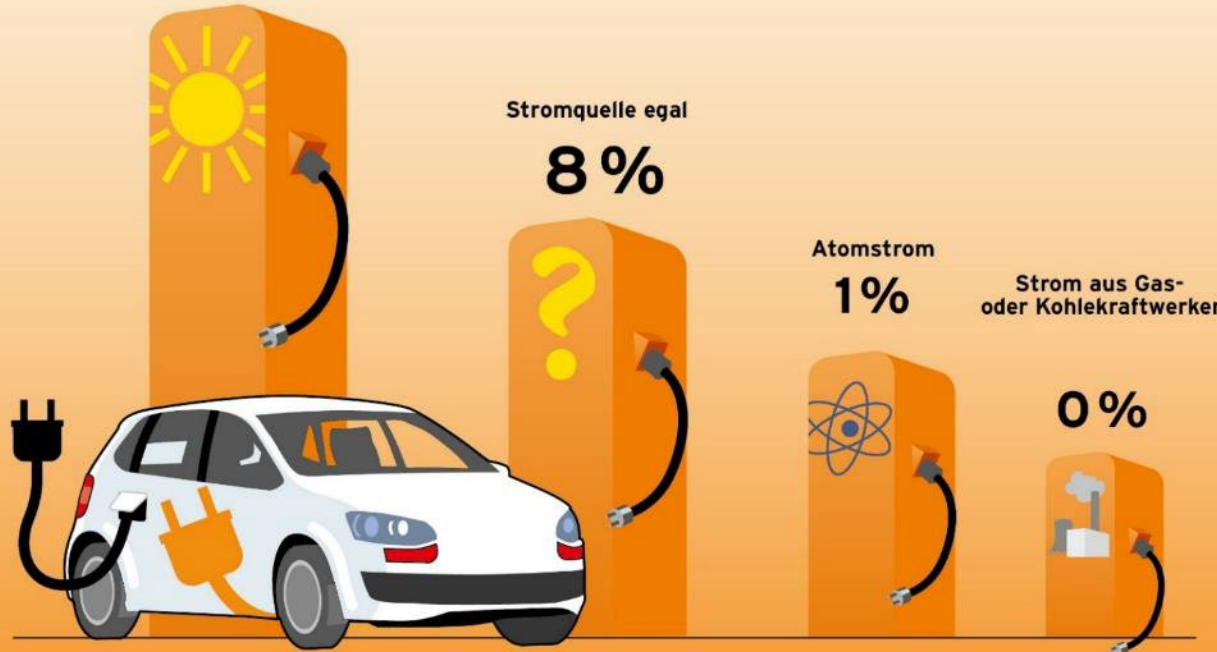
8%

Atomstrom

1%

Strom aus Gas-
oder Kohlekraftwerken

0%



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...

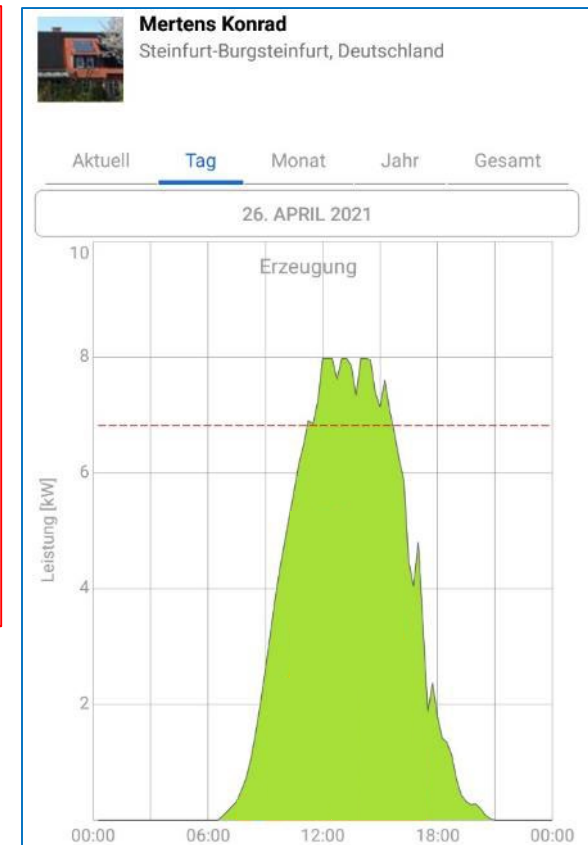
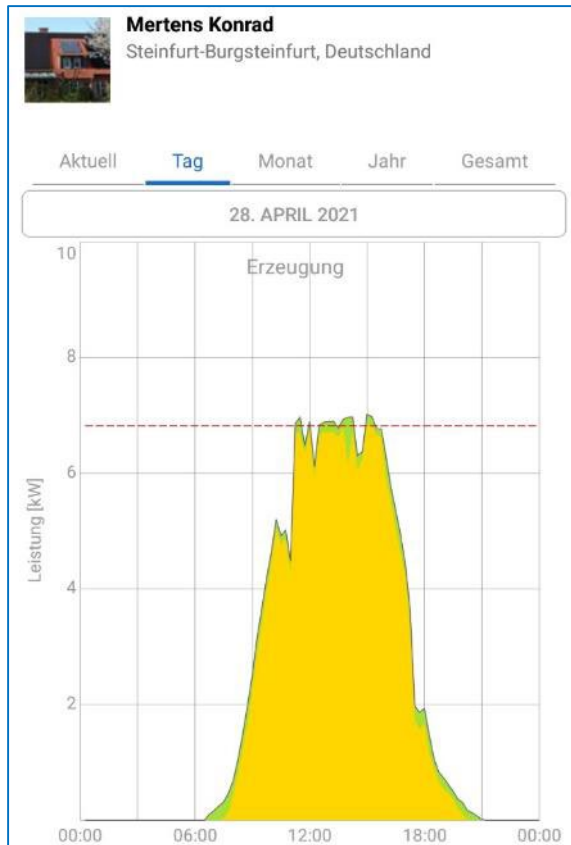
ohne Elektroauto

Tagesertrag: 54 kWh
Eigenverbrauch: 3 kWh

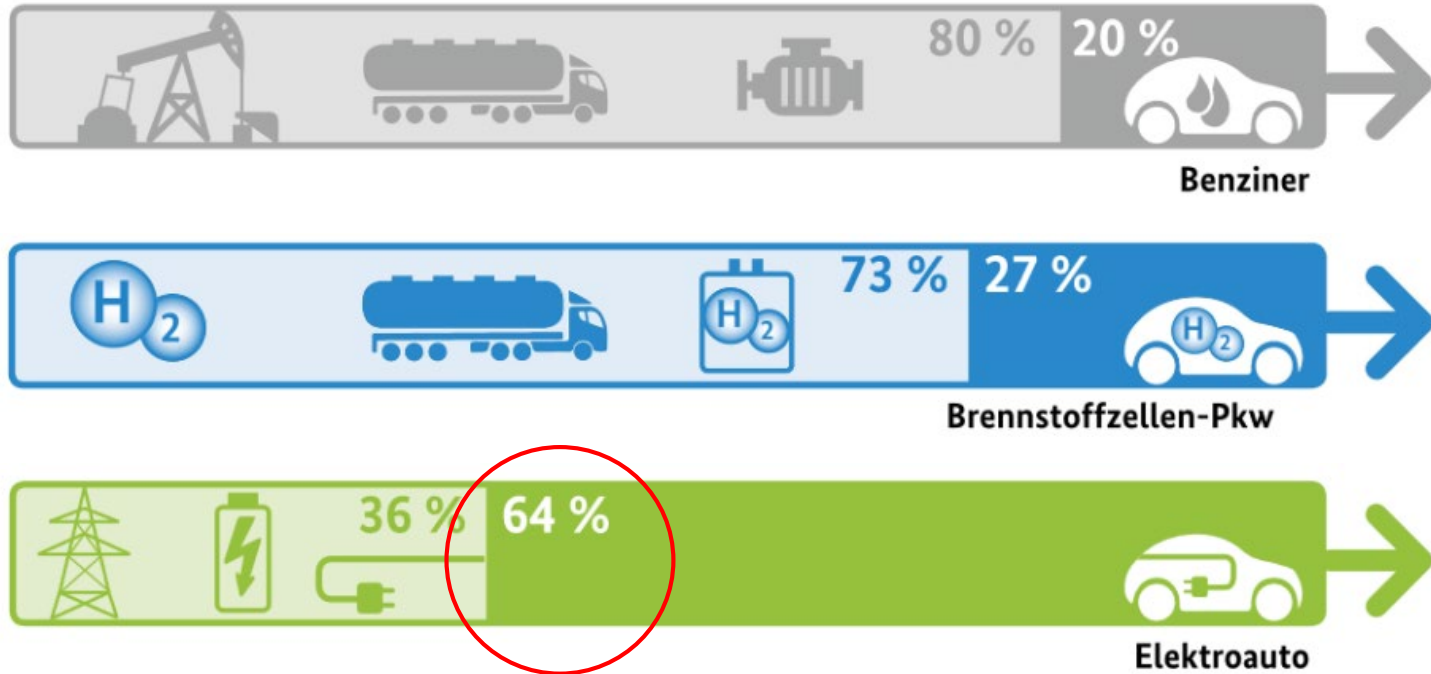


mit Elektroauto
(einphasig)

Tagesertrag: 58 kWh
Eigenverbrauch: 31 kWh



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



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...



Foto: © Bildarchiv Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München; Fotograf: Joachim Gattenlöhner, Kitzingen

So bekommt man einen hohen Eigenverbrauchsanteil... 😊



Foto: Johannes Weniger

Wie man es nicht machen sollte:



Wie man es nicht machen sollte:



Foto: Jörg Philipp

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

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 (6. Auflage)

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, 2022

Kapitelübersicht

- [Kapitel 1](#)
- [Kapitel 2](#)
- [Kapitel 3](#)
- [Kapitel 4](#)
- [Kapitel 5](#)
- [Kapitel 6](#)
- [Kapitel 7](#)
- [Kapitel 8](#)
- [Kapitel 9](#)
- [Kapitel 10](#)
- [Kapitel 11](#)

Abbildungen aus Kapitel 1

a) Potentielle Energie: $W_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$

b) Kinetische Energie: $W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

c) Kondensator-Energie: $W_{\text{kon}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$

d) Energie am Widerstand: $W_{\text{el}} = \frac{U^2}{R} \cdot t$

Bild 1.1 Darstellung verschiedener Energieformen

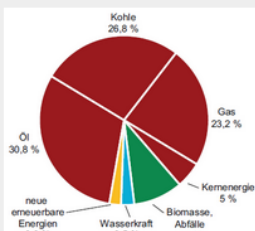


Bild 1.4 Aufteilung der weltweiten Primärenergieerzeugung im Jahr 2020 nach

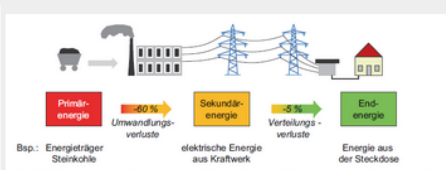


Bild 1.2 Darstellung der Energiearten am Beispiel der Steinkohleverstromung: Nur etwa ein Drittel der eingesetzten Primärenergie kommt beim Endkunden an der Steckdose an

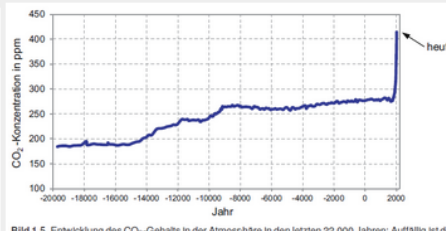


Bild 1.5 Entwicklung des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre in den letzten 22 000 Jahren: Auffälliger ist der

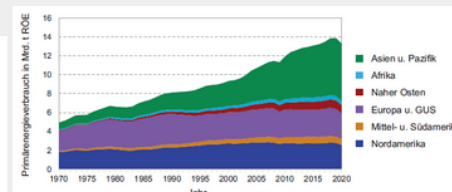


Bild 1.3 Entwicklung des weltweiten Primärenergiebedarfs seit 1970 [www.bpt.com]

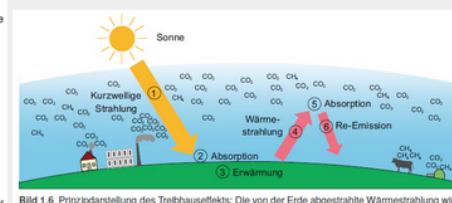


Bild 1.6 Prinzipdarstellung des Treibhauseffekts: Die von der Erde abgestrahlte Wärmestrahlung wird

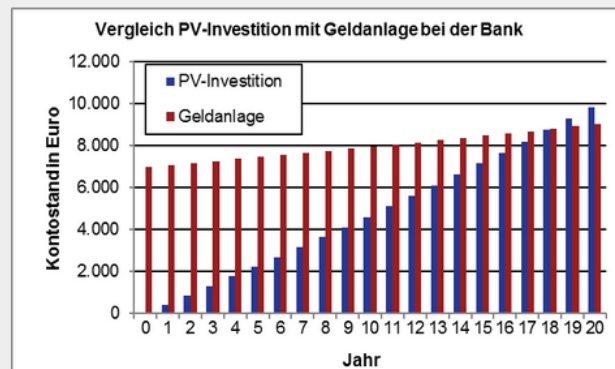
Software zum Lehrbuch Photovoltaik

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

Diese dürfen kostenlos heruntergeladen und genutzt werden.

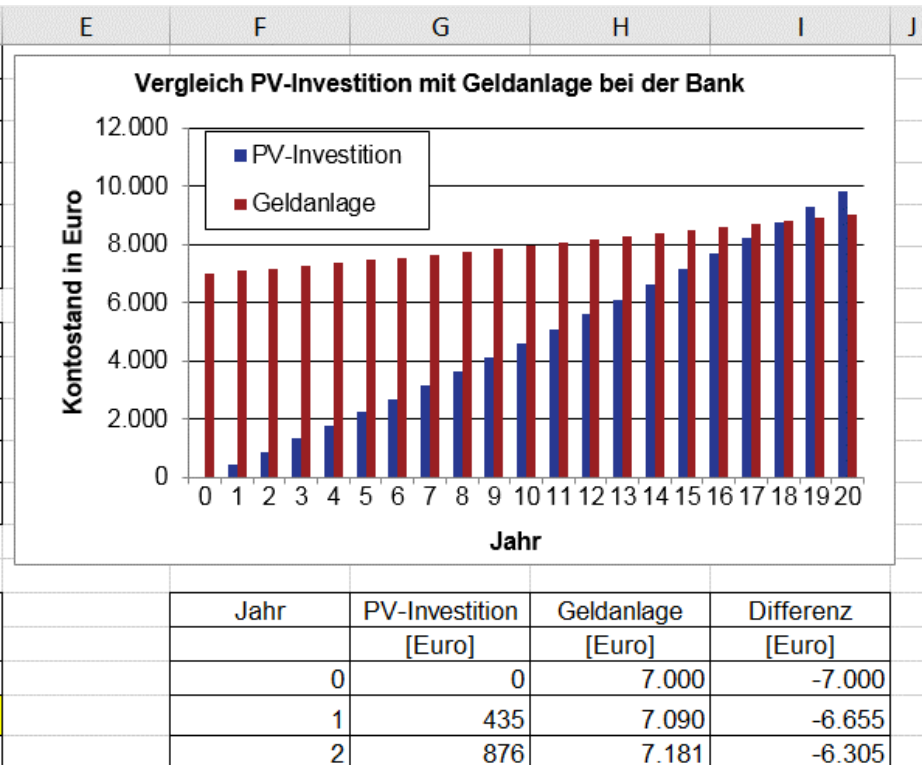
Objektrenditeberechnung 2.0

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
1	Eingaben			
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:			
16				
17	Angenommener Zinssatz / Rendite	p	1,3	%
18			Zinssatz ist zu klein	
19	Differenz nach 20 Jahren:	D	815	Euro



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

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!