



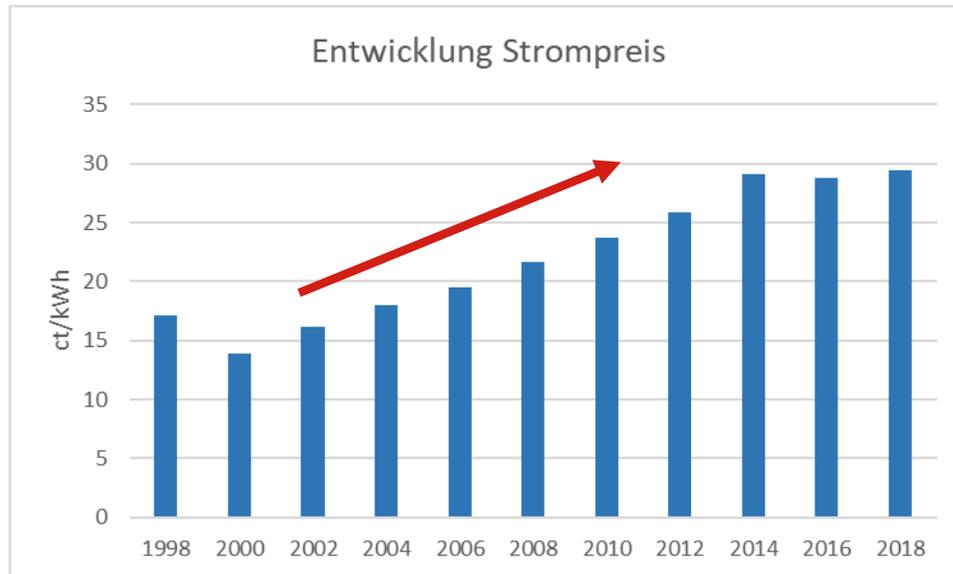
Eigenproduktion von Strom aus Sonne und Wind

Rain, 26. November 2018

- Motivation
- Erzeugung – Ertragspotentiale und Kosten
 - Photovoltaik
 - Ertragspotentiale
 - Kosten
 - Wirtschaftlichkeit
 - Kleine Windenergieanlagen
 - Ertragspotentiale
 - Kosten
 - Wirtschaftlichkeit
- Strom-Eigenverbrauch
 - Analyse Stromverbrauch
 - Analyse Erzeugung
 - Ermittlung möglicher Eigenverbrauchsanteilen
 - Lastmanagement und Speicherung
- Zusammenfassung



Arbeitsgruppe
am Nachmittag



Ökonomie:
Stromkosten
senken

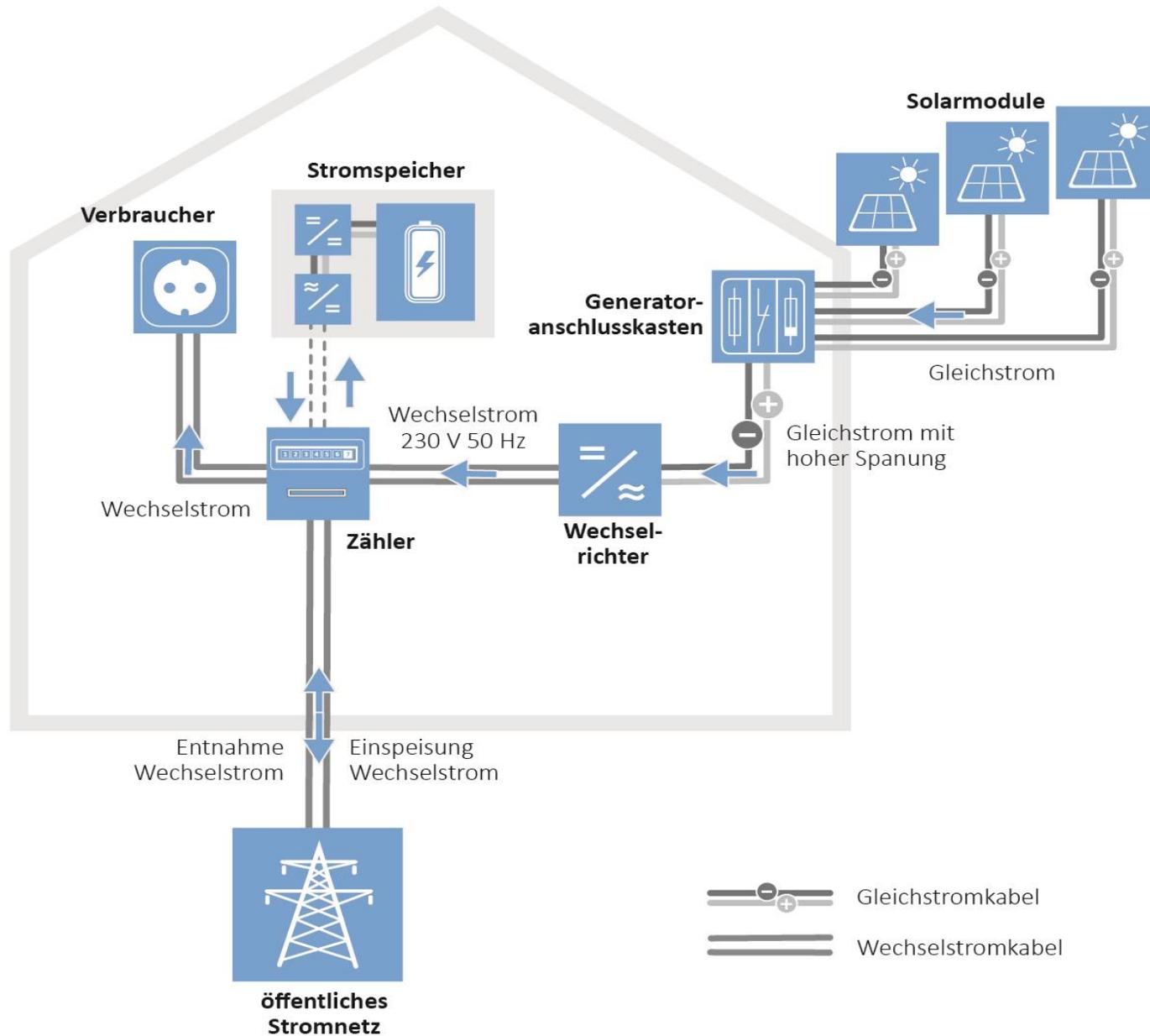
Ökologie:
Ressourcen schonen
Emissionen senken

**Unabhängigkeit
vom Strommarkt**

Ökonomie & Ökologie:
Wettbewerbsvorteile durch grüne
Produktion
(Öffentlichkeitsarbeit/Marketing)

Photovoltaik

Komponenten einer PV-Anlage



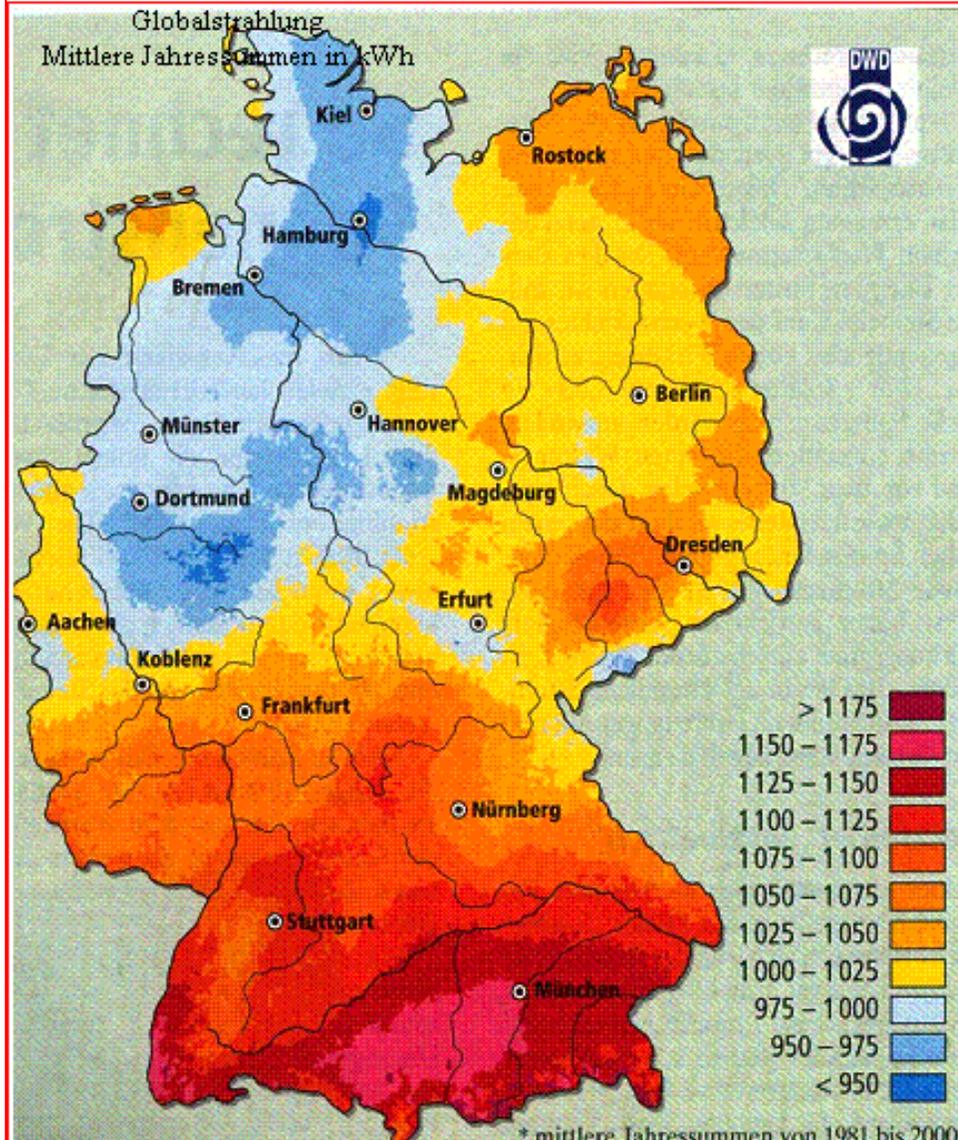
Komponente	Wirkungsgrad	Spezifischer Flächenbedarf
	%	m ² /kW _p
Solarzellen-, Modultyp		
Mono- oder Multikristallin	13–18	6-9
Dünnschicht	6-12	9-20
Wechselrichter	94—98 ²⁾	
	Durchschnittlicher Systemwirkungsgrad neuer Anlagen	Leistungsabfall über Nutzungszeit (20 Jahre)
	%	%/a
Gesamtsystem	10–12	0,3–0,5

Vorteile Dünnschicht: billiger, leichter, geringere Leistungseinbußen bei hohen Temperaturen/schlechter Lüftung, rahmenlos

Nachteile Dünnschicht: geringerer Wirkungsgrad, schnellere Alterung, hoher Flächenbedarf

Globalstrahlung – mittlere Jahressummen

Quelle : Deutscher Wetterdienst



- ca. 900-1.100 kWh/m²
- davon ca. 50 % direkte und 50 % diffuse Strahlung

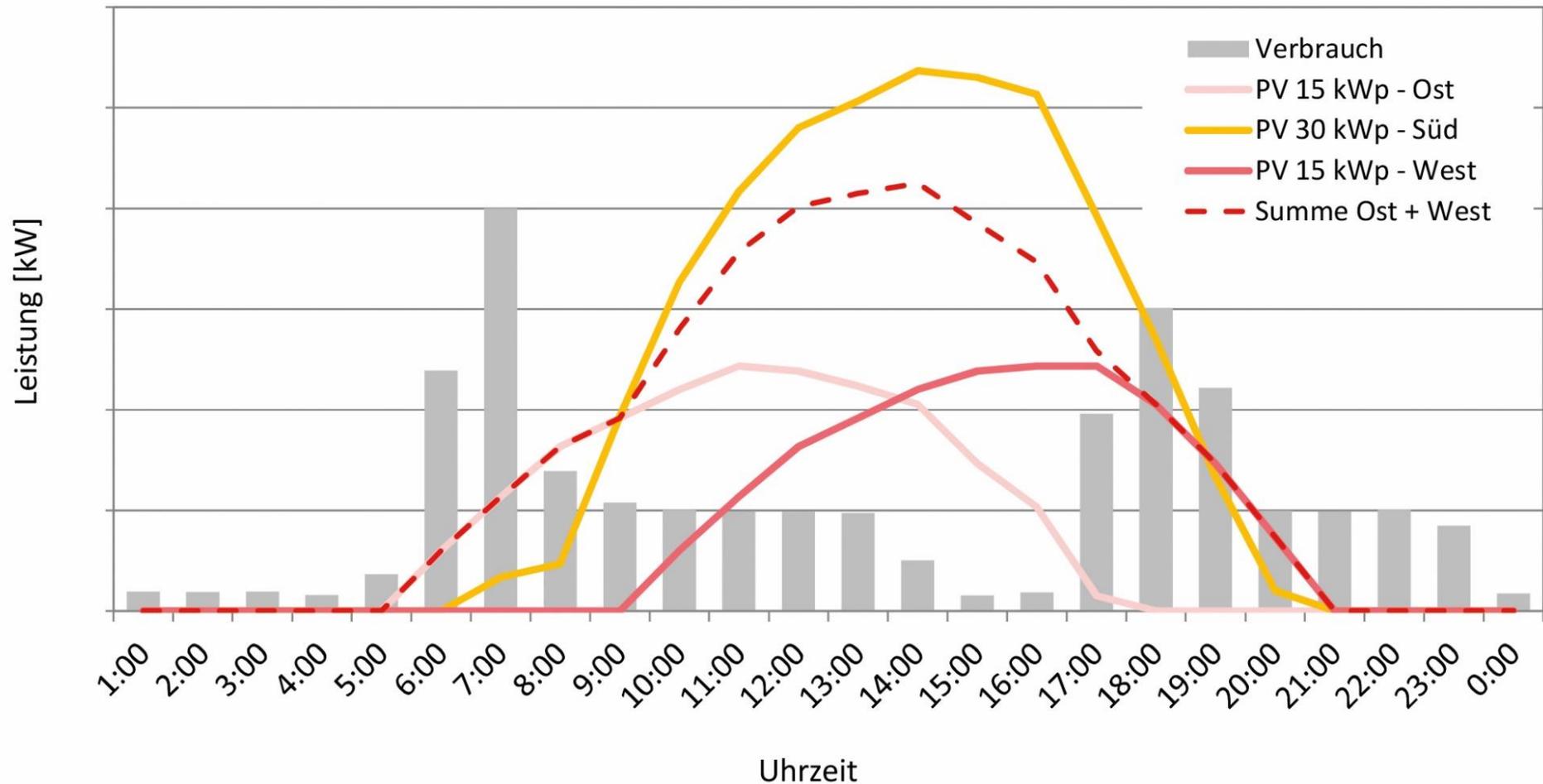
Ertragsverluste durch Ausrichtung und Neigung

Ost/West

Dach- neigung in Grad	Abweichung aus Süd in Grad																		
	0	10	20	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100	135	180
	Solarertragsverluste in %																		
10	6	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	14	18	21
15	3	4	4	5	5	6	6	7	8	9	10	10	11	12	13	14	16	22	25
20	1	2	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	17	25	29
25	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	16	19	28	34
30	0	0	0	2	2	3	4	6	7	8	9	11	12	14	16	17	21	32	38
35	0	0	0	2	3	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	19	23	35	
40	0	0	1	2	3	4	6	7	8	10	11	13	15	17	19	21	25		
50	2	2	3	5	6	7	9	10	12	13	15	17	19	21	23	25	30		
70	14	14	15	17	18	19	20	22	23	25	27	29	31	32	35	37			
90	33	34	35	36	36	37	38	39	40	42									

Eigenstrom: durch Ausrichtung Produktion in gewissen Grenzen steuerbar

Höherer Eigenverbrauch durch Ausrichtung der Module



Was kann mein Standort leisten?

PLZ-Bereich	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	10-Jahres-Mittelwert
	Jahresstromerträge in kWh/kWp										
0	955	945	950	903	1.072	995	885	977	1.034	974	969
1	897	899	931	874	999	945	900	946	967	939	930
2	898	917	937	879	909	886	890	937	927	906	909
3	899	915	919	877	1.002	936	880	922	972	924	925
4	878	905	917	871	956	911	871	915	946	924	909
5	902	901	924	888	1.001	932	892	947	982	924	929
6	961	941	961	926	1.034	1.005	900	959	971	914	957
7	1.023	1.002	1.000	919	1.096	1.056	922	1.009	1.044	970	1004
8	1.061	1.045	1.013	934	1.094	1.038	929	1.001	1.049	992	1016
9	1.009	983	968	902	1.053	1.016	897	966	1.001	960	976
Gesamt	966	959	957	900	1.023	976	899	961	994	944	958

SFV (2017)

Datenbank des Solarförderverein zur Standortbewertung nutzen:

www.pv-ertraege.de

Flächenertrag – Schräg- oder Flachdach

Schrägdach

Dachfläche bis auf Randverluste und Verschattung durch Gauben, Schornsteine, etc. komplett nutzbar

Ca. 8-12 m² pro kWp (kristallin)

950 kWh/kWp → 80-120 kWh/m²

Flachdach

Aufständigung für optimale Neigung
Abstand der Reihen als Kompromiss
zwischen Flächennutzung und
Verschattungsfreiheit durch Module

Ca. 20-25 m² pro kWp (kristallin)

950 kWh/kWp → 38-48 kWh/m² 11

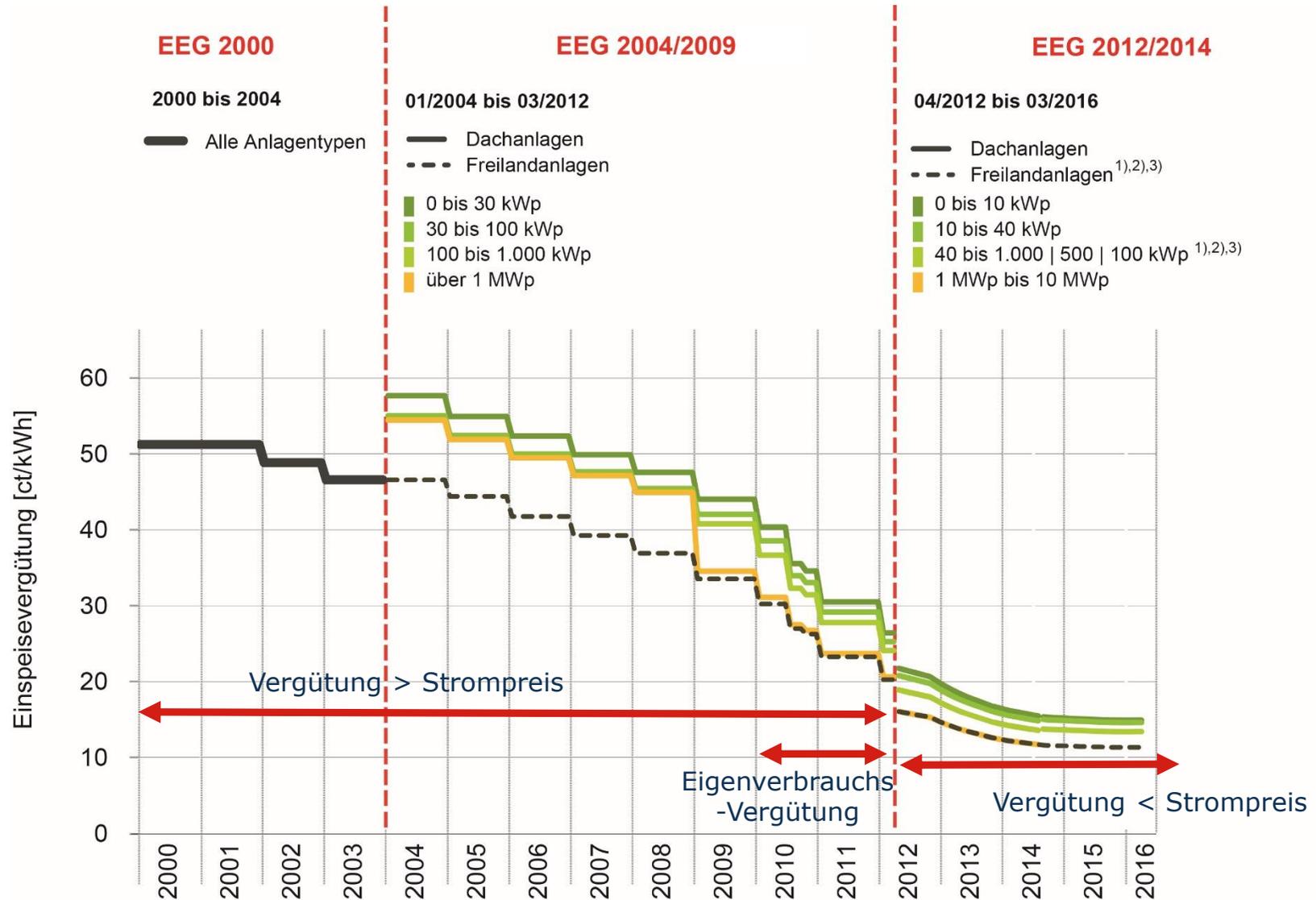
Was muss ich investieren?

Bauteil	Investitionsbedarf¹⁾ €/kW_p	Nutzungsdauer a
Module	400–700	20
Wechselrichter	100–200	10
Aufdachmontage, Steildach	140–200	20
Aufdachmontage, Flachdach	90–150	20
Anschluss Wechselstromseite	50–100	20
Steuer-/Überwachungseinrichtungen	80–120	10
Gesamtanlage	1.000–1.350	20

Spezifischer Investitionsbedarf Photovoltaikanlage €/kW _p	Ø Spezifischer Jahresstromerträge in kWh/kW _p			
	800	900	1.000	1.100
	Stromgestehungskosten in ct/kWh ¹⁾			
800	7,96	7,08	6,37	5,79
1.000	9,95	8,84	7,96	7,24
1.200	11,94	10,61	9,55	8,68
1.400	13,93	12,38	11,14	10,13
1.600	15,92	14,15	12,74	11,58

1) Abschreibung der PV-Anlage ohne Wechselrichter 20 Jahre, Abschreibung Wechselrichter 10 Jahre, Zinsen 3 %, Versicherung 0,2 % v. Investition, Wartung und Reparatur 0,5 %, Steuerberatung 0,25 %.

Entwicklung der EEG-Vergütung PV



Vergütung sinkt weiter...

Anlagen unter 100 kWp installierter Leistung erhalten eine feste Einspeisevergütung nach EEG § 48

Feste Einspeisevergütung in Cent/kWh			
Inbetriebnahme	bis 10 kWp	bis 40 kWp	bis 100 kWp
ab 01.01.2017	12,30	11,96	10,69
ab 01.05.2017	12,27	11,93	10,66
ab 01.06.2017	12,24	11,90	10,63
ab 01.07.2017	12,20	11,87	10,61
ab 01.08.2018	12,08	11,74	10,50
ab 01.09.2018	11,95	11,62	10,39
ab 01.10.2018	11,83	11,50	10,28
ab 01.11.2018	11,71	11,38	10,17
ab 01.12.2018	11,59	11,27	10,07
ab 01.01.2019	11,47	11,15	9,96 (-20%?)

Gesetzesänderung zum 1.1.19?

- 40 Prozent der EEG-Umlage müssen auf jede Kilowattstunde gezahlt werden.
- **befreit sind Betreiber von kleinen Anlagen** bis maximal zehn kWp Nennleistung und einem Eigenverbrauch bis 10.000 kWh/a sowie **Betreiber von Bestandsanlagen** (Inbetriebnahme vor 1.8.2014)

Achtung: gilt nur bei Personenidentität!

Stromerzeugung und Stromverbrauch muss durch die selbe natürliche oder juristische Person erfolgen, sonst müssen 100% EEG-Umlage gezahlt werden.

Rendite Eigenverbrauch =

Strompreis – Stromgestehungskosten – EEG-Umlage (40%) =

19 ct/kWh – 9,5 ct/kWh – 2,72 ct/kWh = 6,78 ct/kWh (Gewinn, Bsp.)

Rendite Einspeisung =

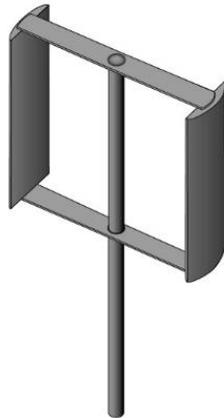
Vergütung – Stromgestehungskosten =

11,15 ct/kWh – 9,5 ct/kWh = 1,65 ct/kWh (Gewinn, Bsp.)

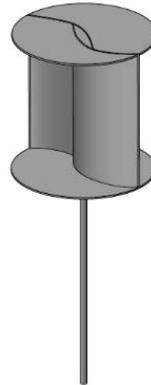
Fazit:

Je höher der Eigenverbrauchsanteil, desto rentabler die Anlage.

Kleine Windenergieanlagen



Vertikal

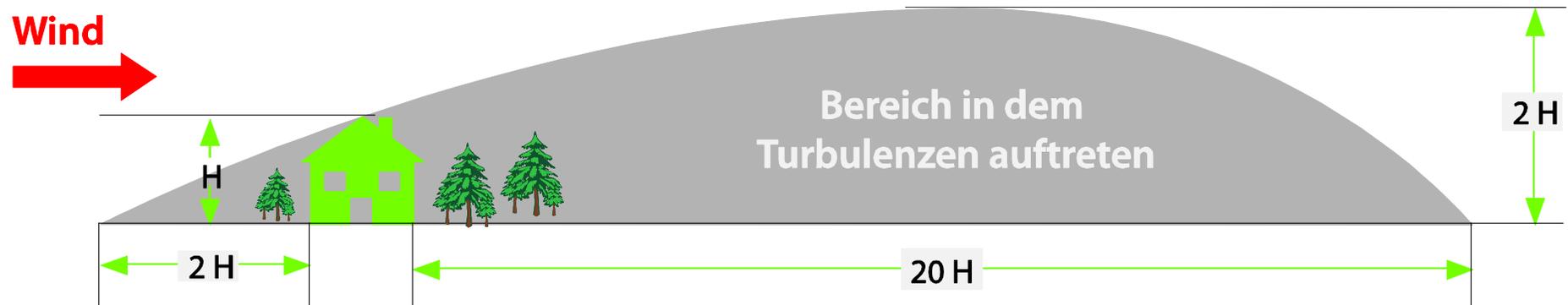


Horizontal

Vor- und Nachteile unterschiedlicher Bauformen von kleinen Windenergieanlagen

	Vertikalachsenanlagen	Horizontalachsenanlagen
Effizienz	mäßig	hoch
Windnachführung	nicht notwendig	verschiedene Konzepte
Toleranz Schräganströmung	hoch	niedrig
Schallemissionen	gering	meist höher
Gewicht	vergleichsweise hoch	vergleichsweise niedrig
Kosten	vergleichsweise hoch	vergleichsweise niedrig

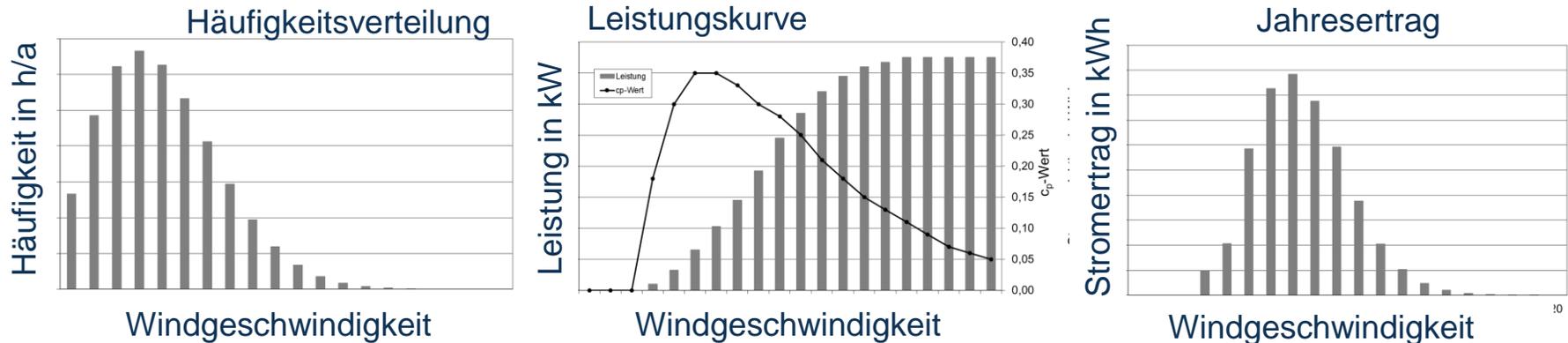
- Erschließbarkeit: ausreichende Zuwegung für Aufstellung der Anlage, Verlegung des Kabelstrangs zum Anschluss an Stromnetz
- Schattenwurf und Geräusche
- Windverhältnisse
- Genehmigungsfähigkeit



H = Hindernishöhe

Turbulenzbereich vor und nach einem Hindernis, in dem kein Rotor aufgestellt werden sollte (Gipe, P. 2004)

Jahresstromertrag ergibt sich aus der Häufigkeitsverteilung Windgeschwindigkeiten
Und der Leistungskurve der Windenergieanlage



Faustzahlen zur Abschätzung des Jahresertrages in
Abhängigkeit vom Windmittel in Rotormitte:

- 4,0 m/s → 185 kWh/m² Rotorfläche
- 4,5 m/s → 260 kWh/m² Rotorfläche
- 5,0 m/s → 335 kWh/m² Rotorfläche
- 5,5 m/s → 420 kWh/m² Rotorfläche
- 6,0 m/s → 500 kWh/m² Rotorfläche

Beispiel:

Rotordurchmesser 9 m, überstrichene Rotorfläche 65 m², Windmittel 4,5 m/s ergibt Jahresertrag in der Größenordnung von 16.900 kWh

Investitionsbedarf und jährliche Kosten



Anlagen	Investitionsbedarf		Anlagekosten				
	€	€/kW	Abschreibung	Zinsansatz	Betriebskosten	insgesamt	
			€/a	€/a	€/a	€/a	€/kW
7,5-kW-KWEA, 28 m ² Rotorfläche, 15 m Nabenhöhe	33.750	4.500	1.688	675	413	2.775	370
15-kW-KWEA, 65 m ² Rotorfläche; 19,5 m Nabenhöhe	56.250	3.750	2.813	1.125	825	4.763	318
25-kW-KWEA, 126 m ² Rotorfläche, 21,6 m Nabenhöhe	81.250	3.250	4.063	1.625	1375	7.063	283

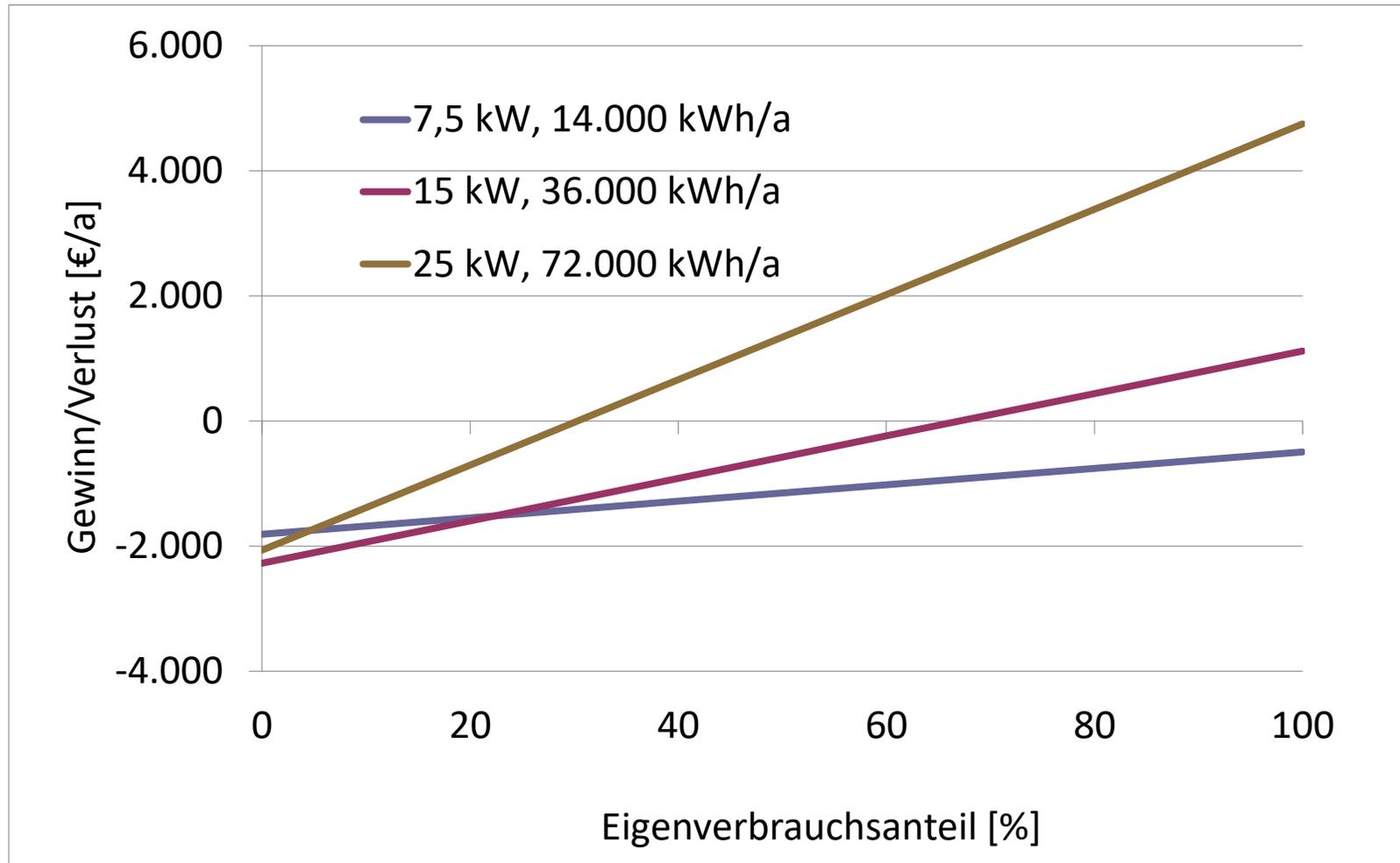
Ohne Mehrwertsteuer, Nutzungsdauer 20 Jahre, Zinsansatz 4 %, Betriebskostenpauschale 55 €/kW Nennleistung.

Wirtschaftlichkeit nach Standort

Merkmal	Einheit	Nennleistung in kW		
		7,5	15	25
Sehr guter Standort				
Mittlere Windgeschwindigkeit	m/s	6	6,3	6,5
Spezifischer Stromertrag	kWh/m ² A _R	500	555	575
Jahresstromproduktion	kWh/a	14.000	36.075	72.450
Stromgestehungskosten	ct/kWh	19,82	13,20	9,75
Mittlerer Standort				
Mittlere Windgeschwindigkeit	m/s	5,0	5,3	5,4
Spezifischer Stromertrag	kWh/m ² A _R	335	380	402
Jahresstromproduktion	kWh/a	9.380	24.700	50.652
Stromgestehungskosten	ct/kWh	29,58	19,28	13,94
Sehr schwacher Standort				
Mittlere Windgeschwindigkeit	m/s	4,0	4,2	4,3
Spezifischer Stromertrag	kWh/m ² A _R	185	220	235
Jahresstromproduktion	kWh/a	5.180	14.300	29.610
Stromgestehungskosten	ct/kWh	53,57	33,31	23,85

EEG-Vergütung: 6,9 ct/kWh → ökonomisch gesehen macht nur Eigenverbrauch an guten Standorten Sinn!

Gewinn Verlust nach Eigenverbrauchsanteil

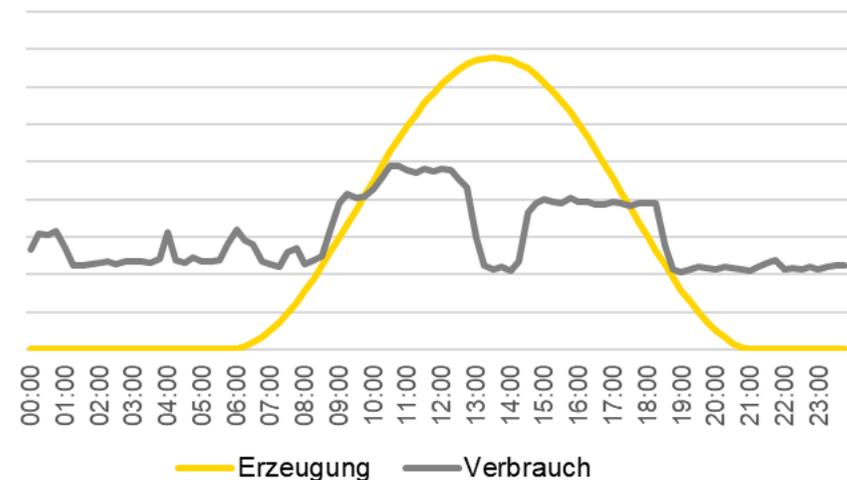
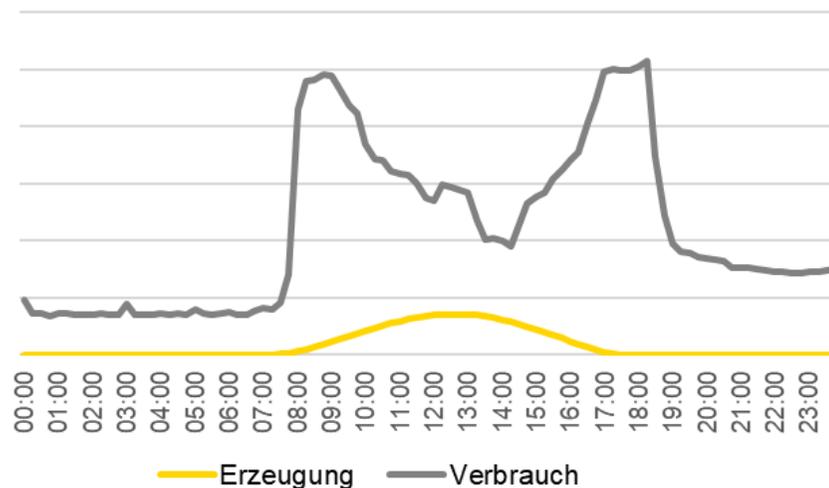


sehr guter Standort

Auslegung der Erzeugungsanlage

Aus ökonomischer Sicht zu unterscheidende Szenarien:

1. Eigenverbrauch und Einspeisung kostendeckend
→ groß bauen, hoher Autarkiegrad, zusätzlicher Gewinn aus Einspeisung
2. Eigenverbrauch kostendeckend, Einspeisung unrentabel
→ Hohen Eigenverbrauchsanteil anstreben um Anlage rentabel zu kriegen
3. Eigenverbrauch und Einspeisung unrentabel
→ Bereitschaft zum Tragen höherer Kosten prüfen



Zusammenfassung

- PV-Anlagen
 - Gutes Potential zur Eigenstromproduktion mit PV-Anlagen
 - insbesondere solange EEG-Vergütung kostendeckend
- Kleine Windenergieanlagen
 - Einspeisung von Windstrom aus Kleinanlagen unwirtschaftlich
 - An guten Standorten ist ein wirtschaftlicher Betrieb bei hohen Eigenverbrauchsanteilen denkbar
- Bei Anlagenauslegung sind die ökonomischen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen
 - Groß bauen bei kostendeckender Einspeisevergütung
 - Auf Eigenverbrauch optimieren wenn nur die Stromsubstitution rentabel ist

Strom-Eigenverbrauch

Eigenstromnutzung – was muss ich wissen?

1. Erfassung und Analyse des Energieverbrauchs

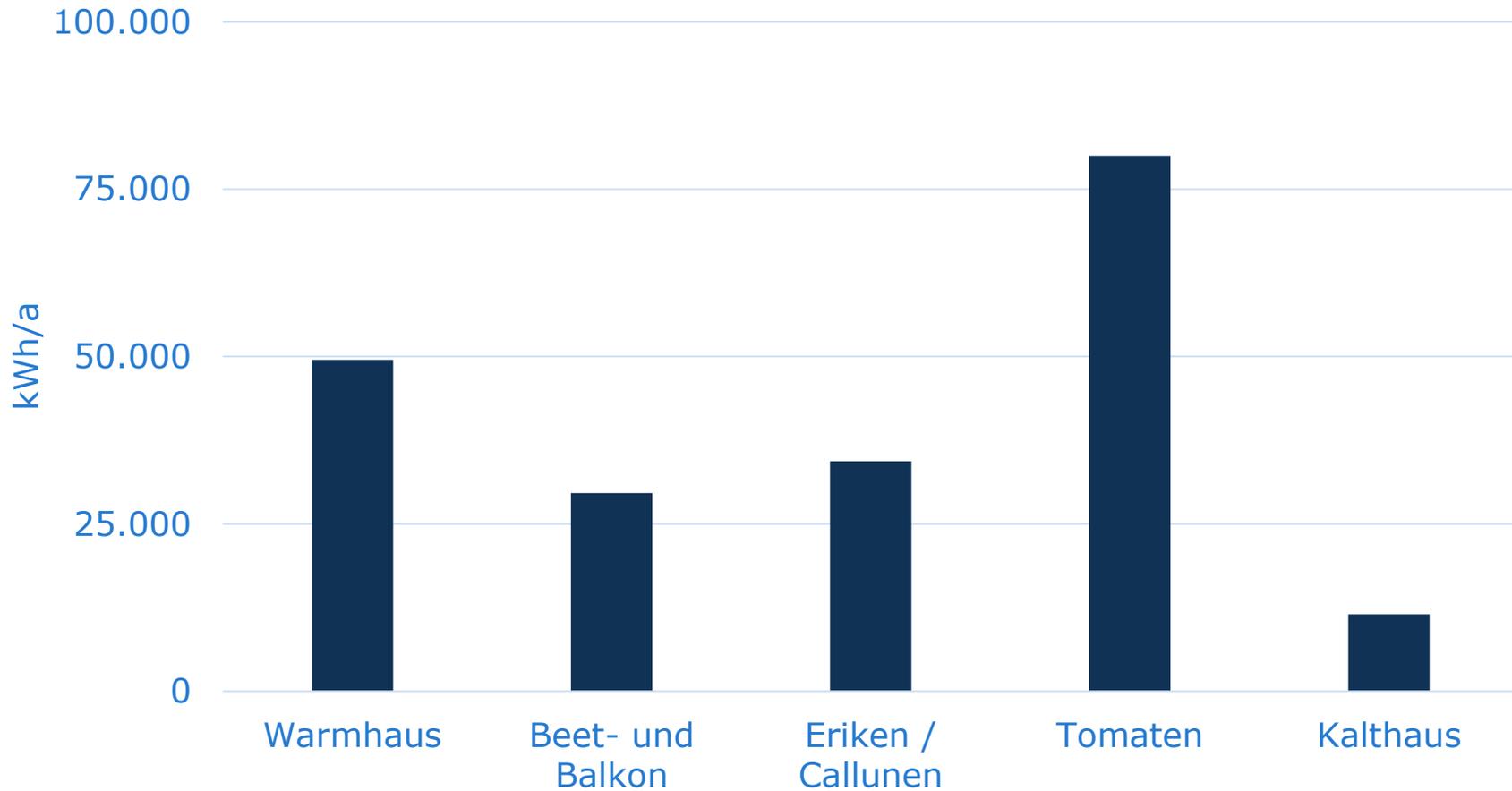
2. Erstellung des Lastprofils für den Betrieb

3. Erstellung des Leistungsprofils der Energieerzeugung

4. Berechnung der Eigenstromnutzung und der Eigenstromdeckung (ggf. Lastmanagement und Speicher berücksichtigen)

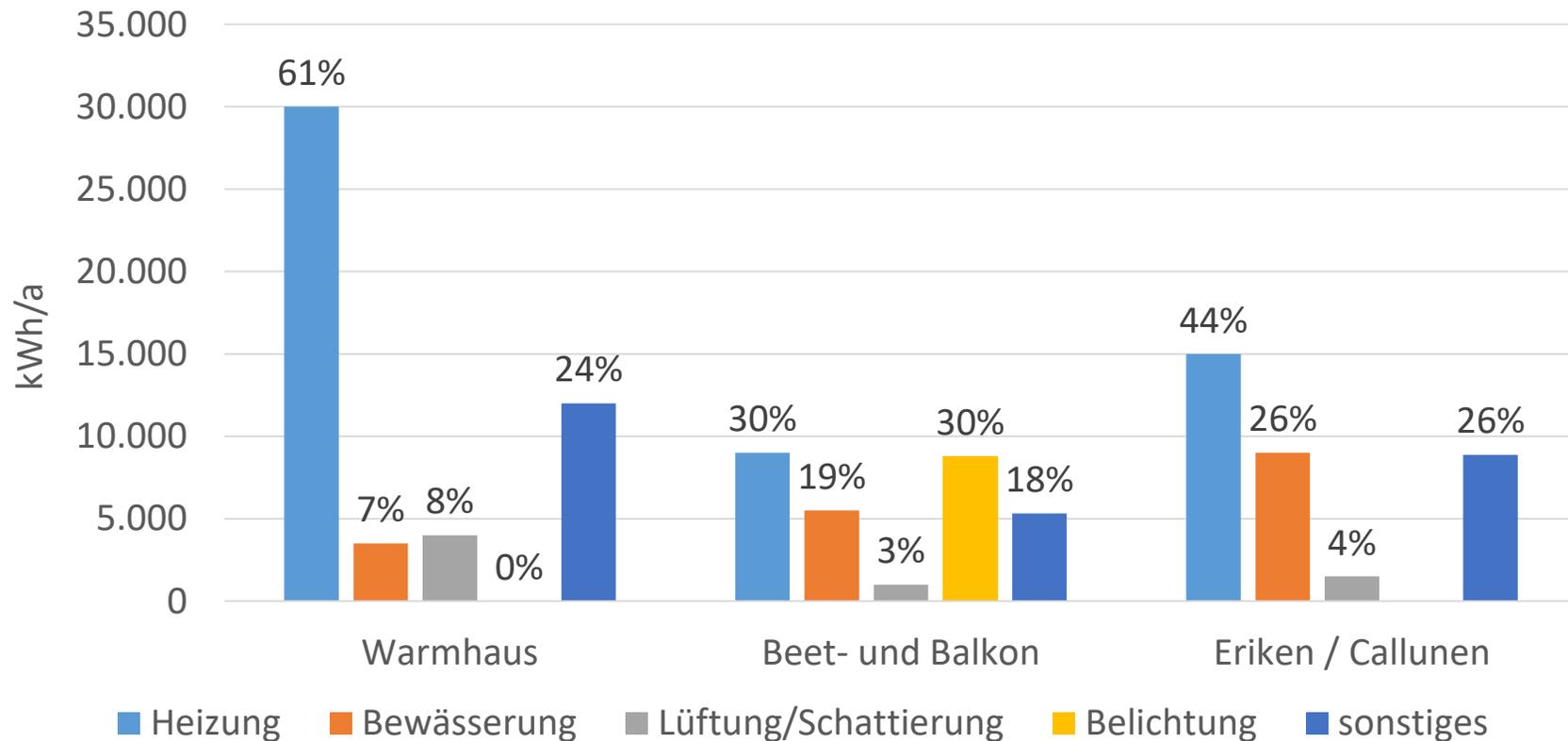
5. Wirtschaftlichkeitsbewertung (unter Beachtung zukünftiger Preisentwicklungen)

Stromverbrauch im Gartenbau



Lange et. al 2002, AEL 2002

Stromverbrauch im Gartenbau

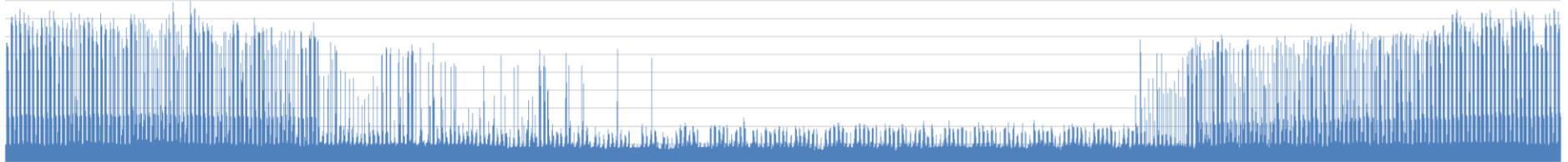


Lange et. al 2002, AEL 2002

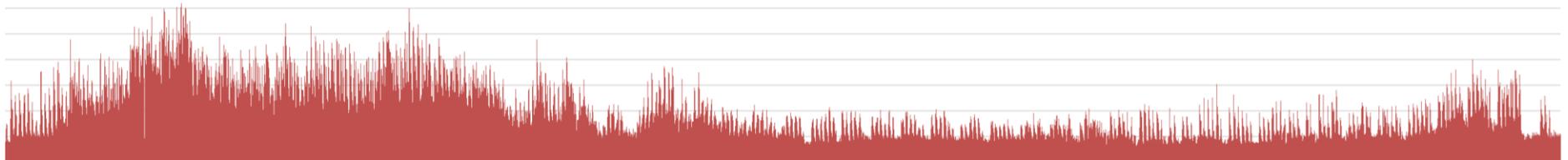
Eigenstromnutzung – was muss ich wissen?

1. Erfassung und Analyse des Energieverbrauchs
- 2. Erstellung des Lastprofils für den Betrieb**
3. Erstellung des Leistungsprofils der Energieerzeugung
4. Berechnung der Eigenstromnutzung und der Eigenstromdeckung (ggf. Lastmanagement und Speicher berücksichtigen)
5. Wirtschaftlichkeitsbewertung (unter Beachtung zukünftiger Preisentwicklungen)

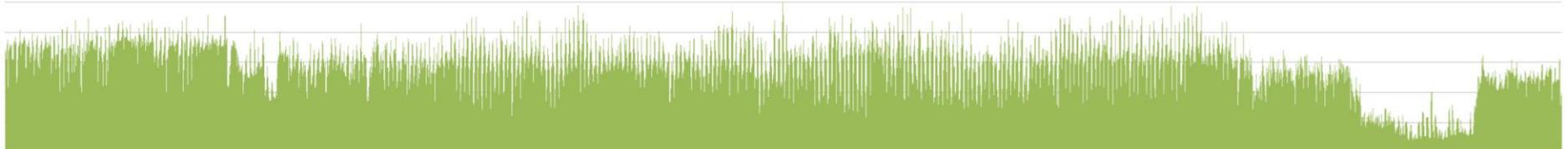
Orchideenbetrieb



Topfpflanzenbetrieb

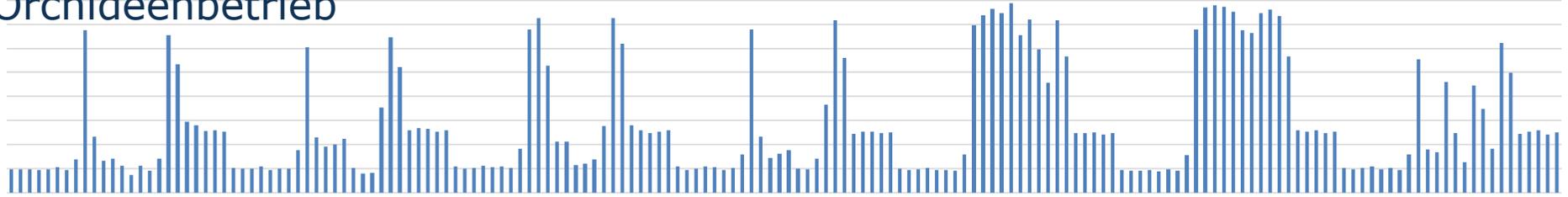


Tomatenbetrieb

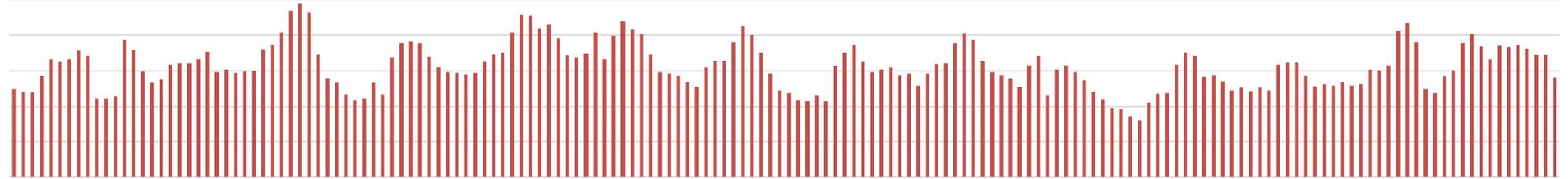


Quelle: Wenzel 2018

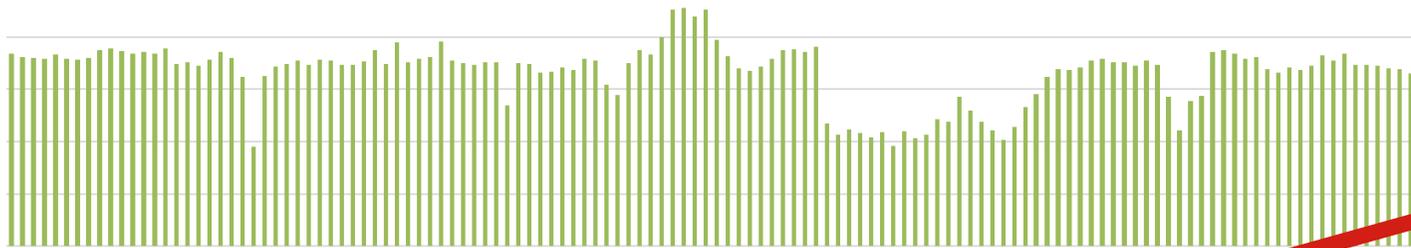
Orchideenbetrieb



Topfpflanzenbetrieb



Tomatenbetrieb



Quelle: Wenzel 2018

„SMART METER“

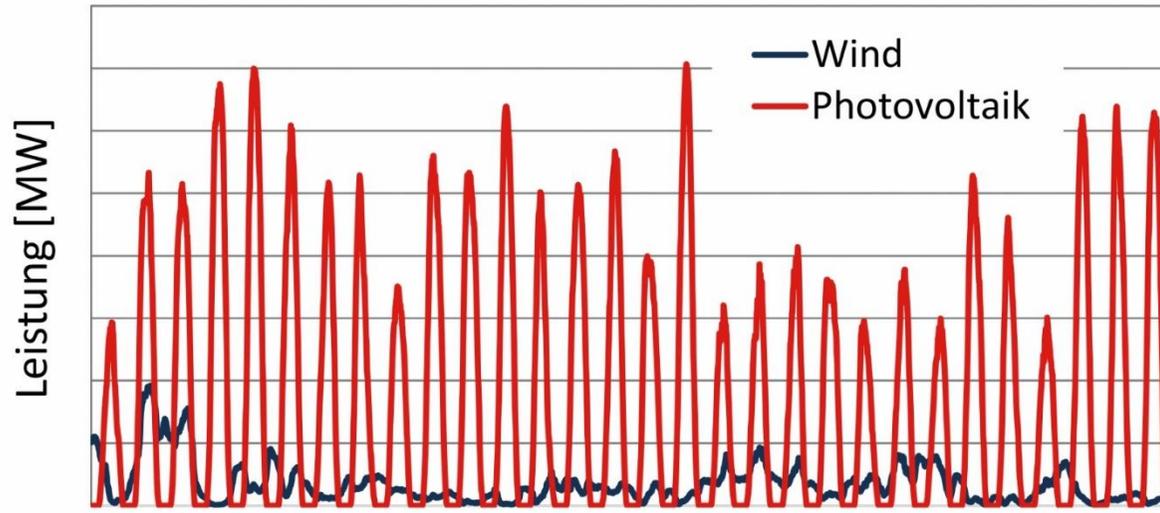


Quelle: Wietzke 2018

Eigenstromnutzung – was muss ich wissen?

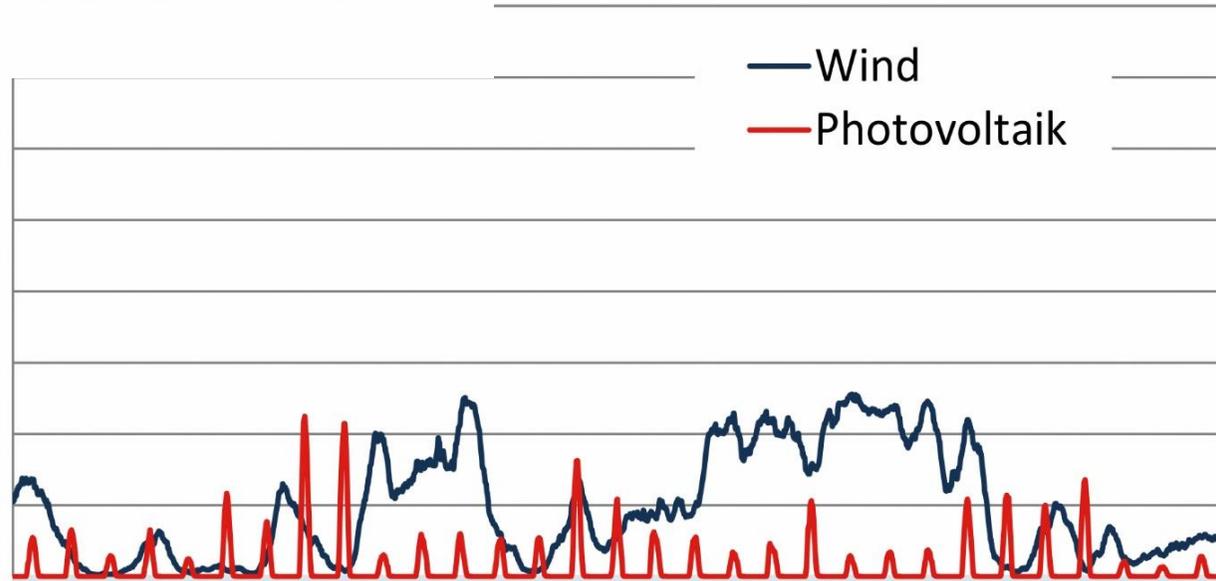
1. Erfassung und Analyse des Energieverbrauchs
2. Erstellung des Lastprofils für den Betrieb
- 3. Erstellung des Leistungsprofils der Energieerzeugung**
4. Berechnung der Eigenstromnutzung und der Eigenstromdeckung (ggf. Lastmanagement und Speicher berücksichtigen)
5. Wirtschaftlichkeitsbewertung (unter Beachtung zukünftiger Preisentwicklungen)

Erzeugungprofile PV und Wind



Juni 2015

Leistung [MW]



Dezember 2014

Prognosequalität durch
(Standard-)Lastprofile:

PV: mittel bis gut
Wind: kaum tragfähige
Aussagen möglich

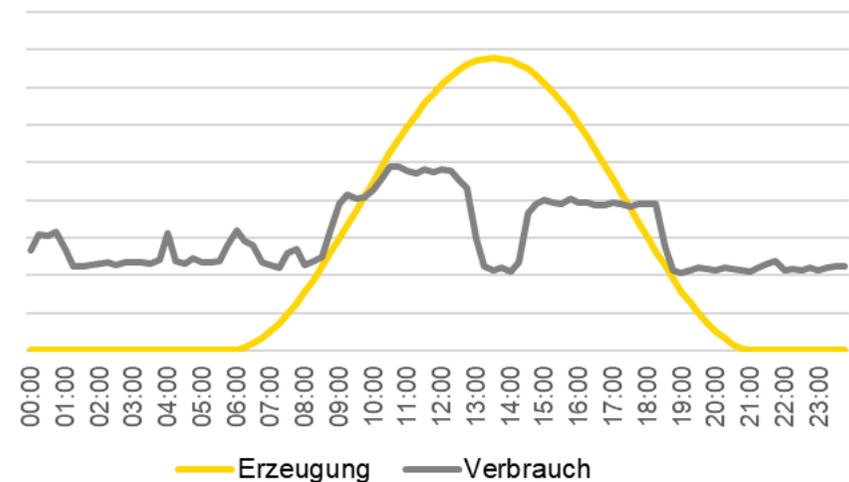
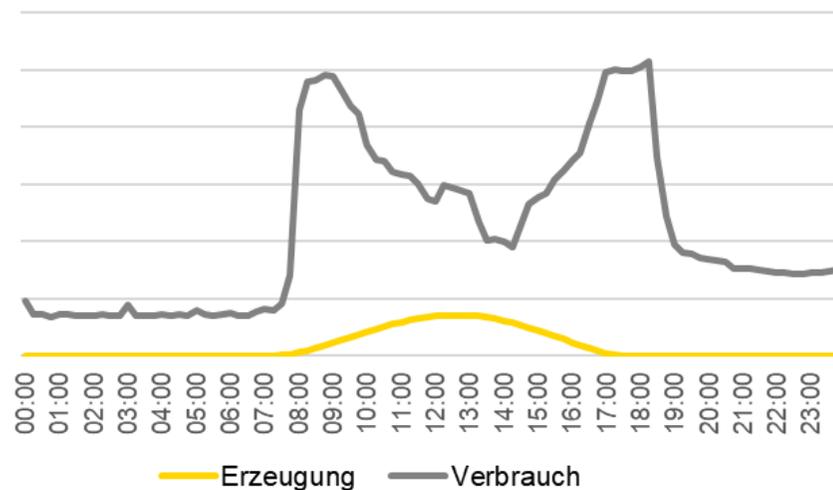
Auslegung der Erzeugungsanlage

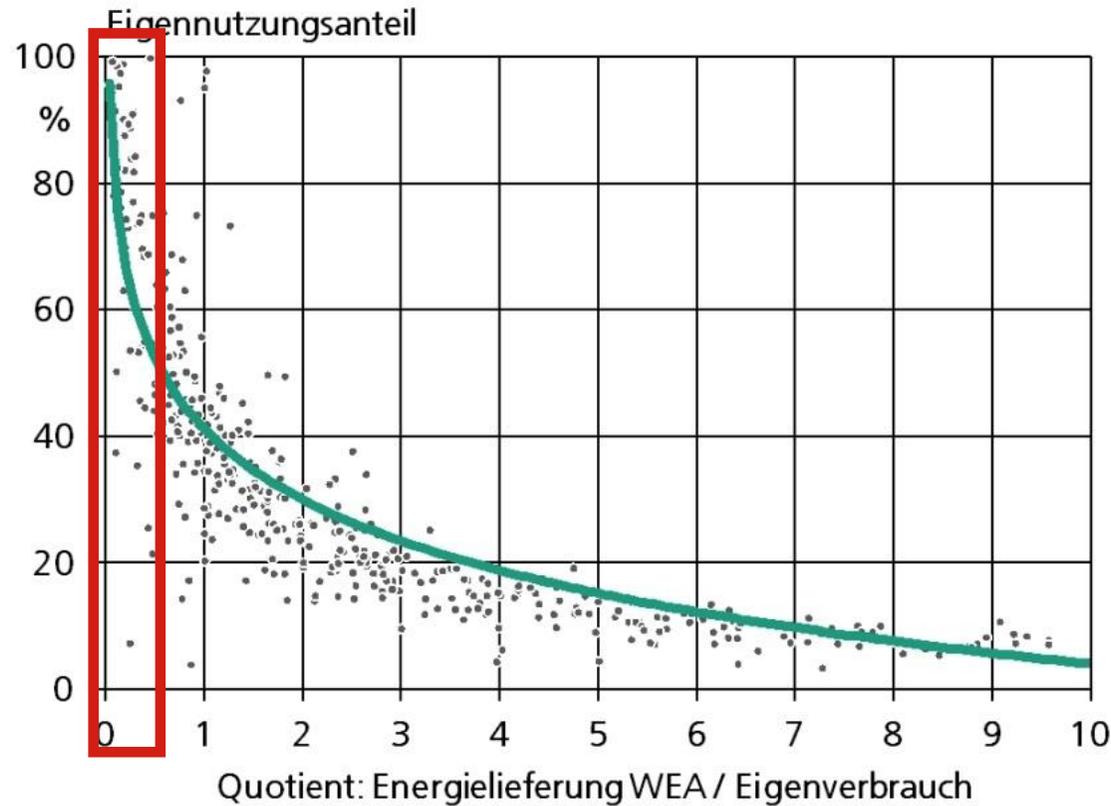
Welche Ziele?

Hoher Anlagengewinn/hohe Kapitalrendite

Hoher Eigenverbrauchsanteil

Hoher Selbstversorgungsgrad





Eigennutzungsanteil: Anteil an der Stromproduktion, der selber genutzt werden kann in Abhängigkeit vom Verhältnis von Stromlieferung durch die Anlage und Eigenverbrauch

Eigenstromnutzung – was muss ich wissen?

1. Erfassung und Analyse des Energieverbrauchs
2. Erstellung des Lastprofils für den Betrieb und Identifikation verschiebbarer Lasten
3. Erstellung des Leistungsprofils der Energieerzeugung
- 4. Berechnung der Eigenstromnutzung und der Eigenstromdeckung**
(ggf. Speicher berücksichtigen)
5. Wirtschaftlichkeitsbewertung (unter Beachtung zukünftiger Preisentwicklungen)

Eigenverbrauch mit PV-Anlage wenn Stromproduktion = Stromverbrauch

Orchideenbetrieb



Topfpflanzenbetrieb

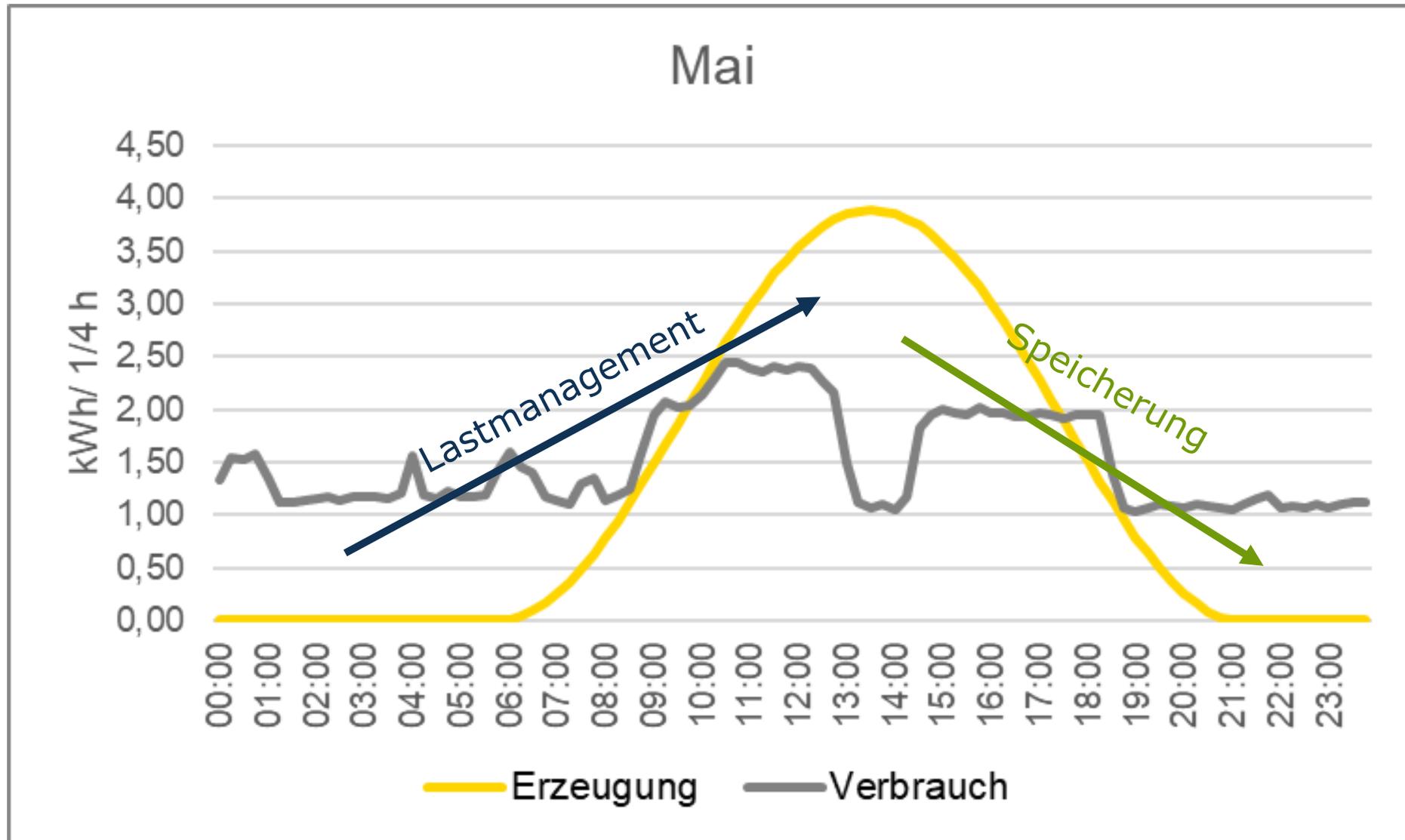


Tomatenbetrieb



Quelle Daten: Wenzel 2018

Eigenverbrauch erhöhen durch...



...und Sektorkopplung → z.B. zusätzlicher Verbraucher E-Mobilität

Potential zur Lastverschiebung ist oft überschaubar, da Verbrauchszeitpunkt eng mit Produktionsablauf und/oder Witterung verbunden ist.

- Nicht verschiebbare Lasten
 - Belichtung
 - Heizung
- (bedingt) verschiebbare Lasten
 - Bewässerung (?)
 - Topfmaschinen,...
 - E-Mobilität (privat und betrieblich)

Speichern – wann lohnt sich das?

Investitionsbedarf Speichersystem in €/kWh Nutzkapazität	Zyklenzahl					
	2.000	2.500	3.000	4.000	5.000	6.000
	Speicherkosten in ct/kWh					
350	25,9	21,4	18,3	14,5	12,2	10,7
500	37,0	30,5	26,1	20,7	17,4	15,3
750	55,6	45,8	39,2	31,0	26,1	22,9
1.000	74,1	61,0	52,3	41,4	34,9	30,5
1.500	111,1	91,5	78,4	62,1	52,3	45,8

$$\text{Gesamtkosten in } \frac{\text{ct}}{\text{kWh}} =$$

$$\frac{\text{Nutzungskosten in } \frac{\text{ct}}{\text{kWh}} + \text{EEG} - \text{Umlage in } \frac{\text{ct}}{\text{kWh}}}{\text{Wirkungsgrad in \%}} + \text{Speicherkosten in ct/kWh}$$

Nutzungskosten: entgangene Einspeisevergütung

Möglicher Zusatzeffekt: Reduktion Spitzenlast bei RLM-Kunden

Eigenstromnutzung – was muss ich wissen?

1. Erfassung und Analyse des Energieverbrauchs
2. Erstellung des Lastprofils für den Betrieb und Identifikation verschiebbarer Lasten
3. Erstellung des Leistungsprofils der Energieerzeugung
4. Berechnung der Eigenstromnutzung und der Eigenstromdeckung (ggf. Speicher berücksichtigen)
- 5. Betriebsindividuelle Wirtschaftlichkeitsbewertung (unter Beachtung zukünftiger Preisentwicklungen)**

Zusammenfassung

- Gutes Potential zur Eigenstromproduktion mit PV-Anlagen, insbesondere solange EEG-Vergütung kostendeckend
- Produktion von Windstrom mit Kleinanlagen nur an sehr guten Standorten wirtschaftlich, Prognose der Produktion schwierig
- Verbrauchsbereiche und Erzeuger passen unterschiedlich gut zusammen (Bewässerung → PV; Heizung und Belichtung → Wind)
- Zur Berechnung von möglichen Eigenverbrauchsanteilen ist eine genaue Analyse von Verbrauch und Erzeugung nötig
- Einsatz von Speichern noch zu teuer, aber interessant für PV-Anlagen die aus der Vergütung fallen