



**- Weltklimavertrag beschließt Dekarbonisierung -
Herausforderung an Erneuerbare Energien**

VEE Sachsen e.V. – Jahrestagung 2016

Dresden – Gläserne Manufaktur, 10.03.2017

Vortrag

„Deutschland im 7. Jahr der Energiewende – **Wo steht Sachsen?**“

FSD Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Schlegel
Referent Klimaschutz a. D.
Mitglied VEE Sachsen e. V.
Tel.: 03431-701279
Mobil: 0177-4541681
E-mail: Schlegel-Doebeln@t-online.de

Gliederung

Erneuerbare Energien in Sachsen – Rückblick

Aktueller Stand der Erneuerbaren Energien in Sachsen

Ausbau der Erneuerbaren Energien in Sachsen 2020 – ein Blick voraus

WKA „Wöllsdorf“ Zschopau (FG) – $P_N = 350 \text{ kW}$



Foto: Schlegel, 28.10.2006

WP „Jöhstadt“ (ERZ) – 14 WEA- $P_{\text{ges}} = 7.550 \text{ kW}$



Foto: Schlegel, 01.05.2005

BGA „Etzdorf“ (FG) – $P_{\text{Net}} = 426 \text{ kW}$



Foto: Schlegel, 14.09.2006

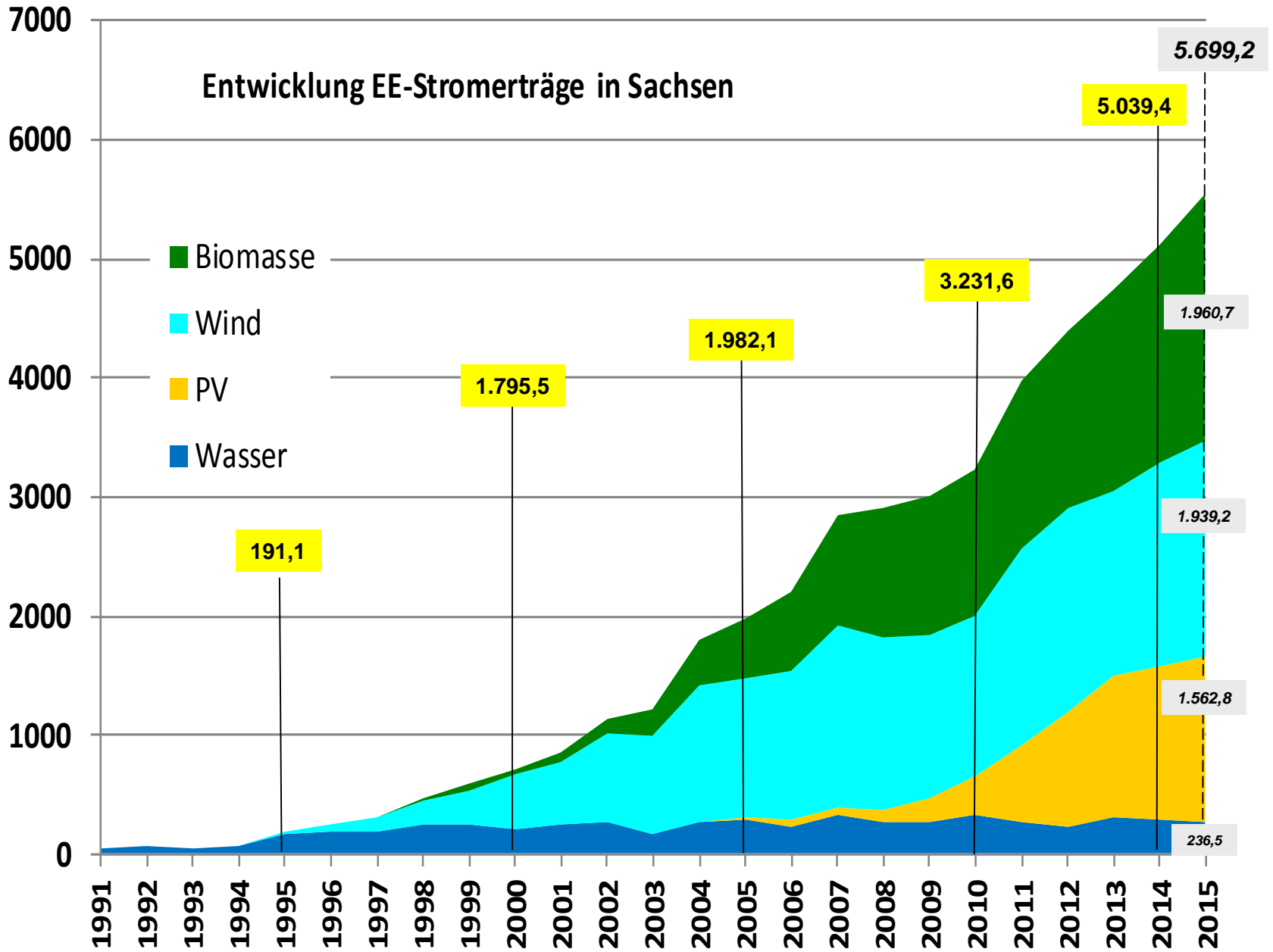
PV-Anlage Grunau (FG) - $P = 15,75 \text{ kW}_p$



Foto: Schlegel 03.04.2005

Entwicklung EE-Stromerträge in Sachsen

Stromerträge in GWh



Gliederung

Erneuerbare Energien in Sachsen – Rückblick

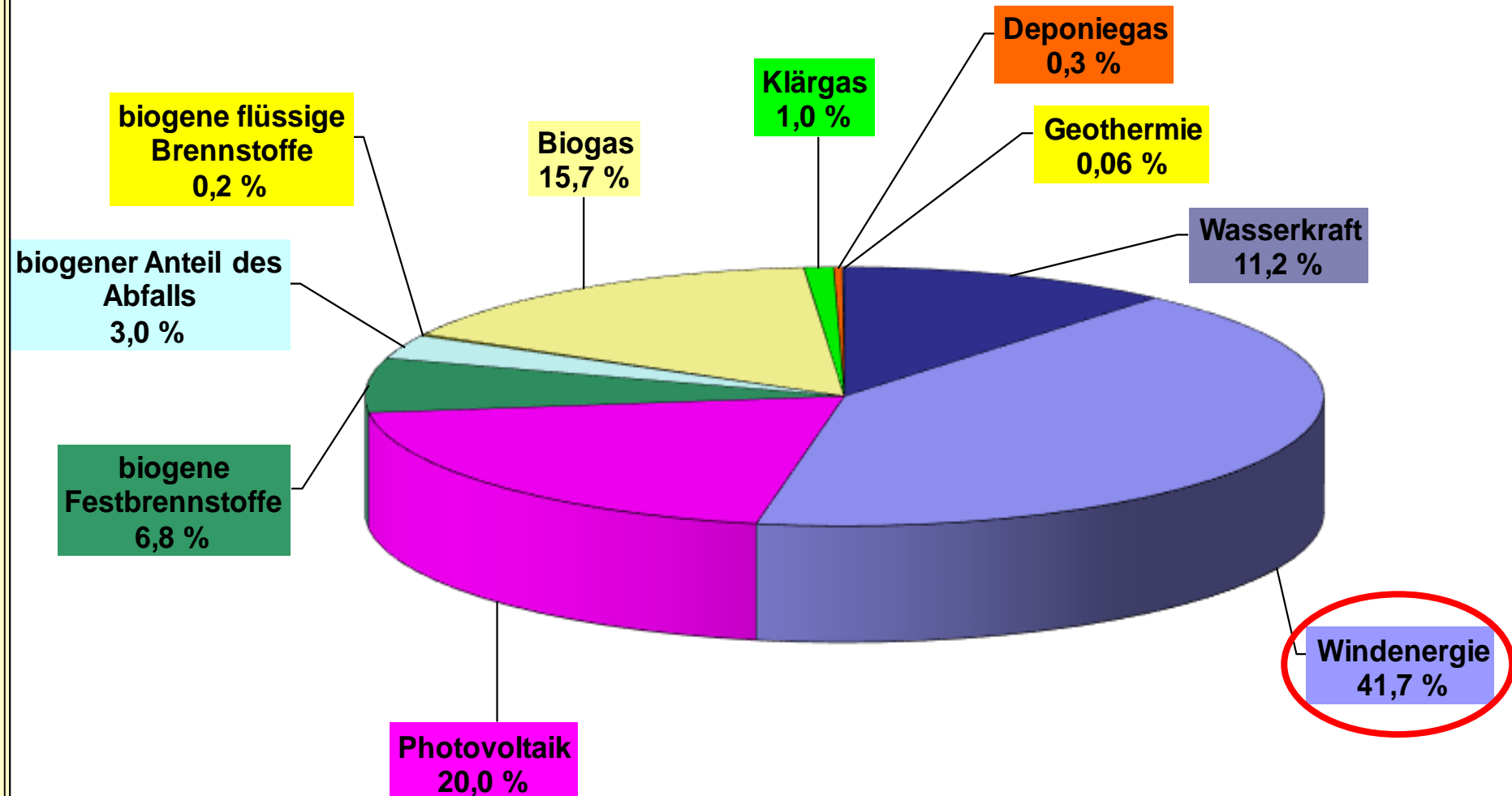
Aktueller Stand der Erneuerbaren Energien in Sachsen

Ausbau der Erneuerbaren Energien in Sachsen 2020 – ein Blick voraus

Struktur der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland 2016

$E_{\text{ges } 2016} \approx 191.300 \text{ GWh} \rightarrow \triangleq 32,3\% \rightarrow \Delta m_{\text{CO}_2} \approx 177.700 \text{ kt} \downarrow$ ¹⁾

¹⁾ Bezug auf Braunkohleemissionen; $E_{\text{erz brutto}} = 648,1 \text{ TWh} - E_{\text{verb brutto}} = 592,7 \text{ TWh}$




Gesamte Biomasse: = 27,0 %
(mit Deponie- und Klärgas)

¹⁾ $f_{\text{CO}_2} = 0,929 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_{\text{el}}$

Quelle: agora-energiewende, Stand Februar 2017, (**Angaben vorläufig**)

Stromerzeugung – Stromverbrauch Sachsen 2015

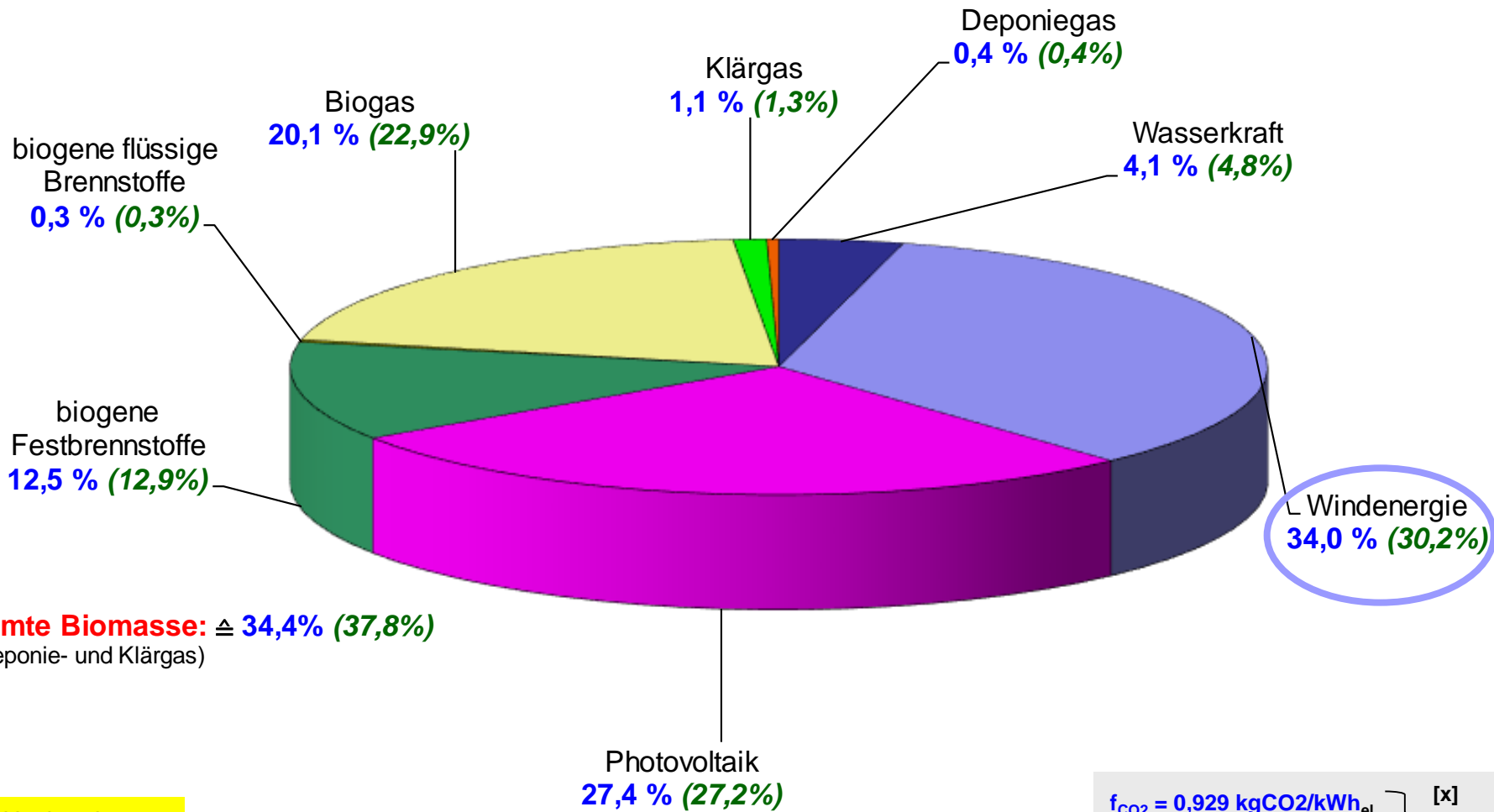
1. Bruttostromerzeugung:	42.362.000 MWh
2. Bruttostromverbrauch:	25.961.000 MWh
3. Nettostromverbrauch:	21.974.000 MWh <i>(nach StaLa-Korrektur)</i>
4. Differenzstromanteil:	3.987.000 MWh (Tagebau-, Kraftwerkstrom, PSW-Pumpenstrom, Leitungsverluste)
5. EE-Stromerzeugung:	5.699.262 MWh
6. Überschussstrom:	16.401.000 MWh \cong <i>74,64% Verbrauch SN</i>
7. SN-Überschussstrom verursacht \approx 15,2 Mio. t/a CO₂ zusätzliche Emissionen 	

Überschussstrom bindet Kapazitäten der Übertragungsnetze und verhindert die Aufnahme von Strom aus EE-Anlagen!

Struktur der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern in Sachsen 2015/2016¹⁾

$E_{\text{ges 2015}} \approx 5.699,3 \text{ GWh} \rightarrow \triangleq 25,9\% \rightarrow \Delta m_{\text{CO}_2} \approx 5.295 \text{ kt}$ ↓

$E_{\text{ges 2016}} \approx 5.805 \text{ GWh} \rightarrow \triangleq 26,4\% \rightarrow \Delta m_{\text{CO}_2} \approx 5.393 \text{ kt}$ ↓

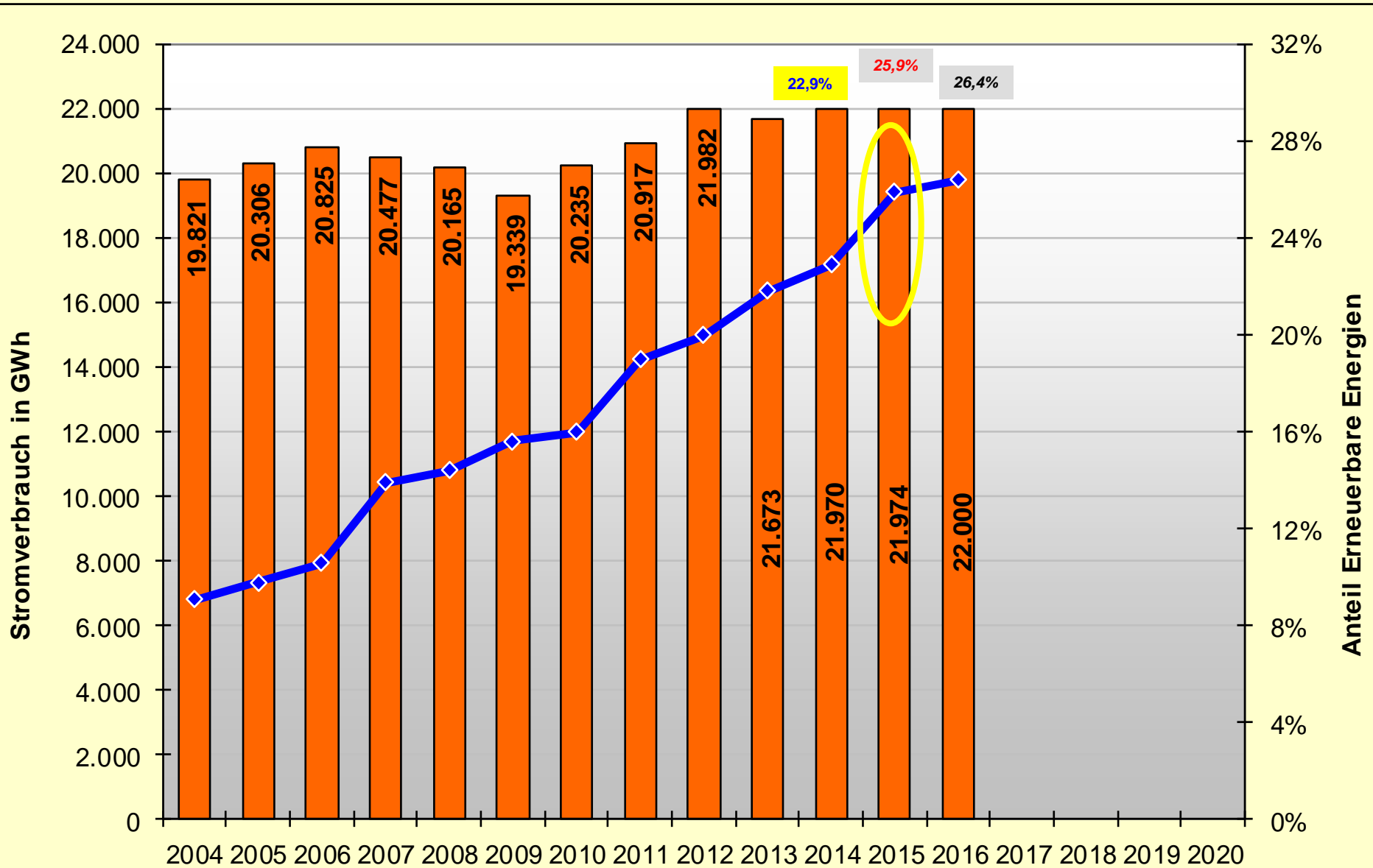


Gesamte Biomasse: $\triangleq 34,4\%$ (37,8%)
(mit Deponie- und Klärgas)

¹⁾ Hochrechnung

$f_{\text{CO}_2} = 0,929 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_{\text{el}}$ } [x]
 $f_{\text{CO}_2} = 0,229 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_{\text{th}}$ }

Stromverbrauch und Anteil Erneuerbarer Energien in Sachsen (2004 – 2016*)



Quelle: StaLa, Schlegel, (Gehling, bearb. Feb. 2017)
 2016 ff: EE-Daten hochgerechnet

█ Stromverbrauch
 —◆— erneuerbare Energien

Anteil der EE am Elektroenergieverbrauch 2015/2016 in Sachsen

- Elektroenergieverbrauch in Sachsen 2015/2016 (*Hochrechnung*)

$$E_{\text{Verbrauch}} = 21.974 \text{ GWh} \text{ (} E_{\text{brutto erzeugt}} \approx 42.362 \text{ GWh)} / 22.000 \text{ GWh} \text{ (} E_{\text{brutto erzeugt}} \approx 42.360 \text{ GWh)}$$

- Einspeisung 2015/2016 und Verbrauchsanteile in Prozent[♦]

Windenergie:	1.939,2 GWh	→	8,8 %	-	1.750 GWh	→	7,9 %
Wasserkraft:	236,8 GWh	→	1,1 %	-	280 GWh	→	1,3 %
Biomasse (fest und flüssig)**:	727,1 GWh	→	3,2 %	-	765 GWh	→	3,5 %
Biogas*:	1.233,6 GWh	→	5,6 %	-	1.430 GWh	→	6,5 %
Photovoltaik:	1.562,8 GWh	→	7,1 %	-	1.580 GWh	→	7,2 %

$$E_{\Sigma \text{ Einspeisung}}: \quad \begin{array}{l} \mathbf{5.699,2 \text{ GWh}} \rightarrow \triangleq \mathbf{25,9\%} \triangleq N_{HH} \approx \mathbf{2.270.600 \text{ HH/a}} \\ \mathbf{5.805 \text{ GWh}} \rightarrow \triangleq \mathbf{26,4 \%} \triangleq N_{HH} \approx \mathbf{2.312.750 \text{ HH/a}} \end{array} \text{ 1)2)3)4)}$$

* Σ aus Biogas, Deponiegas, Klärgas

** Σ aus Biomasse fest, flüssig, Klärschlamm, biogene Abfälle

♦ mit Eigenverbrauch

Quelle: StaLa, Schlegel, Februar. 2017

- 1) $N_{SN} = 2.171.500 \text{ HH}$
- 2) $n_{SN} = 4.084.851 \text{ EW}$
- 3) $e_{HH} = 2.510 \text{ kWh}/(\text{HH} \cdot \text{a})$
- 4) $e_{EW} = 1.335 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a})$

Jahresstromerträge EE-Anlagen in Sachsen 2015/2016¹⁾

- 2015: $E_{EE} = 5.699.262 \text{ MWh}$ $\longrightarrow \Delta m_{CO_2} \approx 5.295.000 \text{ t/a} \downarrow$

$\Delta E_{EE} 2015:2002 = 4,98 \text{ fache}$ Steigerung

■ Versorgungsgrad 2015: $n_{HH \text{ äq}} \approx 2.270.600 \text{ HH/a}^{**} \longrightarrow \triangleq 104,5 \% HH_{SN}$
 $n_{EW \text{ äq}} \approx 4.269.100 \text{ EW/a}^* \longrightarrow \triangleq 104,5 \% EW_{SN}$

- 2016: $E_{EE} = 5.805.000 \text{ MWh}$ $\longrightarrow \Delta m_{CO_2} \approx 5.393.000 \text{ t/a} \downarrow$

$\Delta E_{EE} 2016:2002 = 5,07 \text{ fache}$ Steigerung

■ Versorgungsgrad 2016: $n_{HH \text{ äq}} \approx 2.312.750 \text{ HH/a}^{**} \longrightarrow \triangleq > 100 \% HH_{SN}$
 $n_{EW \text{ äq}} \approx 4.348.300 \text{ EW/a}^* \longrightarrow \triangleq > 100 \% EW_{SN}$

WP „Wülknitz-Streumen (MEI)

4 WEA V126-3.3MW / NH137m
„Die neuen sächsischen Flaggschiffe“

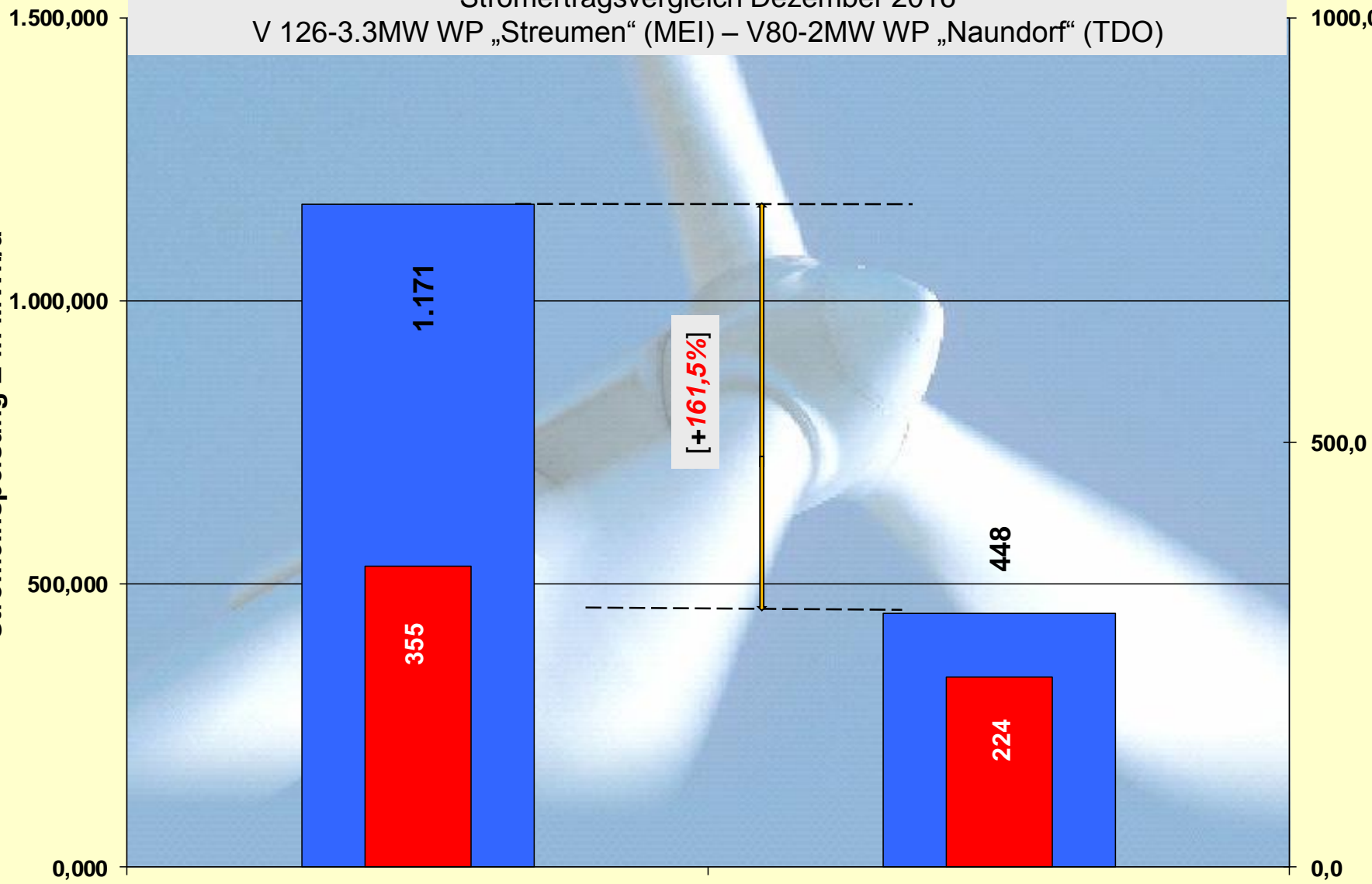
$E_{\text{Dez.}} \approx 1.171 \text{ MWh/mth}$

Stromertragsvergleich Dezember 2016

V 126-3.3MW WP „Streumen“ (MEI) – V80-2MW WP „Naundorf“ (TDO)

Stromeinspeisung E in MWh/a

Volllaststunden t_a in h/a



Vestas V126-3.3MW/NH137m

Vestas V80-2MW/NH67m

■ Stromeinspeisung ■ Volllaststunden

Jahresstromerträge von zwei Windparks in Sachsen 2016



**WP „Saldenberg“ (ERZ) – 9 x WEA
E82-2MW, NH = 108 m, RD = 82 m**

■ Stromertrag 2016:

▶ (Pfaffroda: 2.471 EW, 12/2015) → $E_{(tv = 2.281,0 \text{ h/a})} = 41.058.466 \text{ kWh} [e \approx 4.562,1 \text{ MWh/WEA}]$
→ $n_{EW \ddot{a}q} \approx 30.755 \text{ EW/a} [(f \approx 12,4^*); p_{eff} = 25,97\%]$

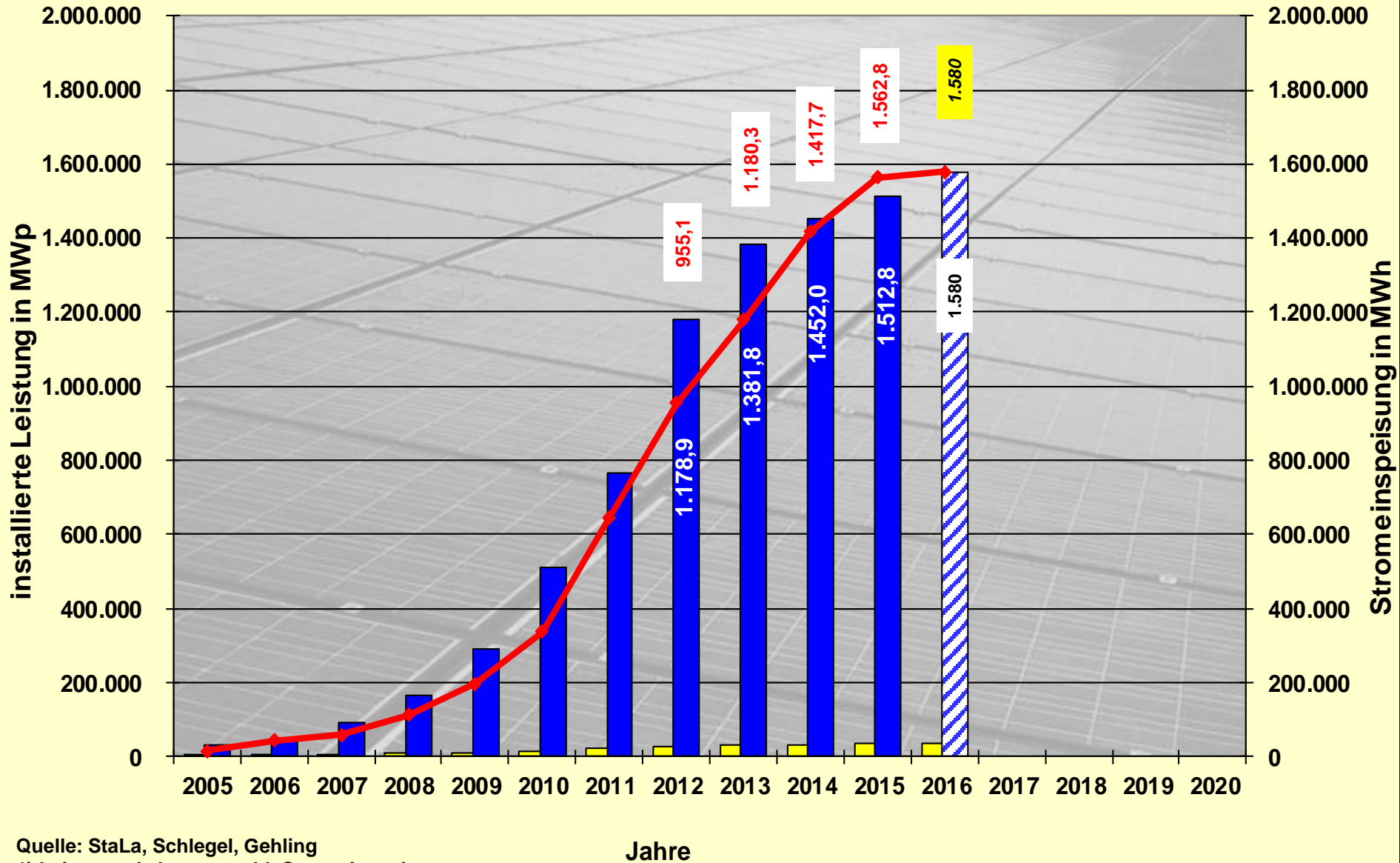
**WP „Silberberg“ (L) – 8 x WEA
V90-2MW, NH = 105 m, RD = 90 m**



■ Stromertrag 2016:

▶ (Grimma: 28.480 EW, 12/2015) → $E_{(tv = 2.351,7 \text{ h/a})} = 37.627.832 \text{ kWh} [e \approx 4.703,5 \text{ MWh/WEA}]$
→ $n_{EW \ddot{a}q} \approx 28.185 \text{ EW/a} [(f \approx 0,99^*); p_{eff} = 26,85\%]$

Entwicklung von PV-Dach-, Fassaden-, Freiflächenanlagen in Sachsen 2005 - 2020 ¹⁾



Quelle: StaLa, Schlegel, Gehling

¹⁾ Leistung, Anlagenanzahl, Stromeinspeisung
teils näherungsweise berechnet

Daten ab 2016 Hochr.; (Schlegel, bearb. Feb. 2017)

Anzahl der Anlagen
 install. Leistung in kWp
 Stromeinspeisung in MWh

Jahresstromerträge von zwei Solarparks in Sachsen 2016



Quelle: juwi solar

PV-KW „Rote Jahne“ (TDO)

$$P_{T1+T2} = 13.186 \text{ kW}_p$$

■ Stromertrag 2016:

► (Doberschütz: 4.100 EW, 12/2015)

$$E_{(e=984,3 \text{ kWh/kWp})} \approx 12.978.822 \text{ kWh/a}$$

$$\longrightarrow n_{\text{VersEW}} \approx 9.580 \text{ EW/a } (f \approx 2,34)^*$$

PV-KW „Waldpolenz“ (L)

$$P = 52.000 \text{ kW}_p$$

$$E_{a \text{ prog}} \approx 52.000.000 \text{ kWh/a}$$

$$n \approx 700.000 \text{ Module}$$

$$A_{\text{modul}} \approx 504.000 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{PV-KW}} \approx 156 \text{ ha} = 1.560.000 \text{ m}^2$$

$$e = E_a / A_{\text{modul}} \approx 103 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$K_{\text{inv } T1} \approx 130.000.000 \text{ EUR}$$

$$K_{\text{inv } T2} \approx 26.000.000 \text{ EUR}$$



Quelle: juwi solar

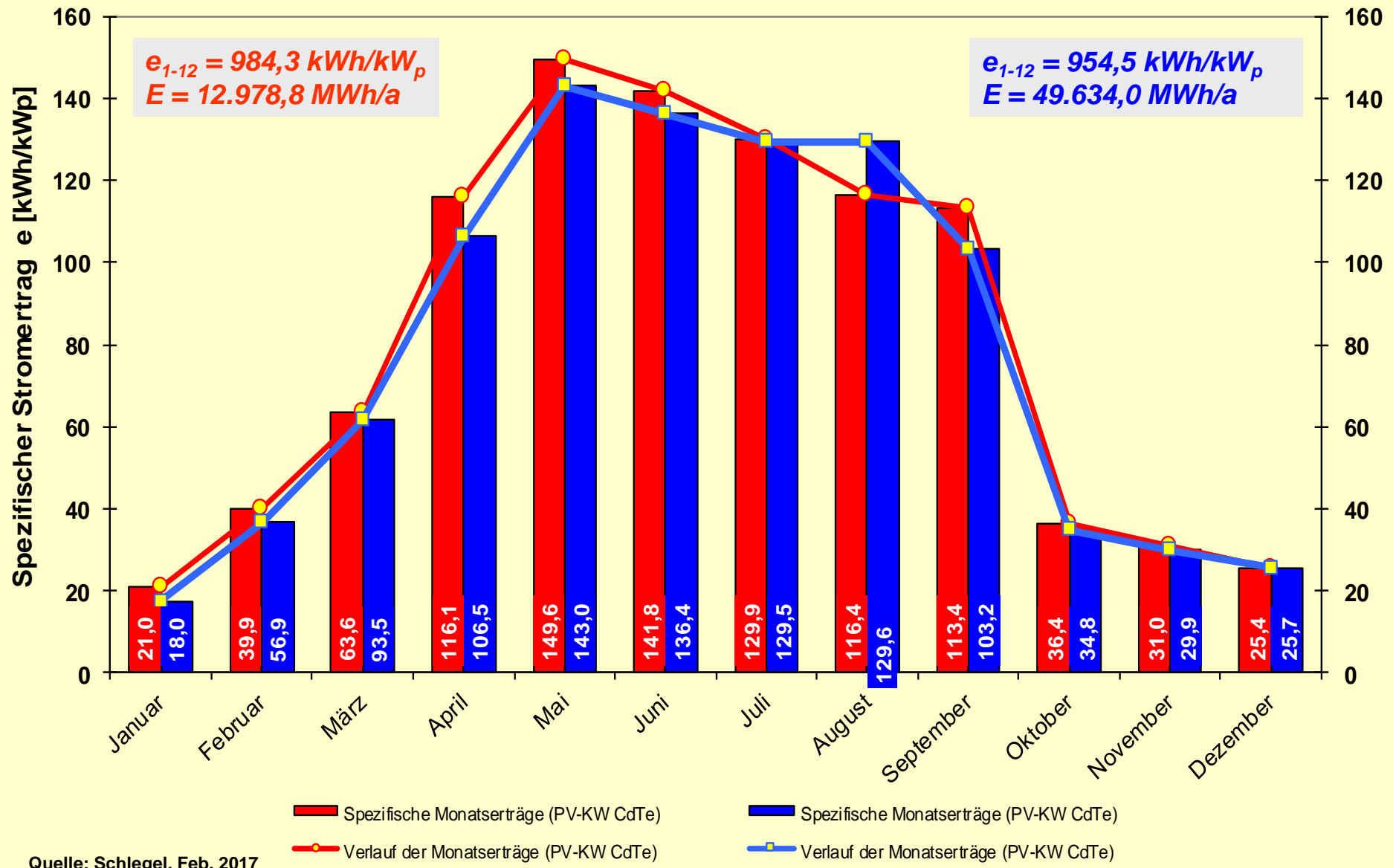
■ Stromertrag 2016:

► (Brandis: 9.426 EW, 12/2015)

$$E_{(e=954,5 \text{ kWh/kWp})} \approx 49.634.000 \text{ kWh/a}$$

$$\longrightarrow n_{\text{VersEW}} \approx 37.180 \text{ EW/a } (f \approx 3,94)^*$$

Spezifische Stromerträge zweier PV-KW (30° Süd) für das Jahr 2016 - PV-KW CdTe-Module (Rote Jahne / Waldpolenz)



BGA „Friweika“ Weidensdorf (Z) –
BHKW: $P_{\text{Nel}} = 530 \text{ kW}$ / $P_{\text{Nth}} = 1.060 \text{ kW}$

Fermenter

**Strom- und Wärmeversorgung für
Kartoffelverarbeitungsbetrieb**

- $E_{\text{el}} \approx 4.000.000 \text{ kWh/a}$
- $E_{\text{th}} \approx 9.400.000 \text{ kWh/a}$
- **Substrat: Kartoffelschalen**
- **Deckung Energiebedarf > 40%**

Quelle: Foto, Schlegel, 07.09.2007

BGA „Philipp GbR“ Strölla (FG)
BHKW - $P_{\text{Nel}} = 160 \text{ kW}$, $P_{\text{Nth}} = 200 \text{ kW}$

**Netzeinspeisung Strom und Wärme-
versorgung für Landwirtschaftsbetrieb
am Stadtrand von Döbeln**

- $E_{\text{el}} \approx 1.200.000 \text{ kWh/a}$
- **Substrat: Rindergülle**

Fermenter

BHKW

Quelle: Foto, Schlegel, 28.10.2006

Talsperre Klingenberg/Osterzgebirge (PIR)

WKA „Klingenberg“ (PIR) Baujahr 1913

Wilde Weißeritz

Staubecken: $V \approx 16,2 \text{ Mio. m}^3$

Foto: Schlegel, 26.02.2017

Techn.-ökon. Daten:

- $P_N = 700 \text{ kW}$
- $h_F = 34,5 \text{ m}$
- $Q_{\max} = 3,3 \text{ m}^3/\text{s}$
- $E \approx 3.000 \text{ MWh/a}$
- $n_{\text{Ver äq}} \approx 1.200 \text{ HH/a}$
- 2 Francisspiralturbinen

Turbinenhaus

Überlaufkaskade

Foto:Schlegel, 26.02.2017

Gliederung

Erneuerbare Energien in Sachsen – Rückblick

Aktueller Stand der Erneuerbaren Energien in Sachsen

Ausbau der Erneuerbaren Energien in Sachsen 2020 – ein Blick voraus

EE-Stromziele Sachsen bis 2023 nach Energie- und Klimaprogramm 2012 [EKP]

▶ **Windenergie:** **2.200 GWh/a** [2015: **1.939,239GWh**]
[2016: 1.750GWh **]

▶ **Biomasseenergie:** **1.800 GWh/a** [2015: **1.960,731GWh**]
(fest, flüssig, gasförmig) [2016: 2.195GWh **]

▶ **Photovoltaik (PV):** **1.800 GWh/a** [2015: **1.562,815GWh**]
[2016: 1.580GWh **]

▶ **Wasserkraft:** **320 GWh/a** [2015: **236,497GWh**]
[2016: 280GWh **]

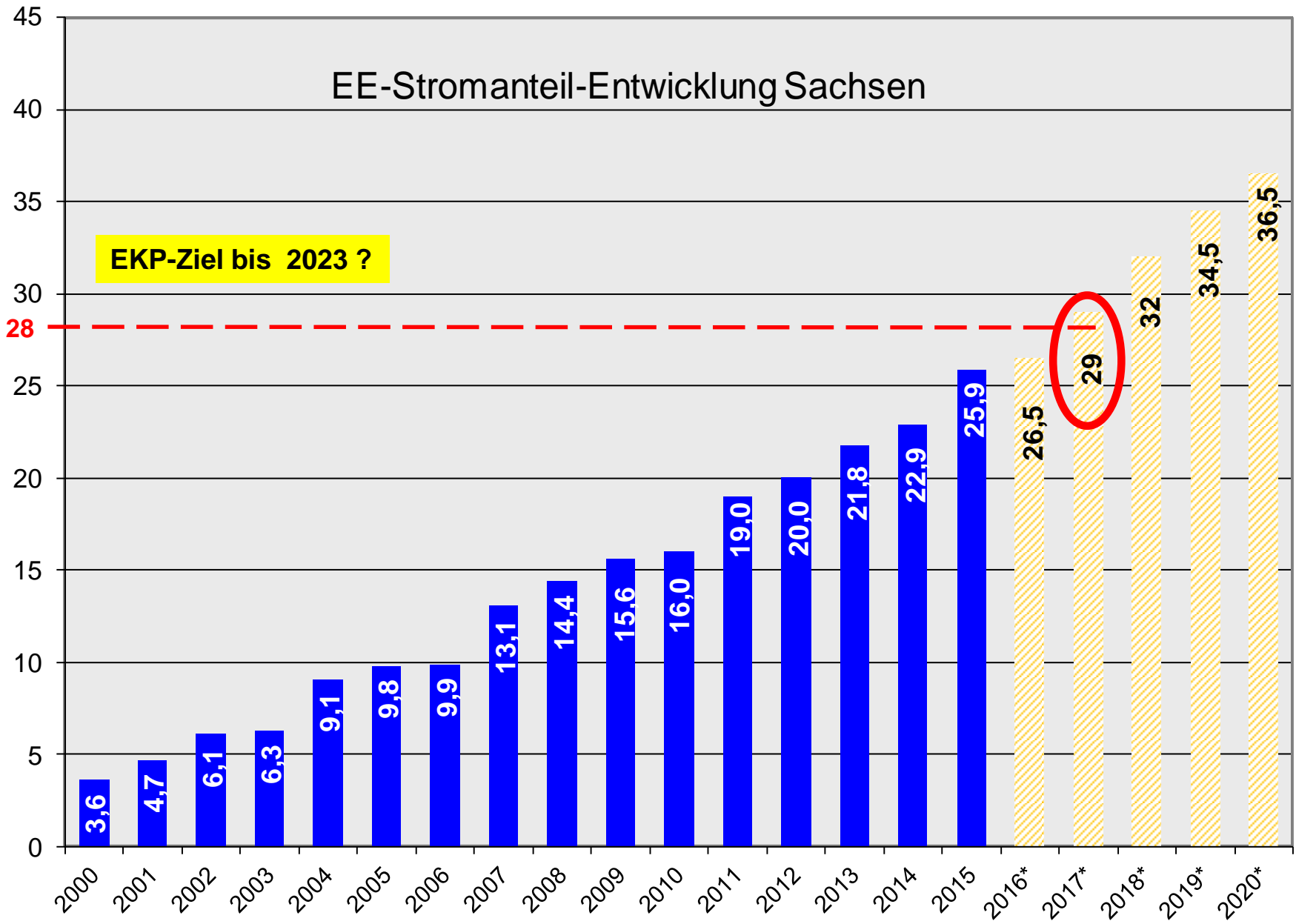
▶ **Σ EE 2023 *:** **6.120 GWh/a** \triangleq **28% EE-Anteil**

* Annahme: $E_{\text{verb } 2023} \leq 21.800 \text{ GWh/a}$ / ** Hochrechnung/Prognose

EE-Stromanteil-Entwicklung Sachsen

Anteil der EE am Stromverbrauch in %

EKP-Ziel bis 2023 ?



* Prognosedaten

Quelle: StaLa bis 2015 ausgewertet, Schlegel, Februar 2017 bearb.

WEA-Leistungen / WEA-Anzahl / Landesflächenanteil in Bezug auf Sachsen 2016 ¹⁾

1. Niedersachsen	9.324 MW / 5.857 WEA / $\approx 2,6 \times A_{SN}$
2. Schleswig-Holstein	6.449 MW / 3.581 WEA / $\approx 1,6 \times A_{SN}$
3. Brandenburg	6.337 MW / 3.630 WEA / $\approx 0,9 \times A_{SN}$
4. Sachsen-Anhalt	4.914 MW / 2.804 WEA / $\approx 1,1 \times A_{SN}$
5. Nordrhein-Westfalen	4.604 MW / 3.345 WEA / $\approx 1,9 \times A_{SN}$
6. Rheinland-Pfalz	3.159 MW / 1.612 WEA / $\approx 1,3 \times A_{SN}$
7. Mecklenburg-Vorpommern	3.091 MW / 1.844 WEA / $\approx 1,1 \times A_{SN}$
8. Bayern	2.233 MW / 1.061 WEA / $\approx 3,8 \times A_{SN}$
9. Hessen	1.703 MW / 998 WEA / $\approx 0,9 \times A_{SN}$
10. Thüringen	1.333 MW / 793 WEA / $\approx 1,1 \times A_{SN}$

11. **Sachsen** ²⁾ **1.160 MW** / **870 WEA** / $1 \times A_{SN}$ ³⁾

12. Baden-Württemberg	1.041 MW / 572 WEA / $\approx 1,9 \times A_{SN}$
13. Saarland	310 MW / 152 WEA / $\approx 0,14 \times A_{SN}$

14. Bremen	174 MW / 85 WEA / $\approx 0,02 \times A_{SN}$
15. Hamburg	72 MW / 51 WEA / $\approx 0,04 \times A_{SN}$
16. Berlin	12 MW / 5 WEA / $\approx 0,05 \times A_{SN}$

Summe DE ¹⁾: **45.911 MW / 27.270 WEA**

Quelle: BWE 2016; Schlegel, (Februar 2017 bearbeitet)

¹⁾ Stand BWE: 31.12.2016; ²⁾ Stand: 31.12.2016 Schlegel

³⁾ $A_{SN} = 18.420,15 \text{ km}^2$

WEA-Vergleich Niedersachsen - Sachsen 2016

Niedersachsen

Fläche: $A_{NI} = 47.614,07\text{km}^2$
EW: $n_{NI} = 7.926.599$ (31.12.2015)
WEA: $n = 5.857$
WEA-Leistung: $P = 9.324\text{MW}$

Sachsen

Fläche: $A_{SN} = 18.420,15\text{km}^2$
EW: $n_{SN} = 4.084.851$ (31.12.2015)
WEA: $n = 870$
WEA-Leistung: $P = 1.160\text{MW}$

Flächenverhältnis: $A_{NI} / A_{SN} \approx 2,6 / 1$
Einwohnerverhältnis: $EW_{NI} / EW_{SN} \approx 1,9404 / 1$

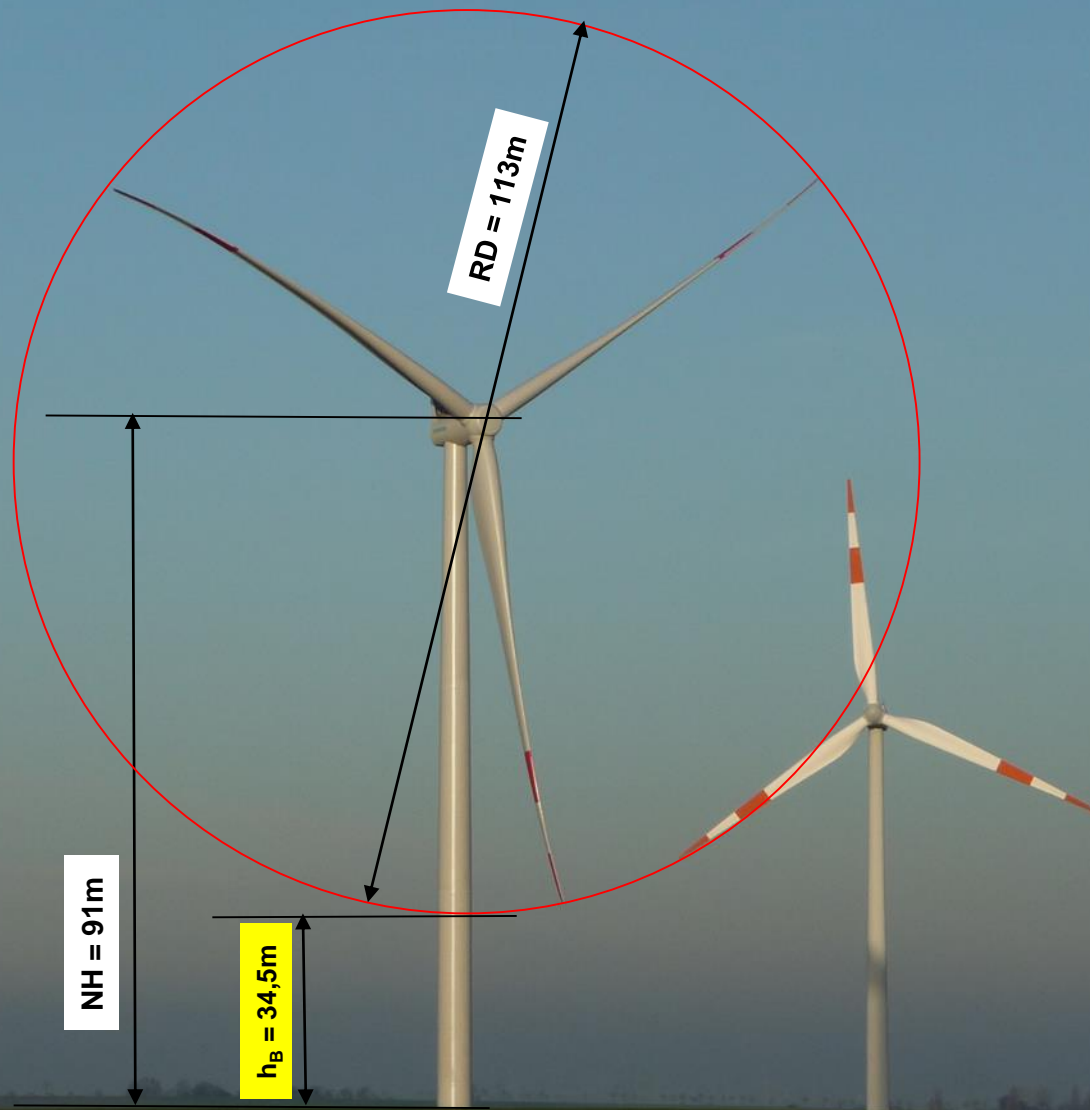
WEA-Verhältnis: $WEA_{NI} / WEA_{SN} \approx 6,7321 / 1$

Leistungsverhältnis: $P_{WEA NI} / P_{WEA SN} \approx 8,0379 / 1$

Fazit:

NI: $7,3890 \cdot 10^{-4}$ WEA/EW SN: $2,1298 \cdot 10^{-4}$ WEA/EW
MV: $1,1436 \cdot 10^{-3}$ WEA/EW SH: $1,2526 \cdot 10^{-3}$ WEA/EW

WP „Naundorf“ (TDO) – Erweiterung – SWT-3.2MW-113



RPV Leipzig-West Sachsen hintergeht die Vereinbarungen CDU-SPD im Koalitionsvertrag und führt indirekt die 10H-Regelung ein !!!

Energiepolitische Grundforderungen

- Klima- und Umweltverträglichkeit

- *Treibhausgasfreie / –arme (THG) Energieerzeugung*
- *Vertretbare Eingriffe in Sozial- und Umweltstrukturen*
- *Reststofffreie, mindestens reststoffarme Energieerzeugung*

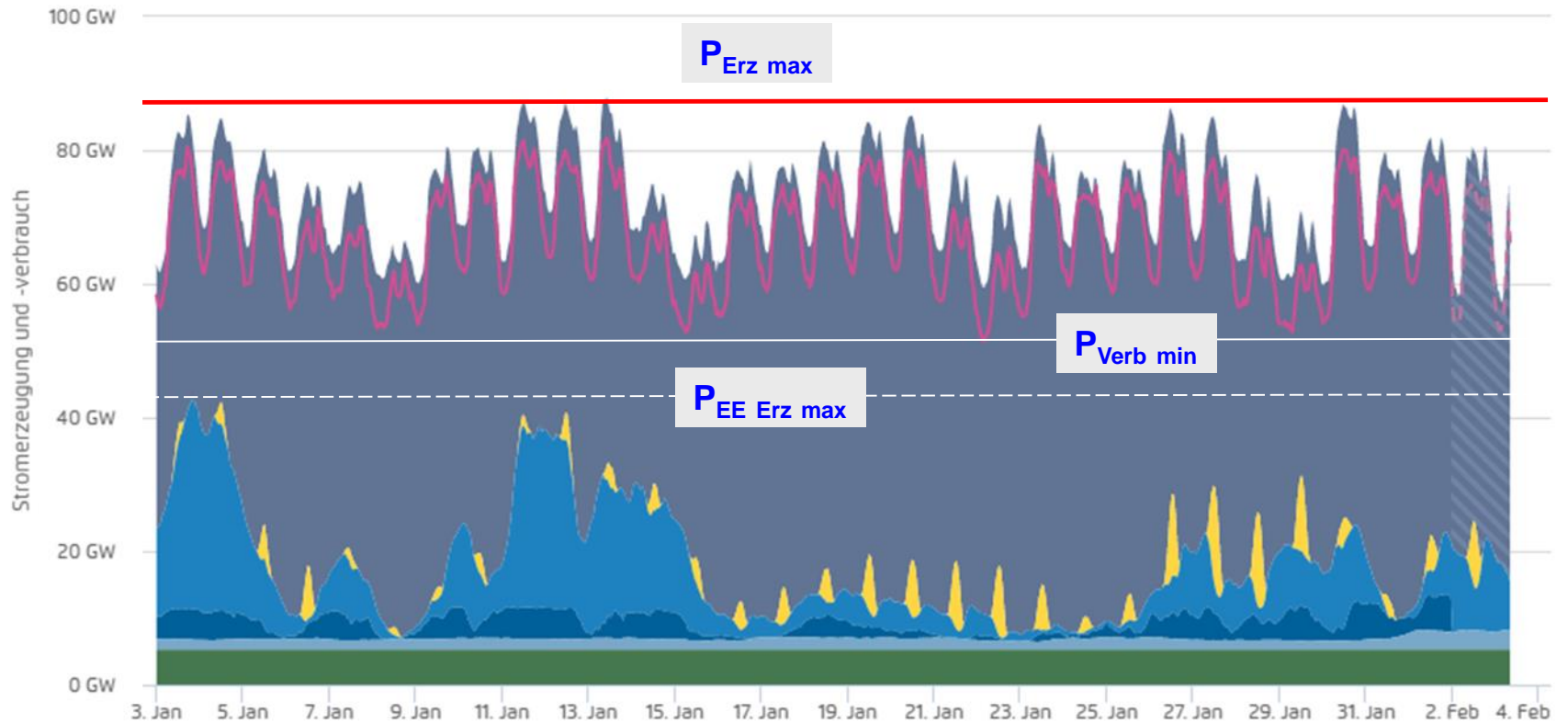
- Versorgungszuverlässigkeit

- *Nationale Energieversorgung „rund um die Uhr“*
- *Europäischer Energieverbund zum Stromaustausch und zur Störungsüberbrückung*
- *Energiespeicherung*

- Wirtschaftlichkeit

- *Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit in Industrie und Gewerbe*
- *Sicherung sozial- und wirtschaftsverträglicher Energiekosten*

Stromerzeugung und -verbrauch in DE vom 03.01. – 02.02.2017



- Konv. Kraftwerke
- Konv. Kraftwerke (Vorläufig)
- Solar
- Wind Onshore
- Wind Offshore
- Wasserkraft
- Biomasse
- Stromverbrauch
- Stromverbrauch (Vorläufig)
- Steinkohle
- Braunkohle
- Kernenergie
- Pumpspeicher
- Erdgas
- Andere

$P_{\text{Erz max}} > 85\text{GW}$
 $P_{\text{Verb max}} = 81,919\text{GW}$
 $P_{\text{Verb min}} = 51,587\text{GW}$
 $P_{\text{EE Erz max}} > 40\text{GW}$

$EE_{\text{Bio max}} = 5,234\text{GW} = \text{const.}$
 $EE_{\text{H2O max}} = 3,009\text{GW}$
 $EE_{\text{WEA max}} = 31,317\text{GW}$
 $EE_{\text{PV max}} = 14,930\text{GW}$
 $EE_{\text{WEA offsh max}} = 5,580\text{GW}$

Wetter: Windertrag

Mittwoch, 18.01.
Tagessumme Windertrag (Ist + Prognose)

% der installierten Leistung im
Bundesland

- 00 - 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- 30 - 40 %
- 40 - 50 %
- 50 - 60 %



Ganz Deutschland:
118 GWh
entspricht 8,2%
des mittleren täglichen
Stromverbrauchs in
Deutschland

PHILIPS

Wind- und PV-Strom-Erträge
DE am 18.01.2017

Durchschnittlicher Tagesstromverbrauch:

$\bar{W}_{DE\text{ Verb}} \approx [1.420 - 1.440 \text{ GWh/d}]$

$E_{DE\ 18.01. \text{ Aufk/d}} \hat{=} 12,8\%_{DE\ \text{ Verb/d}}$

Wetter: Solarenergie

Mittwoch, 18.01.
Tagessumme Solarstrom (Ist + Prognose)

% der installierten Leistung im
Bundesland

- 00 - 02 %
- 02 - 04 %
- 04 - 06 %
- 06 - 08 %
- 08 - 10 %
- 10 - 12 %



Ganz Deutschland:
66 GWh
entspricht 4,6%
des mittleren täglichen
Stromverbrauchs in
Deutschland

PV-Freiflächenanlagen Haßlau (FG)

Schneebedeckung der PV-Module



**Schneebedeckte PV-Module
Im Schattenbereich**



**Stark eingeschränkte Betriebsfähigkeit
durch Schneebedeckung der Module**

Stromspeicherung – eine Grundbedingung für die erfolgreiche Energiewende

Oberbecken

Unterbecken

PSW Goldisthal (TH)

- Typ: **Pumpspeicherkraftwerk**
- $P_N = 1.060 \text{ MW}$ (4 Francis-Turbinen)
- $h_{\max} = 325 \text{ m}$
- $V_{\text{ab max}} = 4 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$
- $E_{\max} \approx 8.400 \text{ MWh}$
- $t_{\text{el}} \approx 8 \text{ h}$
- $V_{\text{H}_2\text{O}} \approx 12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Oberbecken 874,0 mNHN)
- $V_{\text{H}_2\text{O}} \approx 18,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Unterbecken 568,6 mNHN)
- Ringdamm Oberbecken: $L \approx 3.370 \text{ m}$
- Bereitschaftszeit: $t_B \approx 100 \text{ s}$

Quelle: <https://corporate.vattenfall.de/uber-uns/>

Speicherauslegung für Ausfall fluktuierende Energieträger:

- Ausfallzeit: 5 Tage Annahme
- Leistungsbedarf: $\varnothing P_{\text{el}} \approx 70 \text{ GW/d}$
- Strombedarf: $E_{\text{el}} \approx 1.680 \text{ GWh/d}$
- Strombedarf 5d: $E_{\text{el}} \approx 8.400 \text{ GWh/(5d)}$
- Anzahl PSW: $n \approx 200 \text{ PSW/d}$

Fazit:

- **Ausfall fluktuierender EE-Anlagen kann nicht mit PSW ersetzt werden**
- **Notwendigkeit der Zusammenschaltung sämtlicher erneuerbaren Energieträger + europäischer Austausch**

Klimaverantwortung ist kein Rangierbahnhof:

“Verantwortung kann nicht verschoben, geschweige denn abgeschoben werden!”

**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!**