



HOCHSCHULE LANDSHUT
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ein Modell zur Berechnung des optimalen Energie-Mix unter Berücksichtigung volatiler Energiequellen

Magda Schiegl

DPG / AKE Frühjahrstagung 2016, Regensburg

- Zeitreihen
- Modell / optimaler Energie-Mix
- Back-up Energie
- Speicher
- Ausblick

In Anlehnung an:

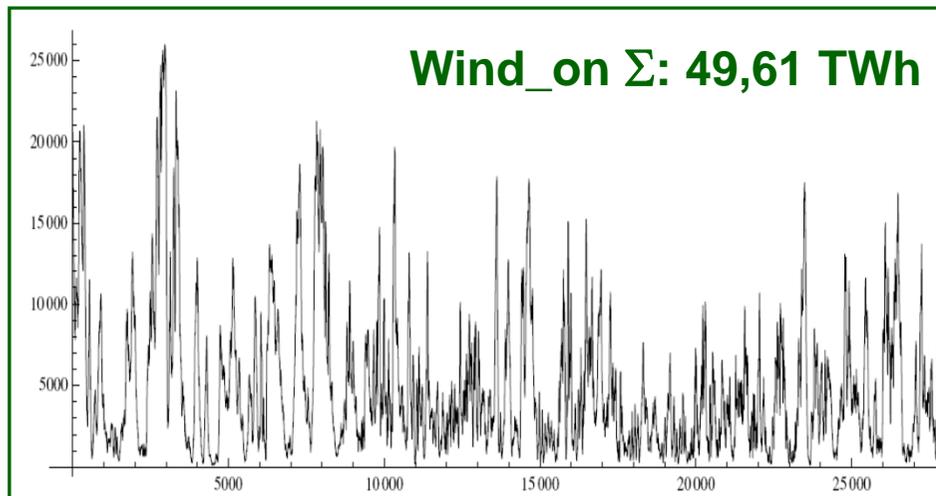
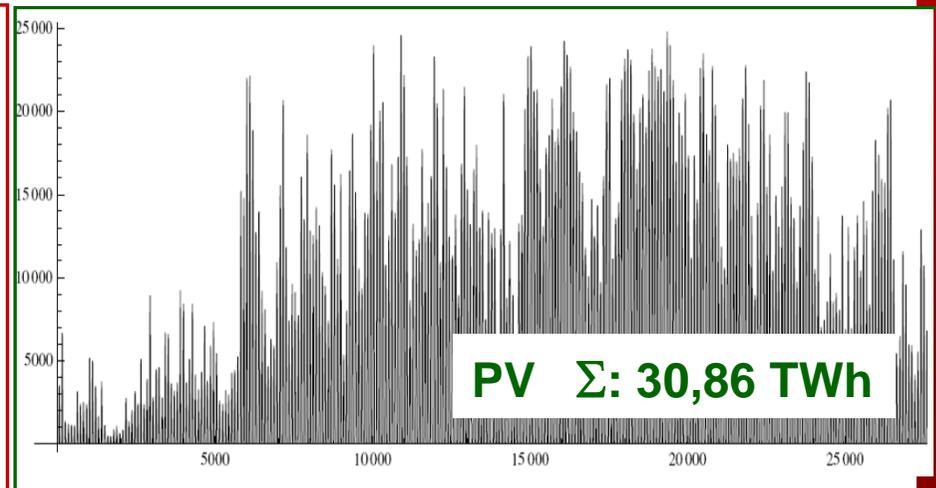
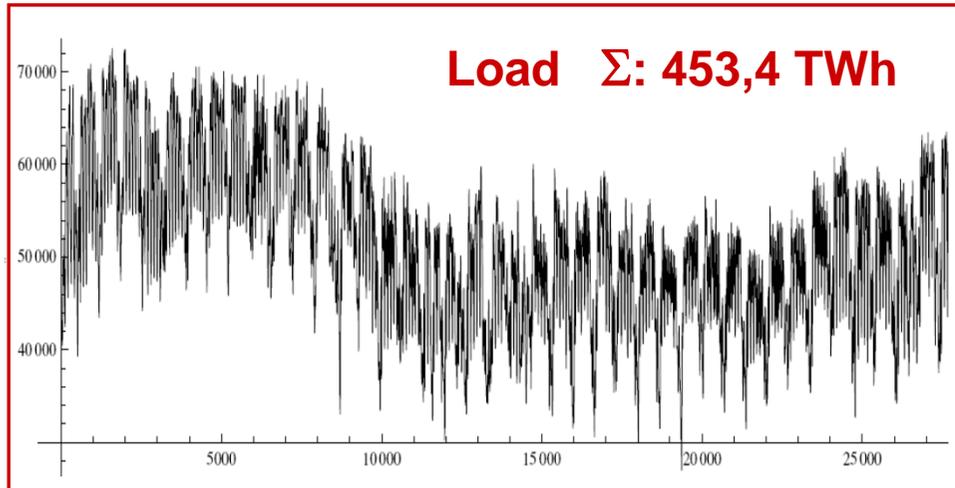
[Wagner2012] F. Wagner, *Electricity by intermittent sources: An analysis based on the German situation 2012*, Eur. Phys. J. Plus (2014), **129**: 20

Stromzeitreihen für Deutschland von 2013 (→ s. nächste Folie)

**Von Herrn Prof. F. Wagner, IPP/MPG zur Verfügung gestellt.
Vielen Dank dafür!**

Fragestellung: Optimierung des Energie-Mix PV – Wind

Zeitreihen Deutschland 2013



Zeitreihen: Interpretation als Zufallsvariablen

→ **statistische Kenngrößen**

Mittelwert [MW]: $\{-51\,763., 3522.41, 5663.49, 123.623\}$

Standardabweichung [MW]: $\{8440.37, 5576.95, 5084.18, 92.7254\}$

Korrelationsmatrix:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0.18334 & -0.0608388 & -0.0646714 \\ 0.18334 & 1 & -0.119675 & -0.151288 \\ -0.0608388 & -0.119675 & 1 & 0.590432 \\ -0.0646714 & -0.151288 & 0.590432 & 1 \end{pmatrix}$$

Einführung der Summenvariable (Zufallsvariable) Z:

$$Z = -L + \rho(x_1 P_{PV} + x_2 P_{Won} + x_3 P_{Woff})$$

mit: L, P_i Zeitreihen von Load und REs (jew. auf ihren Mittelwert normiert!)

$x_i \in [0;1]$ Anteil des jew. RE's \rightarrow Energiemix

wobei $x_1 + x_2 + x_3 = 1 \rightarrow$ **2 freie Parameter**

$\rho \in [0;1]$ Anteil der RE's insgesamt am Gesamtbedarf (Load)

$Z < 0 \rightarrow$ Verbrauch ist größer als Erzeugung durch REs \rightarrow „Back-up“

$Z > 0 \rightarrow$ Verbrauch ist kleiner als Erzeugung durch REs \rightarrow „Surplus“

Einführung der Summenvariable (Zufallsvariable) Z:

$$Z = -L + \rho(x_1 P_{PV} + x_2 P_{Won} + x_3 P_{Woff})$$

Allgemein gilt:

$$E[Z] \equiv \langle Z \rangle = -1 + \rho \text{ (wg. der Normierung der Zeitreihen)}$$

und

$$Var[Z] = a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{12}x_1x_2 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_0$$

Die Koeffizienten a hängen ausschließlich von den statistischen Kenngrößen der vier Stromzeitreihen und vom Parameter ρ ab.

Die Varianz des „Back-up“ ist ein quadratisches Polynom in zwei Variablen, die den Energie-Mix determinieren.

... wg. Vollständigkeit:
$$\text{Var}[Z] = a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{12}x_1x_2 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_0$$

mit
$$a_{11} = \rho^2 \text{Var}[P_{PV} - P_{Woff}] = \rho^2 (\text{Var}[P_{PV}] + \text{Var}[P_{Woff}] - 2\text{CoVar}[P_{PV}, P_{Woff}])$$

$$a_{22} = \rho^2 \text{Var}[P_{Won} - P_{Woff}] = \rho^2 (\text{Var}[P_{Won}] + \text{Var}[P_{Woff}] - 2\text{CoVar}[P_{Won}, P_{Woff}])$$

$$\begin{aligned} a_{12} &= 2\rho^2 \text{CoVar}[P_{PV} - P_{Woff}, P_{Won} - P_{Woff}] \\ &= 2\rho^2 (\text{CoVar}[P_{PV}, P_{Won}] - \text{CoVar}[P_{PV}, P_{Woff}] - \text{CoVar}[P_{Won}, P_{Woff}] + \text{Var}[P_{Woff}]) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_1 &= -2\rho \text{CoVar}[L, P_{PV} - P_{Woff}] + 2\rho^2 \text{CoVar}[P_{PV} - P_{Woff}, P_{Woff}] \\ &= -2\rho (\text{CoVar}[L, P_{PV}] - \text{CoVar}[L, P_{Woff}]) + 2\rho^2 (\text{CoVar}[P_{PV}, P_{Woff}] - \text{Var}[P_{Woff}]) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_2 &= -2\rho \text{CoVar}[L, P_{Won} - P_{Woff}] + 2\rho^2 \text{CoVar}[P_{Won} - P_{Woff}, P_{Woff}] \\ &= -2\rho (\text{CoVar}[L, P_{Won}] - \text{CoVar}[L, P_{Woff}]) + 2\rho^2 (\text{CoVar}[P_{Won}, P_{Woff}] - \text{Var}[P_{Woff}]) \end{aligned}$$

$$a_0 = \text{Var}[L] + \rho^2 \text{Var}[P_{Woff}] - 2\rho \text{CoVar}[L, P_{Woff}]$$

Varianz von Z minimal \rightarrow Back-up minimal

Varianz (quadratisches Polynom) kann analytisch minimiert werden.
Ergebnis:

Die Varianz von Z erreicht ein Minimum bei:

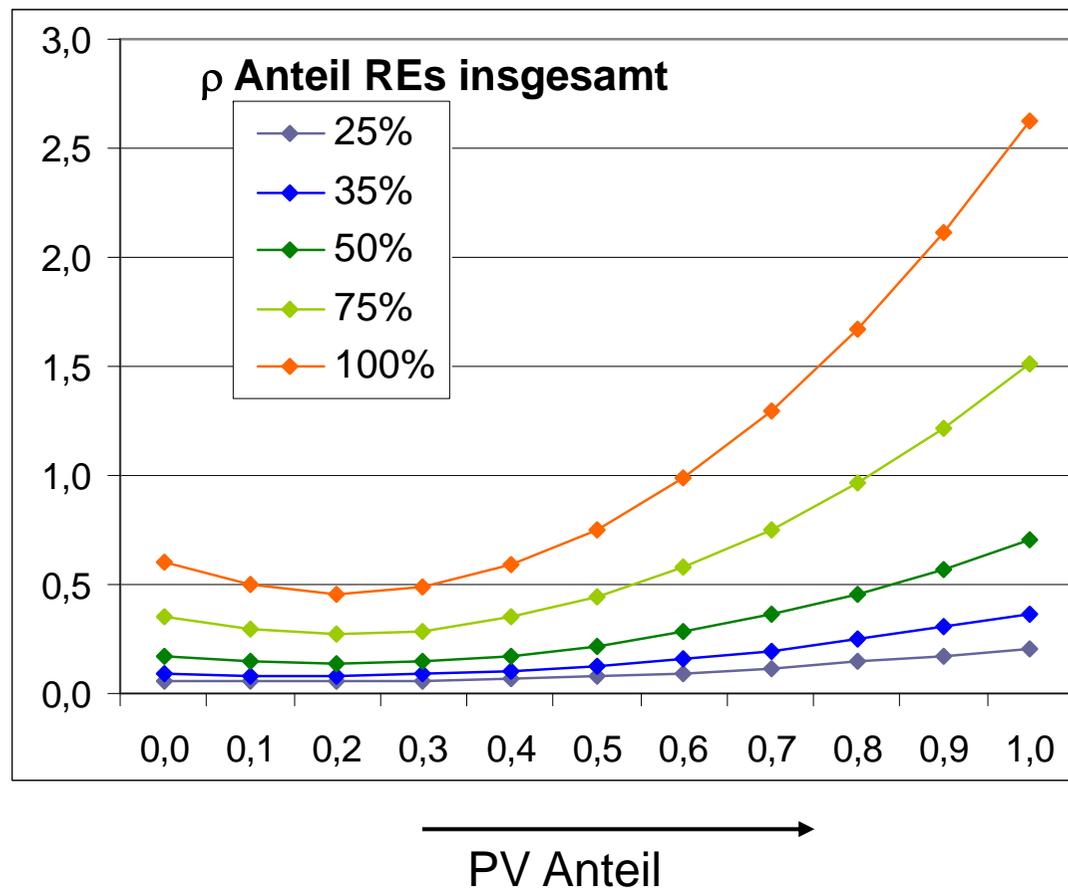
$$x_1 = \frac{a_{12}a_2 - 2a_{22}a_1}{4a_{22}a_{11} - a_{12}^2}; \quad x_2 = \frac{a_{12}a_1 - 2a_{11}a_2}{4a_{22}a_{11} - a_{12}^2}$$

falls gilt: $4a_{22}a_{11} - a_{12}^2 > 0$

\rightarrow s. Abb. für Stromzeitreihen $\rightarrow \rightarrow$

Varianz in Abhängigkeit vom PV – Anteil.

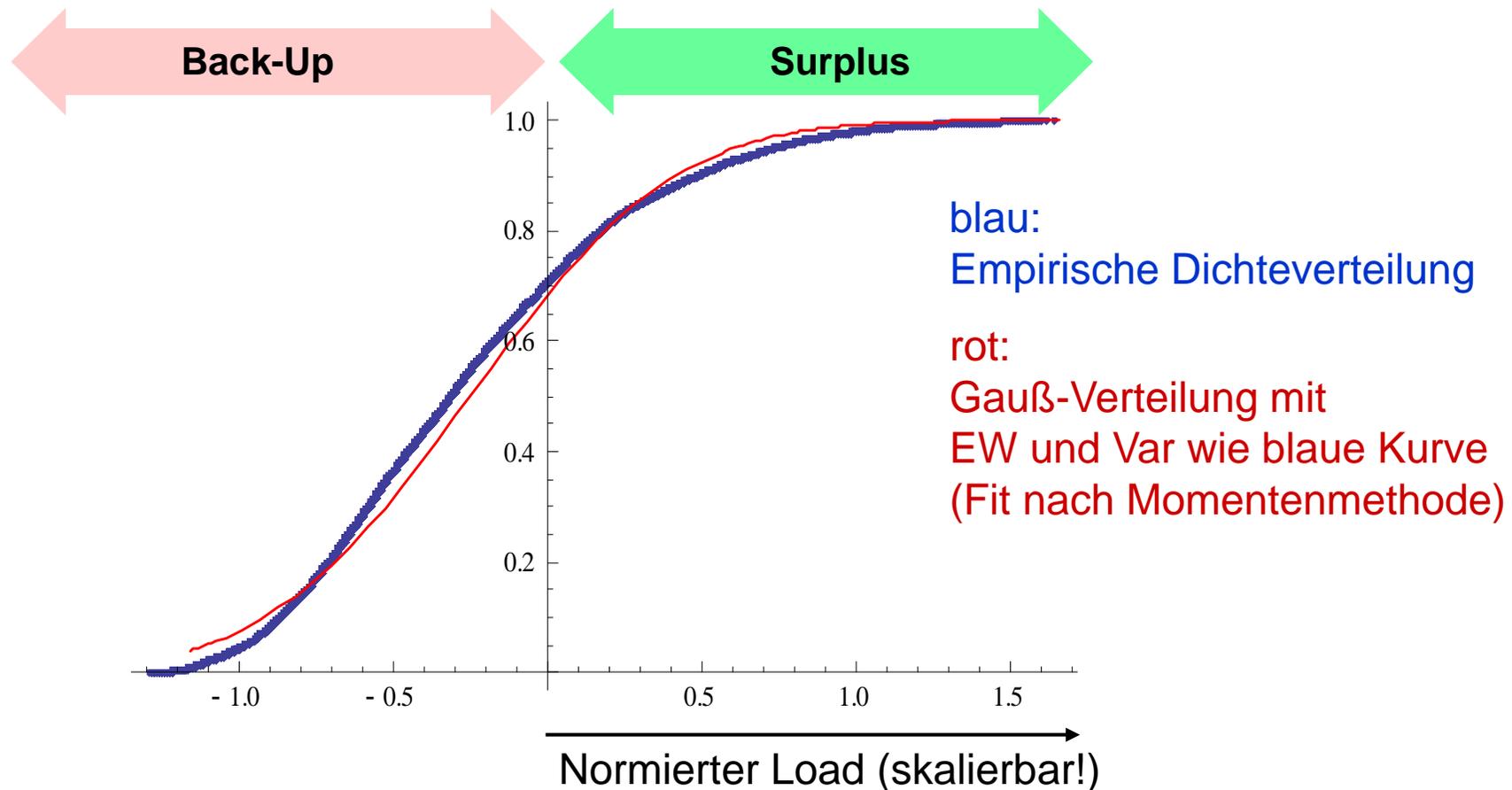
Annahme Anteilsverhältnis Wind_on : Wind_off = 2 : 1 (vgl. [Wagner2012])



Zusammenhang mit Back-up

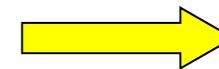
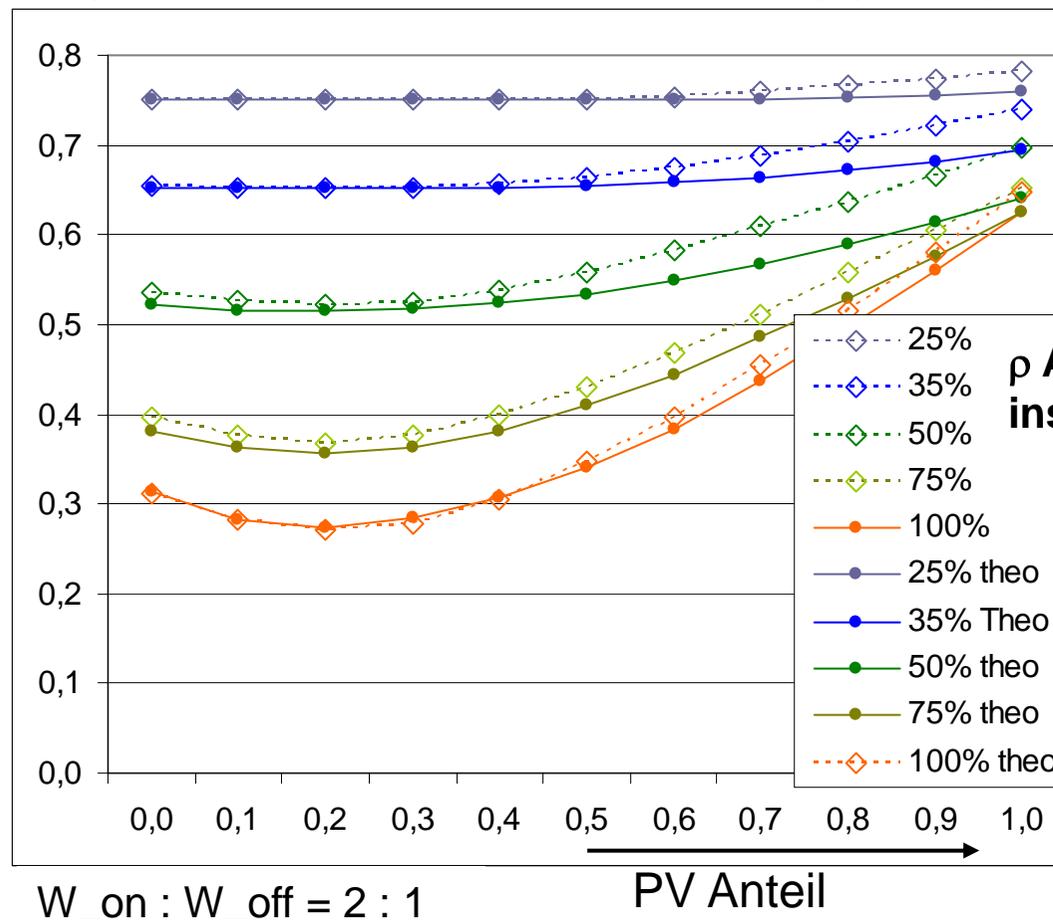
Betrachte Verteilungsfunktion der Zufallsvariable Z :

Ein Beispiel ($\rho = 0,75$; PV-Anteil = 0,2):



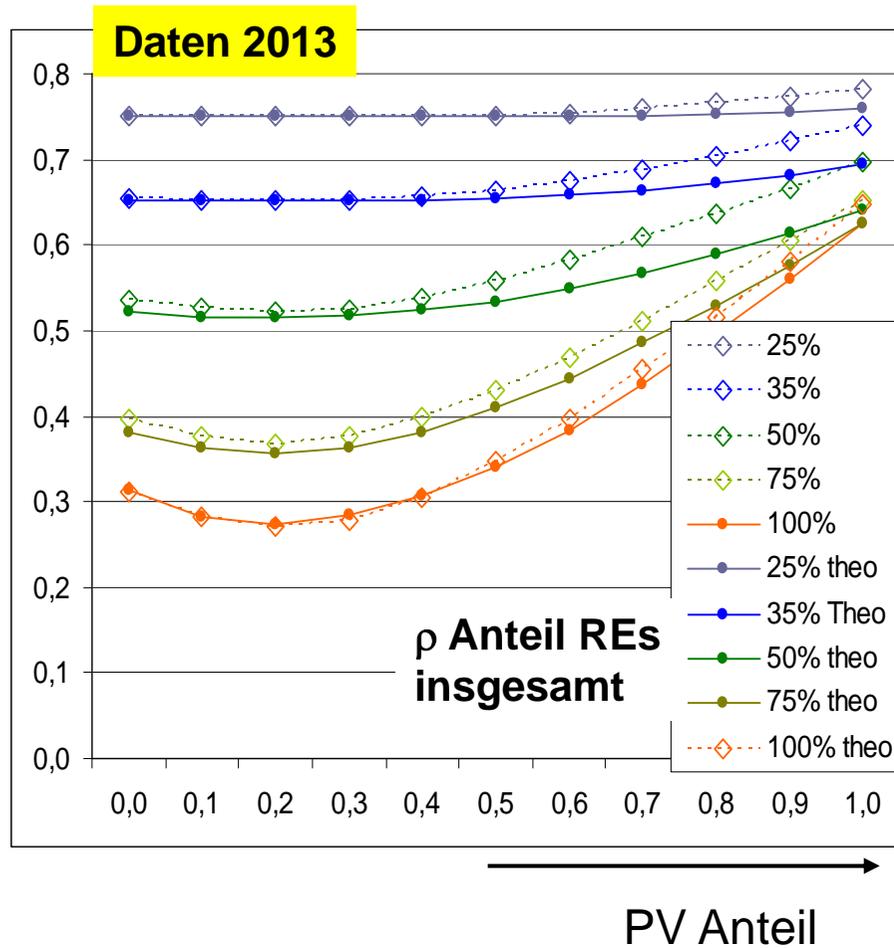
Anteil an Back-up Energie Bedarf (rel. Gesamtbedarf) in Abhängigkeit vom PV-Anteil für verschiedenen Gesamtanteil RE.

Vergleich: Empirische Werte mit Gauß-Näherung („theo“)



vgl. mit
[Wagner2012]

Anteil an Back-up Energie Bedarf -- Vergleich mit [Wagner2012]

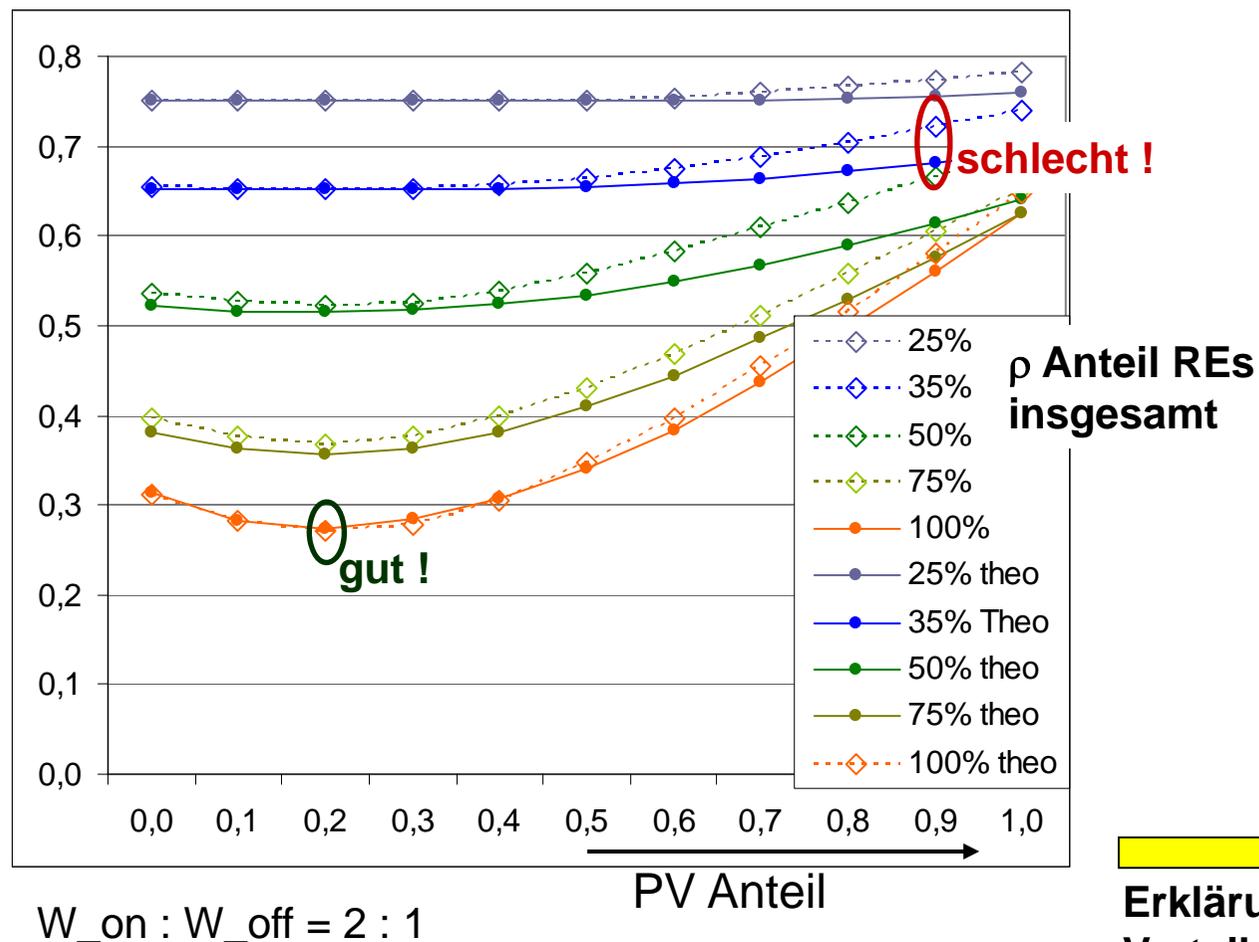


Daten 2012

In sehr guter Übereinstimmung mit:

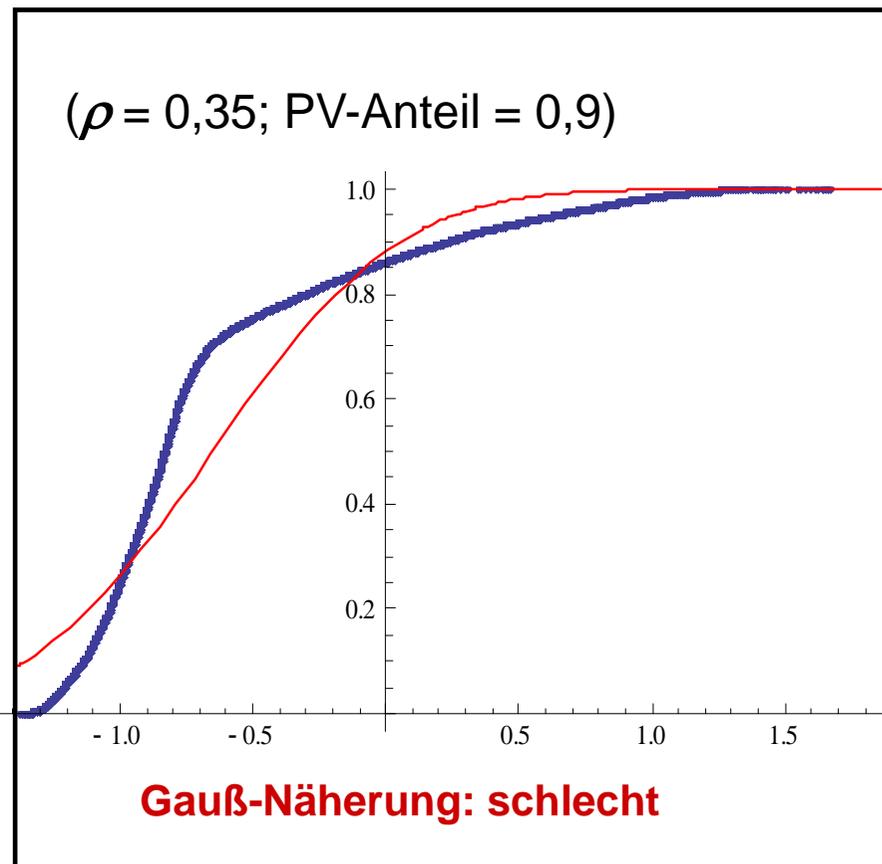
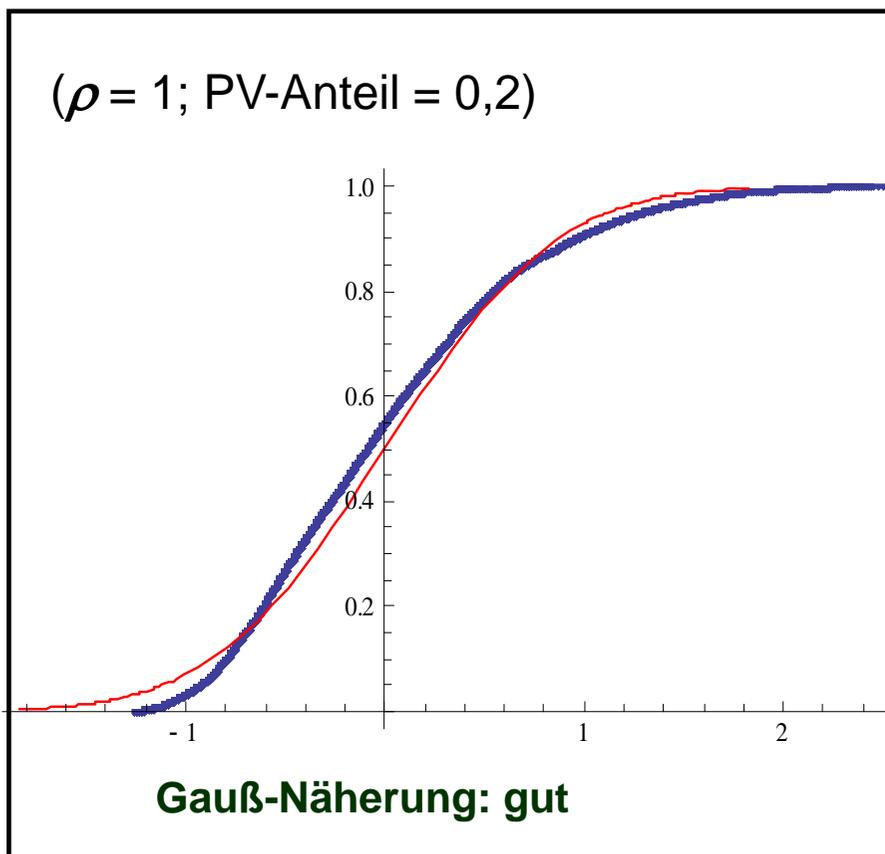
Fig. 3 [Wagner2012]

Anteil an Back-up Energie Bedarf – Qualität der analytischen Lösung



Erklärung:
Verteilungsfunktion

Qualität der analytischen Lösung anhand der Verteilungsfunktion

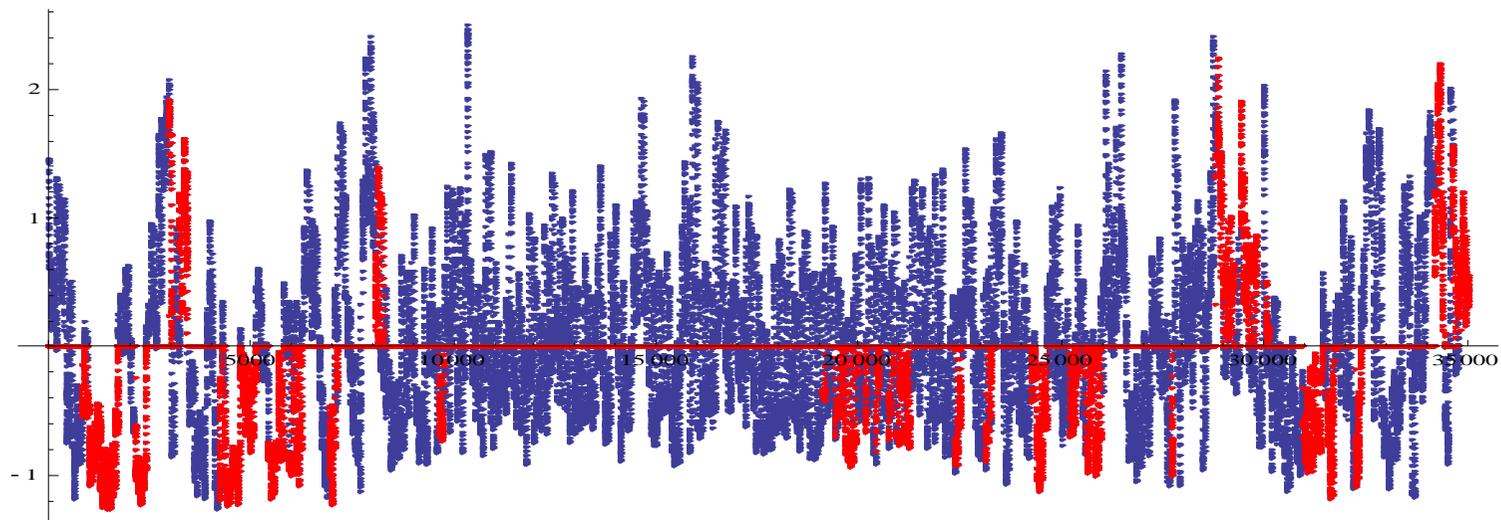


Grund: Zentraler Grenzwertsatz \rightarrow In der Nähe des Optimums ist Gauß-Näherung gut!

Simulation eines Speichers: max. Volumen und Effizienz sind vorgegeben.
Die Zufallsvariable Z „ $= -\text{Load} + \text{REs}$ “ wird durch den Speicher modifiziert.

Beispiel ($\rho = 1$; PV-Anteil = 0,2; Vol 390; Effizienz: 80%):

Zeitreihen:



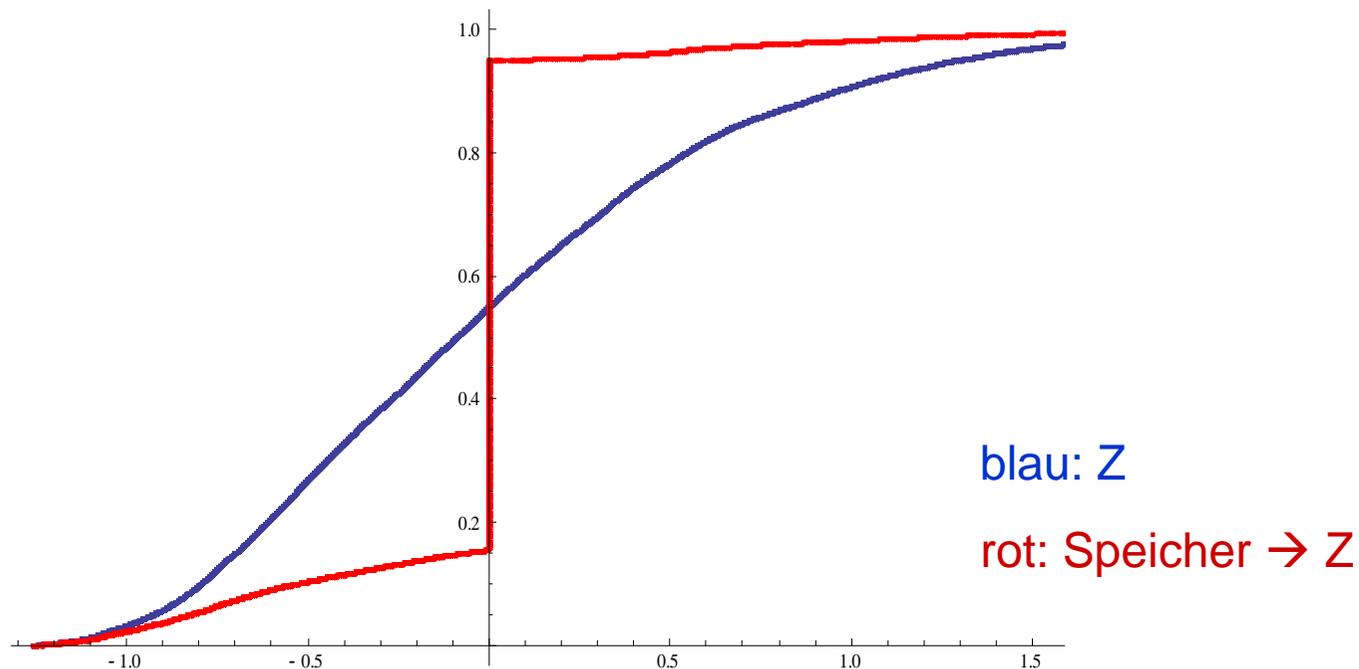
blau: Z

rot: Speicher $\rightarrow Z$

Simulation eines Speichers: max. Volumen und Effizienz sind vorgegeben.
Die Zufallsvariable Z „= - Load + REs“ wird durch den Speicher modifiziert.

Beispiel ($\rho = 1$; PV-Anteil = 0,2; Vol 390; Effizienz: 80%):

Verteilungsfunktionen:



Bedarf Back-up Energie (rel. zum Fall ohne Speicher) in Abhängigkeit vom Speichervolumen und der Effizienz des Speichers:

($\rho = 1$; PV-Anteil = 0,2)

Vol. Speicher	Speicher Effizienz		
	100%	80%	65%
5 TWh	0,308	0,364	0,450
70 GWh	0,913	0,915	0,917

Ausblick

Analytische Behandlung des Speichers möglich?
Optimum Energie-Mix unter Einbeziehung des Speichers.

Stochastisches Modell für Zeitreihen anstatt empirischer Zeitreihe →
Risikobetrachtung (z.B. Ausfallwahrscheinlichkeit) wird möglich.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit !

Prof. Dr. Magda Schiegl
Hochschule Landshut | University of Applied Sciences
Fakultät Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen
Am Lurzenhof 1, D-84036 Landshut
magda.schiegl@haw-landshut.de