



SACHSEN-ANHALT

Ministerium für
Wirtschaft und Arbeit

Dr. Peter Klamser

**Leiter Koordinierungsstelle
Energienstrukturentwicklung im
Wirtschaftsministerium
Sachsen-Anhalt**

**„Integration der Erneuerbaren
in die Stromnetze“**

Wir benötigen lokale Lösungen...

Die Zukunft der Erneuerbaren...

Das 100 % Ziel lässt sich um so leichter erreichen, je besser die Erneuerbaren in die Stromnetze integriert werden können.

These: Der Erfolg der Erneuerbaren wird von den Gesamtkosten abhängen. Bei 100% Erneuerbare wird man auch keine Differenzkosten mehr ermitteln können, da die Erneuerbaren den Preis so dominieren werden, dass die Konventionellen bei der Preisfindung keine Rolle mehr spielen.

Was wird den Preis bestimmen:

- ~~Erzeugung~~, Investitionsaufwendungen,
- Transport &
- Speicherkosten.

Die Zukunft der Erneuerbaren...

Was wird den Preis bestimmen: Erzeugung, Transport

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen beim Deutschen Bundestag stellt dazu 2010 das Folgende fest:

Die Zukunft der Erneuerbaren...

*„Während die Kosten für Speicher und grenzüberschreitenden Transport im Jahr 2010 (Speicher in Deutschland) nur 3 % der spezifischen Stromerzeugungskosten verursachen, **steigen sie auf bis zu 27 % im Jahr 2050** an und betragen dann etwa **2 ct/kWh**. Hinter einem Kostenanteil von 2 ct/kWh steht im Jahr 2050 eine in Norwegen genutzte Speicherleistung von **42 GW** und eine in Deutschland eingesetzte Druckluftspeicherleistung von gut **18 GW**, die in kürzester Zeit als Erzeugungs- und als Speicherleistung abgerufen werden können.“*

60 GW Speicherkapazität: Das entspricht etwa der Deutschen mittleren Leistungsaufnahme für Strom (min. 35 GW max. 81 GW).

Die Zukunft der Erneuerbaren...

„Die norwegische Pumpspeicherleistung entspricht einem Reimport von knapp 123 TWh/a Strom, die in Norwegen zwischengespeichert werden.“

Die in Norwegen genutzte Speicherleistung von 42 GW (heute 8 GW) entspricht im Jahresmittel etwa 14 GW oder 33 % Ausnutzung der Arbeitsfähigkeit – ein Speicher kann maximal 50 % der Arbeitsfähigkeit auslasten, da er entweder nur ein- oder ausspeisen kann.

Itaipu hat bei 118 m mittlerer Fallhöhe und 1.300 km² Seefläche – 6,4 % von Sachsen-Anhalt – eine installierte Leistung von 14 GW und eine spezifische Leistung von 10 Watt/m² Seefläche.

Für eine Speicher müsste die Seefläche verdoppelt werden – oberer und unterer Speichersee. Die spezifische Leistung halbiert sich damit auf ~5 Watt/m².

Ein Abschätzung zeigt:...

Die Zukunft der Erneuerbaren...

Ein mit einfachen Annahmen vorgenommene Abschätzung zeigt:

Um das darzustellen, müsste also etwa die bis zu 14 Fläche des Bodensees in Norwegen bereit gestellt werden.

1. Es geht nicht um die Zahl sondern um die Größenordnung. Selbst wenn es nur die einfache Fläche oder sogar weniger des Bodensees wäre, müsste diese vor der Flutung durch den Ober- und Untersee von Humus gereinigt werden, um anaerobe oder aerobe Zersetzung mit den Treibhausgasemissionen zu verhindern.
2. Benötigen die Norweger ihre Wasserkraftanlagen eigentlich nicht selber?

Die Zukunft der Erneuerbaren...

„Eingerechnet ist hierbei ferner, dass im Ausland entstehende Transport- und Speicherverluste durch den Zukauf regenerativen Stroms in Norwegen ausgeglichen und entsprechend bezahlt werden.“

*Weder bei den konventionellen, noch bei den erneuerbaren durchschnittlichen Stromgestehungskosten sind Kosten für den innerdeutschen Netzausbau enthalten. Würde man für die erneuerbare Stromversorgung im Jahr 2050 einen zusätzlichen Netzausbau in Form von Übertragungstrassen zwischen Nord- und Süd-, bzw. Westdeutschland mit Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ/HVDC) mit einer Länge von **3.000 bis 4.000 km** und einer **Übertragungsleistung von 30 bis 45 GW** für eine zu übertragene Energiemenge von 350 bis 500 TWh/a annehmen (die gesamte Windenergieerzeugung beläuft sich 2050 im Szenario 2.1.a auf ca. 408 TWh/a), dann muss nach ersten überschlägigen Berechnungen mit zusätzlichen Kosten (einschließlich der entstehenden Netzverluste) von etwa **1 bis 2 ct/kWh** gerechnet werden.“*

Die Zukunft der Erneuerbaren...

Frage: Sind Stromtrassen von 3.000 bis 4.000 km Länge in Deutschland (und Dänemark und Norwegen?) politisch durchsetzbar?

Wir hier gezeigt
+ wie es geht oder
- wie es nicht geht?

Die Zukunft der Erneuerbaren...

„Die gesamten durchschnittlichen erneuerbaren Stromerzeugungskosten mit Speicherkosten und Kosten für innerdeutschen und grenzüberschreitenden Netzausbau würden sich dann auf etwa 8 bis 9 ct/kWh belaufen.“

Anmerkung: Das sind keine Differenzkosten.

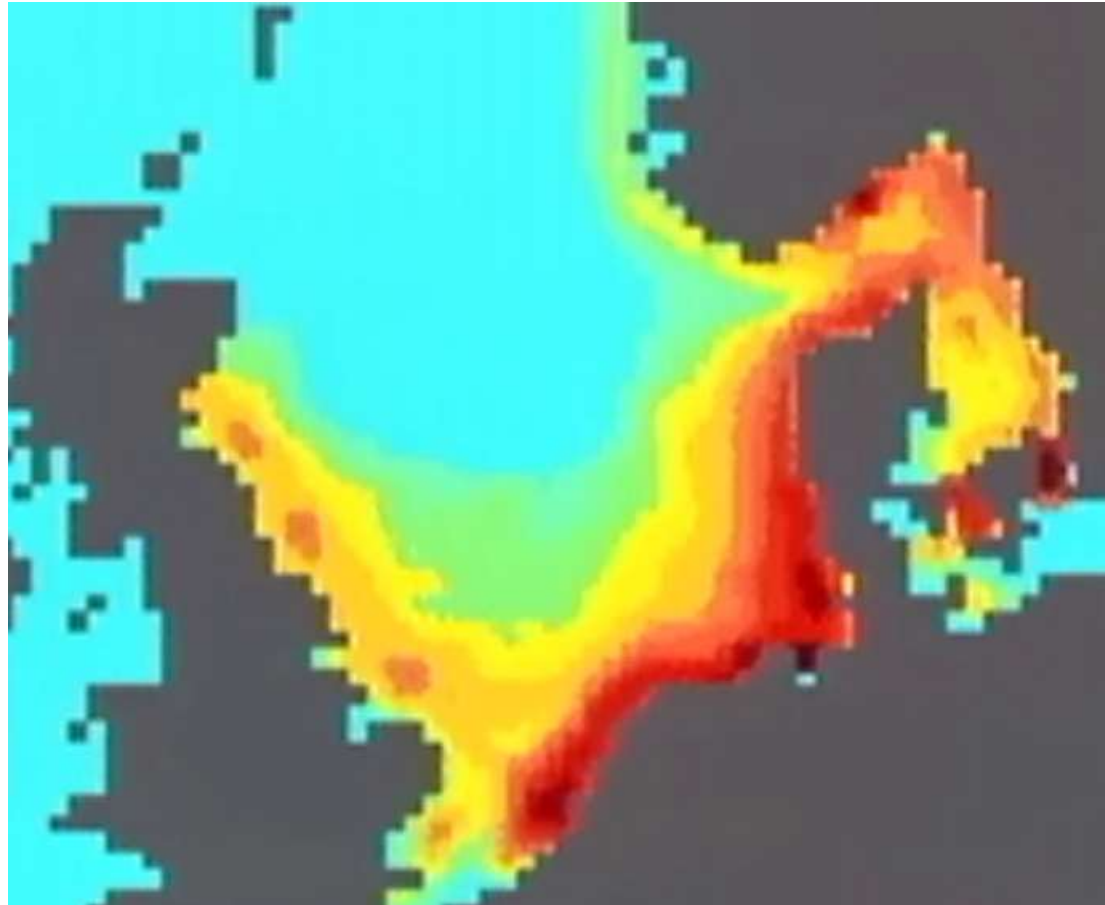
Zusammenfassung:

- mindestens 163 GW Erzeugungsleistung aus Erneuerbaren in Deutschland.
- 60 GW Speicher in Norwegen (heute 370 Seen mit 7 GW) und in Deutschland;
42 GW Speicher in Norwegen bedeuten Seeflächen von bis zu 14 fachen Fläche des Bodensees.
- 3.000 bis 4.000 km neue Stromtrassen in Deutschland mit
- einer Übertragungsleistung von bis zu 45 GW
(~ eine Verdoppelung des heutigen Netzes)
heute 1,5 GW Dänemark nach Norwegen
(wollen die Dänen & Norweger und die Alpenländer eigentlich neue Trassen und neue Speicherseen?),
plus 42 bis 69 GW (Faktor 28) über Dänemark nach Norwegen für 120 TWh/a (~14 GW).
- 2 Cent/kWh Speicherkosten (mit Transport) 2050 &
9 Cent/kWh Gesamtkosten.

Die Zukunft der Erneuerbaren...

Sind 400 Kavernen à 500.000 m³ mit einer Salzmenge von 400 Mio. t und einer Solemenge von 4 Mrd. m³ in Richtung Nordsee umweltverträglich & gemäß der UBA Studie realistisch?

<http://www.iwf.de>: Dort einfach Nordsee suchen...



Frage: Gibt es eine bessere Lösung?

Speicher

Energiekonzept der Bundesregierung zu Speichern:

„...“

Als nächste Schritte wird die Bundesregierung:

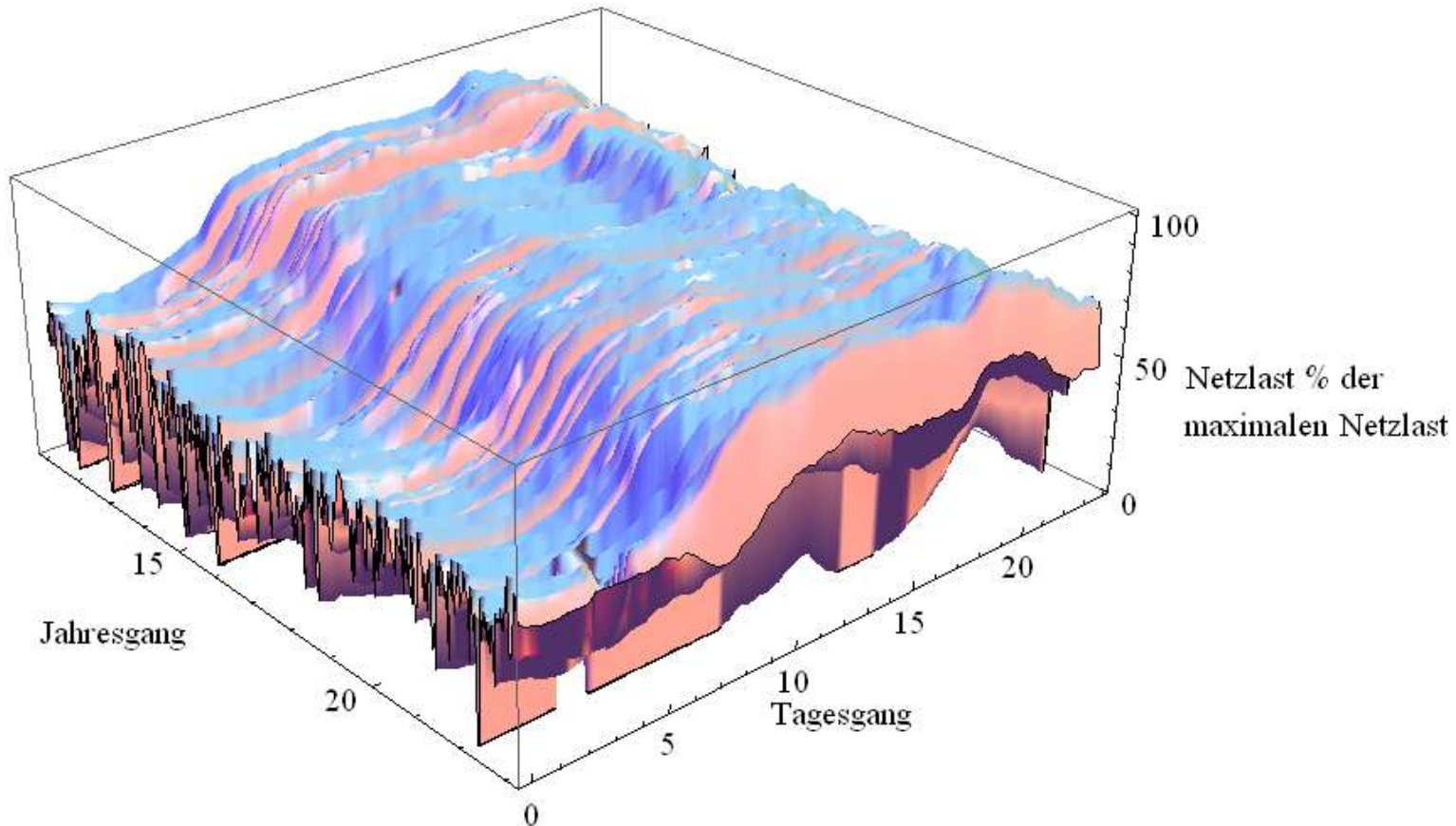
- *das Energiewirtschaftsgesetz novellieren und neue Speicherkraftwerke, insbesondere Pumpspeicherkraftwerke und andere Stromspeicher, für einen längeren Zeitraum als bisher von den Entgelten für den Netzzugang freistellen,*
- *im Zusammenhang mit der EEG-Novelle sicherstellen, dass ausreichende Anreize für **Biogas**anlagen bestehen, Biogas in Starkwindzeiten zwischenzuspeichern oder ins Erdgasnetz einzuspeisen und die Stromerzeugung auf diesem Wege in schwache Windphasen zu verschieben und die dazu notwendigen technischen Voraussetzungen zu schaffen. Ergänzend wird die Bundesregierung ein Zuschussprogramm für bestehende Biogasanlagen prüfen, damit Anlagen mit zusätzlichen Gasspeichern, Generatoren und Wärmespeichern ausgestattet werden.“*

Die Zukunft der Erneuerbaren...

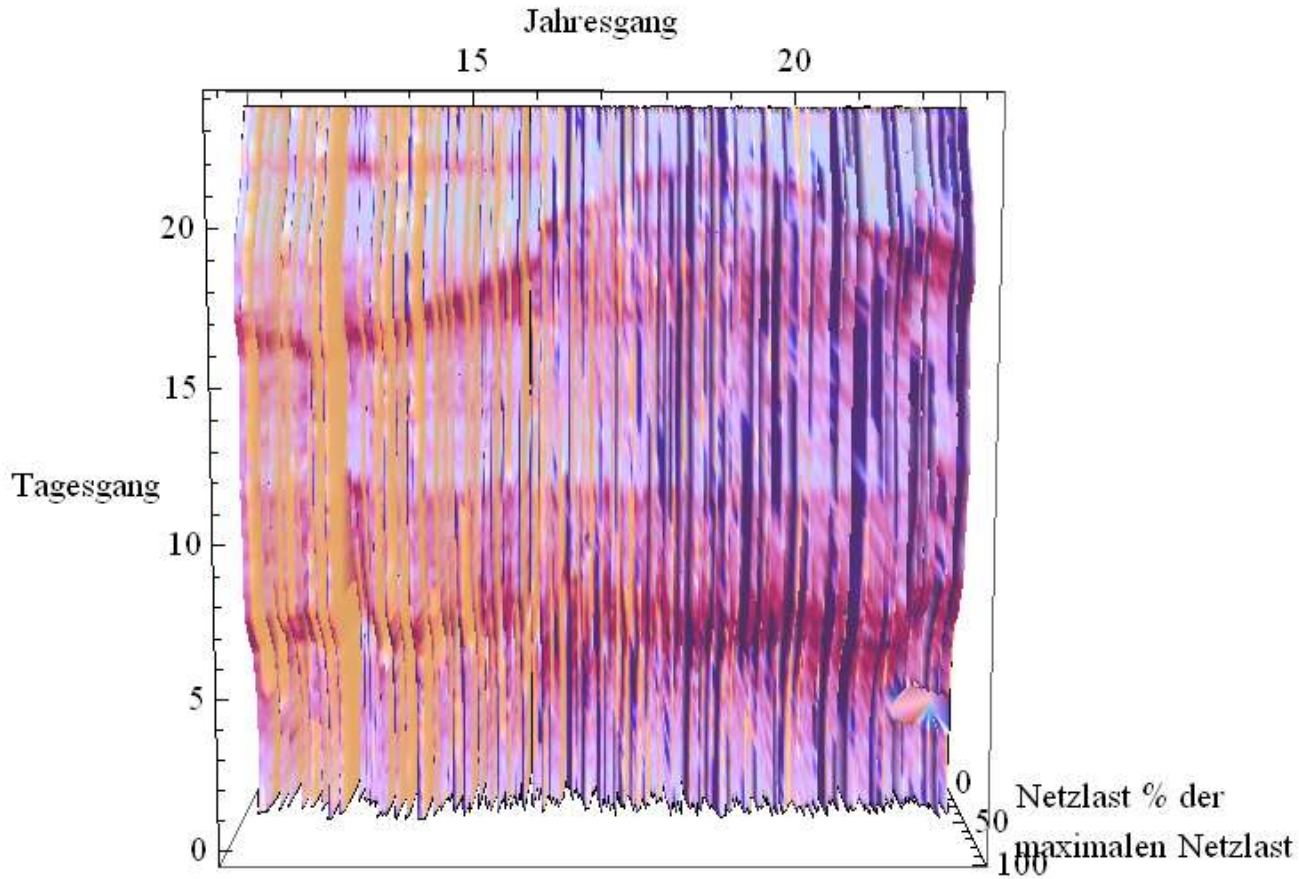
Warum muss eigentlich gespeichert werden und welche Probleme sind dabei zu beachten?

Wie fluktuieren welche Erneuerbaren?

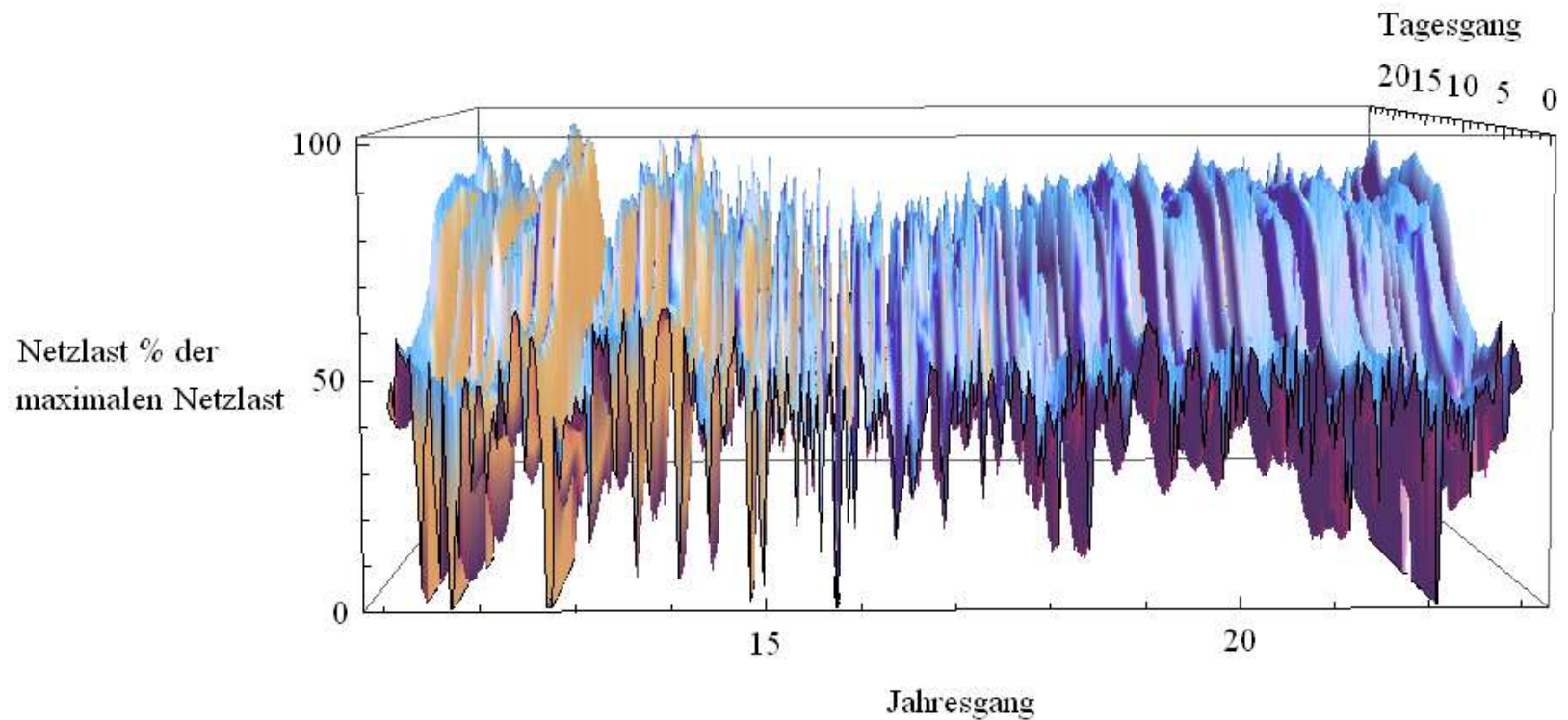
vertikale Netzlast



vertikale Netzlast

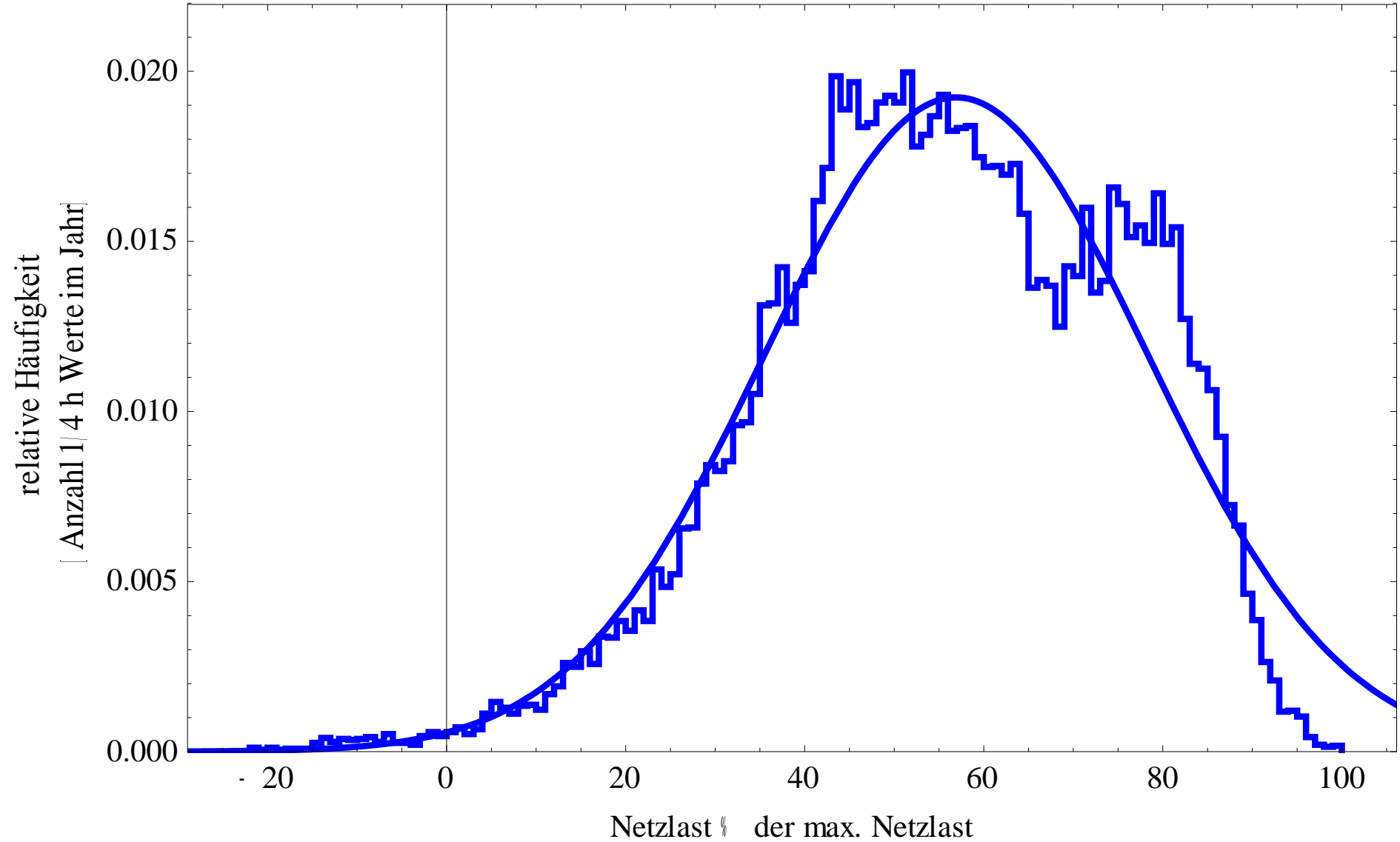


vertikale Netzlast

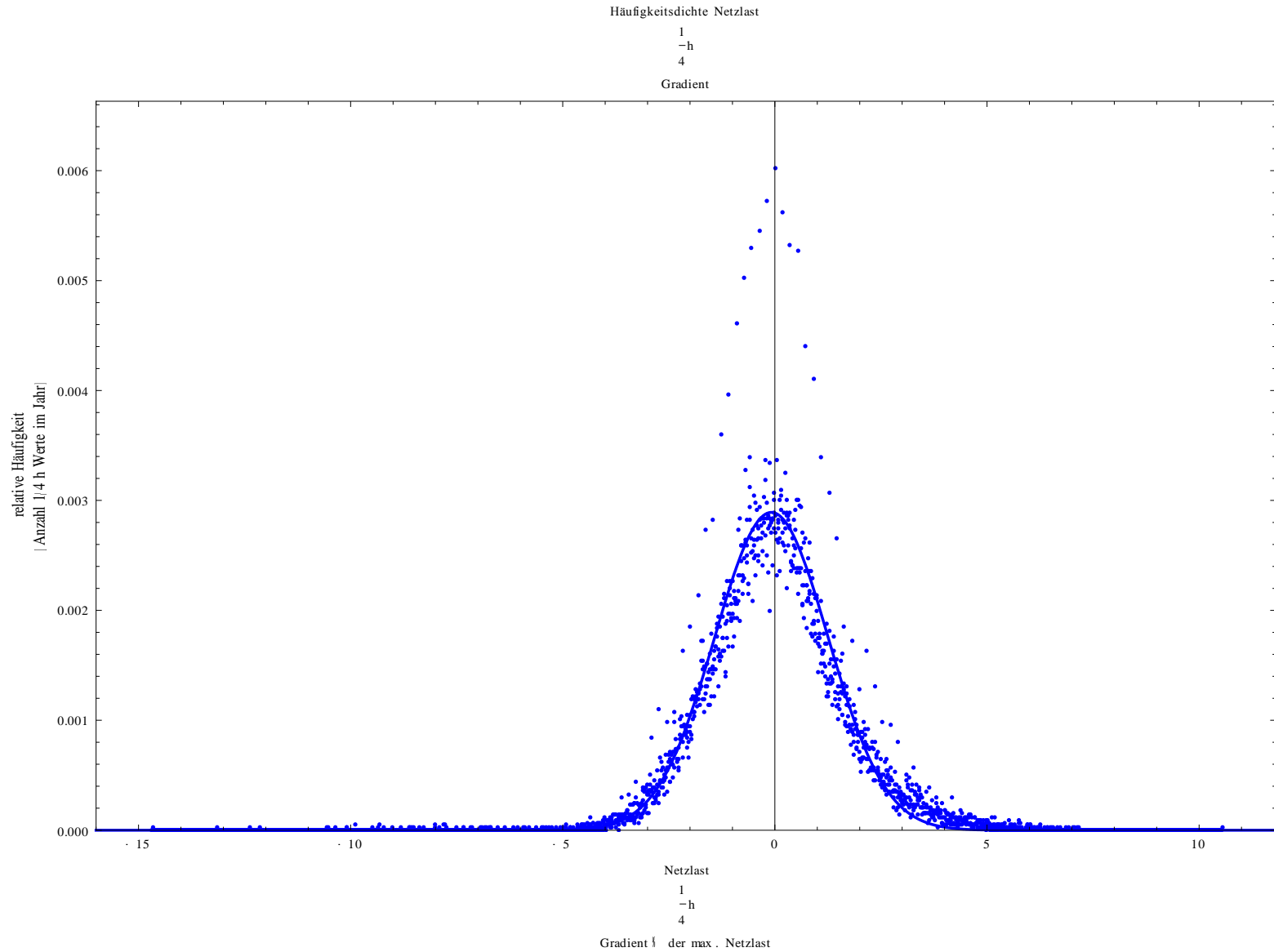


vertikale Netzlast

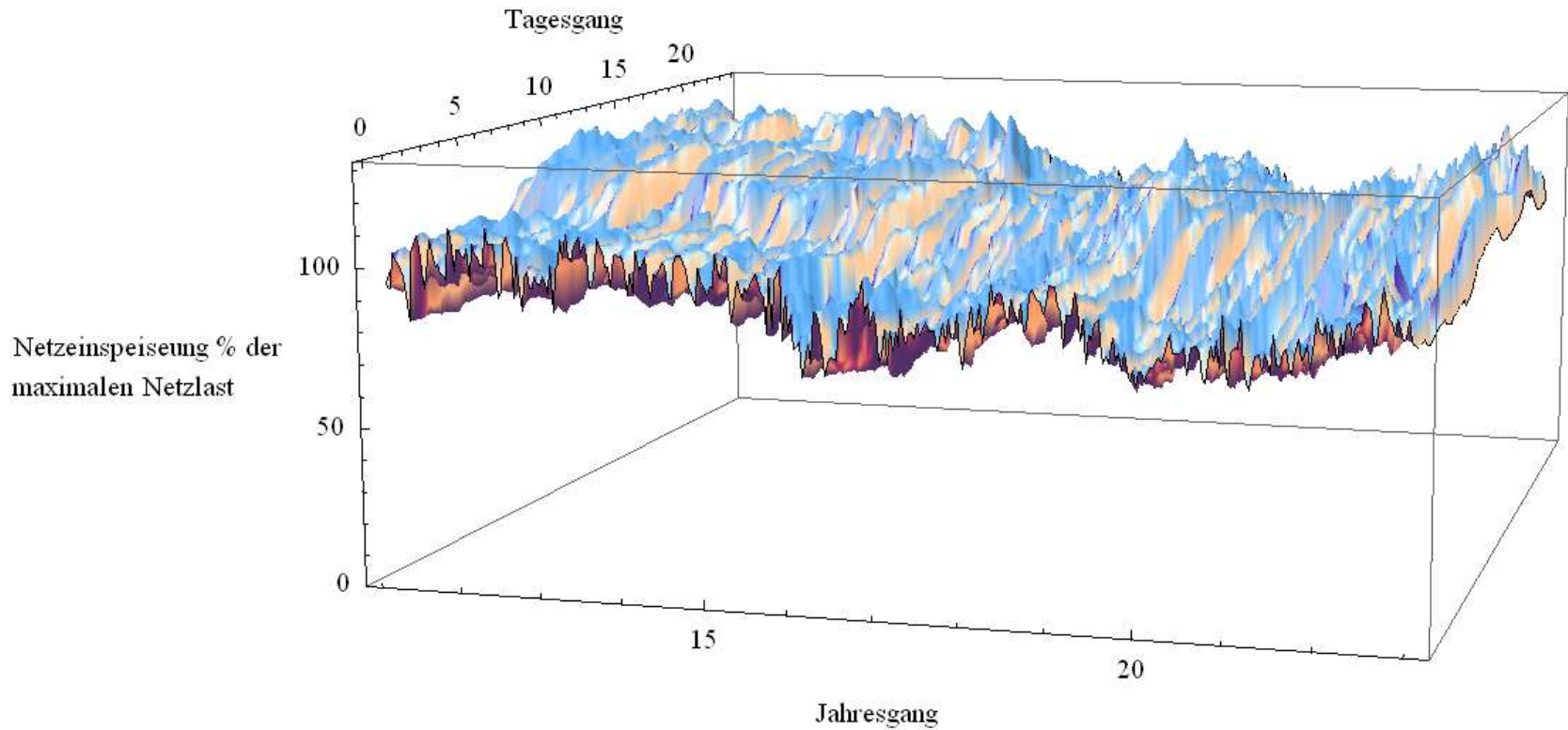
Häufigkeitsdichte Netzlast



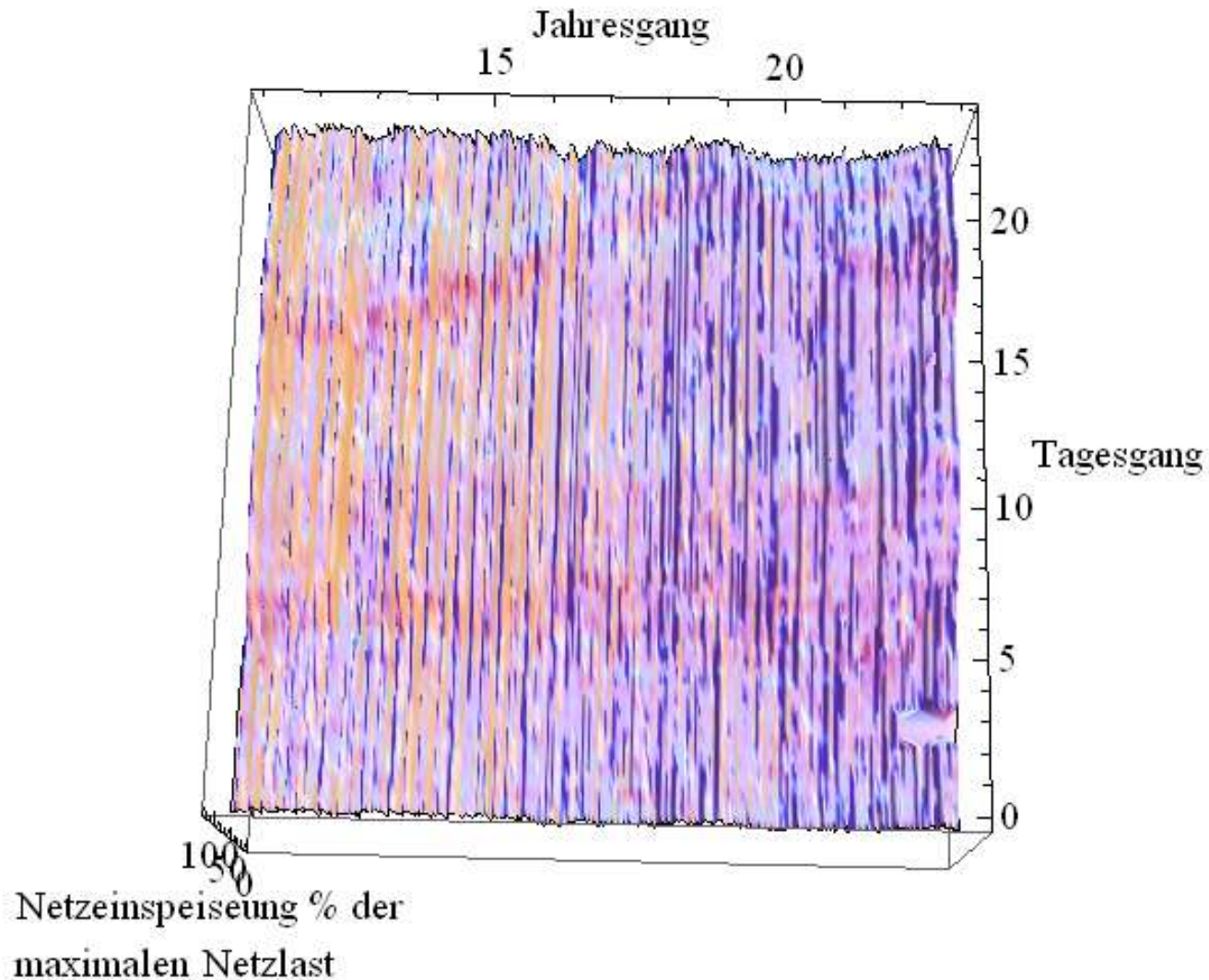
vertikale Netzlast



Netzeinspeisung

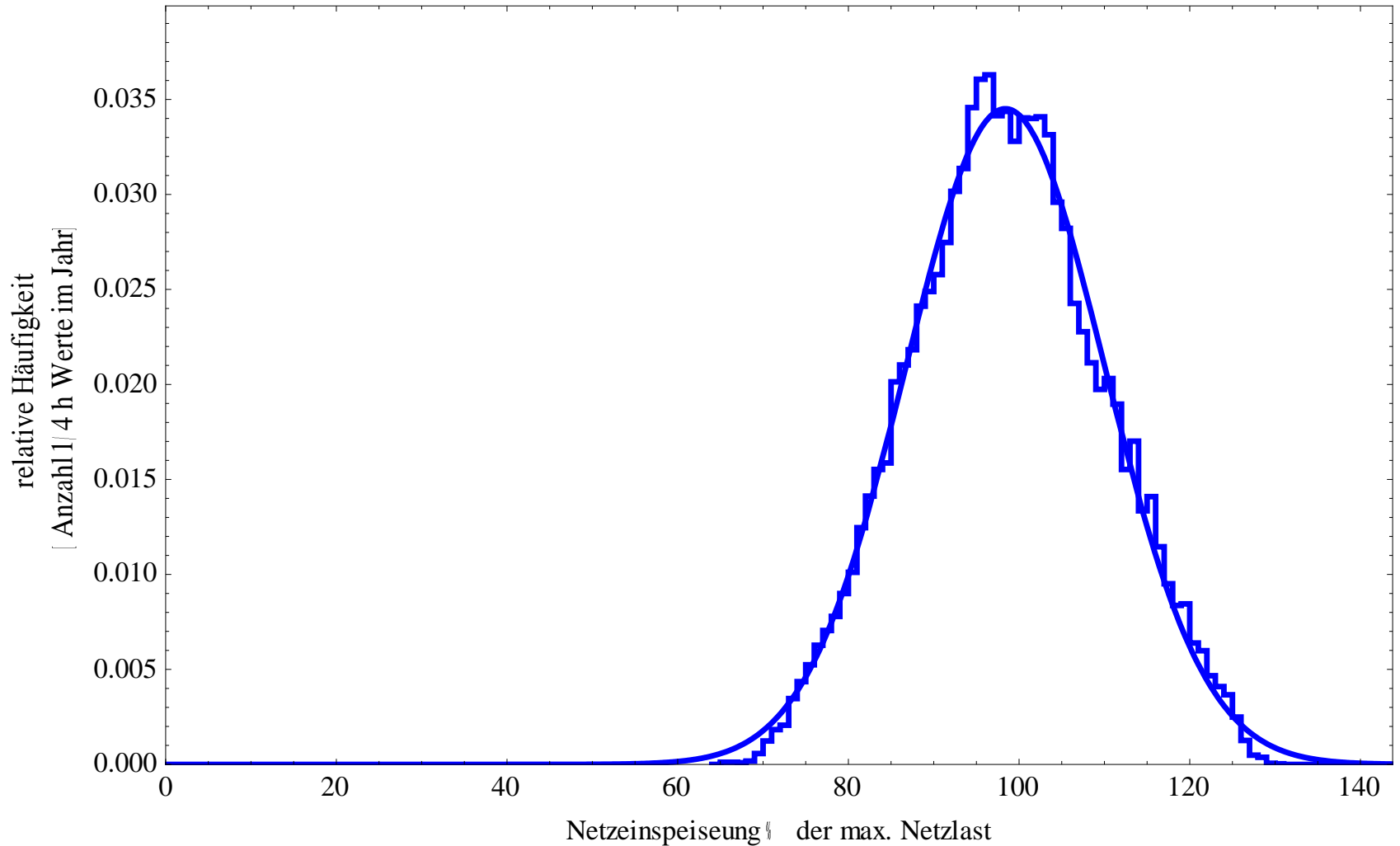


Netzeinspeisung



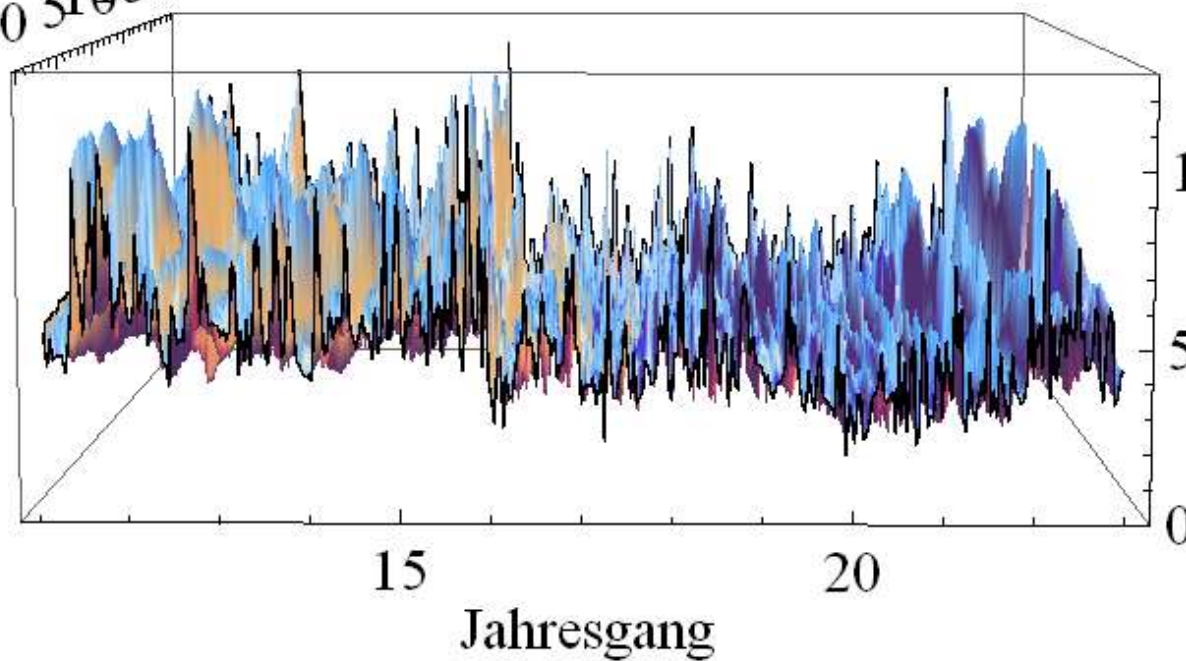
Netzeinspeisung

Häufigkeitsdichte Netzeinspeisung



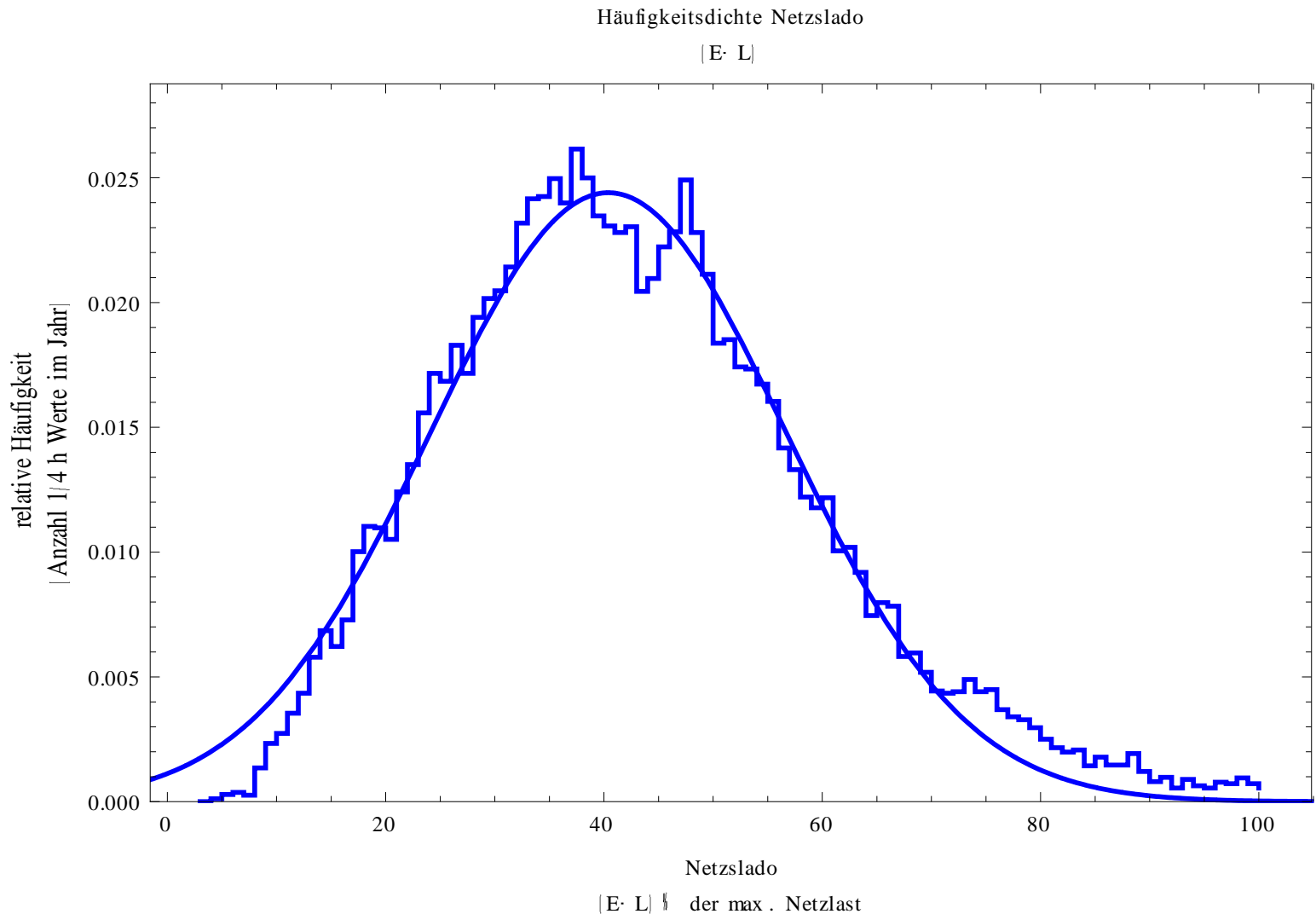
Netzsaldo = Erzeugung - Last

Tagesgang
0 5 10 30

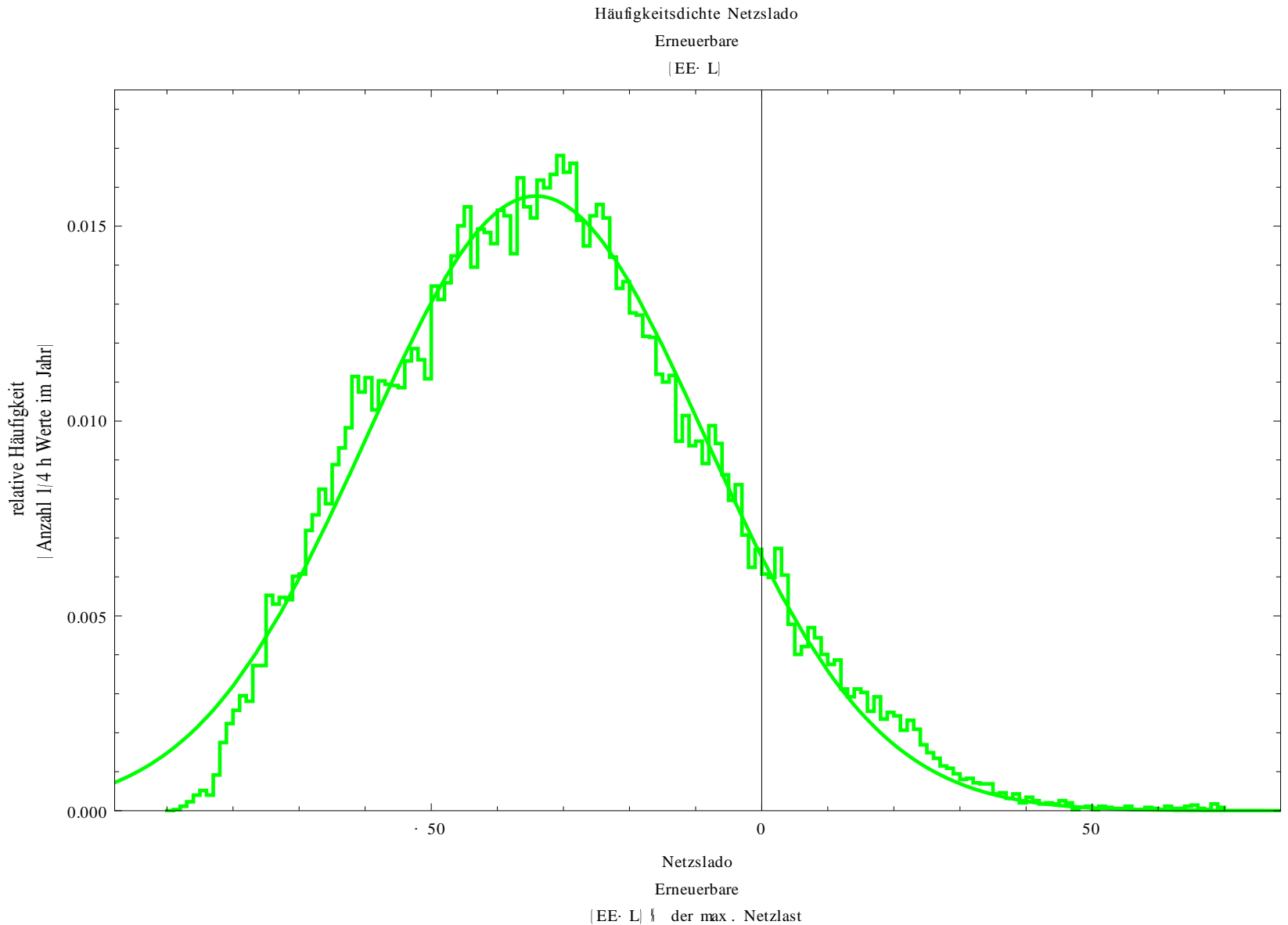


100
Netzsaldo
(E-L) % der
50
maximalen Netzlast
0

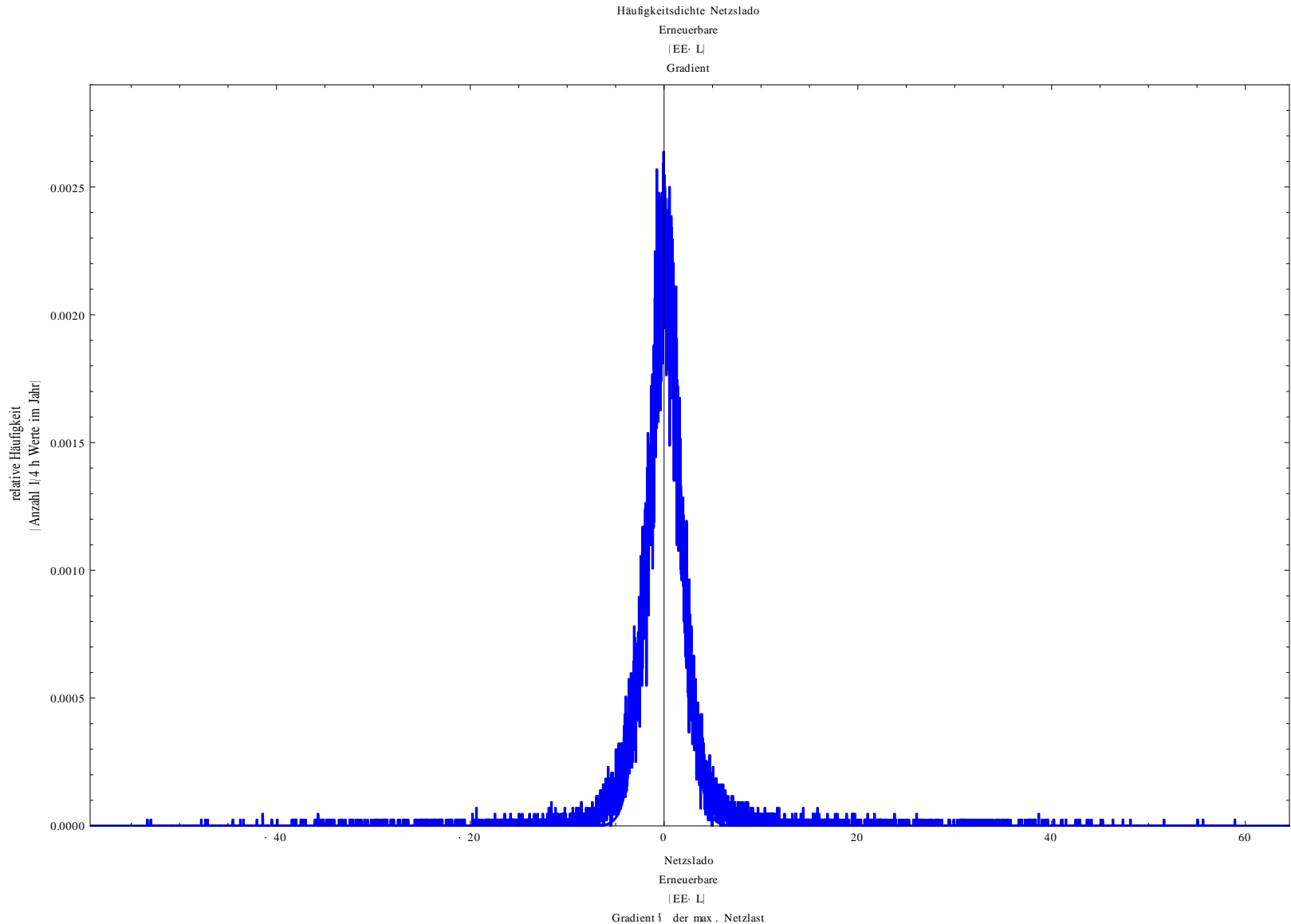
Netzsaldo = Erzeugung - Last



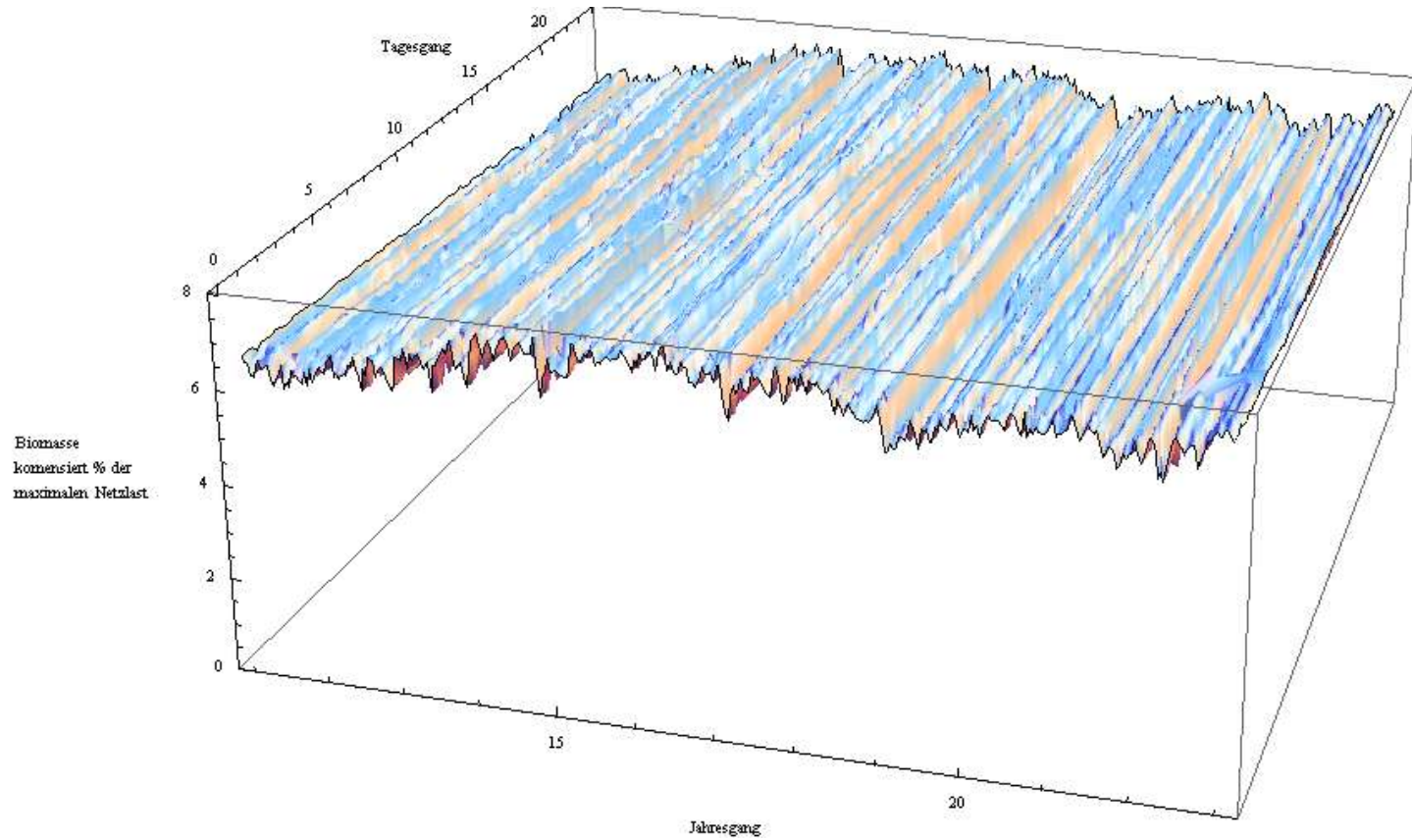
Netzsaldo 2 = Erneuerbare - Last



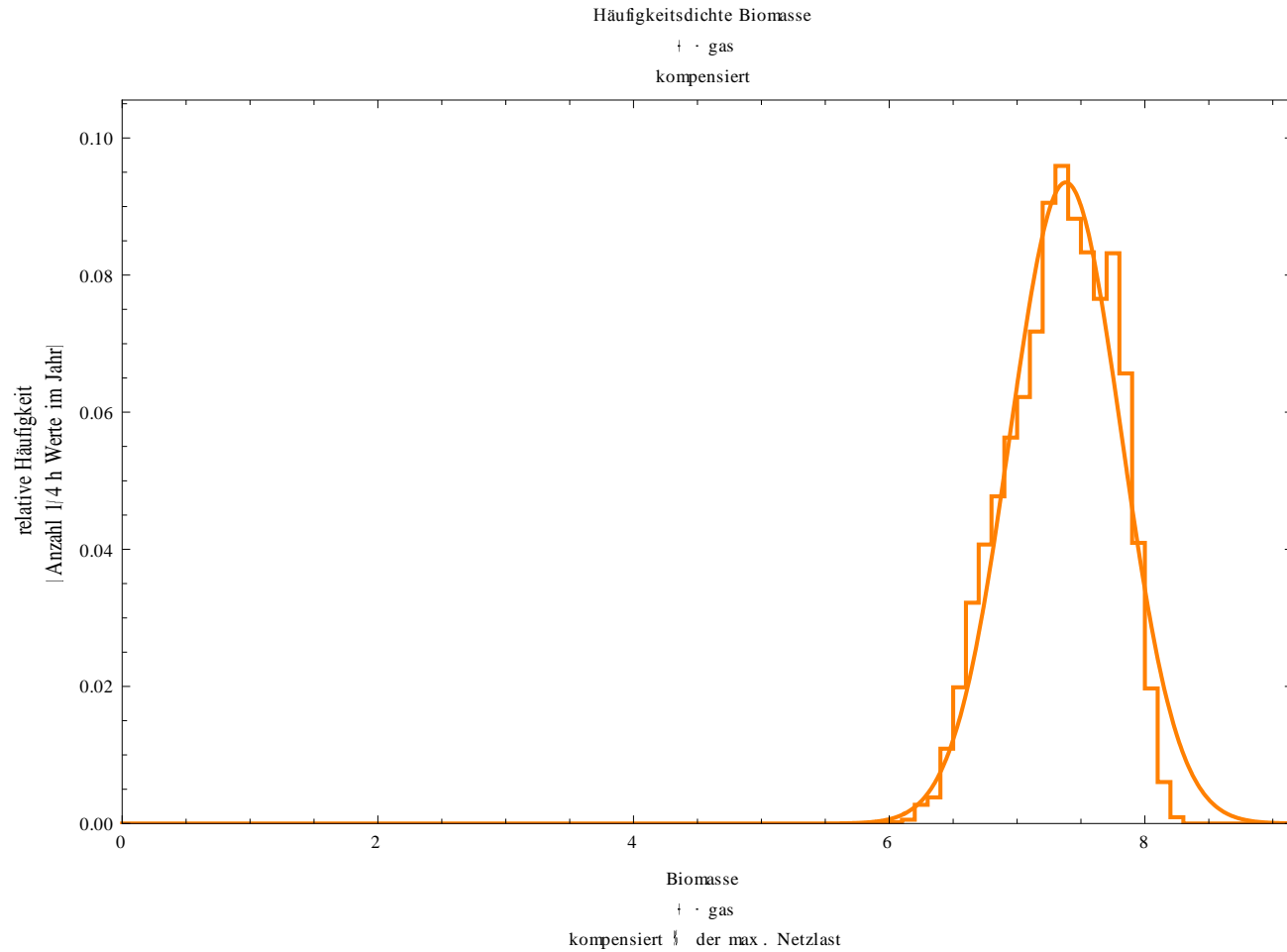
Netzsaldo 2 = Gradient Erneuerbare - Last



Biomasse



Biomasse



Biomasse

Energiekonzept der Bundesregierung:

„Das gut speicherbare Biogas ist in Kombination mit anderen Maßnahmen auch gut geeignet, die fluktuierende Stromerzeugung aus Wind und Sonne auszugleichen.

Bei bedarfsgerechter Einspeisung kann hocheffiziente Stromerzeugung aus Biomasse deshalb einen Beitrag zur Markt- und Netzintegration der erneuerbaren Energien leisten.

Die heimischen Bioenergie-Potentiale sind vor allem durch Nutzungskonkurrenzen sowie im Hinblick auf den Naturschutz und die Biodiversität begrenzt. Deshalb sollte der Einsatz im Wärmebereich an angemessene Effizienzanforderungen geknüpft werden.

*Darüber hinaus wird Deutschland zunehmend auf den **Import** von nachhaltigen Bioenergieträgern angewiesen sein.*

...“

Siehe nächste Folie...

Biomasse

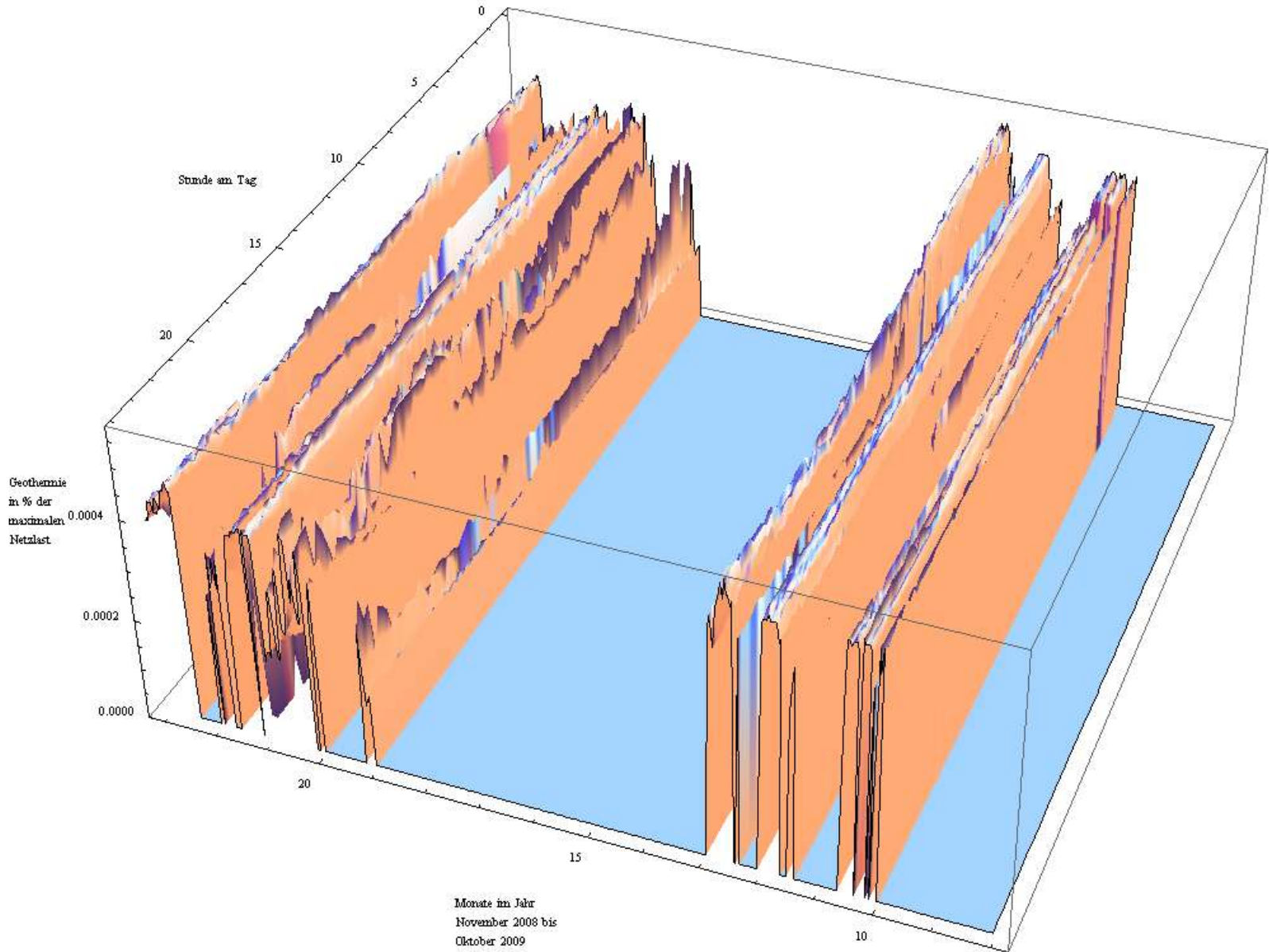
Energiekonzept der Bundesregierung:

„Dabei spielen die Netzinfrastuktur und Speichertechnologien eine Schlüsselrolle.

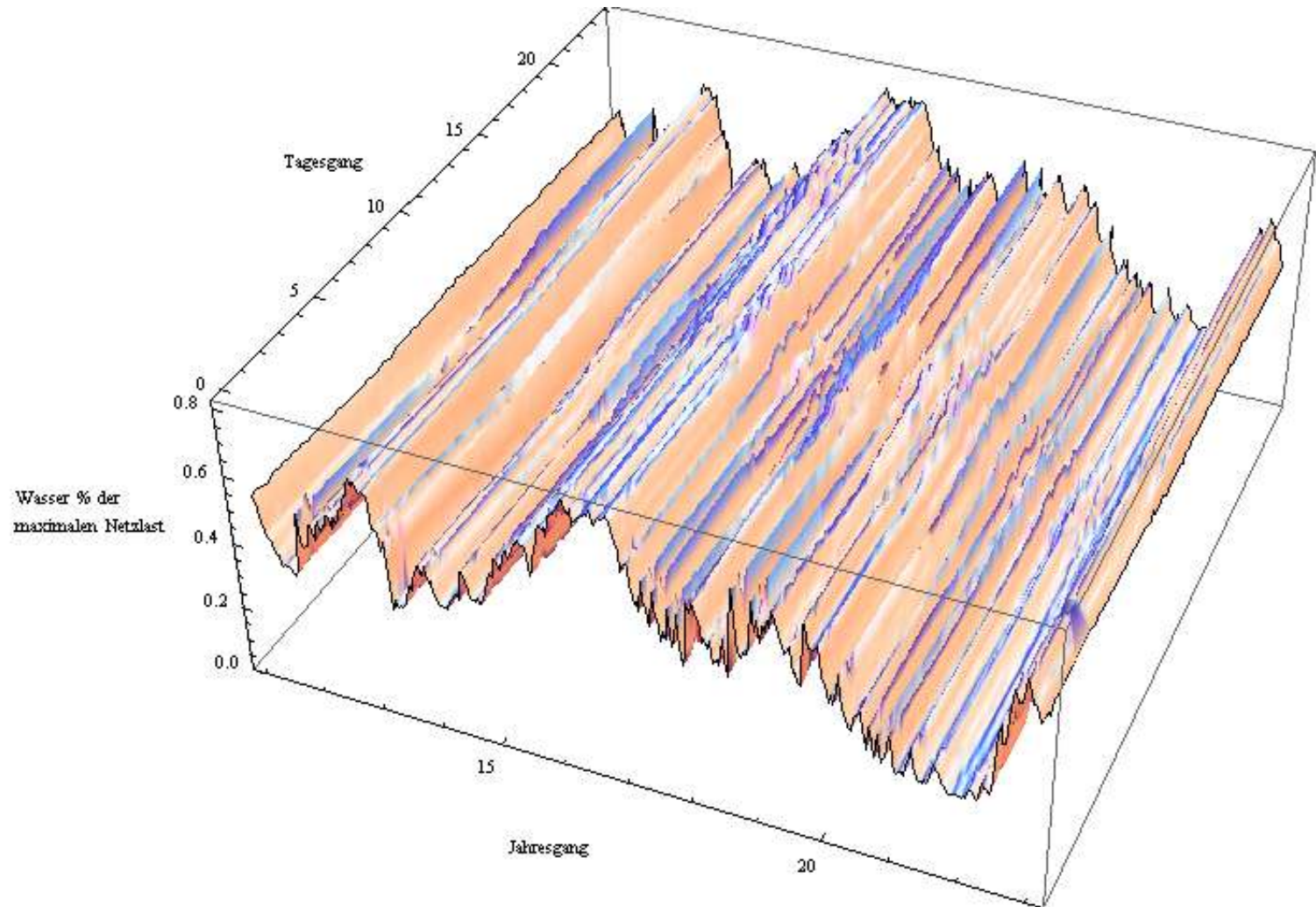
...

“

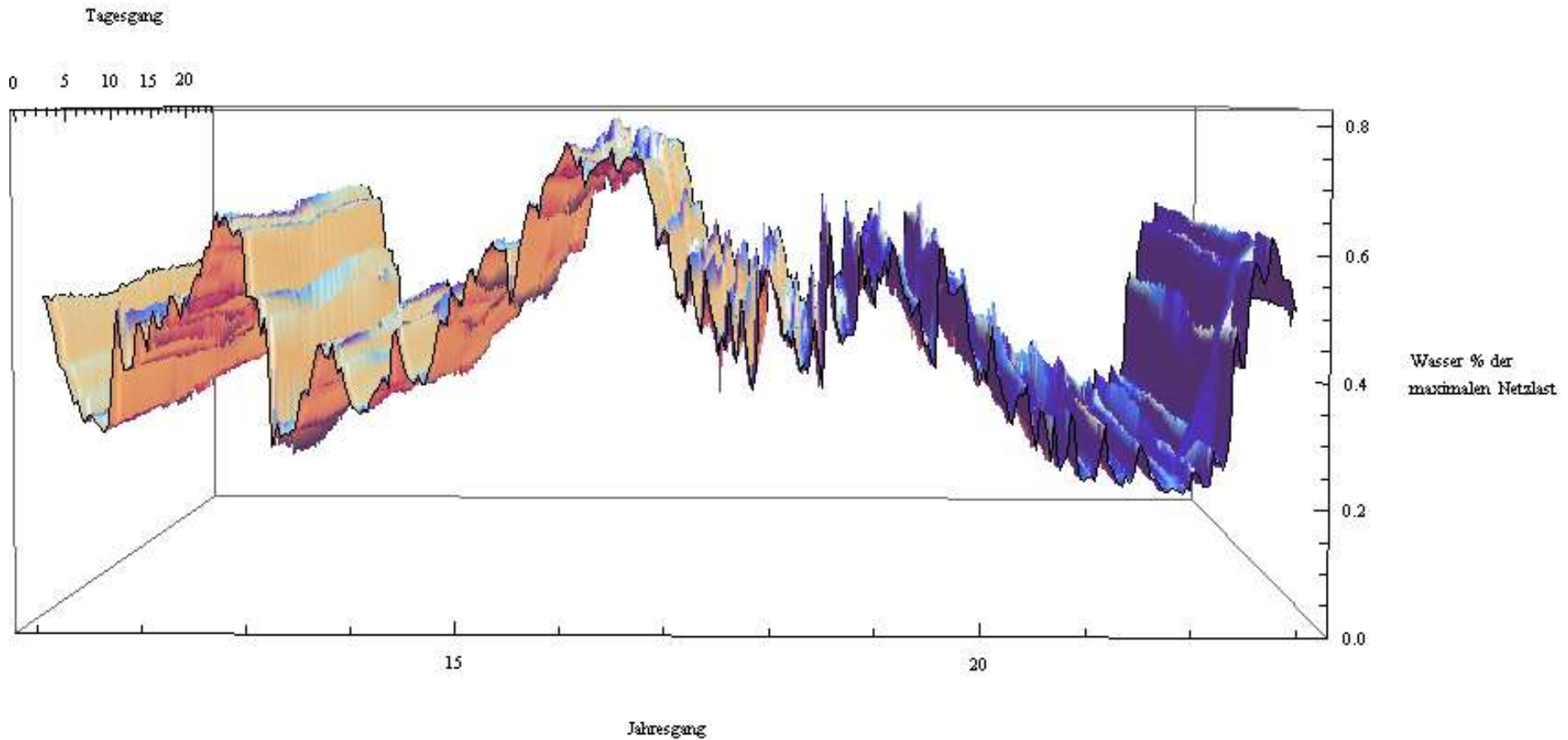
Geothermie



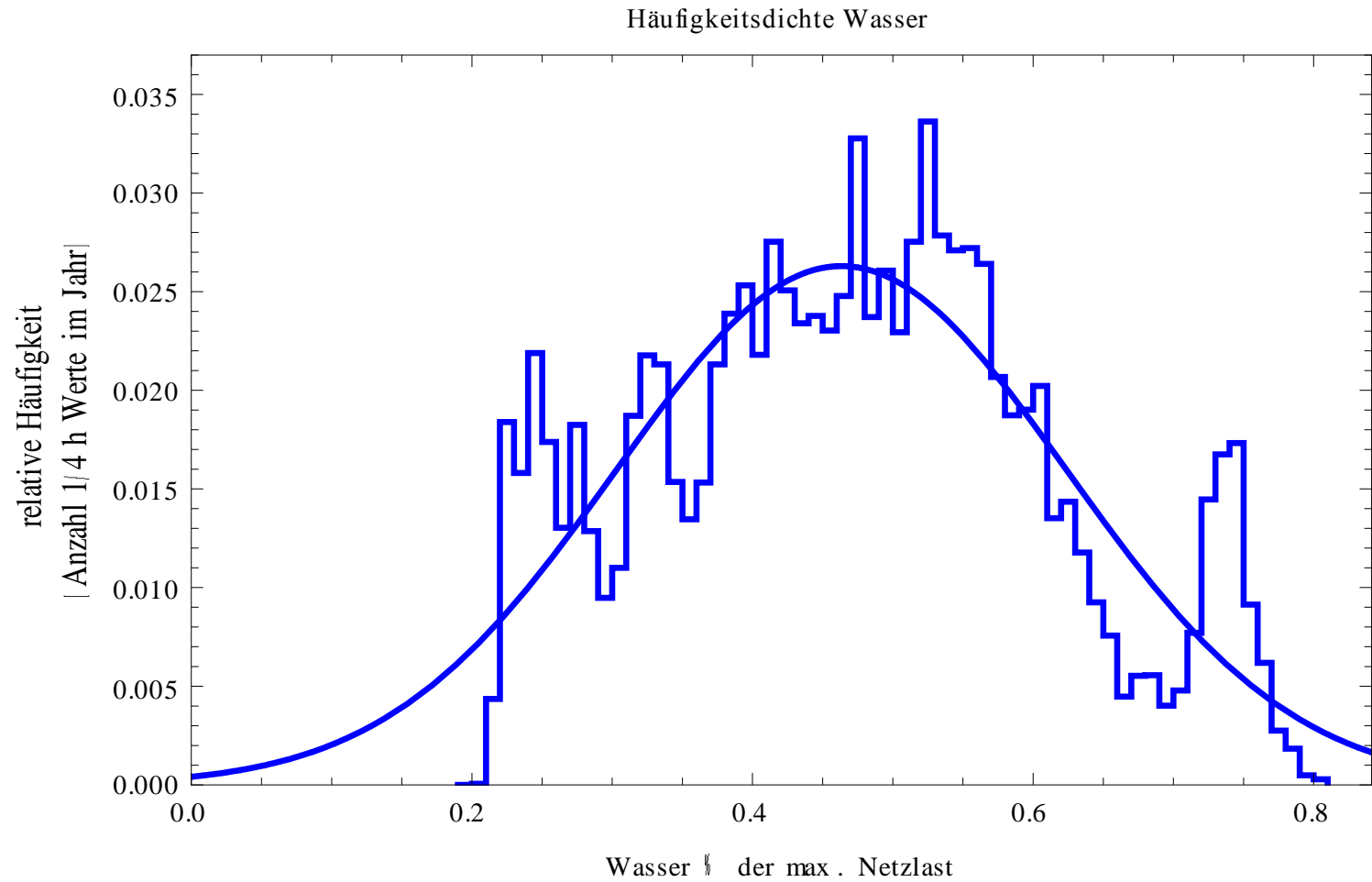
Wasserkraft



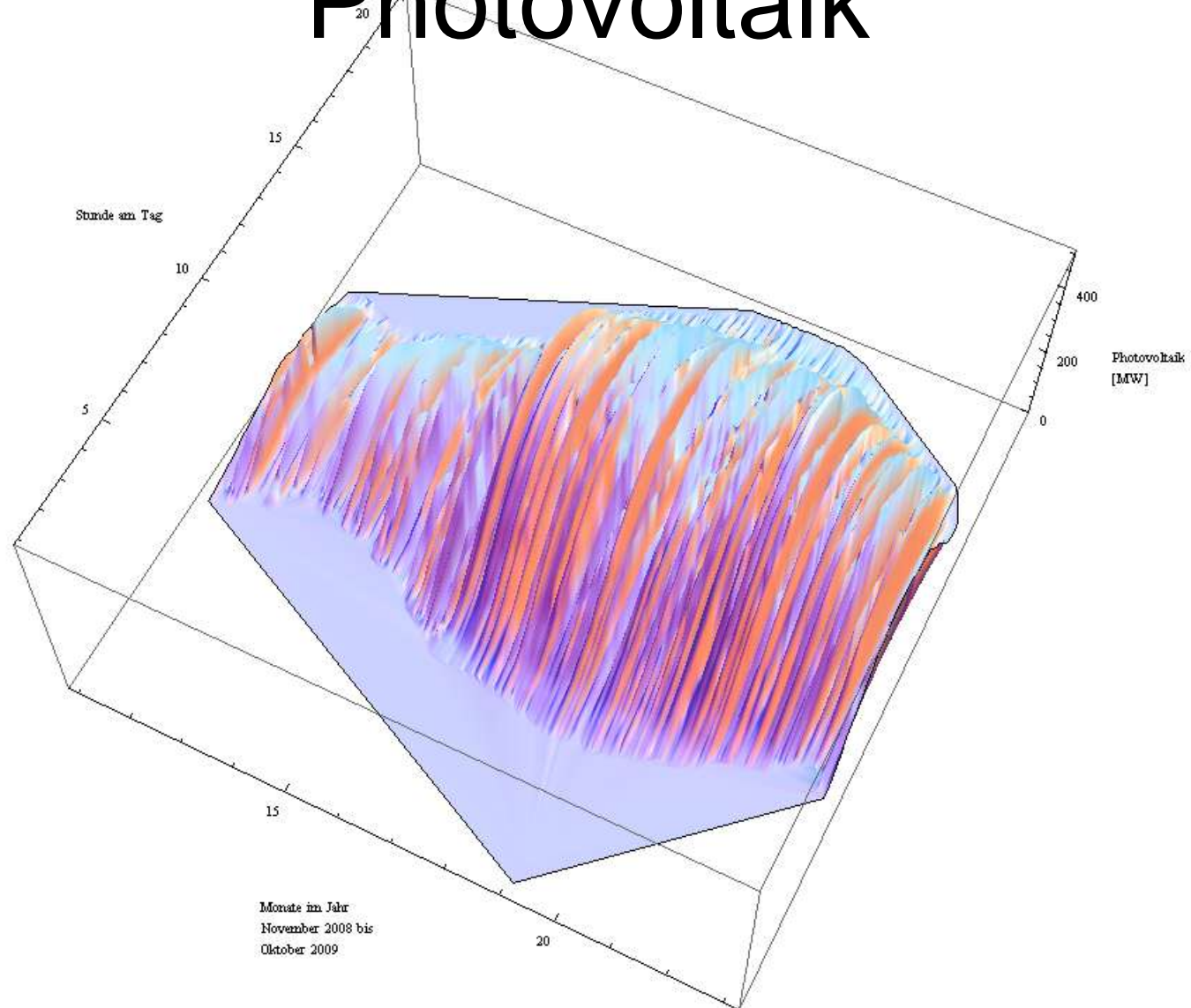
Wasserkraft



Wasserkraft

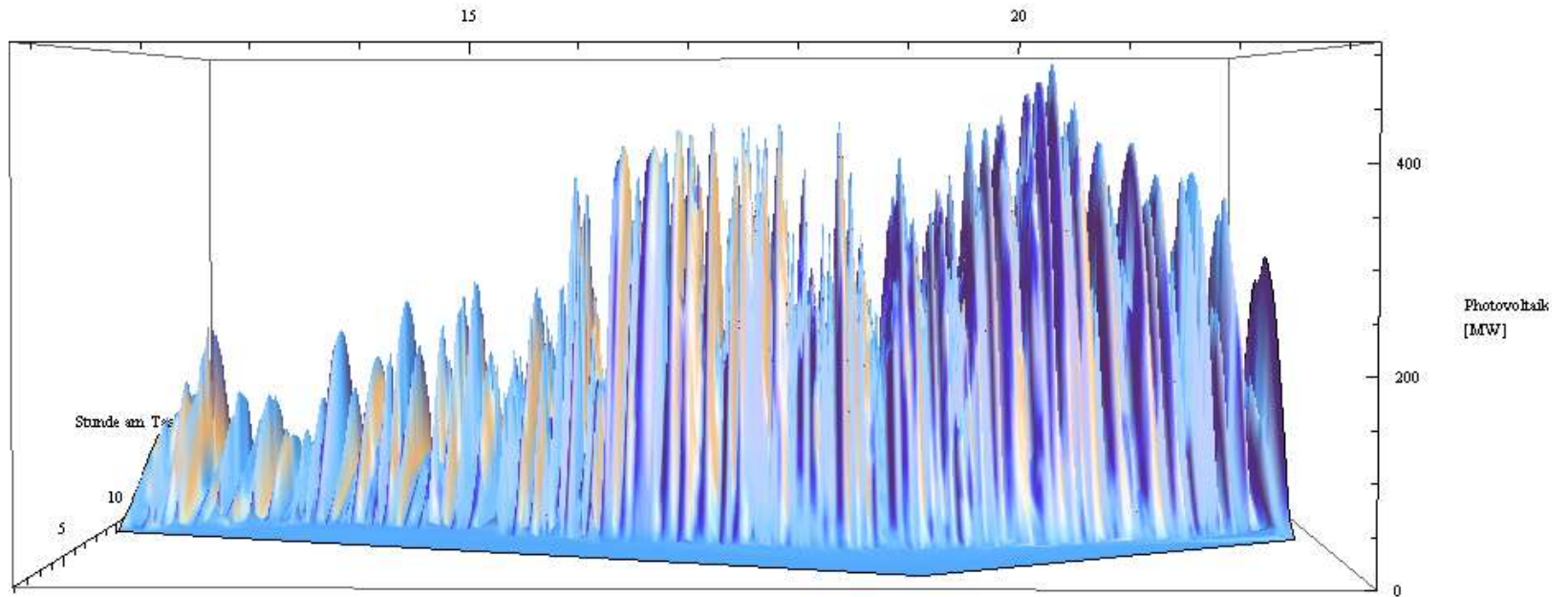


Photovoltaik

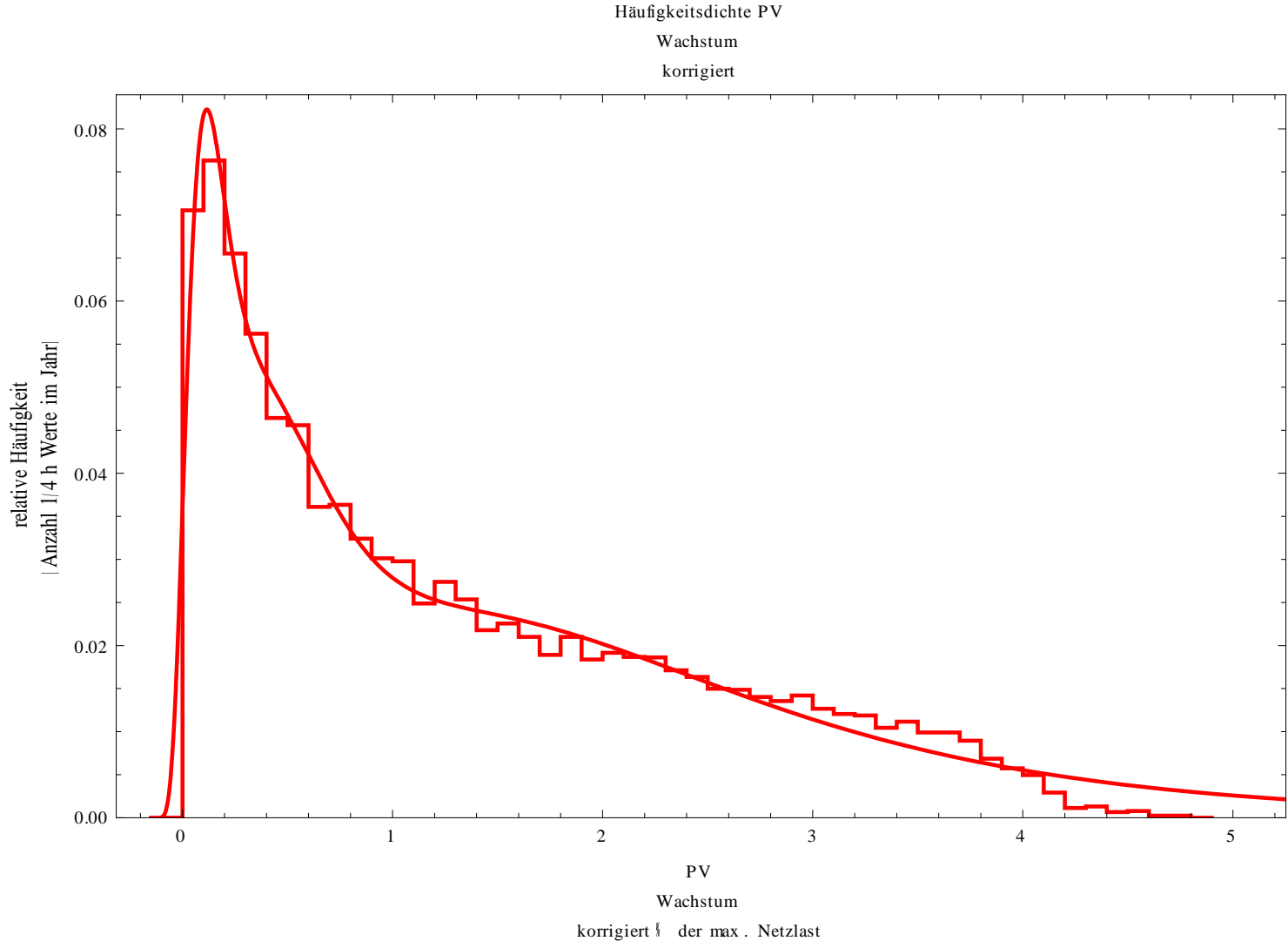


Photovoltaik

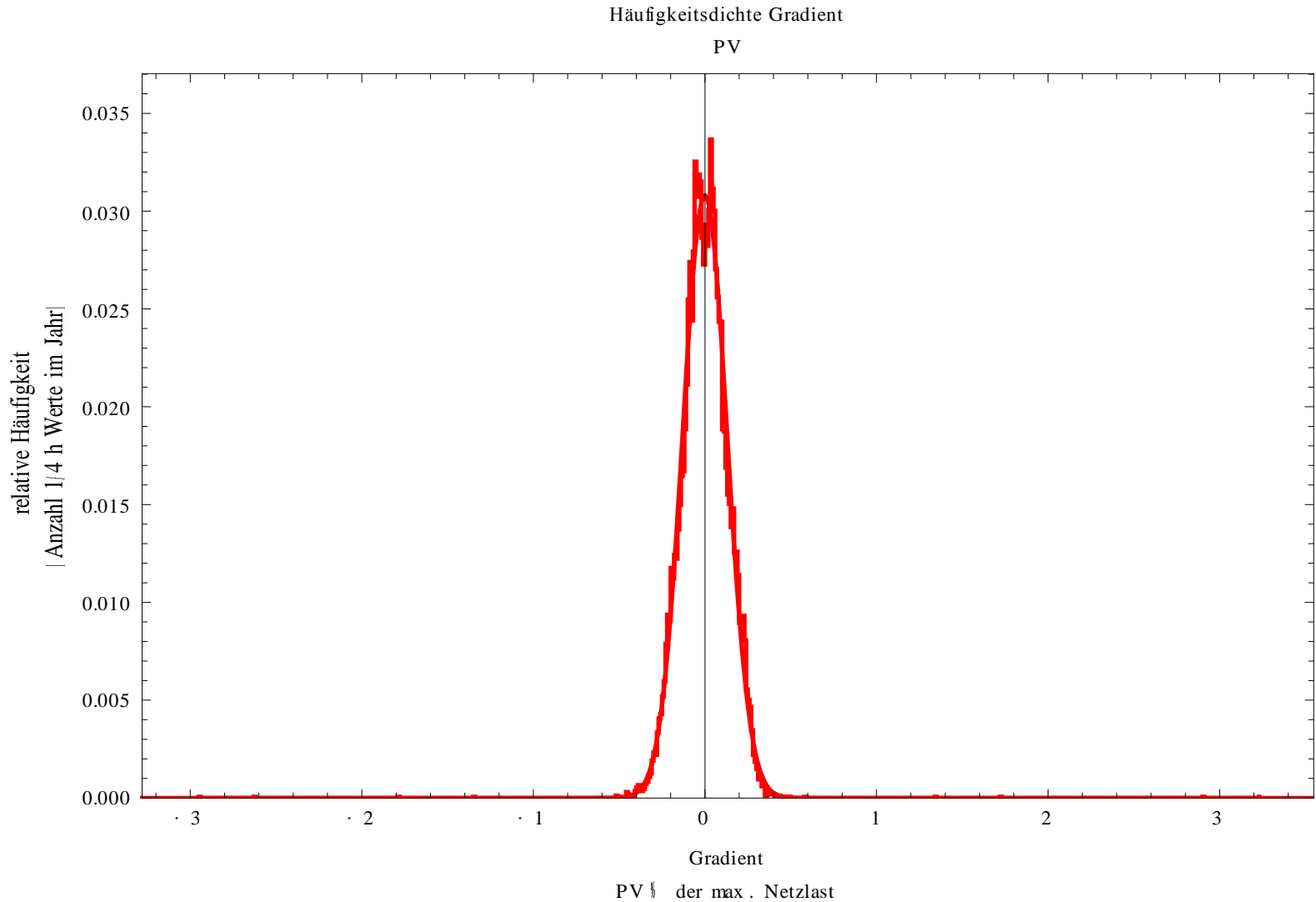
Monate im Jahr
November 2008 bis
Oktober 2009



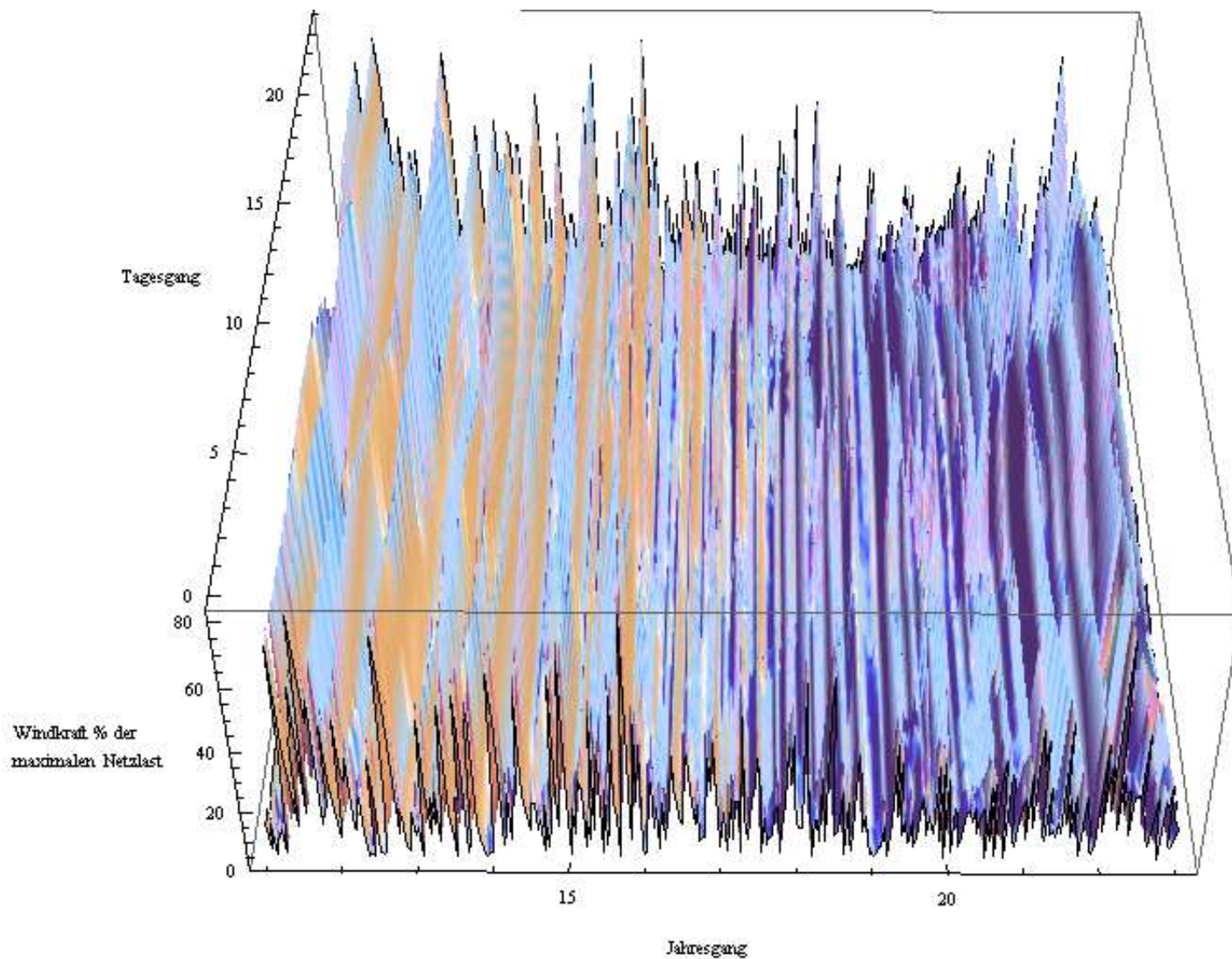
Photovoltaik



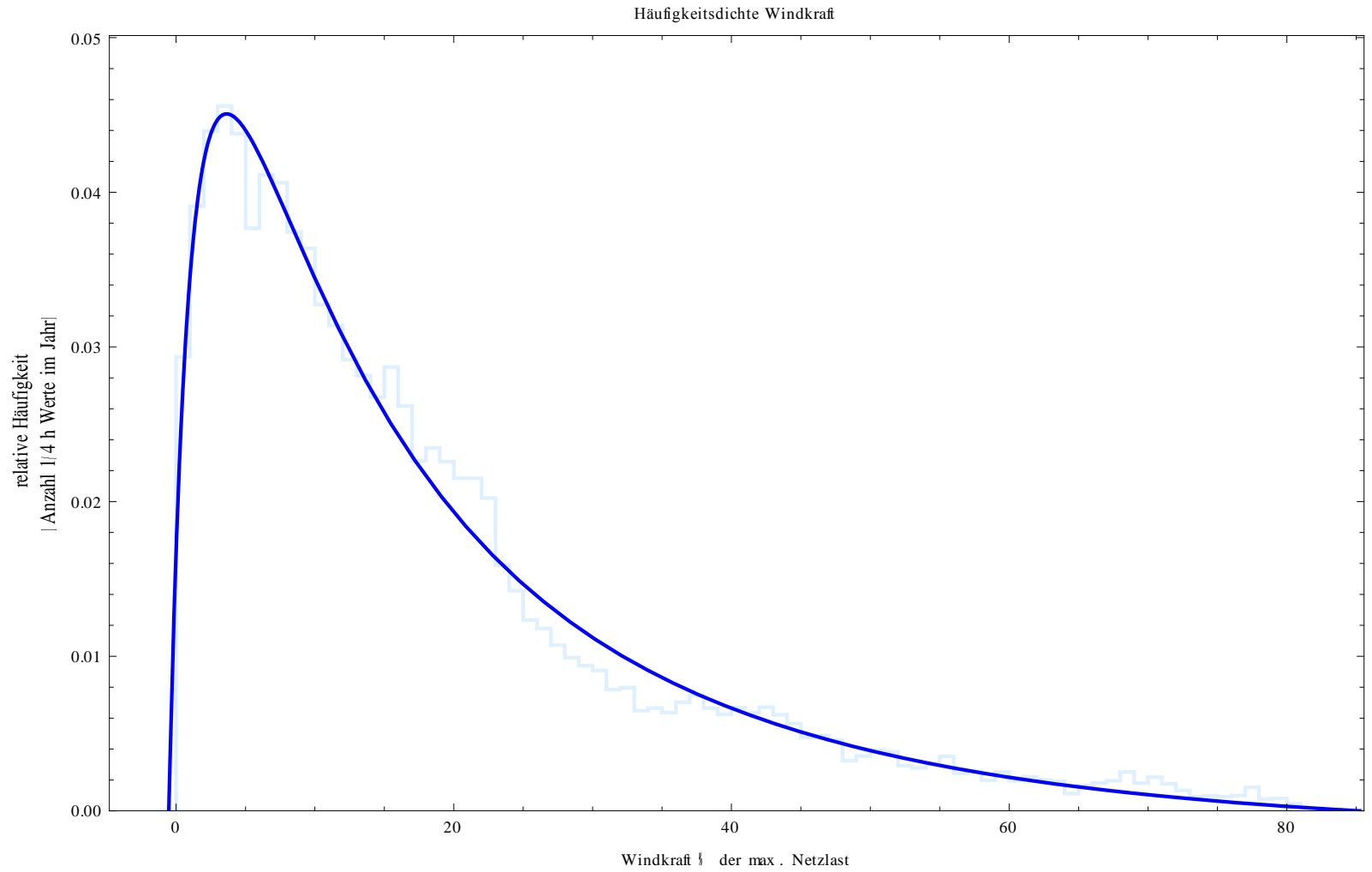
Photovoltaik



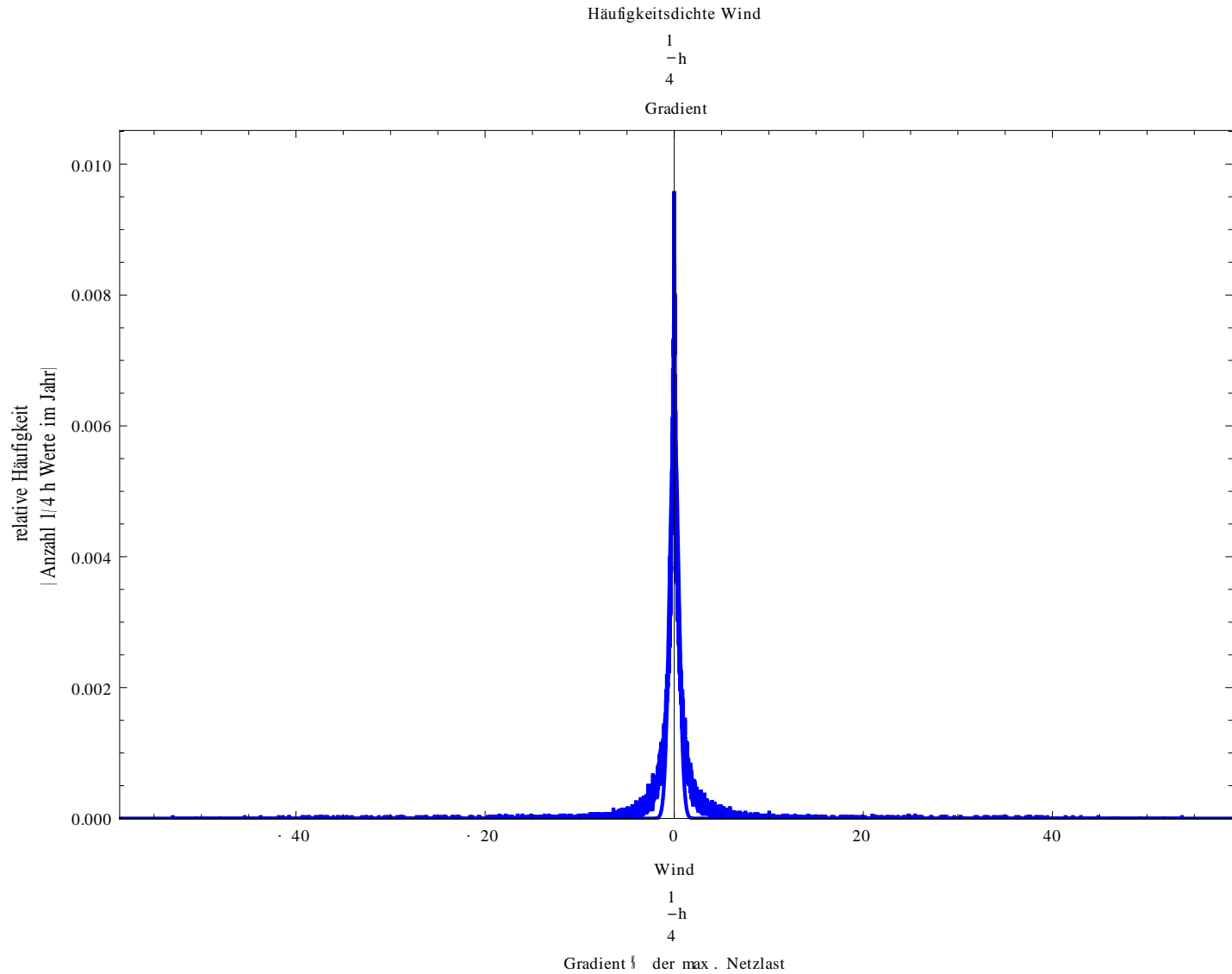
Windstrom



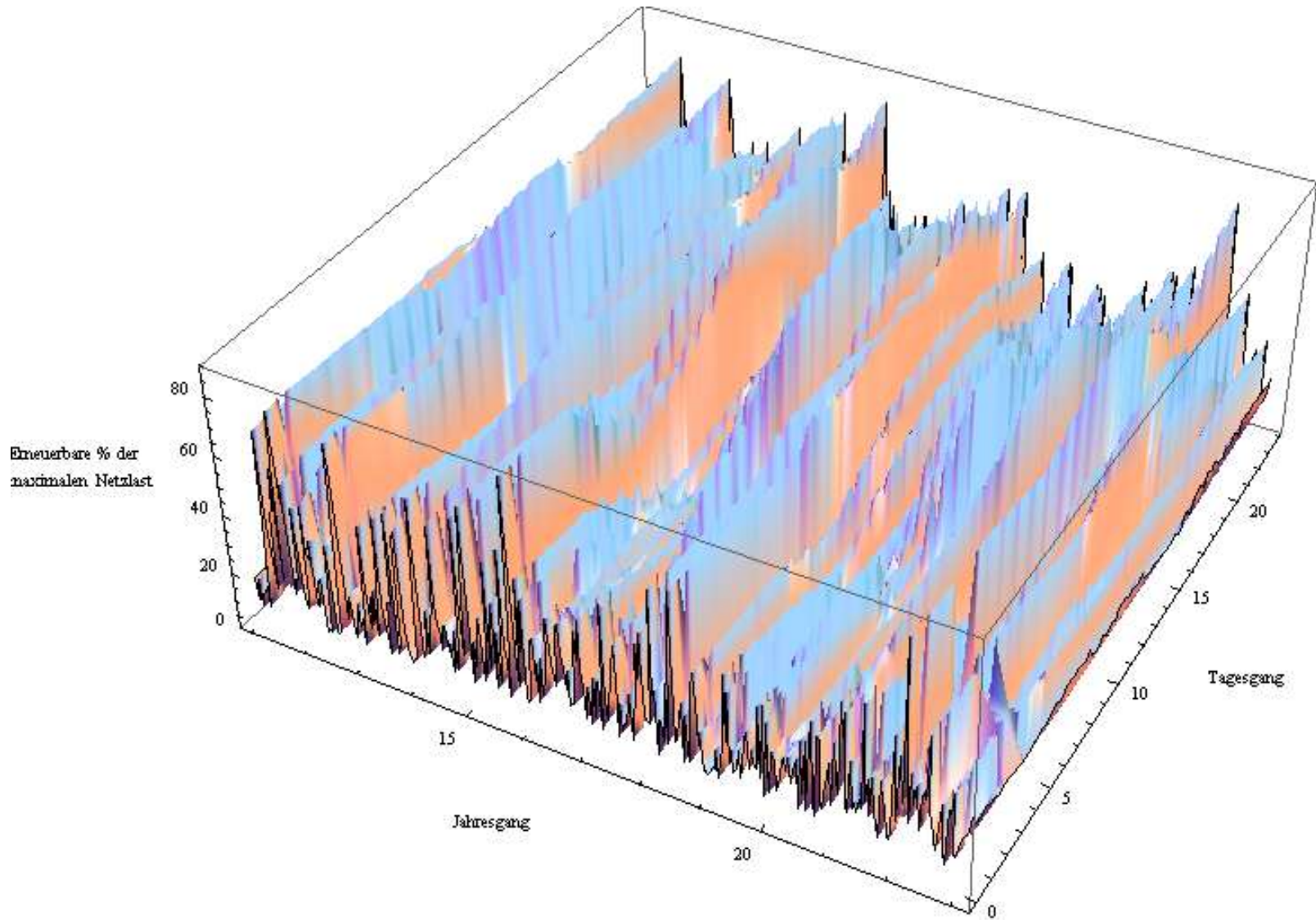
Windstrom



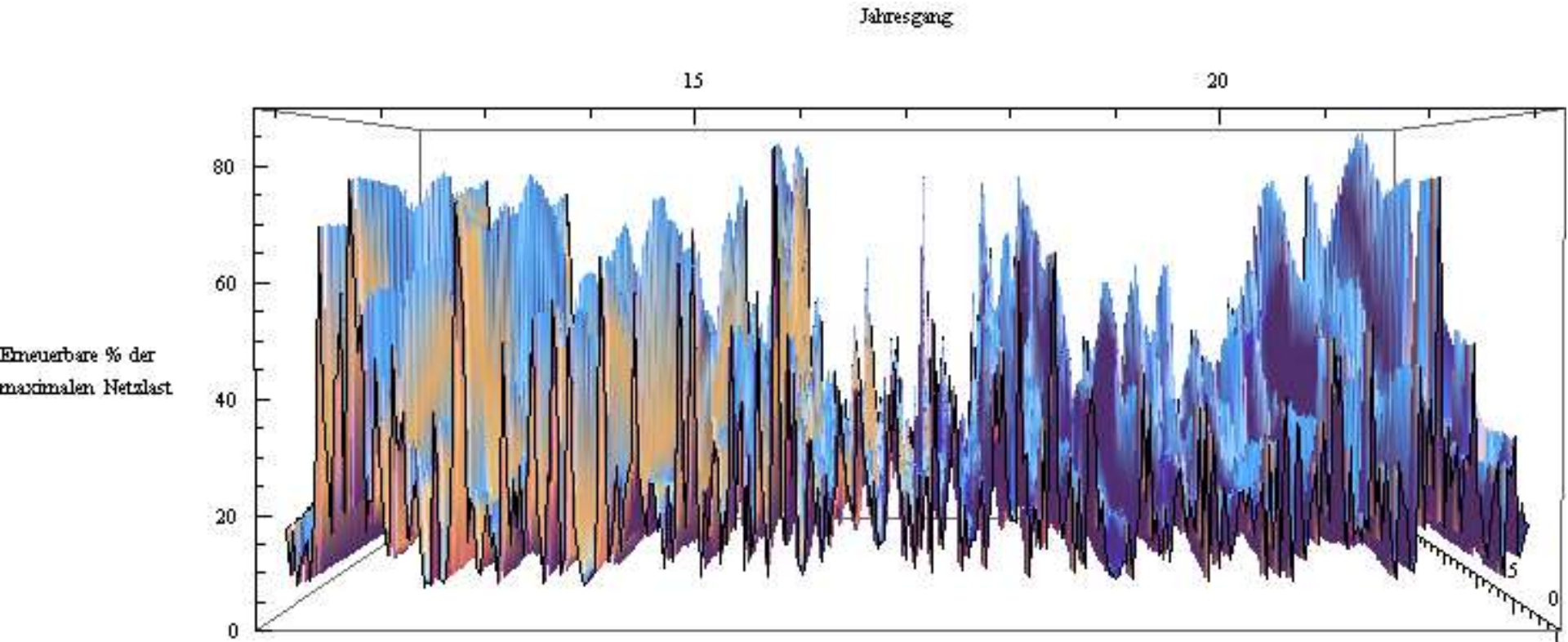
Windstrom



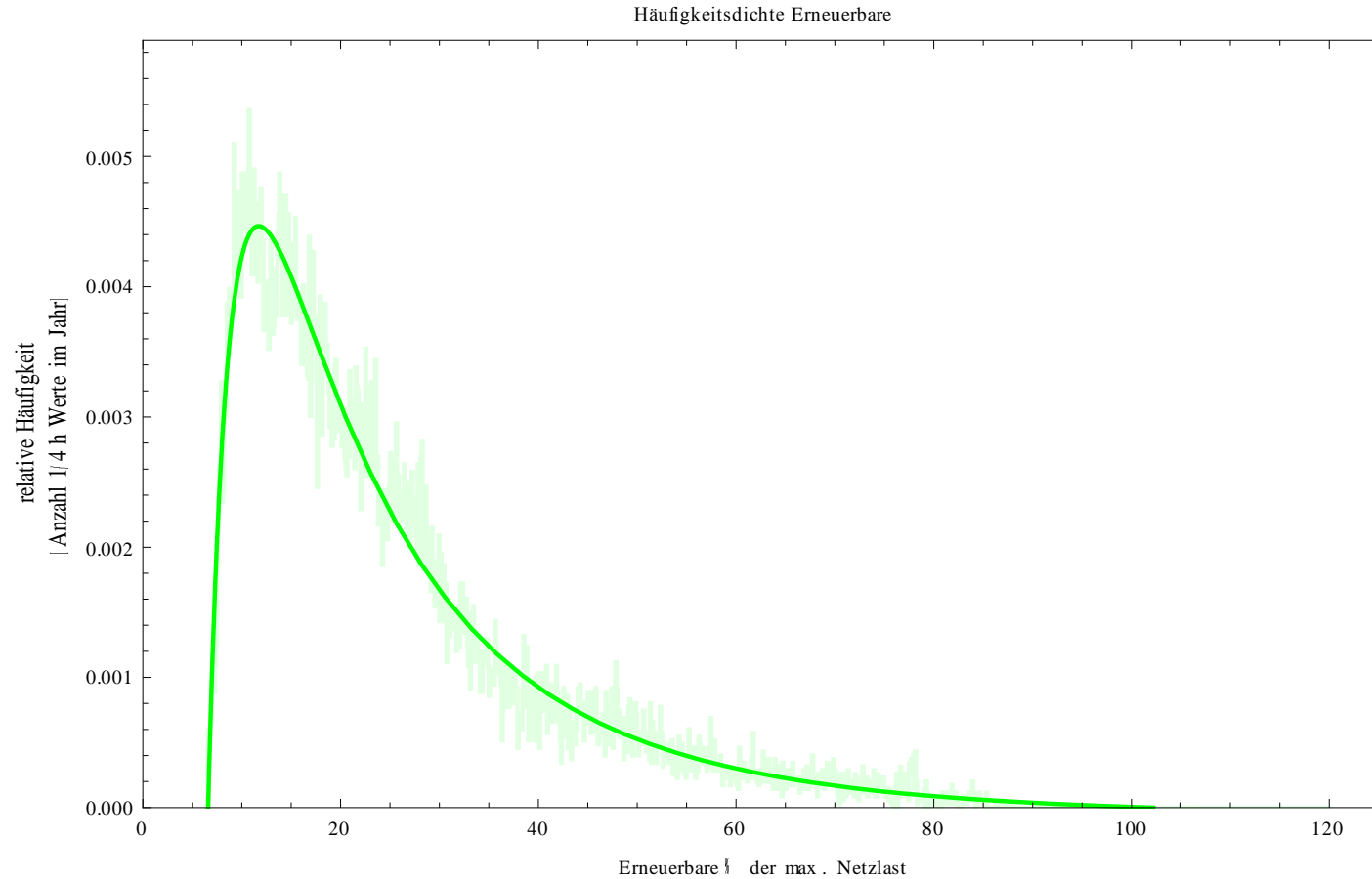
alle Erneuerbaren



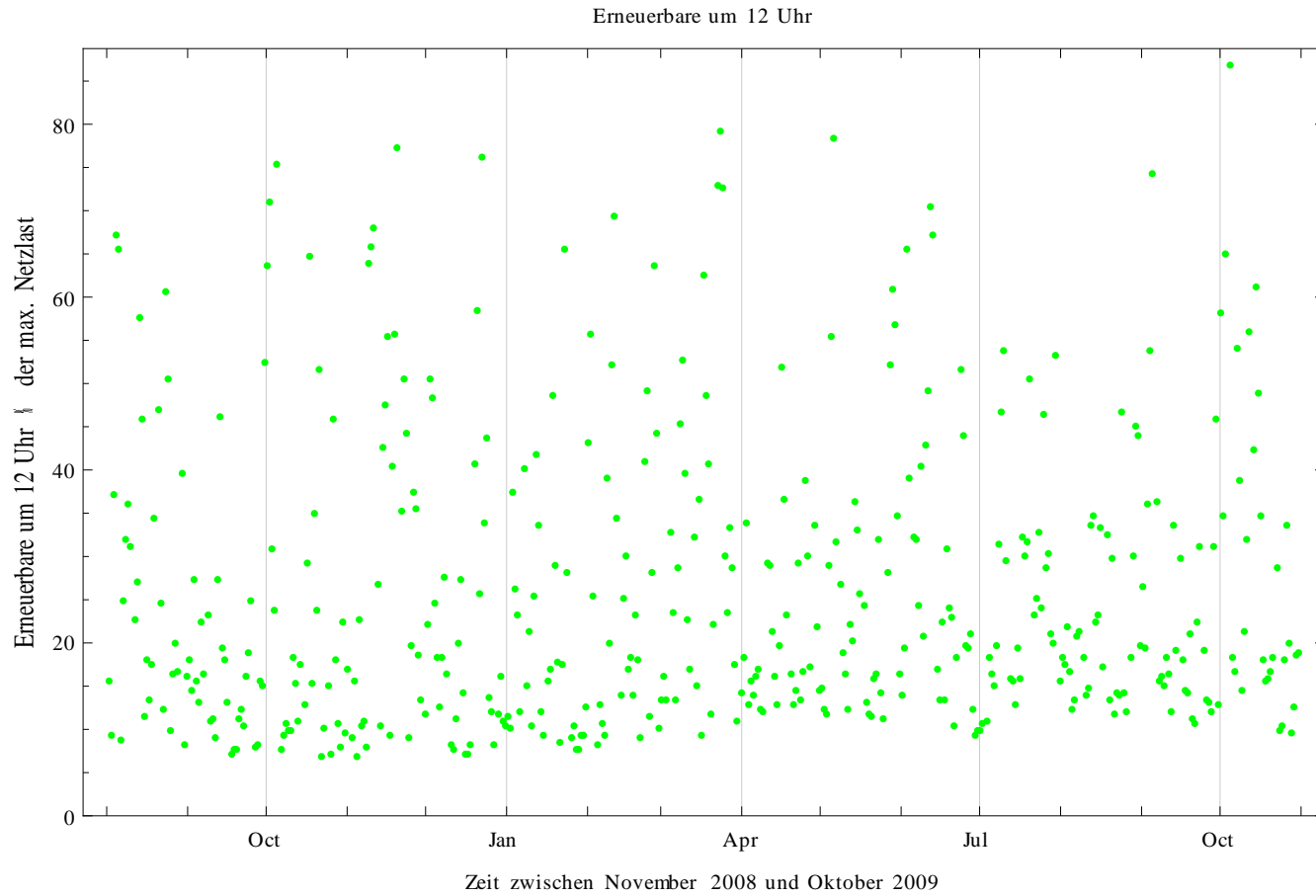
alle Erneuerbaren



alle Erneuerbaren

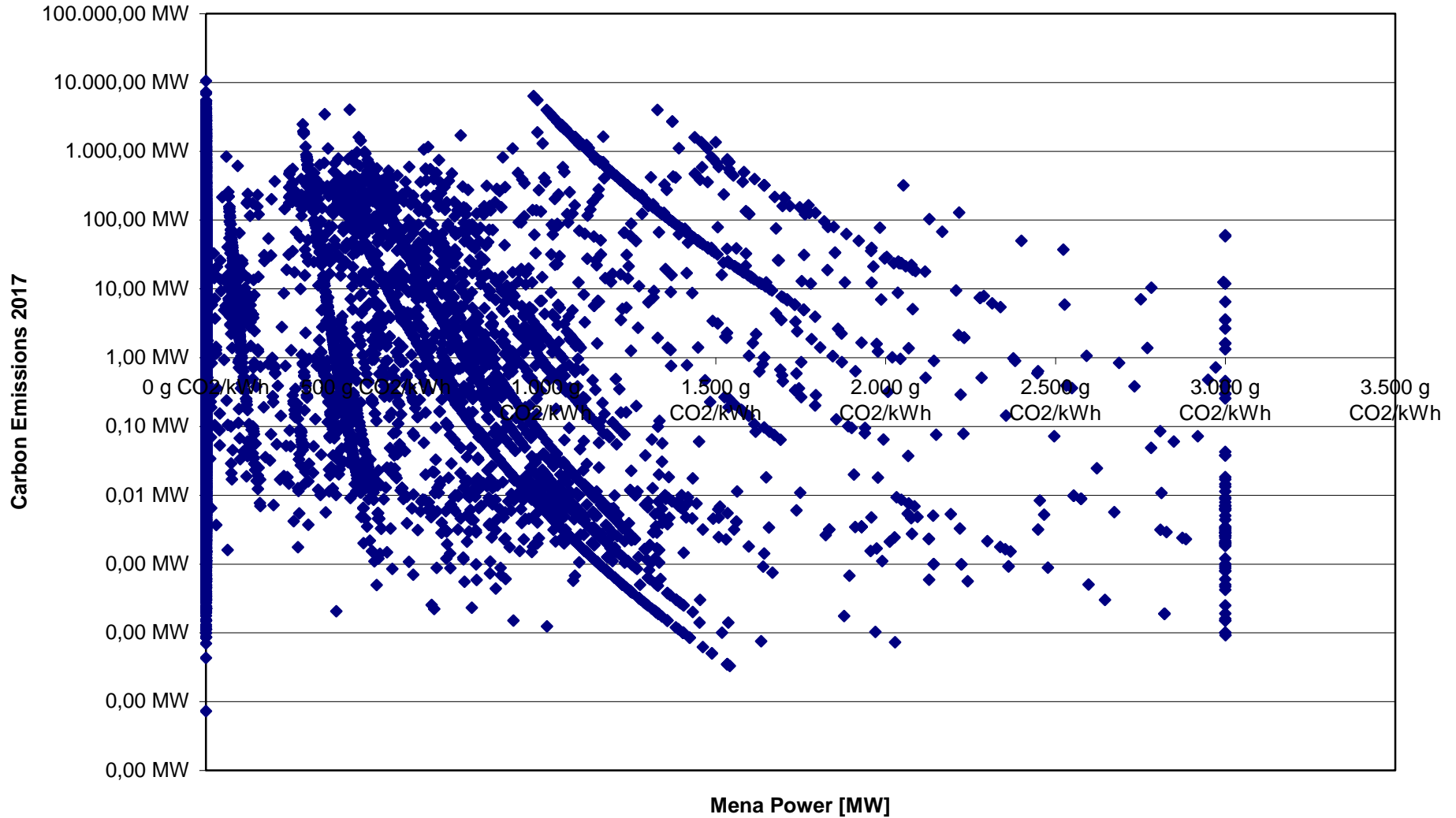


alle Erneuerbaren



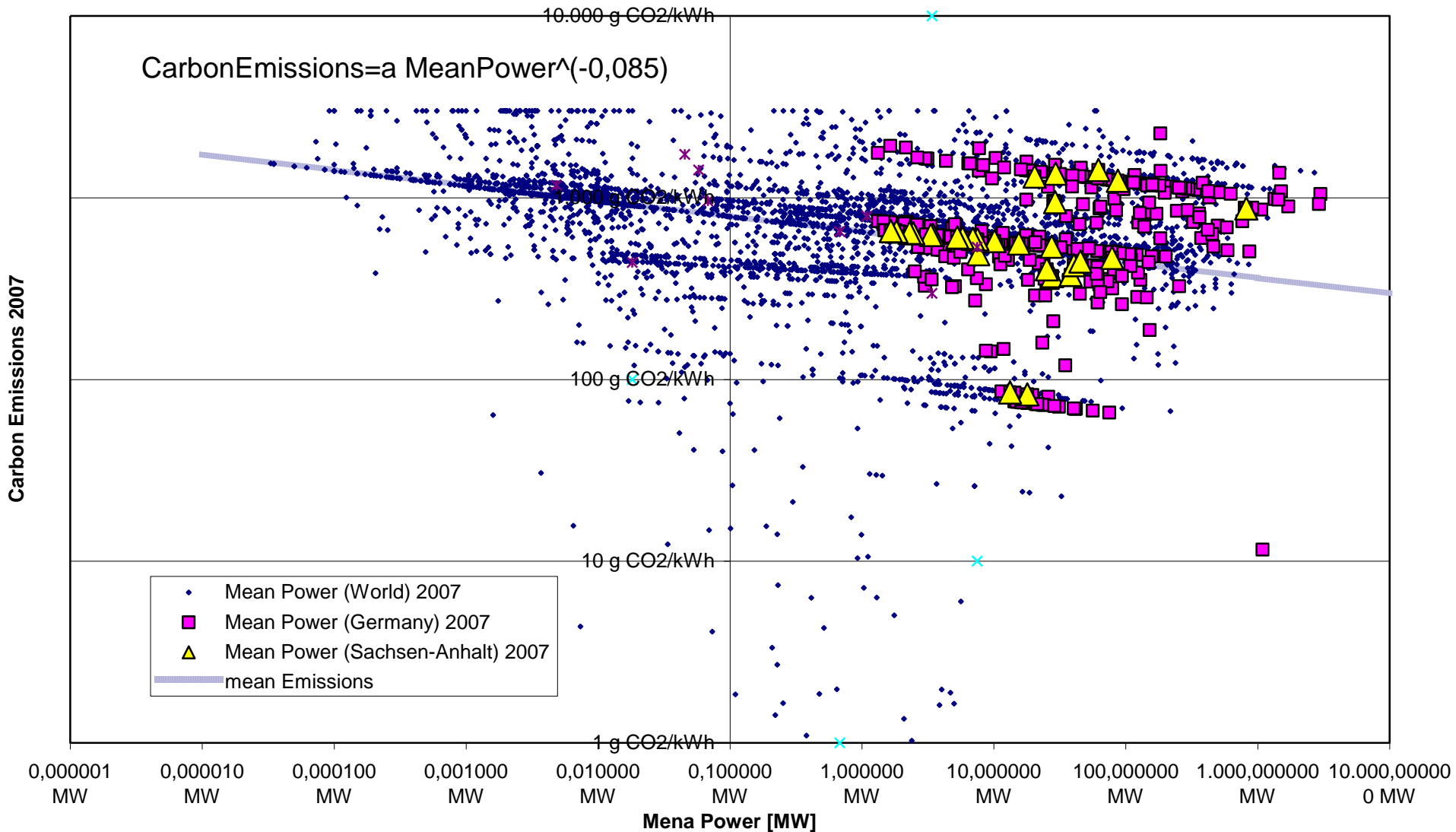
Das Transportproblem

mean power 2005



Das Transportproblem

spezifische CO₂-Emissionen als Funktion der mittleren Leistung bzw. Jahresarbeit



Das Transportproblem

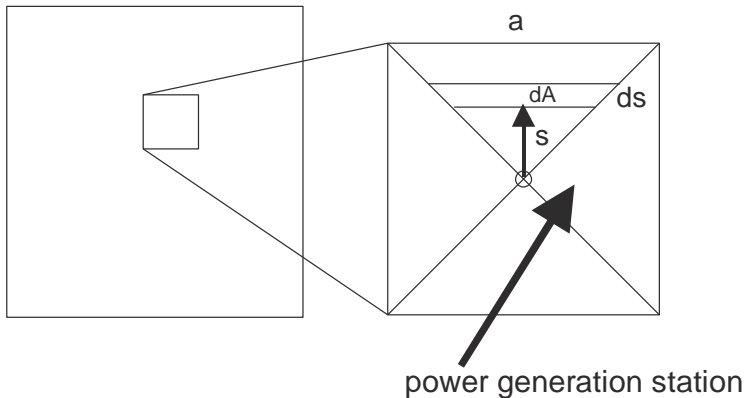
Equal Country

Constant power demand over the surface:

In each square, a power generation station is positioned and generates the same power. In one Country you have n squares.

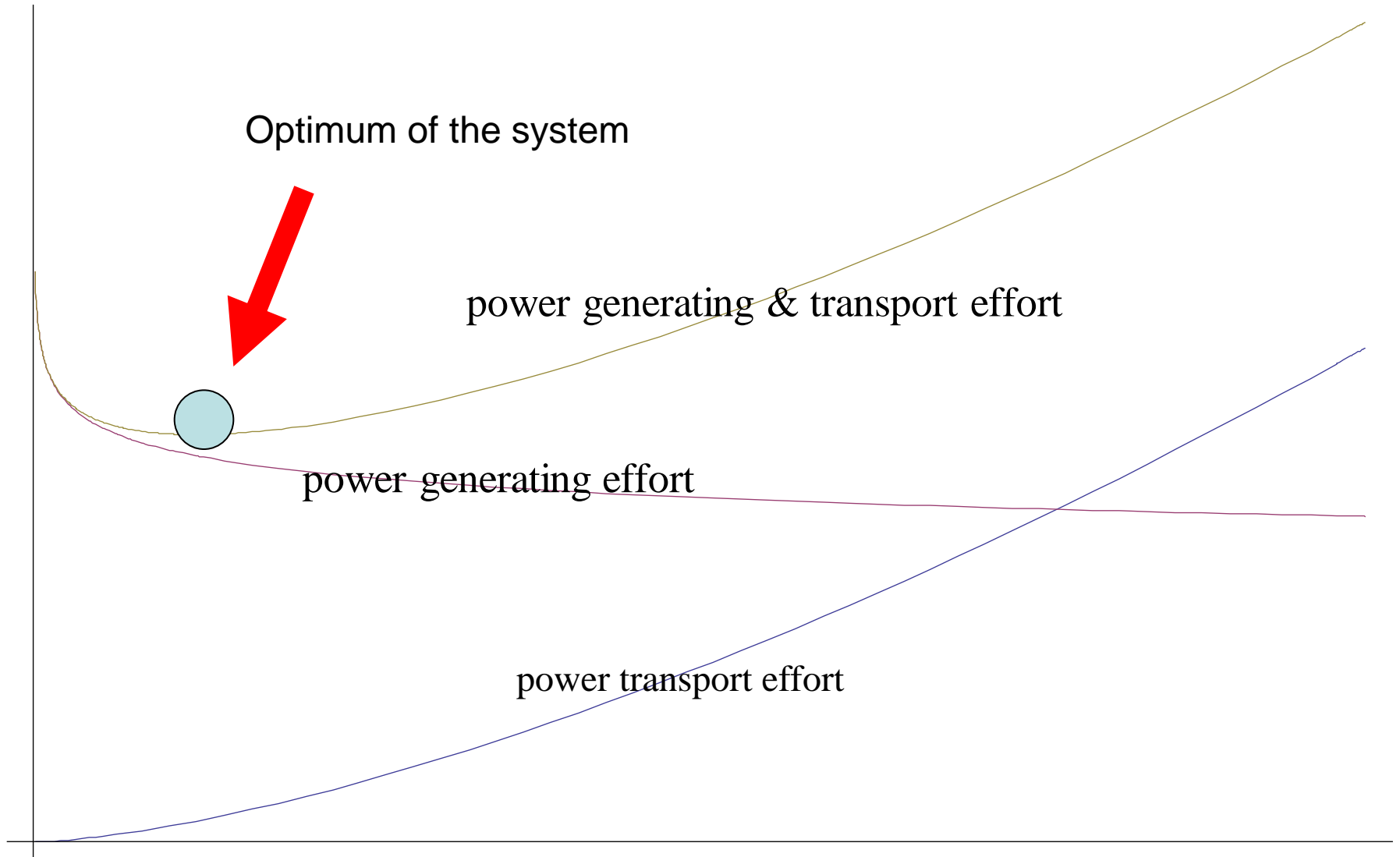
This must be delivered to the consumers.

transport work = specific power demand * distance
 $dw = 4 \text{ spd} * s * dA$ with $dA = 2 s ds \Rightarrow dw = 8 \text{ spd} s^2 ds$
after integration: $w = \frac{8}{3} a^3 \text{ spd}$



$$\int_0^w d\mathbf{w} == \int_0^a 8 \text{ spd} s^2 d\mathbf{s} \Rightarrow \mathbf{w} == \frac{8}{3} a^3 \text{ spd}$$

Das Transportproblem



Das Transportproblem

Optimum of the system



power generation

power generating efficiency

Kosten der Netzausbaumaßnahmen im Verteilnetz bis 2015.

	Projektkosten in Mio. €	
	bis 2006	2007-2015
Höchstspannungsebene	3	46
Umspannebene HöS/HS und HS-Ebene	15	165
Umspannebene HS/MS und MS-Ebene	1	47
Umspannebene MS/NS und NS-Ebene	0	2
Gesamtkosten	19	261

HöS = Höchstspannung MS = Mittelspannung
 HS = Hochspannung NS = Niederspannung

Backup Folie 4: Anstieg der NNE gegenüber 2006 unter Einbeziehung der Infrastrukturkosten

Ebene	2010				2015			
	Leistungspreis [€/kWh]		Arbeitspreis [ct/kWh]		Leistungspreis [€/kWh]		Arbeitspreis [ct/kWh]	
	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.
1/HöS	13%	13%	47%	47%	22%	22%	114%	114%
2/HöS/HS	13%	13%	46%	46%	22%	22%	115%	115%
3/HS	25%	10%	31%	13%	47%	16%	57%	25%
4/HS/MS	14%	10%	26%	13%	29%	17%	49%	26%
5/MS	10%	7%	10%	7%	21%	13%	21%	13%
6/MS/NS	8%	5%	8%	6%	16%	10%	18%	11%
7/NS	6%	5%	6%	5%	11%	8%	11%	8%

Das Transportproblem

Mehrkosten für den Endkunden

Effekt durch EEG-Ausbau:

	Mehrkosten Endkunde 2010	Mehrkosten Endkunde 2015
Summe	9,6 Mio. Euro	18,5 Mio. Euro



0,07 ct/kWh

Durchschnittliche
Mehrkosten für
den Endkunden

0,14 ct/kWh

Gleichzeitige Betrachtung der Infrastrukturkosten

	Mehrkosten Endkunde 2010	Mehrkosten Endkunde 2015
Summe	24 Mio. Euro	45 Mio. Euro



0,14ct/kWh

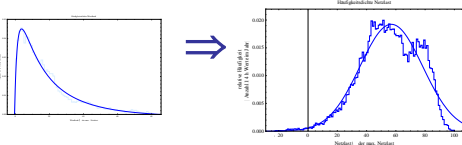
Durchschnittliche
Mehrkosten für
den Endkunden

0,34 ct/kWh

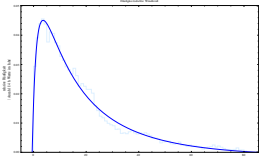
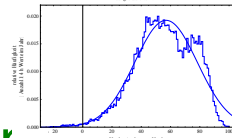
Differenz:
20 ct/kWh
Im Vergleich:
Infrastrukturkosten
separat betrachtet:
0,16 ct/kWh.

Verstärkungseffekt
durch vermiedene
Netznutzung

Schlussfolgerungen

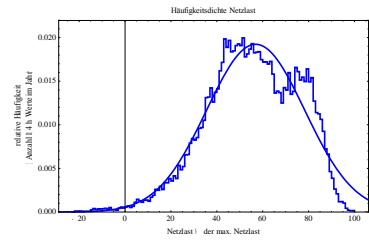
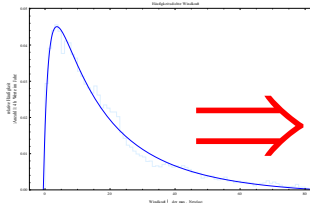
- Wind & PV weisen die höchste Wahrscheinlichkeit der Einspeisung bei niedrigen Leistungen auf (Log-Normalverteilung), die Nachfrage ist aber Normalverteilt. ⇒ 
- + Neben dem klassischen **nominalen** Problem, dass Last und Erzeugung nicht passen ist
- + das Problem der Asymmetrie zu beachten, dass Hohe oder die maximale Einspeisungen extrem selten auftreten, also ein Speicher eine sehr große, selten ausgenutzte Einspeisemaschine benötigt, die Expansionsmaschine aber sehr viel kleiner sein muss, da im Mittel sowieso weniger Last anliegt als potenziell Erzeugung aus Wind und PV anliegt (**10 zu 1 <PV> bzw. 5 zu 1 <Wind> bzw. 3 zu 1 <Offshore> Problem**).
- Die **wahrscheinlichste Nachfrage**, den Mittelwert der Netzlast, kann Wind & PV daher nur selten befriedigen.
- Dass Wind & PV dagegen die **maximalen Anforderung** abdecken können, ist aber noch seltener der Fall (sicher verfügbare Leistung laut dena).
- Die Stromversorgung sind aber nur **zuverlässig**, wenn die **Spitzenlast** sicher abgedeckt werden kann.
- Der **Netzausbau** für die Erneuerbaren erfolgt, um die maximalen Ereignisse (Last und Erzeugung) sicher abdecken zu können. Treten diese maximalen Ereignisse selten auf, so wird das Netz in der restlichen Zeit nicht ausreichend genutzt:
Ein großes Anlagevermögen, dass nur selten voll genutzt wird, verursacht hohe spezifische Kosten:
Hohe EEG-bedingte Netznutzungsentgelte, die bundesweit nicht umlagefähig sind.

Schlussfolgerungen

- Wind & PV weisen die höchste Wahrscheinlichkeit der Einspeisung bei niedrigen Leistungen auf (Log-Normalverteilung). 
- Die Nachfrage ist aber Normalverteilt. 
- Die **wahrscheinlichste Nachfrage**, der **Mittelwert** der Netzlast, kann Wind & PV daher nur selten befriedigen.
- Dass Wind & PV dagegen die **maximalen Anforderung** abdecken können, ist aber noch seltener der Fall.
- Die Stromversorgung sind aber nur zuverlässig, wenn die **Spitzenlast** sicher abgedeckt werden kann.
- Der Netzausbau für die Erneuerbaren erfolgt, um die maximalen Ereignisse (Last und Erzeugung) sicher abdecken zu können. Treten diese maximalen Ereignisse selten auf, so wird das Netz in der restlichen Zeit nicht ausreichend genutzt:
**Ein großes Anlagevermögen, dass nur selten voll genutzt wird, verursacht hohe spezifische Kosten:
Hohe Netznutzungsentgelte, die bundesweit nicht umlagefähig sind.**

Lösungen

- Wind & PV müssen in der Verfügbarkeit verbessert werden:
PV: Mover (2-achsige Nachführung)
Windkraft: Höhere Anlagen haben 2 Effekte:
1.: Höhere Windgeschwindigkeiten führen zu höherer Ausnutzung der Arbeitsfähigkeit.
2.: Die Verteilungsfunktion der anliegenden Windgeschwindigkeit wird symmetrischer.
- Grundlastfähige Erneuerbare ausbauen:
 - + Biomasse
 - + Wasserkraft
 - + Geothermie



Lösungen

Windkraft:

Höhere Anlagen haben 2 Effekte:

1.: Höhere Windgeschwindigkeiten führen zu höherer Ausnutzung der Arbeitsfähigkeit.

2.: Die Verteilungsfunktion der anliegenden Windgeschwindigkeit wird symmetrischer.

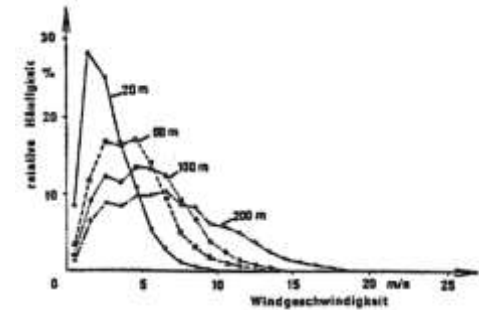
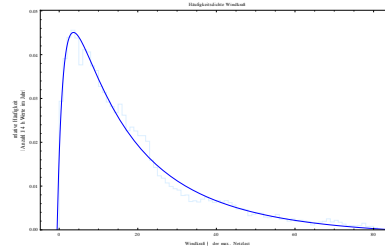
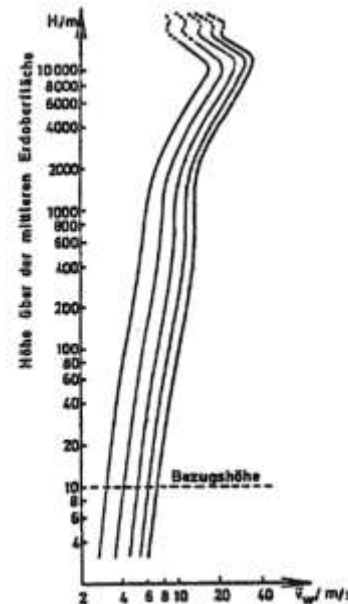


Bild 4: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit nach Lit./3/ am meteorologischen Mast der Gesellschaft für Kernforschung Karlsruhe

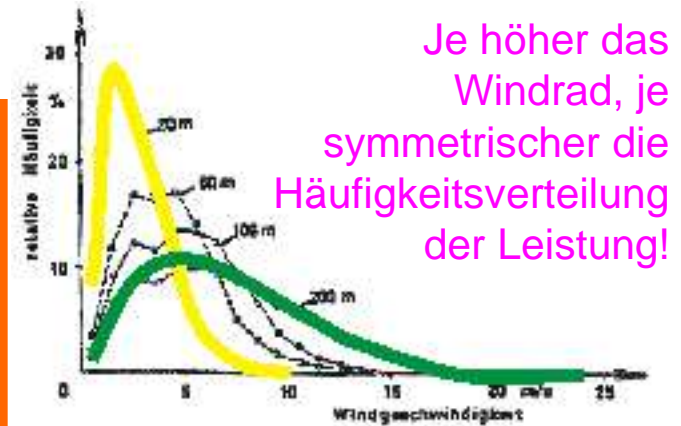


Lösungen

1. Das Exponentialgesetz gilt etwa bis 400 m Höhe.
2. In größeren Höhen wird die Häufigkeitsverteilung symmetrischer.

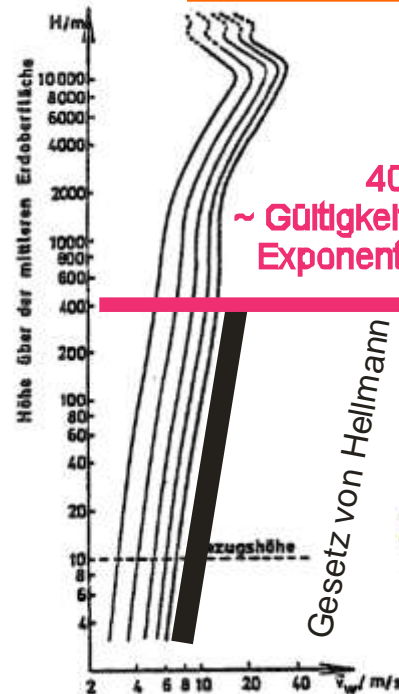
Höhere Windkraftanlagen verbessern die Qualität der Windkraft doppelt!

Anmerkung: Man müsste die dritte Potenz der Geschwindigkeit darstellen. Die Aussage, dass bei höheren Windkraftanlagen die Verteilung symmetrischer wird <höhere Standardabweichung> bleibt aber erhalten.



Je höher das Windrad, je symmetrischer die Häufigkeitsverteilung der Leistung!

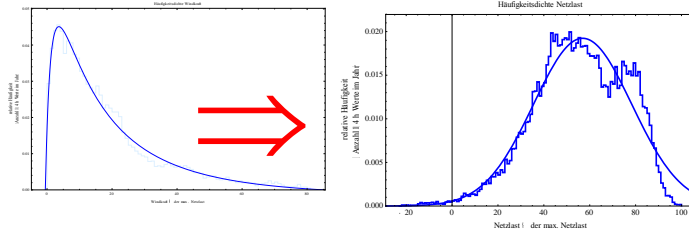
Bild 4: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit nach Lit./3/ am meteorologischen Mast der Gesellschaft für Kernforschung Karlsruhe



400 m
~ Gültigkeitsgrenze des Exponentialgesetzes

$$\frac{v_{\text{Hellmann}}[H]}{v_{10\text{ m}}} = \left(\frac{H}{10}\right)^n = \left(\frac{H}{10}\right)^{0.14}$$

Lösungen

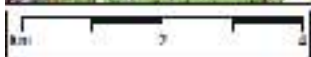
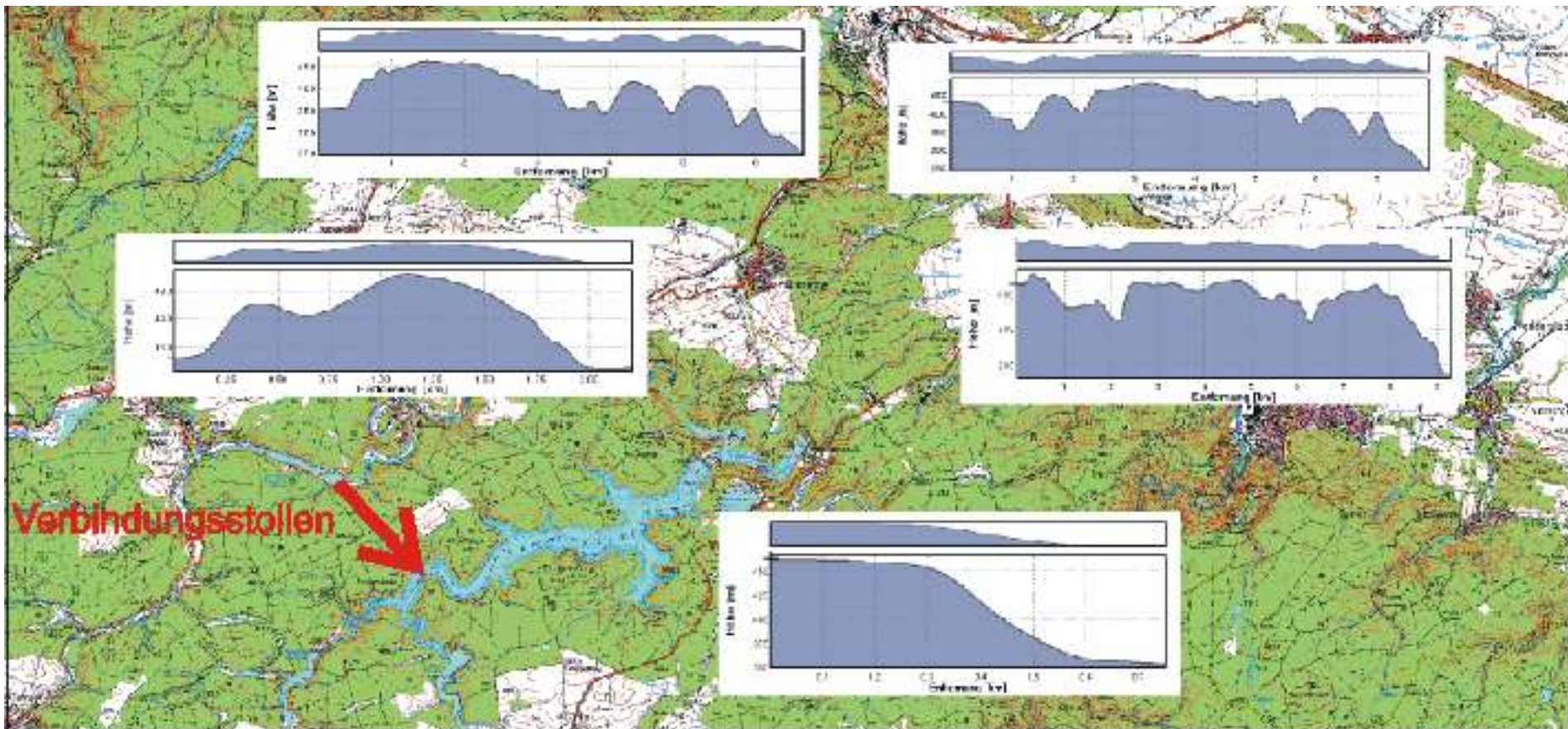


- Grundlastfähige Erneuerbare ausbauen:
 - + Biomasse
 - + Wasserkraft
 - + Geothermie

Wasserkraft => ist auch Pumpspeicher

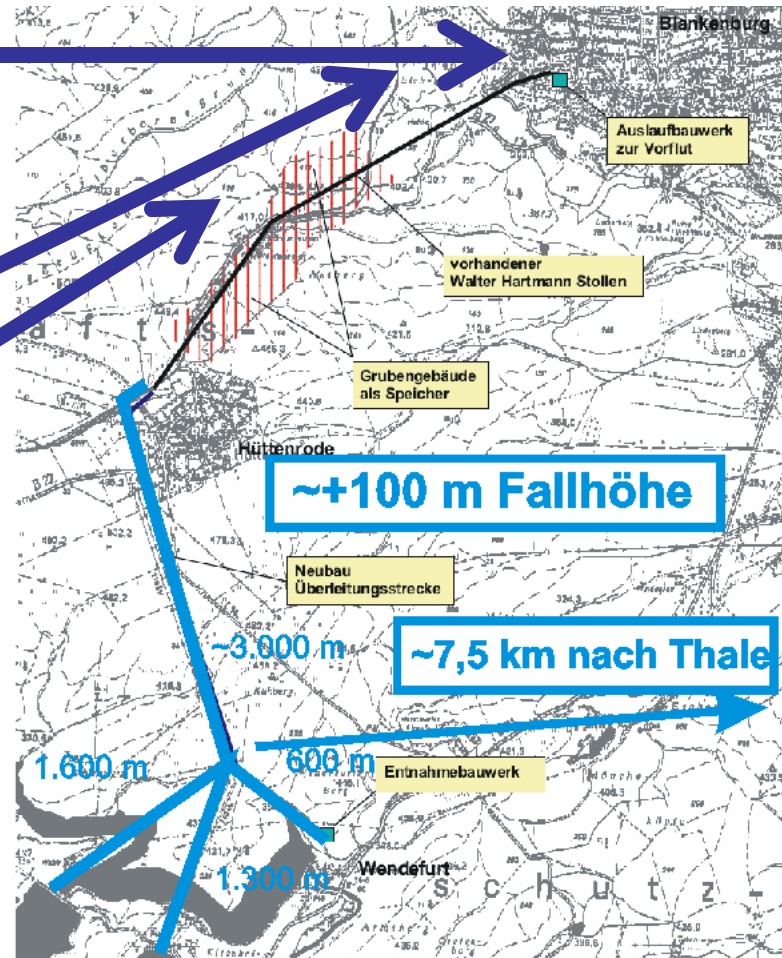
Lösungen

Rappbodewerk ausbauen



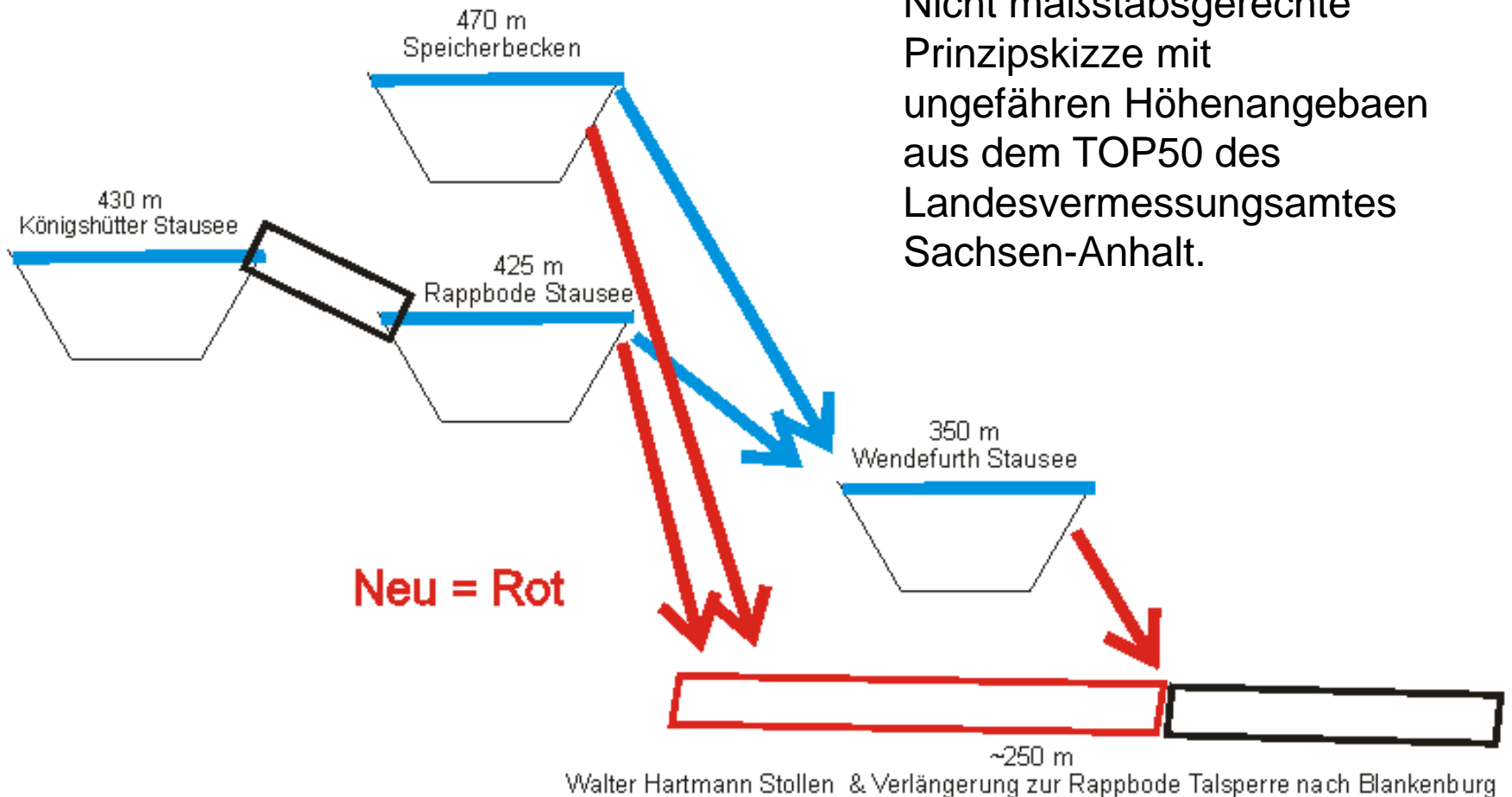
Lösungen

Rappbodewerk ausbauen

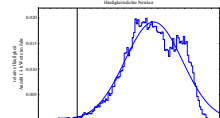
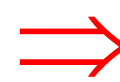
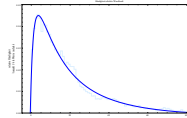


Lösungen

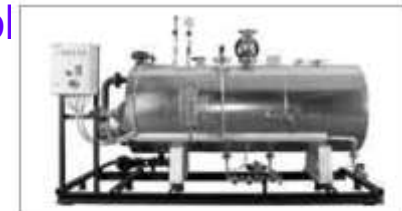
Rappbodewerk ausbauen



Lösungen



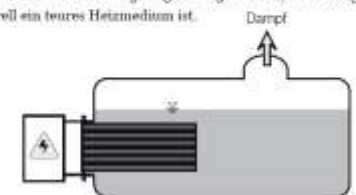
- Energie aus Biomasse kann als Bioerdgas in **Porenspeicher** gespeichert werden \Rightarrow Kein Salzabstoß in die Nordsee.
- Zu dem Bioerdgas kann Wasserstoff aus Wind & PV & Wasserkraft zugemischt werden (um ~7 bis 10 % besserer Wirkungsgrad als Methanisierung).
- Zu dem Bioerdgas kann methanisierter Strom aus Wind & PV & Wasserkraft unbegrenzt zugemischt werden.
- Was ist effektiver:
 - + Erdgasnetz auf Wasserstoffanteil umrüsten oder
 - + methanisieren?(Das Erdgasnetz wurde schon einmal umgerüstet, das ist erprobt)
- Hohe schaltbare Lasten,
 - + in der Industrie durch Tarife erschließbar (keine Strafzahlung bei Überschreitung der Max.-Last, wenn das der Trafo hergibt),
 - + in Haushalten in der Form von Stromheizungen preiswert erschließbar (10 KW)
 - + in Fernwärmenetzen kann Strom in Großraumwasserkesseln im MW Bereich als schaltbare Last dienen (preiswert & Stand der Technik) können den Bedarf der Erzeugung nachführen (Austausch der Regelziele).



3.5 Elektrisch beheizte Dampferzeuger

Diese Dampferzeuger verfügen als Heizquelle über ein Bündel von Elektro-Heizstäben nach dem Tauchsieder-Prinzip. Die Leistungsregelung erfolgt Thyristor-gesteuert. Sie finden Verwendung meist in kleineren Einheiten mit Wassermengen bis 50 l, wo sie dann eine Einheit z.B. mit Sterilisatoren bilden. Da diese Dampferzeuger direkt beheizt sind, entspricht ihre Ausrüstung weitgehend der von Großraumwasserkesseln.

Ihr Einsatz sollte sorgfältig überlegt werden, da Strom generell ein teures Heizmedium ist.



Lösungen

