

# **Korrelation der Einspeisung aus Windkraftanlagen macht Grundlastfähigkeit in Deutschland unmöglich**

geschrieben von Wolfgang Müller | 18. Juni 2014

Beim derzeitigen Ausbau sind alle Wind- und Solarenergieanlagen in Deutschland zusammen nicht grundlastfähig. Eine entsprechende populärwissenschaftliche Untersuchung wurde vom Verfasser im Internet unter [www.vernunftekraft.de/statistik/](http://www.vernunftekraft.de/statistik/) veröffentlicht. Dort wurde die Aussage getroffen, „dass die gesicherte Leistung aller Windkraftanlagen in Deutschland zusammen mit Null anzusetzen ist.“ Dieser Fall ist inzwischen eingetreten, als die gesamte Windleistung am 13. März 2014 auf 34 MW (das ist ein Promille der installierten Kapazität bzw. Nennleistung von 34.000MW) abgesunken ist. Der praktische Totalausfall der Windkraft ist also in Deutschland inzwischen eingetreten. An diesem Konsens unter Technikern und Wissenschaftlern ist nicht zu rütteln, schließlich sind die Einspeisekurven aller Windkraftanlagen in Deutschland öffentlich zugänglich. Es ist daher nicht verwunderlich, wenn es hier nur „vage Aussagen“ in einschlägigen Studien gibt. Um diese Tatsache drückt sich die versammelte Lobby mit ihren nachgeordneten Instituten mit halbkonkreten Allgemeinplätzen herum.

## **Führt ein Ausbau der Windenergie zur Glättung der Einspeisung?**

**In der Bewertung des weiteren Ausbaus auf eine Vergleichmäßigung der Einspeisung gehen die Einschätzungen unter Wissenschaftlern weit auseinander. Dem Sinne nach vertritt etwa das IWES in Kassel die Auffassung, dass**

ein weiterer Ausbau zur Glättung und damit zur Vergleichmäßigung der Einspeisung führt. So heißt es in der am IWES in Kassel gefertigten „Agora Kurzstudie zur Entwicklung der Windenergie in Deutschland“ z. B.: *„Eine großräumige Verteilung der Anlagen führt folglich zu einer Glättung der Einspeisung.“*

Wer sich jemals mit mathematischer Statistik befasst hat, sieht „auf den ersten Blick“, dass diese These mathematisch unhaltbar ist. Die Streuung oder Variabilität einer zufälligen Größe wie etwa die geworfene Augenzahl einer Folge von 50 Würfeln mit einem Würfel wird in der Mathematik durch die sogenannte Varianz „gemessen“. Wenn man nun dieses Würfel-Experiment mit 2 Würfeln durchführt (und damit den Ausbau der Windkraft in dieses Experiment einbezieht, weil mit mehr Würfeln gewürfelt wird) und die

Summe der Augenzahlen bildet und die Streuung dieser Summe betrachten, zeigt sich, dass die Streuung (und die Varianz!) der Summe steigt und nicht sinkt. Diese Aussage ist evident, weil die Zahlen bei einem Würfel zwischen 1 und 6, bei zwei Würfeln zwischen 2 und 12 schwanken. Dahinter verbirgt sich der Additionssatz für die Varianz der mathematischen Statistik. Er besagt, dass sich die Varianz einer Summe zufälliger Zahlen als Summe der Varianzen der einzelnen Zufallszahlen ergibt. Mit jedem weiteren Summanden steigt die Varianz und damit die Streuung und letztlich die Variabilität.

**Die Schlussfolgerung an dieser Stelle lautet zweifelsfrei:**

*Ein Ausbau der Windkraft erhöht die Streuung der Einspeisung. Die von*

*IWES- Wissenschaftlern aufgestellte  
Behauptung zur Glättung steht im  
klaren Widerspruch zu eindeutigen  
Sätzen der mathematischen Statistik.  
Die Behauptung ist schlicht falsch!*

**Wird die  
Einspeisung durch  
den Ausbau der  
Windkraft  
verstetigt?**

**Betrachtet man die  
Frage der  
gegenseitigen**

**Ergänzung von  
Windkraftanlagen  
zu einer  
„Verstärkung“ der  
Einspeisung, muss  
etwas genauer  
hingesehen werden.  
Die tieferen  
Zusammenhänge aus  
der mathematischen  
Statistik sind  
allerdings „etwas**

**kniffliger“**

**(neudeutsch: more sophisticated):**

**Das geschilderte  
Würfel-Experiment  
wollen wir nun mit  
3, 4, 5 und  
schließlich mit  
einer sehr großen  
Zahl an Würfeln  
durchführen und  
die Summe der**

**geworfenen  
Augenzahlen dabei  
betrachten. Diese  
Summe wollen wir  
in Gedanken  
bilden, weil die  
Einspeisungen  
aller einzelnen  
Windkraftanlagen  
in unserem  
Verbundnetz völlig  
analog in jedem**

**Augenblick addiert  
werden. Wenn wir  
dieses Experiment  
mit 50 Würfeln  
durchführen sind  
folgende Aussagen  
unmittelbar klar:**

**· Als Summe wird  
sich sehr selten  
die Zahl 50 oder  
300 ergeben, weil**



**es sehr  
unwahrscheinlich  
ist, dass 50 Mal  
die Augenzahl 1  
oder 6 fallen  
wird,**

**Die Zahl 175 wird  
häufig vorkommen,  
weil es viele  
Kombinationen aus  
Augenzahlen gibt,**

# die zu der Summe von 175 führen.

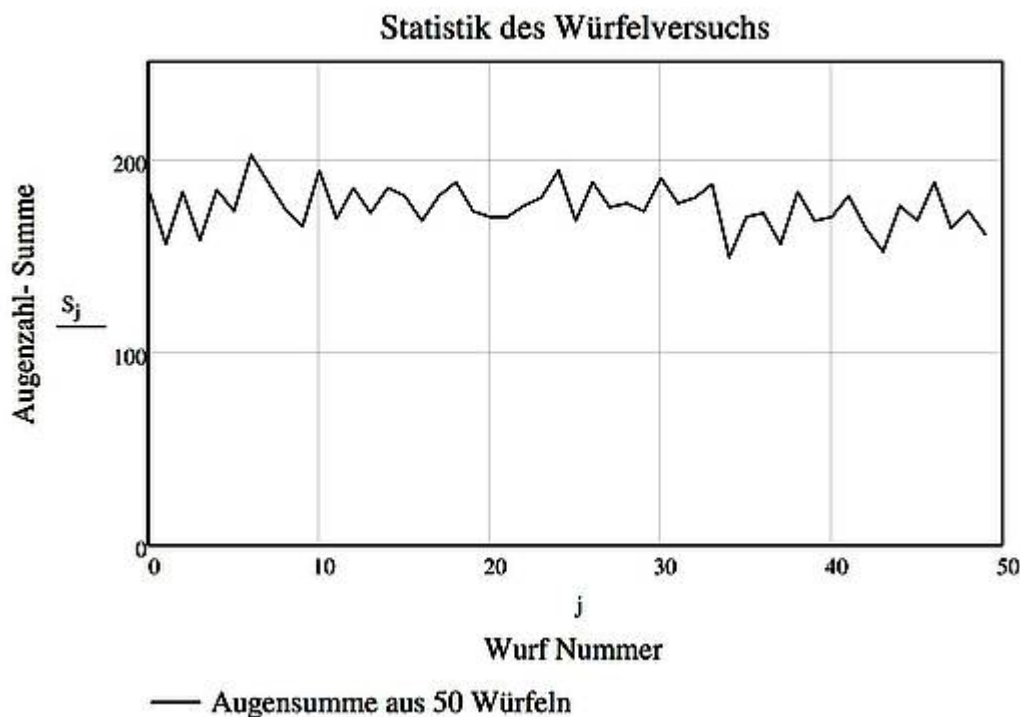


Abbildung SEQ Abbildung \* ARABIC 1 Summe der Augenzahlen bei 50 Würfeln

# Wertet man die Häufigkeitsverteilung

**ung dieser Summe  
aus, stellt man  
fest, dass diese  
Summe ungefähr  
entsprechend der  
bekannten  
Normalverteilung  
nach Gauß verteilt  
ist. Diese  
Erkenntnis ist die  
Aussage eines  
fundamentalen**

**Satzes der  
mathematischen  
Statistik, des  
sogenannten  
„Zentralen  
Grenzwertsatzes“.  
Er besagt  
folgendes: Bildet  
man die Summe aus  
einer großen  
Anzahl zufälliger  
Zahlen, dann folgt**

**diese Summe einer  
Normalverteilung  
umso genauer, je  
größer die Anzahl  
der Summanden ist.  
Beim beschriebenen  
Würfelexperiment  
wird also die  
Summe der  
Augenzahlen um den  
Wert 175  
schwanken, der**

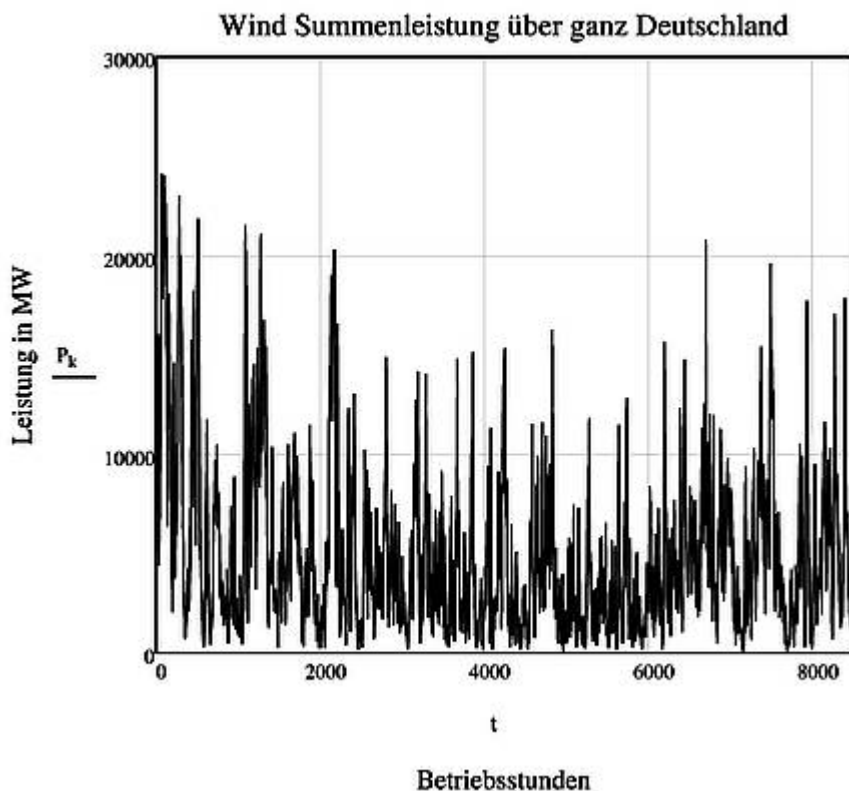
**kleinste Wert kann  
50, der größte  
Wert kann 300  
sein. Würde man  
die Summe der  
Augenzahlen als  
die aus 50  
einzelnen  
Einspeisungen  
gebildete Summe  
der Einspeise-  
Leistungen**

**auffassen, so kann  
zunächst die  
Aussage getroffen  
werden, dass diese  
gedachte zufällige  
„Leistung“  
grundlastfähig  
ist, schließlich  
fällt sie  
praktisch nie auf  
den Wert Null ab  
und schwankt um**

**einen Mittelwert.  
Der aus 50 Würfeln  
nacheinander  
gebildete Verlauf  
der Summe ist in  
Abbildung 1  
dargestellt. Man  
erkennt, dass die  
Summen-Augenzahl  
um einen  
Mittelwert  
schwankt und**



**praktisch nie auf  
kleine Werte  
abfällt.**



**Abbildung SEQ**

**Abbildung \* ARABIC**

**2 Tatsächliche**

**Einspeisung der**

**Windkraftanlagen**

**in Deutschland**

**Nun bildet das**

**elektrische Netz**

**in Deutschland die**

**Summe der**

**Einspeisungen aus**

**24000**

**Windkraftanlagen.**

**Die Anzahl dieser**

**Summanden**

**übersteigt also**

**statistisch die  
hier verwendete  
Zahl von 50  
Würfeln um  
Größenordnungen.  
Aufgrund des  
vorgenannten  
Würfel-Experiments  
ist also zu  
erwarten, dass die  
Summe der  
Einspeisungen auf**

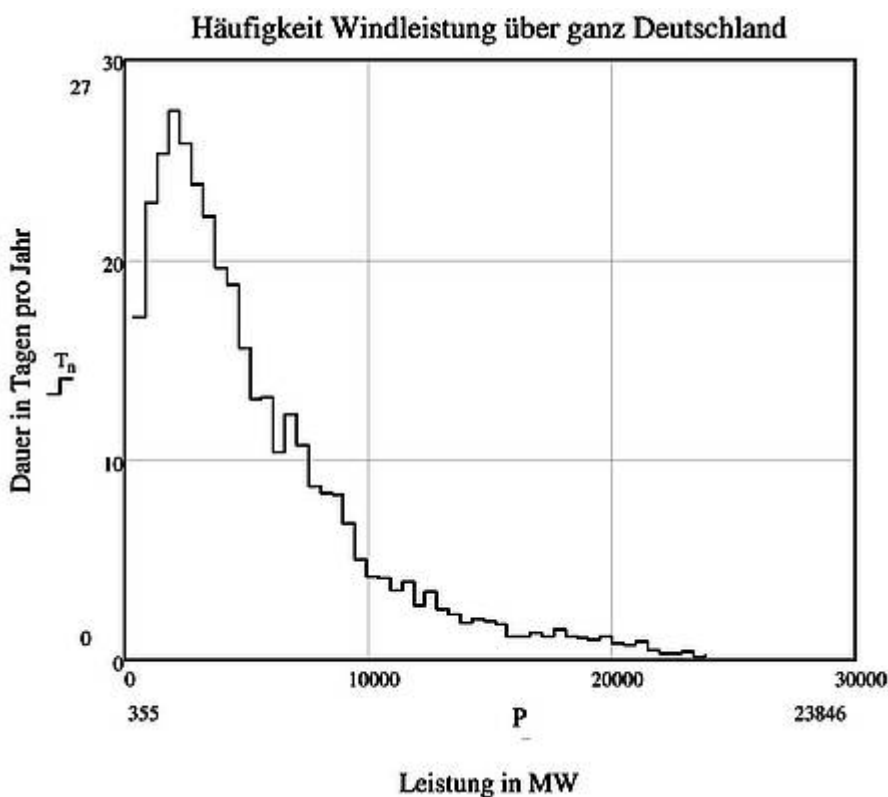
**einen  
gleichmäßigen  
Kurvenverlauf  
führt, der dem in  
Abbildung 1  
zumindest ähneln  
müsste.**

**Das ist ohne jeden  
Zweifel nicht der  
Fall: Der Verlauf  
der Einspeisung  
zeigt das bekannte**

**Schwankungsverhalten mit den extremen Ausschlägen der eingespeisten Leistung. Darüber hinaus folgt die Summeneinspeisung aller Windkraftanlagen Deutschland nicht der**

**Normalverteilung  
nach Gauß  
(Abbildung 3).  
Damit steht der  
Verlauf der  
tatsächlichen  
Einspeiseleistung  
zunächst sehr  
augenscheinlich im  
Widerspruch zu den  
Aussagen, die der  
Zentrale**

# Grenzwertsatz der mathematischen Statistik für die eingespeiste Windleistung erwarten ließe



## Die Übertragung

**der Resultate aus  
dem einfachen  
Würfelexperiment  
auf die  
Summeneinspeisung  
der  
Windkraftanlagen  
ist ganz  
offensichtlich  
ungerechtfertigt.**



**Worin**

**liegt nun**

**der**

**Fehler?**

**Zunächst**

**ist die  
eingespei  
ste  
Leistung  
eines  
einzelnen**

**Windrads**

**anders**

**verteilt**

**als die**

**Augenzahl**

**beim**

**Würfeln.**

**Letztere**

**ist**

**gleichmäßig**

**ig**

**verteilt,**

**d. h.**

**jede**

**Augenzahl**

**ist**

**gleich**

**wahrschein**

nlich =

1/6,

entsprech

end einer

Wahrschei

nlichkeit

**von**

**16,67%.**

**Bei einem**

**Windrad**

**sind**

**kleine**

**Leistungen  
n sehr  
viel  
wahrscheinlicher  
als**



**große.**

**Das ist**

**allerding**

**s nicht**

**der Grund**

**für die**

**Abweichun  
g der  
Kurvenver  
läufe,  
schlieÙli  
ch kann**

**man den  
„Zentrale  
n  
Grenzwert  
satz“ der  
Statistik**

**auf jede  
Art von  
Verteilun  
g  
verallgem  
einern. [1**

1

Der

Unterschi

ed

zwischen

dem

**Würfeler  
such mit  
50**

**Würfeln  
und der  
Addition**

**der**

**Einspeisu**

**ngen aus**

**24000 (!)**

**Windräder**

**n besteht**

**darin,  
dass die  
geworfene  
Augenzahl  
eines  
jeden**



**Würfels  
mit der  
eines  
anderen  
Würfels  
„nichts**

**zu tun**

**hat“ . Die**

**geworfene**

**n**

**Augenzahl**

**en aller**

**Würfel**

**sind in**

**statistis**

**chem**

**Sinne**

**unabhängig**

**g**

**voneinander**

**er. Diese**

**Aussage**

**gilt für**

**die**

**Einspeisungen der  
einzelnen  
Windräder  
nicht,  
weil die**

**Windgesch  
windigkeit  
an den  
verschied  
enen  
Windradst**

**andorten**

**bei**

**praktisch**

**jeder**

**Wetterlag**

**e in**

**großen  
Flächen  
ähnlich  
ist, d.  
h. die  
einzelnen**



**Einspeisungen sind  
nicht statistisch  
unabhängig**

**g**

**voneinander**

**er. Wenn**

**der Wind**

**im Norden**

**von**

**Hessen**

**stark**

**weht, ist**

**das**

**praktisch**

**immer**

**auch im  
Süden von  
Hessen  
der Fall.  
Diese  
Aussage**

**ist bei**

**der**

**üblichen**

**Größe von**

**Tiefdruck**

**gebieten**

**auch**

**naheliege**

**nd und**

**gilt**

**sinngemäß**

**für jedes**

**Bundeslan**

**d. Diese**

**simple**

**Tatsache**

**bewirkt,**

**dass hohe**

**ebenso**

**wie**

**niedrige**

**Einspeisu**

**ngen**

**praktisch**



**immer**

**gleichzei**

**tig in**

**großen**

**Flächen**

**auftreten**

**. Man  
sagt, die  
Einspeisu  
ngen sind  
untereina  
nder**

**korrelier  
t, d. h.  
im  
großfläch  
igen  
Umfeld**

einer

stichprob

enartig

gewählten

Referenza

nlage

**kann man**

**die**

**Einspeisu**

**ngen**

**aller**

**Anlagen**

**auf diese  
eine  
Referenza  
nLage  
zurückfüh  
ren. Wenn**

**man die**

**eingespei**

**ste**

**Leistung**

**einer**

**Referenza**

**n Lage**

**kennt,**

**kann man**

**also die**

**Leistunge**

**n aller**



**Anlagen**

**im**

**großfläch**

**igen**

**Umfeld**

**aus der**

**Leistung  
der  
Referenzan-  
lage mit  
hoher  
Wahrschein-**

**nlichkeit**

**ermitteln**

**. Diese**

**Tatsache**

**ist der**

**Inhalt**

**der  
statistische  
chen**

**Korrelation.  
Für**

**die**

**gesamte**

**FLäche**

**von**

**Deutschla**

**nd**

**entspricht**

**t also**

**jede**

**Referenza**

**nlage im**

**statistis**

**chen**

**Sinne**

**gerade**

**einem**

**Würfel**

**aus dem**

**Würfellexp**

**eriment,  
womit die  
Frage  
gestellt  
ist,  
durch wie**



**vieler**

**Referenzen**

**anlagen**

**die**

**Einspeisu**

**ng in**

**Deutschla  
nd**

**dargestel  
lt, also**

**verstande  
n werden**

**kann .**

**Diese**

**Zahl**

**bemisst**

**die**

**Intensität**

**t der**

**Korrelati**

**on. Ist**

**diese**

**Zahl**

**klein, so**

**ist die  
Korrelati  
on stark  
ausgepräg  
t, ist  
diese**

**Zahl**

**groß, ist**

**die**

**Korrelati**

**on eher**

**schwächer**

**. Das  
Würfelexp  
eriment  
hat  
gezeigt:  
Je größer**

**diese  
Zahl,  
desto  
besser  
können  
die**



**Einspeisungen  
sich untereinander  
ausgleichen.  
Ist**

**diese**

**Zahl**

**jedoch**

**klein,**

**ist ein**

**gegenseit**

**iger**

**Ausgleich**

**der**

**Einspeisu**

**ngen zwar**

**grundsätz**

**lich**

**möglich,**

**die**

**Leistunge**

**n können**

**aber**

**immer  
wieder  
auf sehr  
kleine  
Werte  
absinken,**

**weil es**

**bei**

**weniger**

**als 5**

**unabhängig**

**gen**

**Referenzen  
in  
Lagen  
häufig  
vorkommt,  
dass die  
Einspeisu**

**ng aller  
Anlagen  
auf sehr  
kleine  
Werte  
absinkt.**



**In diesem  
Fall ist  
die  
Summenein  
speisung  
prinzipie**

**ll nicht  
grundlast  
fähig. In  
diesem  
Zusammenh  
ang haben**

**Windkraft**

**anlagen**

**ein**

**weiteres**

**Problem:**

**Niedrige**

**Leistungen  
kommen**

**sehr**

**häufig**

**vor, sind**

**also sehr**

**wahrscheinlich,  
hohe  
Leistungen  
sind  
selten,**

**sind also**

**eher**

**unwahrsch**

**einlich.**

**Diese**

**Tatsache**

**schlägt**

**sich dann**

**in der**

**Häufigkei**

**tsverteil**

**ung der**

**Summenein  
speisung  
nieder,  
die in  
Abbildung  
3**



# dargestellt ist.

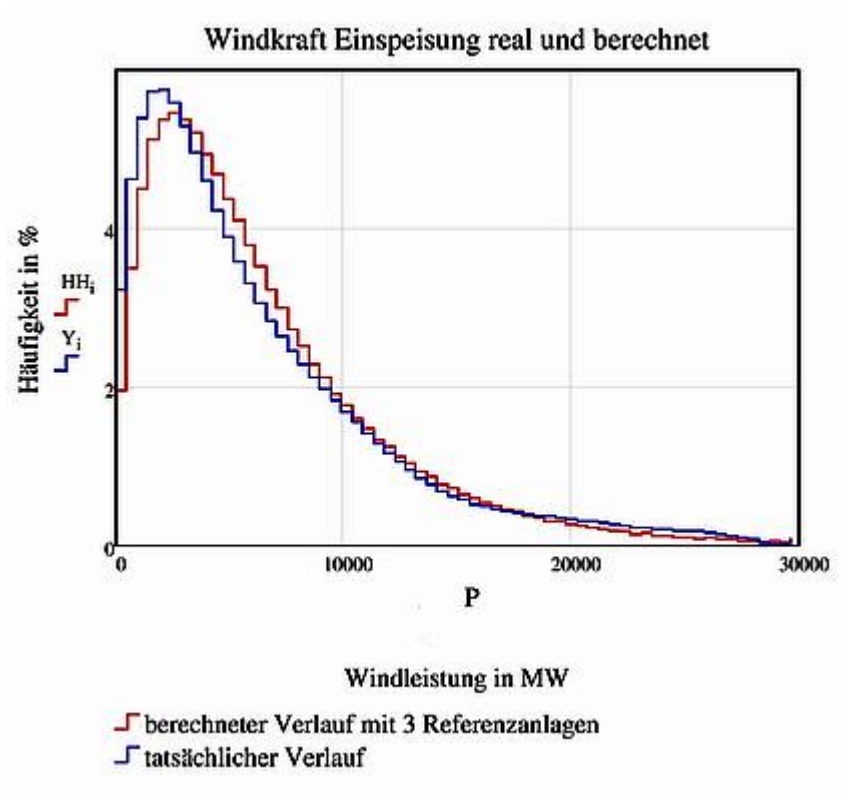


Abbildung SEQ Abbildung \* ARABIC 4 Häufigkeit der tatsächlichen und der aus 3 Referenzanlagen berechneten Einspeisung

Diese Verteilung ist ohne jeden Zweifel nicht nach Gauß normalverteilt, woraus unmittelbar gefolgert werden kann, dass zu deren Analyse eine kleine Anzahl unabhängiger Referenzanlagen ausreicht.

**Es lässt  
sich  
nachweise  
n, dass  
diese**

**„kleine  
Anzahl“  
lediglich  
bei 3  
liegt, d.  
h. die**

**gesamte**

**Summenein**

**speisung**

**in**

**Deutschla**

**nd kann**

**auf nur 3  
Referenzen  
in Anlagen  
zurückgef  
ührt  
werden .**

**Dieser**

**Zusammenh**

**ang ist**

**in**

**Abbildung**

**4**

**dargestel  
lt. Die  
Einspeisu  
ngen  
aller  
Anlagen**

**sind also  
untereinander  
hochgradig  
korrelier**



**t.**

**Obgleich**

**also**

**diese 3**

**Referenzen**

**in**

**untereinander  
nicht  
korrelieren  
sind,  
können**

**alle**

**23997**

**restliche**

**n Anlagen**

**auf diese**

**3**

**Referenzen  
anlagen  
zurückgef  
ührt  
werden.  
Die in**

**der**

**genannten**

**Agora**

**Studie**

**auf Seite**

**13**

**veröffent  
lichte  
Erkenntni  
s, „dass  
Anlagen  
an**

***verschiedenen  
Standorten  
sich  
ergänzen  
können“***

**ist**

**sicher**

**korrekt,**

**gleichwohl**

**↳ folgt**

**daraus**



**nicht,  
dass sich  
die  
unterschi  
edlichen  
Einspeisu**

**ngen zu**

**einer**

**Grundlast**

**ergänzen.**

**Wie man**

**in der**

**Mathemati  
k sagt,  
ist die  
Bedingung  
der  
statistis**

**chen**

**Unabhängi**

**gkeit**

**zweier**

**Einspeisu**

**ngen für**

**die**

**Grundlast**

**fähigkeit**

**zwar**

**notwendig**

**, aber**

**nicht**

**hinreichende**

**nd.**

**Es kommt**

**nicht**

**darauf**

**an, ob**

**sich**

**einzelne**

**Anlagen**

**an**

**unterschi**

**edlichen**

**Standorte**

**n**

**untereina**

**nder**

**ergänzen**



**können**

**(also**

**statistis**

**ch**

**unabhängi**

**g**

**voneinander  
er sind),  
sondern  
wie groß  
die Zahl  
der**

**Anlagen**

**ist, die**

**an**

**verschied**

**enen**

**Standorte**

**n**

**statistisch**

**ch**

**unabhängig**

**g**

**voneinander**

**er sind.**

**Wenn sich**

**die**

**Summenein**

**speisung**

**aller**

**Anlagen**

**in**

**Deutschland**

**nd**

**aktuell**

**auf nur 3**

**statistisch**

**ch**

**unabhängig**

**ge**

**Referenzen**

**n<sup>1</sup>lagen**

**zurückfüh**

**ren**

**lässt,**

**kann**

**vernünftig**

**gerweise**



**nicht  
erwartet  
werden,  
dass die  
Anzahl  
der**

**Referenzen  
anlagen  
und damit  
der  
statistisch  
ch**

**unabhängi  
gen**

**Einspeisu  
ngen**

**durch den  
Zubau an**

**Anlagen**

**wesentlich**

**h**

**anwachsen**

**wird.**

***Ein***

***Ausbau***

***der***

***Windkraft***

***kann***

***aufgrund***

***der***

***erwiesene***

***rmaßen***

***ausgepräg***

***ten***

***Abhängigk***

***eit der***

***Einspeisungen  
untereinander  
nicht zu  
einer***

***Verstetig  
ung der  
Leistung  
führen.  
Die vom  
IWES im***



***Auftrag***

***von Agora***

***aufgestel***

***lte***

***Behauptun***

***g wäre***

***zwar***

***wünschens***

***wert,***

***erweist***

***sich aber***

***als***

***unzutreffend und widerspricht dem Zentralen Grenzwert***

***satz,  
einem  
fundament  
alen Satz  
der  
mathemati***

*schen*  
*Statistik*  
*, der*  
*schon*  
*1922 von*  
*dem*

***Mathemati***

***ker***

***Lindeberg***

***bewiesen***

***wurde.***

**Fazi**

**t :**



**1.**

**Aufg**

**rund**

**von**

**fund**

**amen**

**tale**

**n**

**Sätze**

**en**

**der**

**math**

**emat**

**isch**

**en**

**Stat**

**isti**

**k**

**ist**

**die**

**s u m m**

**a r i s**

**c h e**



**Eiñs**

**peis**

**ung**

**aus**

**wind**

**kraft**

**tant**

**agen**

**in**

**der**

**Fläche**

**he**

**von**

**Deut**

**scht**

**and**

**prin**

**zipi**

**ell**

**nich**

**t**

**g r u n**

**d l a s**

**t f ä h**



**ig.**

**Der**

**Ausb**

**au**

**der**

**wind**

**kraf**

**t in**

**unse**

**rem**

**Land**

**kann**

**und**

**wird**

**dara**

**n**

**n  
i  
c  
h**

**t  
s**

**wese**

**ntli**

**ches**

ände

rn.



**2.**

**Die**

**Leis**

**tung**

**sspi**

**tzen**

**werd**

**en**

**durc**

**h**

**den**

**Ausb**

**au**

**der**

**wind**

**kraft**

**t**

**weit**

**er**

**anst**

**eigige**

**n**

**und**



**die**

**beka**

**nn te**

**n**

**Prob**

**Leme**

**der**

**über**

**prod**

**ukti**

**on**

**von**

**n i c h**

**t v e r**

**w e r t**

**bare**

**n**

**stro**

**m**

**mit**

**Ausw**

**üchs**

**en**

**wie**



**den**

**sogge**

**nann**

**ten**

**Nega**

**ti v p**

**reïis**

**en**

**an**

**der**

**Börs**

**e**

**weit**

**er**

**vers**

**chäär**

**fen.**

**3.**

**Es**

**gibt**

**kein**

**e**



**groß**

**tech**

**nisc**

**h**

**verf**

**ügba**

**re**

**effi**

**zien**

**te**

**Spei**

**cher**

**tech**

**noto**

**gie**

**zur**

**Nutz**

**ung**

**der**

**anst**

**eige**

**nden**

**Leis**

**tung**



**s s p i**

**t z e n**

**, s o**

**dass**

**das**

**stro**

**mn et**

**z**

**ohne**

**Kraf**

**twer**

**ke**

**im**

**Hint**

**erg**

**und**

**nicht**

**t**

**betr**

**iebe**

**n**

**w e r d**

**e n**

**k a n n**



■

■  
**Hier**

■  
**bei**

**ist**

**es**

**völl**

**ig**

**glei**

**chgü**

**utting**

**, ob**

**dies**

**e**

**mit**

**Gas ,**

**Brau**

**n -**

**oder**

**Stein**

**nkoh**

**Le**

**betr**

**iebe**

**n**



**w e r d**

**e n .**

**D e r**

**Auss**

**tiég**

**aus**

**den**

**Kern**

**kraft**

**twer**

**ken**

**erzw**

**ingt**

**eine**

**n**

**Ausb**

**au**

**der**

**konv**

**enti**

**oneł**

**Len**

**Kraf**

**twer**



**ke.**

**Die**

**mit**

**der**

**Stro**

**mp ro**

**dukt**

**ion**

**verb**

**unde**

**nen**

**Kohl**

**endi**

**oxid**

**-**

**Emis  
sion  
en**

**w e r d**

**e n**

**a n s t**

**eigige**

**n**

**und**



**n i c h**

**t**

**s i n k**

**en .**

---

**[ 1 ]**

**Für**

**den**

**Fach**

**mann**

**: In**

**der**

**math**

**emat**

**isch**

**en**

**Lite**

**ratu**

**r**

**ist**

**dies**



**e**

**Auss**

**age**

**als**

**Ljap**

**unov**

■

**Bedi**

**ngun**

**g**

**beka**

**nn t .**