

# Korrelation der Einspeisung aus Windkraftanlagen macht Grundlastfähigkeit in Deutschland unmöglich

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 betrachtet, 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**

**„Verstetigung“ 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.**

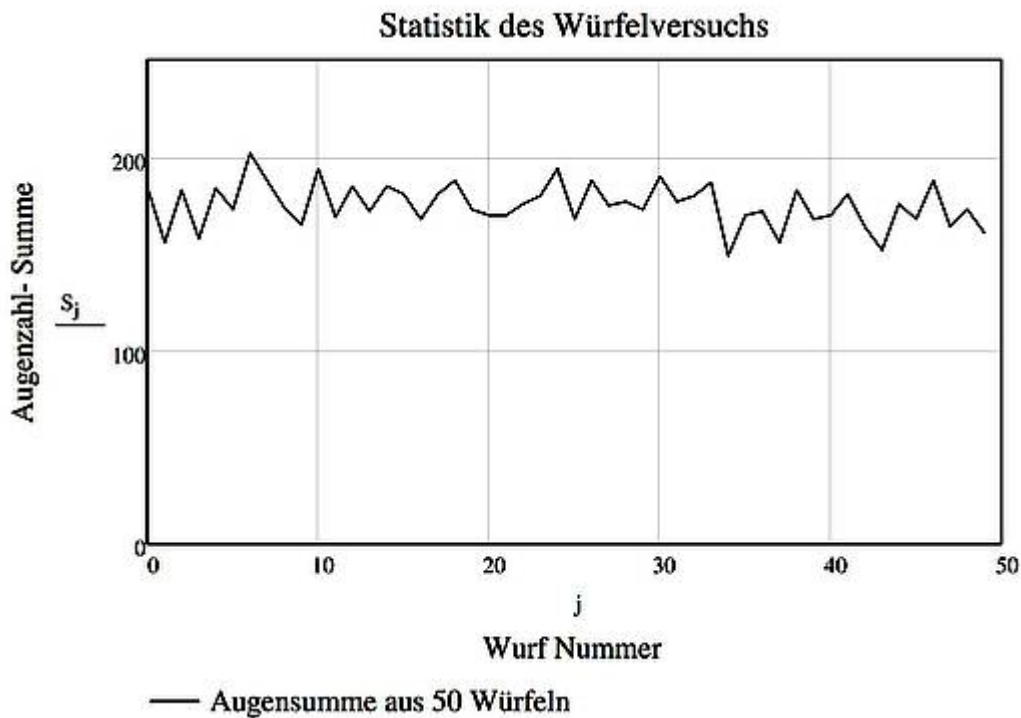


Abbildung SEQ Abbildung \* ARABIC 1 Summe der Augenzahlen bei 50 Würfeln

**Wertet man die Häufigkeitsverteilung 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

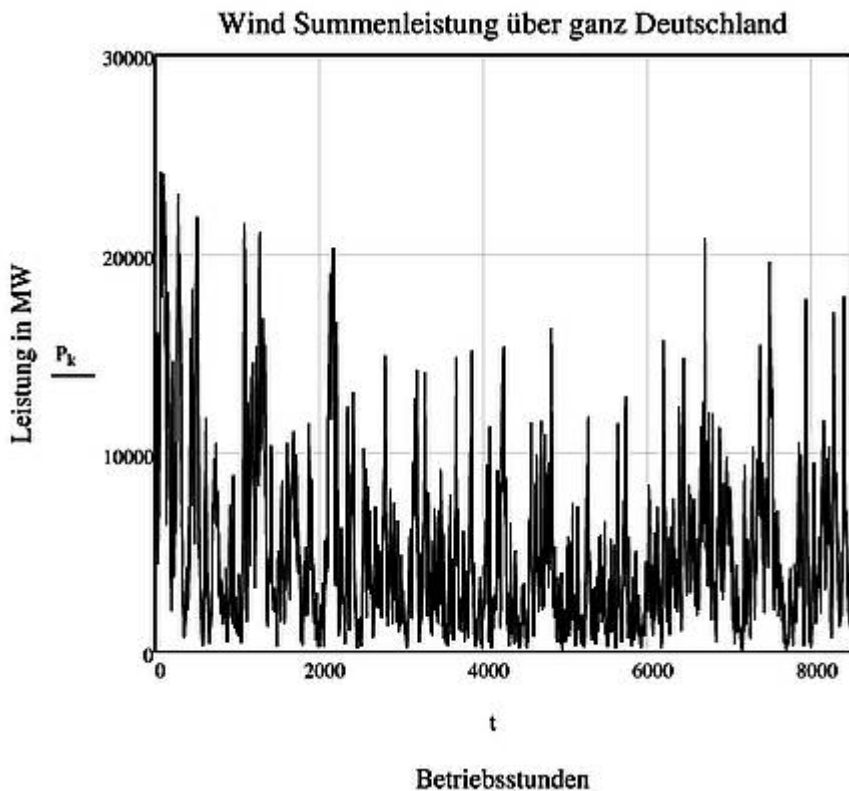
**der Summanden ist. Beim beschriebenen Würfelexperiment wird also die Summe der Augenzahlen um den Wert 175 schwanken, der kleinste Wert kann 50, der größte Wert kann 300 sein. Würde man die Summe der Augenzahlen als**

**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**

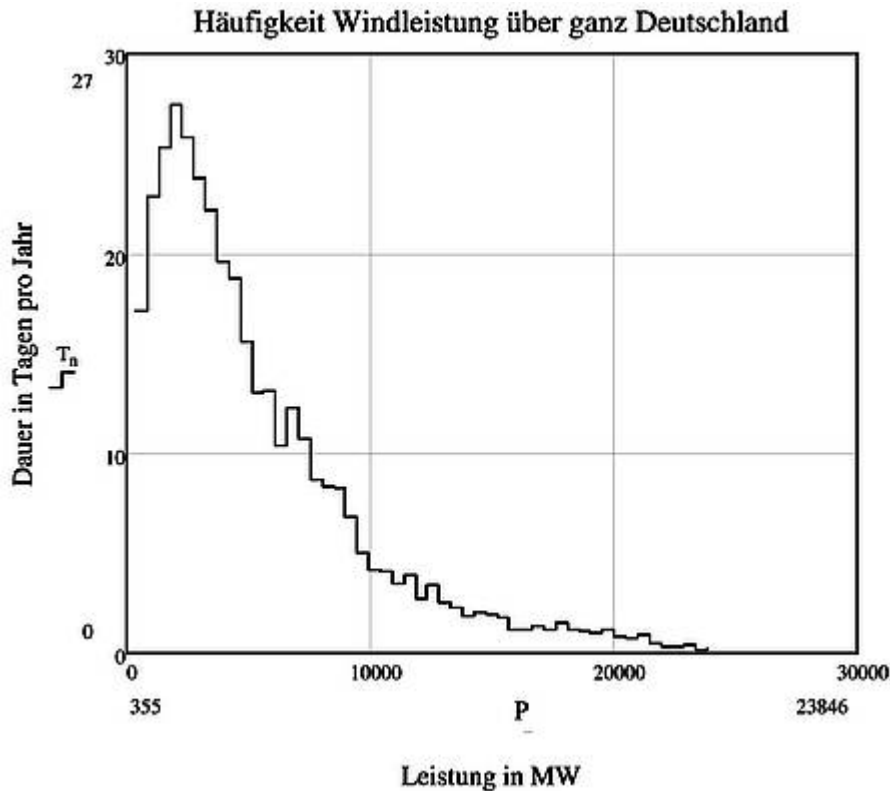
**Abbildung 1  
zumindest ähneln  
müsste.**

**Das ist ohne jeden  
Zweifel nicht der  
Fall: Der Verlauf  
der Einspeisung  
zeigt das bekannte  
Schwankungsverhalte  
n 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  
verteilt,  
d. h.**

jede  
Augenzahl  
ist  
gleich  
wahrscheinlich =

**1/6 ,  
entsprech  
end einer  
Wahrschei  
nlichkeit  
von**

**16,67%.**

**Bei einem  
Windrad  
sind  
kleine  
Leistunge**

n sehr  
viel  
wahrschein  
licher  
als  
große .



**Das ist  
allerding  
s nicht  
der Grund  
für die  
Abweichun**

**g der  
Kurvenver  
läufe,  
schließlich  
ch kann  
man den**

**„Zentrale  
n  
Grenzwert  
satz“ der  
Statistik  
auf jede**

Art von  
Verteilun  
g

verallgem  
einern. 1

1

**Der  
Unterschied  
zwischen  
dem  
Würfelver**

**such mit**

**50**

**Würfeln**

**und der**

**Addition**

**der**

**Einspeisungen aus  
24000 (!)  
Windrädern 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  
unabhängi  
g**

**voneinander.  
Diese  
Aussage  
gilt für  
die  
Einspeisu**

**ungen der  
einzelnen  
Windräder  
nicht,  
weil die  
Windgesch**

**windigkei**

**t an den**

**verschied**

**enen**

**Windradst**

**andorten**

**bei  
praktisch  
jeder  
Wetterlag  
e in  
großen**

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



**ngen sind  
nicht  
statistis  
ch  
unabhängi  
g**

**voneinander . Wenn  
der Wind  
im Norden  
von  
Hessen**

**stark**

**weht, ist**

**das**

**praktisch**

**immer**

**auch im**

**Sünden von  
Hessen  
der Fall.  
Diese  
Aussage  
ist bei**

**der  
üblichen  
Größe von  
Tiefdruck  
gebieten  
auch**

**naheliege**

**nd und**

**gilt**

**sinngemäß**

**für jedes**

**Bundesland**

**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**

**nlage**

**kennt ,  
kann man  
also die  
Leistunge  
n aller  
Anlagen**



**im**

**großfläch**

**igen**

**Umfeld**

**aus der**

**Leistung**

**der**

**Referenza**

**nlage mit**

**hoher**

**Wahrschei**

**nlichkeit**

**ermitteln**

**. Diese**

**Tatsache**

**ist der**

**Inhalt**

**der**

**statistisch  
chen**

**Korrelati  
on. Für**

**die**

**gesamte**

**Fläche**

**von**

**Deutschla**

**nd**

**entspricht**

**also**

**jede  
Referenz  
nLage im  
statistis  
chen  
Sinne**

**gerade**

**einem**

**Würfel**

**aus dem**

**Würfelexp**

**eriment,**

womit die  
Frage  
gestellt  
ist,  
durch wie  
viele



**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**

**Würfelp  
experiment**

**hat**

**gezeigt:**

**Je größer**

**diese**

**Zahl,  
desto  
besser  
können  
die  
Einspeisu**



**ngen sich  
untereina  
nder  
ausgleich  
en. Ist  
diese**

**Zahl**

**jedoch**

**klein,**

**ist ein**

**gegenseit**

**iger**

**Ausgleich  
der  
Einspeisungen zwar  
grundsätzlich**

**möglich,  
die  
Leistunge  
n können  
aber  
immer**

wieder  
auf sehr  
kleine  
Werte  
absinken,  
weil es

**bei  
weniger  
als 5  
unabhängi  
gen  
Referenza**

**n 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**

**Leistunge**

**n kommen**

**sehr**

**häufig**

**vor, sind**

**also sehr**

**wahrscheinlich**

nlich,

hohe

Leistunge

n sind

selten,

sind also

**eher**

**unwahrscheinlich.**

**Die**

**Tatsache**

**schlägt**

**sich dann  
in der  
Häufigkei  
tsverteil  
ung der  
Summenein**

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



# It ist.

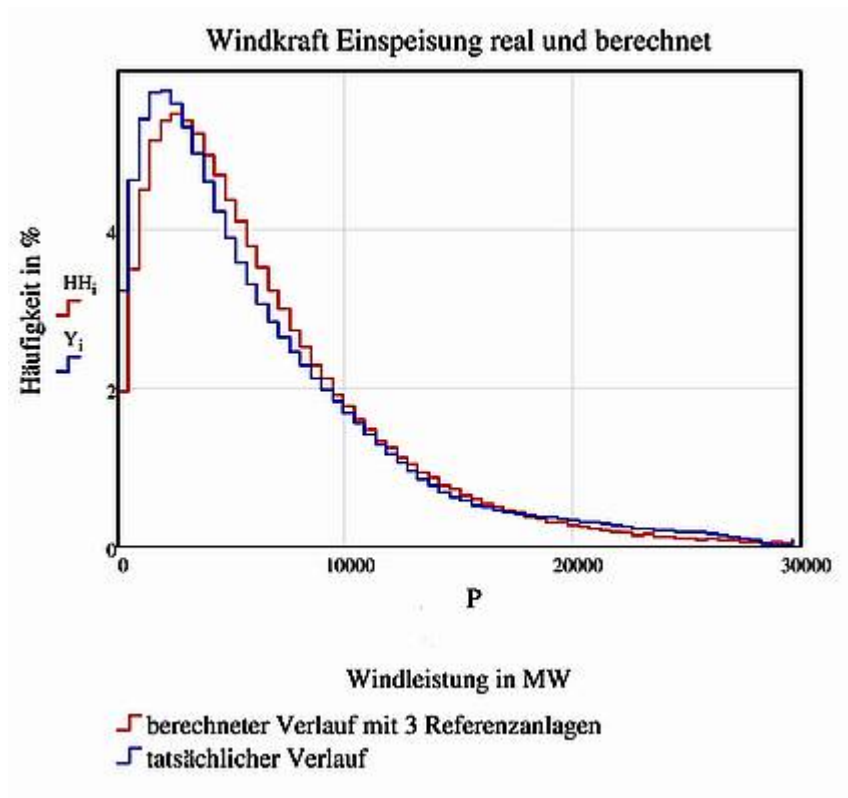


Abbildung SEQ Abbildung \* ARABIC 4 Häufigkeit der tatsächlichen und der aus 3 Referenzanlagen berechneten Einspeisung

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  
in Anlagen  
zurückgef  
ührt  
werden.  
Die in**

**der  
genannten  
Agora  
Studie  
auf Seite  
13**

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

***verschied  
enen  
Standorte  
n 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**

**unabhängig**

**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**

**Deutschla**

**nd**

**aktuell**

**auf nur 3  
statistisch  
ch  
unabhängig  
ge  
Referenza**

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

**zurückfüh**

**ren**

**lässt,**

**kann**

**vernünftig**



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

**der  
Referenzan-  
lagen  
und damit  
der  
statistis**

**ch**

**unabhängig**

**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  
Einspeisu  
ngen  
untereina  
nder  
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  
unzutreff  
end und  
widerspri  
cht 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**

**Satz**

**en**

**der**

**math**

**emat**

**isch**

**en**

**Stat**

**isti**

**k**

**ist**

**die**

**summ**

**aris**

**che**



**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**

**chär**

**fen .**

**3.**

**Es**

**gibt**

**kein**

**e**



**groß**

**tech**

**nis**

**h**

**verf**

**ügba**

**re**

**effi**

**zien**

**te**

**Spei**

**cher**

**tech**

**nolo**

**gie**

**zur**

**Nutz**

**ung**

**der**

**anst**

**eige**

**nden**

**Leis**

**tung**



**sspi**

**tzen**

**,so**

**dass**

**das**

**stro**

**mnet**

**z**

**ohne**

**Kraf**

**twer**

**ke**

**im**

**Hint**

**erg r**

**und**

**nicht**

**t**

**bet r**

**i e b e**

**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**

**bet r**

**i e b e**

**n**



**w e r d**

**e n .**

**D e r**

**Auss**

**tiég**

**aus**

**den**

**Kern**

**kraf**

**twer**

**ken**

**erzw**

**ingt**

**eine**

**n**

**Ausb**

**au**

**der**

**konv**

**enti**

**onel**

**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**

**eige**

**n**

**und**



**n i c h**

**t**

**s i n k**

**en .**

---

**[11]**

**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 .**