

Niederschlagsmengen, Windkraft – und Photovoltaik Anlagen

geschrieben von Admin | 30. April 2023

von Dr. Konrad Voge

Vorbemerkung

In diesem Artikel wird untersucht, ob ein statistischer Zusammenhang zwischen der Installation von Windkraftanlagen (WKA) und Photovoltaikanlagen (PV) und der jährlichen Niederschlagsmenge sichtbar gemacht werden kann. Es sei hier darauf hingewiesen, dass eine nachgewiesene Korrelation noch nicht einen kausalen Zusammenhang beschreibt. Umgekehrt ist das Nichtvorhandensein einer Korrelation ein Beweis, dass die betrachteten Faktoren ohne Einfluss sind.

Die vorliegenden Daten ermöglichen eine Analyse für jedes Bundesland.

Niederschläge – Zeitreihen

Auf der Seite Wetterkontor [1] sind die jährlichen Niederschlagsmengen seit 1881 angegeben. Diese sind die Grundlage der hier vorgenommenen Auswertungen. Bild 1 zeigt als erstes Beispiel die Zeitreihe der Niederschlagsmenge für Nordrhein-Westfalen. Am Verlauf ist zu sehen, dass ab 2001 ein deutlicher Trend zu geringeren Niederschlagsmengen vorliegt.

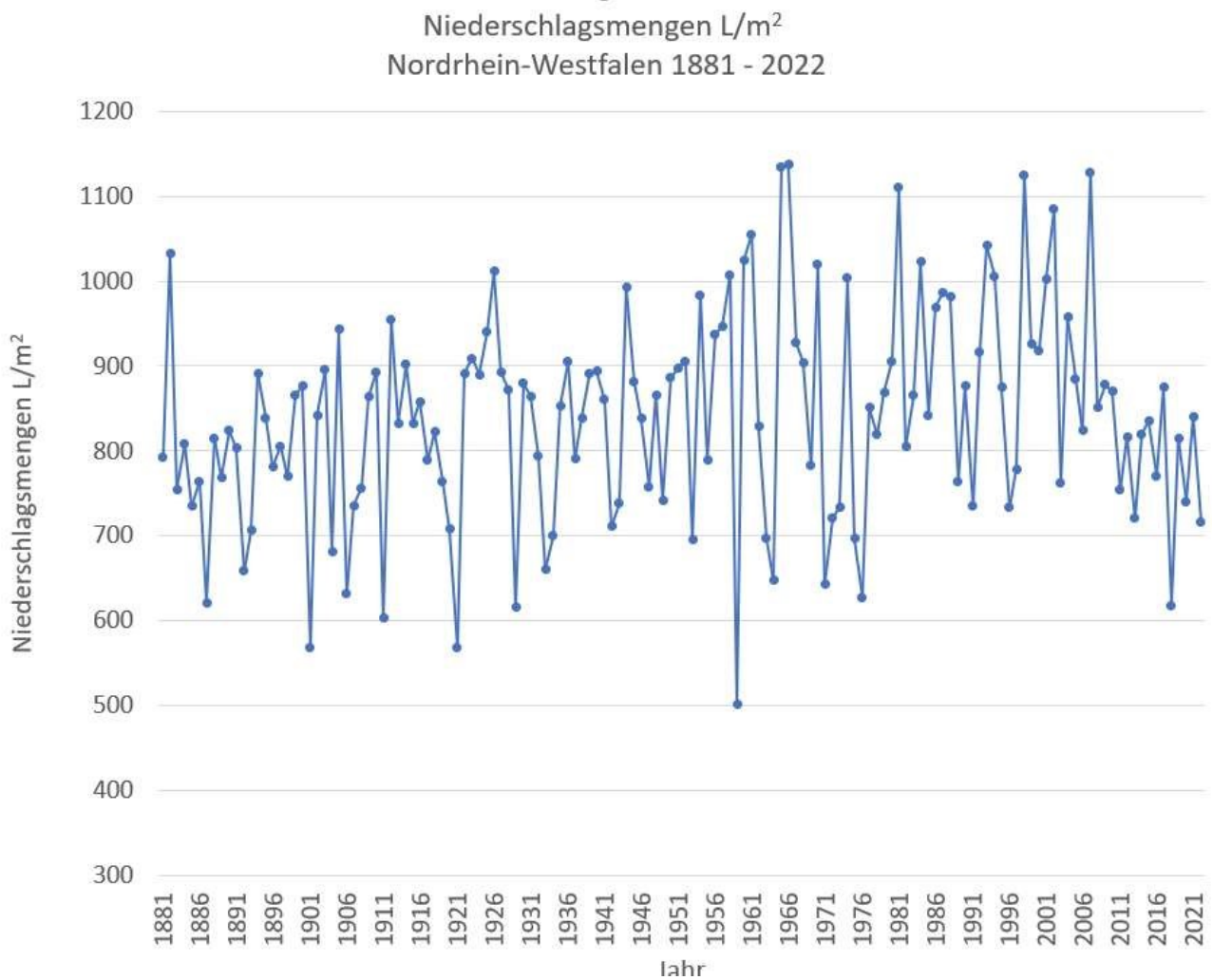


Bild 1 Niederschlagsmengen für Nordrhein-Westfalen von 1881 bis 2022

Für die Zeitreihen aller Bundesländer wurden Regressionsanalysen durchgeführt. Dazu wurden die die Zeitreihen in zwei Teile geteilt. Ein Teil umfasst die Jahre 1881 bis 2000, der zweite Teil die Jahre 2001 bis 2022. Bild 1 Bild 2 zeigt die zweigeteilte Regression der Zeitreihe von Brandenburg. Für den Zeitraum 1881 bis 2000 ist das Konfidenzintervall mit eingezeichnet.

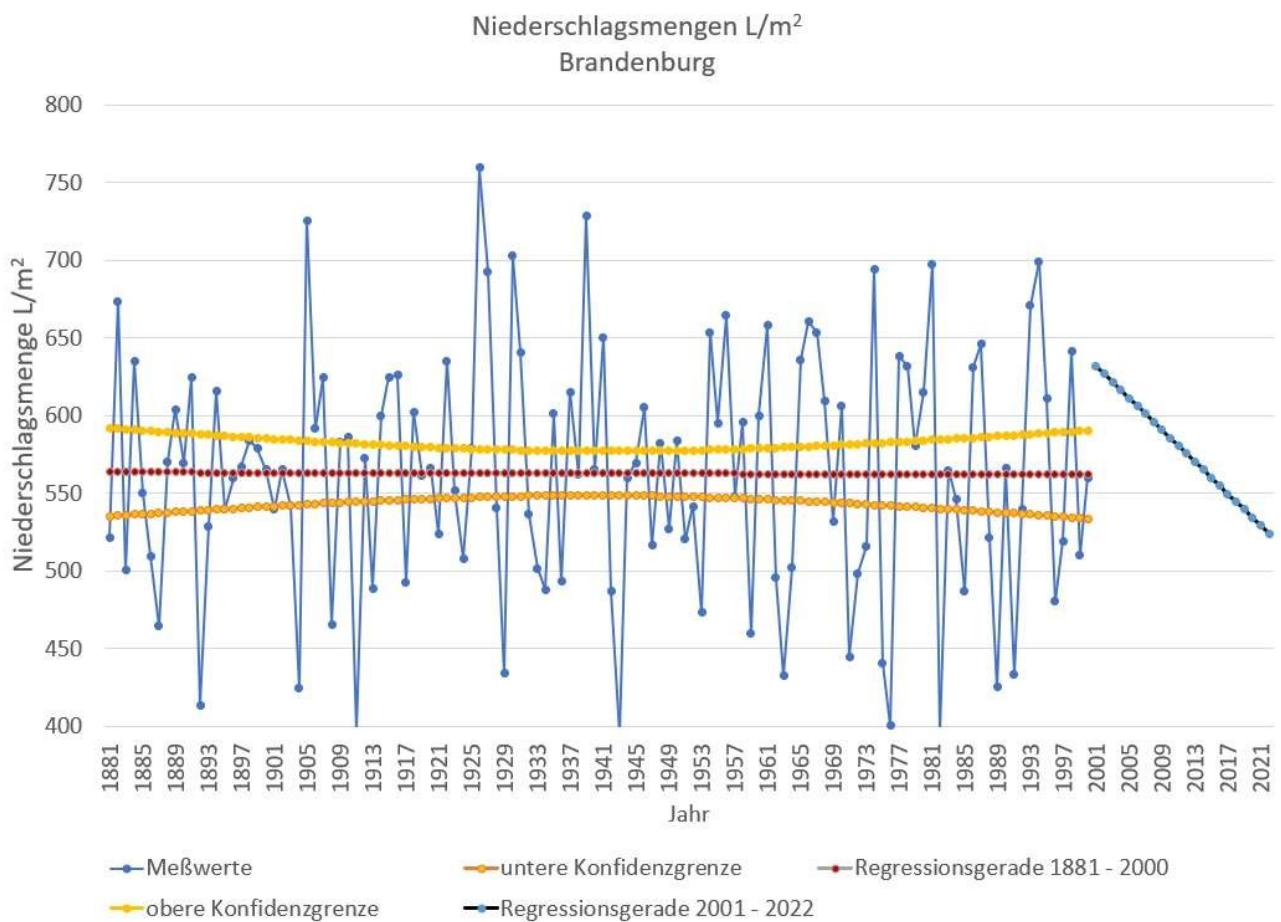


Bild 2 Regressionsfunktionen der geteilten Zeitreihe für Brandenburg, Konfidenzintervall für 95 % Wahrscheinlichkeit (Berlin ist in Brandenburg enthalten)

Die Regressionsgerade verläuft parallel zur Abszisse. Es ist kein Trend zu steigenden oder fallenden Niederschlagsmengen zu sehen. Im Gegensatz fällt die Trendlinie von 2001 bis 2022 steil ab. Der in Bild 1 auch ohne Entwicklung der Regressionsgeraden sichtbare Trend wird in Bild 2 statistisch nachgewiesen.

Analog zur Vorgehensweise wie in Bild 2 dargestellt, wurde für alle Bundesländer verfahren. Da aus Platzgründen die Bilder für alle Bundesländer nicht gezeigt werden können, wurde auf eine normierte Darstellung zurückgegriffen. In Bild 3 und Bild 4 sind die normierten Graphiken gezeigt. Für den Zeitraum 1881-2000 wurde als Normierungsjahr 1881, für den Zeitraum 2001-2022 das Jahr 2001 gewählt.

Wie Bild 3 zeigt, sind die Anstiege der Niederschlagsmengen im ersten Zeitraum unterschiedlich. Sachsen weist in dieser Zeit einen negativen Trend auf, das Saarland hat den steilsten Anstieg. Innerhalb dieses Fächers liegen die Anstiege der Niederschlagsmengen der anderen Bundesländer. Allgemein ist ein Trend größeren Niederschlagsmengen seit 1881 bis 2001 zu verzeichnen.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde in den Bild 3 und Bild 4 auf die Darstellung der Konfidenzintervalle verzichtet. Diese haben die in Bild 2 gezeigte Form.

Nach dem gleichen Verfahren wurde der Zeitraum 2001 bis 2022 bearbeitet. Als Normierungsjahr ist 2001, das Jahr des Beginns dieses Zeitraumes gewählt. Dadurch ergibt sich eine vergleichbare Darstellung. Die Regressionsgeraden spannen ebenso wie in Bild 3 einen Fächer auf. Jedoch ist hier bei allen Bundesländern ein negativer Anstieg zu verzeichnen. Das bedeutet, dass ab 2001 ein kontinuierlicher Rückgang der Niederschlagsmenge vorliegt. Den stärksten Abfall der Niederschlagsmenge weist Nordrhein-Westfalen auf, den geringsten das Saarland.

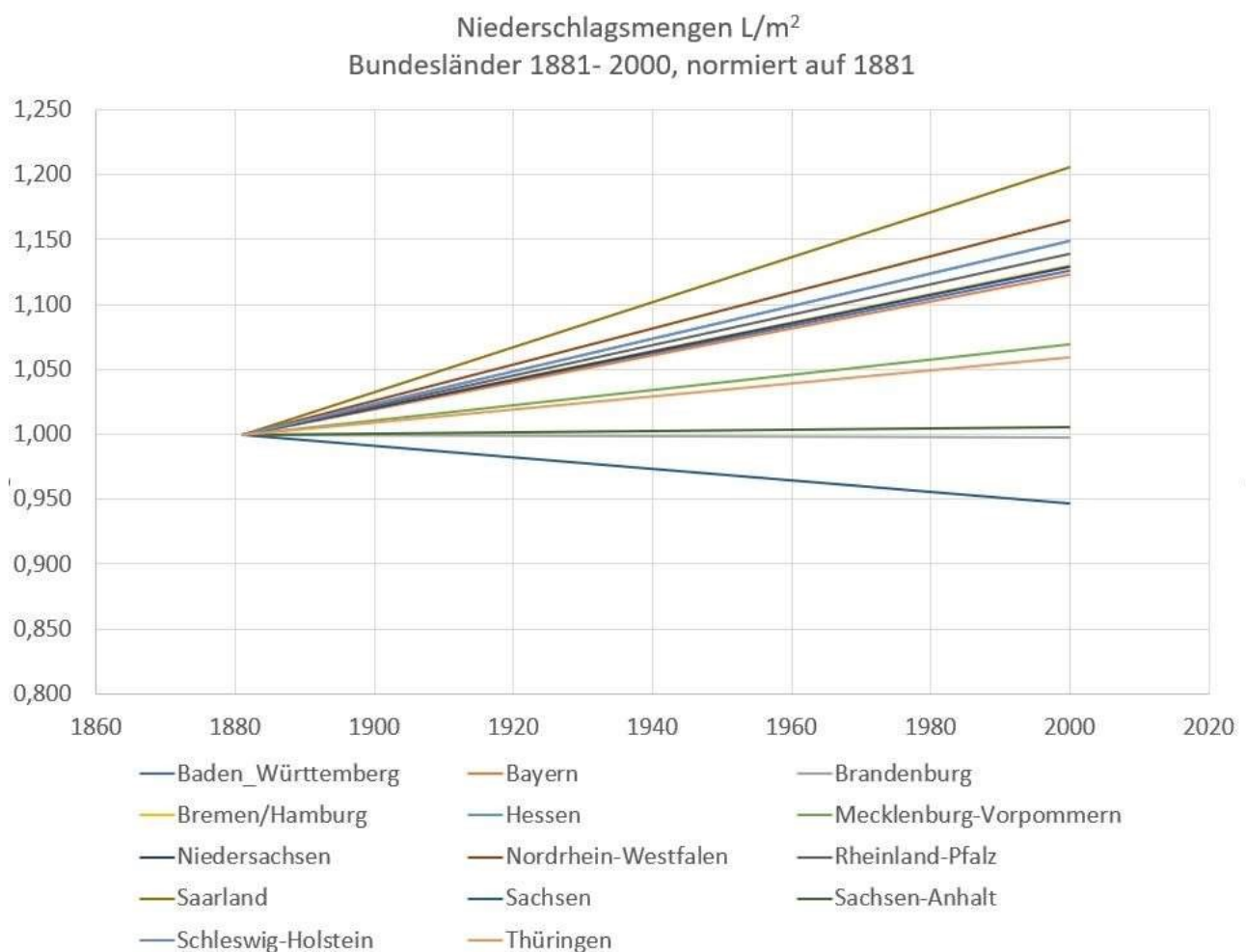


Bild 3 Regressionsgeraden für die Niederschlagsmengen der Bundesländer von 1881-2000, normiert auf den Wert von 1881

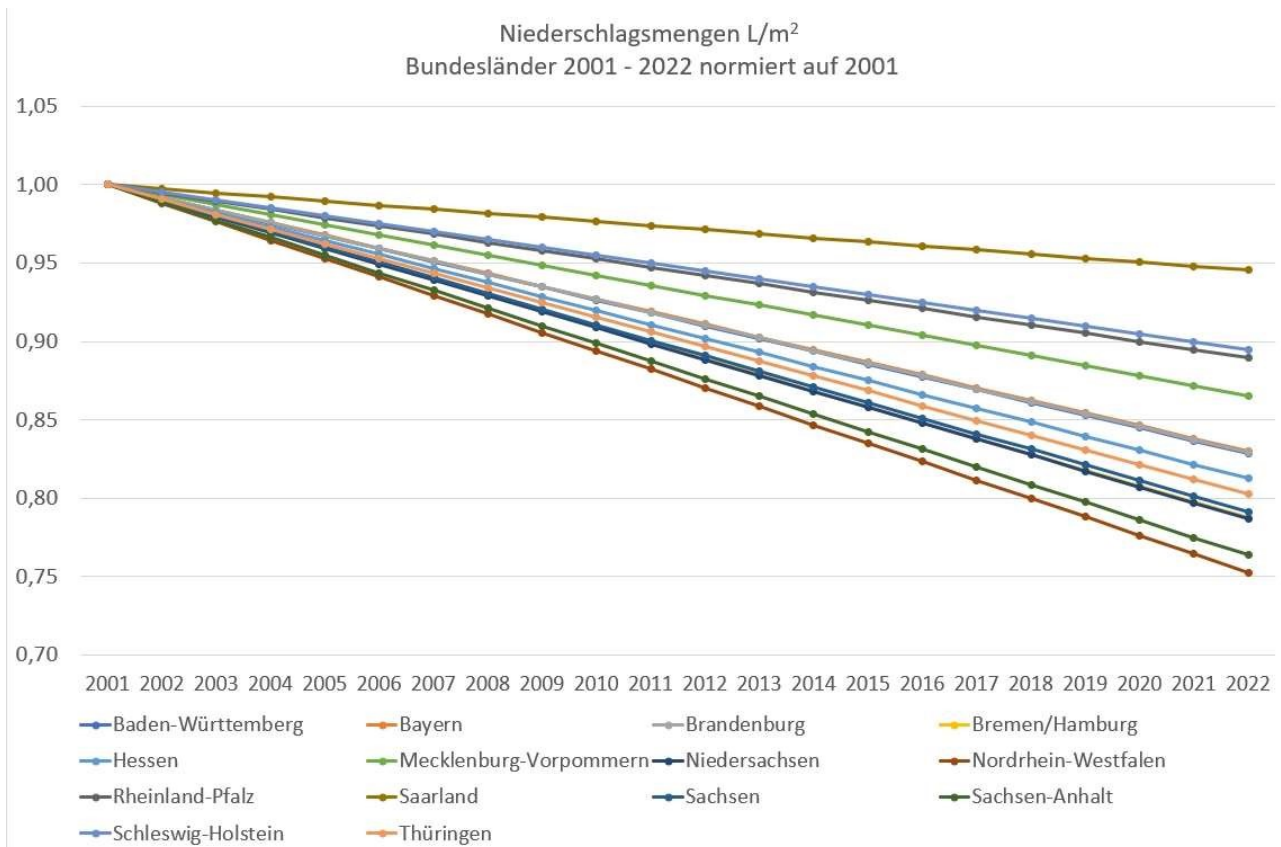


Bild 4 Regressionsgeraden für die Niederschlagsmengen der Bundesländer von 2001 – 2022 normiert auf den Wert von 2001

Niederschläge – Häufigkeitsverteilungen

Für die Zeitreihen 1881-2000 sind die Häufigkeitsverteilungen ermittelt worden. Die wurden auf mittels χ^2 Test auf Normalverteilung getestet. Die Ergebnisse sowie die Häufigkeitsverteilungen beschreibenden Parameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Bundesland	Mittelwert	Streuung	Schiefe	Exzess	vorh χ^2
Baden-Württemberg	939,6	12,58	-0,233	-0,127	54,5
Bayern	908,2	10,77	-0,149	-0,331	26,6
Brandenburg	562,9	7,16	0,06	-0,314	36,5
Bremen/Hamburg	724,6	9,14	0,069	0,275	36,2
Hessen	751,9	10,8	-0,315	0,143	40,3
Mecklenburg-Vorpommern	595,7	6,93	0,009	-0,469	29,3
Niedersachsen	724,9	9,15	0,070	0,281	37,3
Nordrhein-Westfalen	839,2	11,51	0,035	-0,52	41,0
Rheinland-Pfalz	767,0	10,57	0,022	0,337	41,3
Saarland	887,3	13,85	0,049	-0,111	86,5
Sachsen	728,0	10,23	-0,028	-0,066	39,6
Sachsen-Anhalt	556,1	7,58	0,129	-0,381	53,0

Schleswig-Holstein	751,8	9,21	-0,082	0,034	25,5
Thüringen	697,3	9,25	0,139	-0,341	46,8

Tabelle 1 Parameter der Häufigkeitsverteilungen (zul $X^2 = 16,92$)

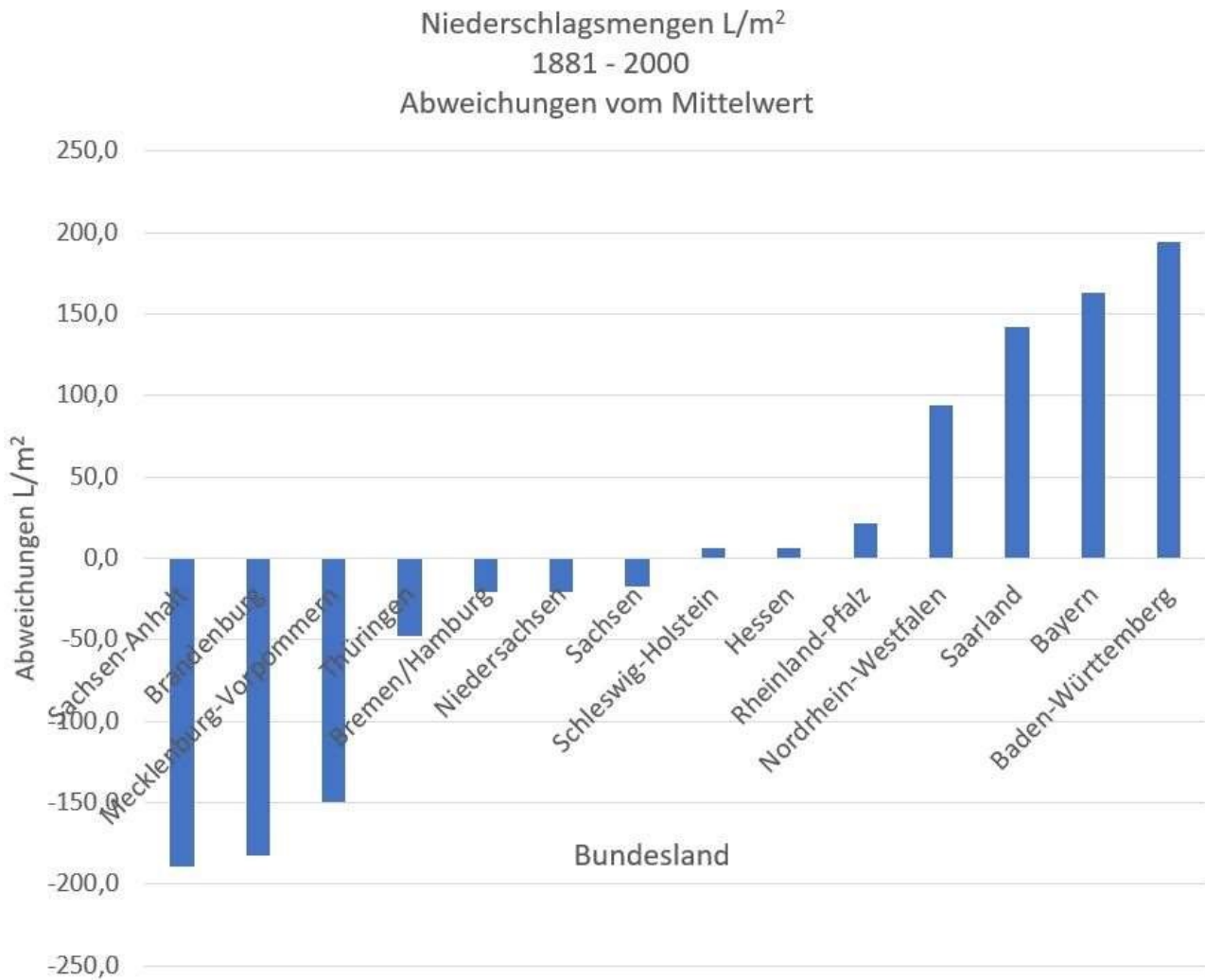


Bild 5 Niederschlagsmengen der Bundesländer als Abweichungen vom Mittelwert

Zur Bestimmung der Häufigkeitsverteilungen sind die Zeitreihen 1881-2000 der Bundesländer jeweils in 20 Klassen unterteilt und die Niederschlagsmengen den jeweiligen Klassen zugewiesen worden. Diese Verteilungen sind dann mittels linearer Regression für ein Polynom 7.Grades als Ansatzfunktion

$$f(y) = a_0 + a_1 \cdot y^1 + \dots + a_7 \cdot y^7$$

ausgeglichen worden. Bild 6 zeigt als Beispiel die Häufigkeitsverteilung für Schleswig-Holstein.

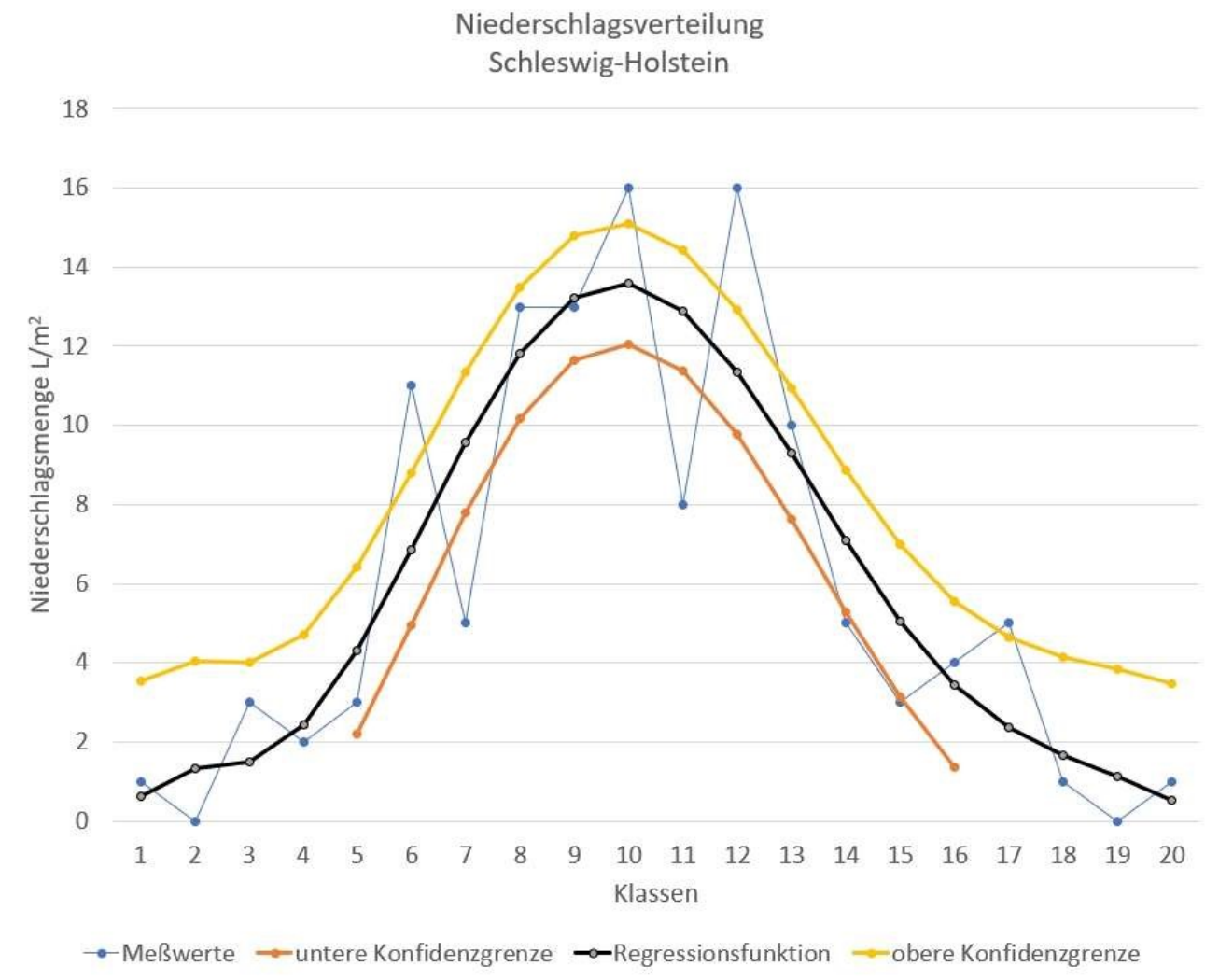


Bild 6 Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsmengen von 1881-2000 für Schleswig-Holstein

Wie auch aus den Werten von Tabelle ersichtlich, ist die Verteilung weitgehend symmetrisch mit geringem Exzeß. Bei vorhanden $X^2 = 25,5$ (zulässig $X^2 = 16,92$) kommt die Verteilung der Niederschlagsmenge für Schleswig-Holstein einer Normalverteilung am nächsten. Um die Formen der Häufigkeitsverteilungen der Bundesländer miteinander vergleichen zu können, sind diese normiert auf die Klasse der maximalen Häufigkeit. Bild 6 zeigt, dass in den Klassen der geringen Niederschlagsmengen

(linke Seite der Verteilungen) die Verteilungen relativ gut übereinstimmen. Im Bereich der höheren Niederschlagsmengen (rechte Seite der Verteilungen) liegen größere Abweichungen vor. Aus dem Bündel der Verteilungen fällt die rechte Seite der Häufigkeitsverteilung des Saarlandes deutlich heraus. Der Wert vorh $X^2 = 86,5$ zeigt auch deutlich die Abweichung von einer Normalverteilung.

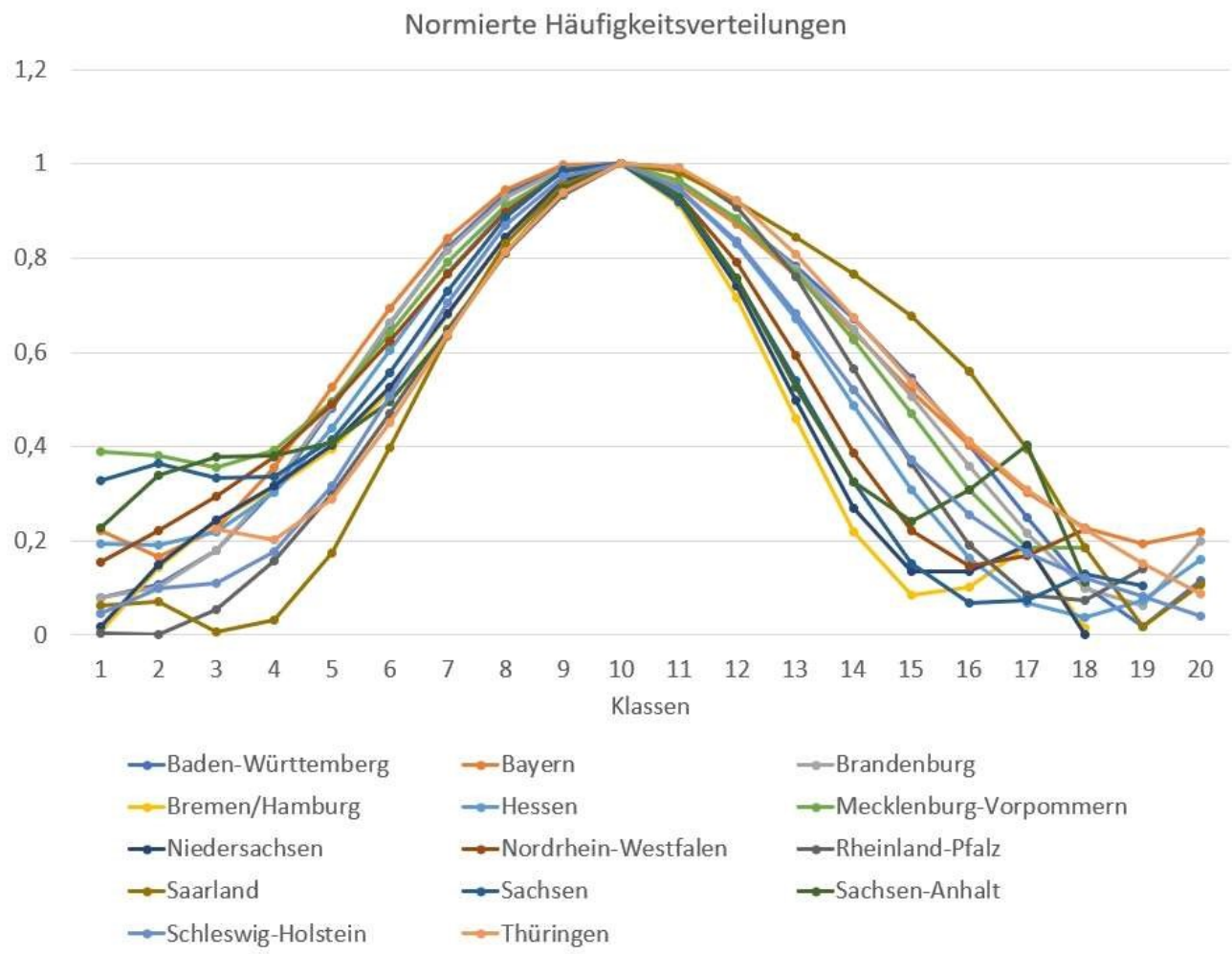


Bild 7 Normierte Häufigkeitsverteilungen der Niederschlagsmengen der Bundesländer.

Abschnittsweise Regressionsanalysen

In Bild 2 ist gezeigt, dass ein starker Abfall der Niederschlagsmengen im Zeitraum 2001-2022 zu verzeichnen ist.

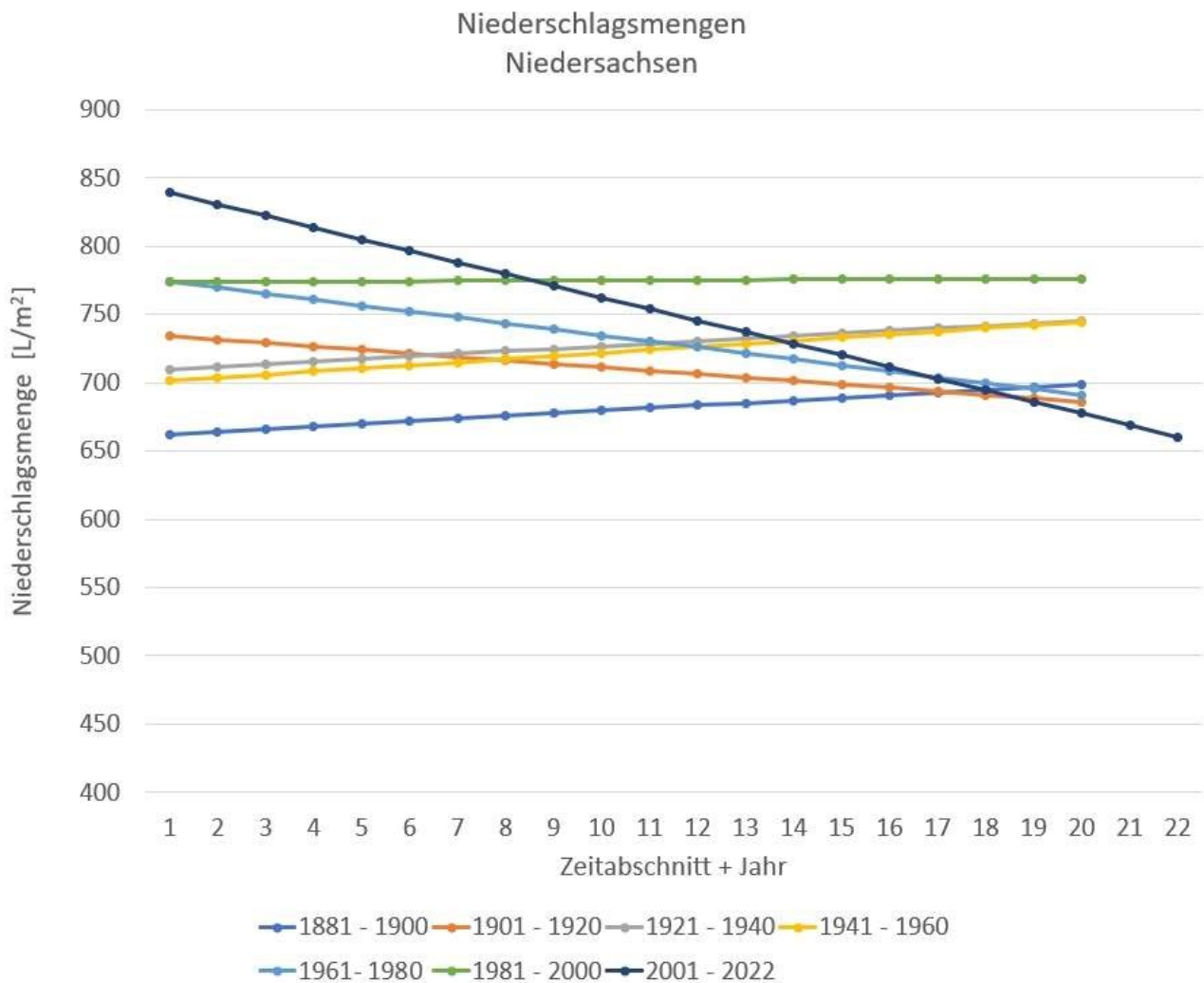


Bild 8 Abschnittsweise Regression der Zeitreihe für Niedersachsen (ohne Konfidenzintervalle)

Aufgrund dieses Verhaltens liegt es nahe, die Zeitreihen in ebenso große Abschnitte zu unterteilen und den Trend dieser Abschnitte zu untersuchen. In Bild 8 sind als Beispiel die Regressionsgeraden der 20 Jahresabschnitte für Niedersachsen gezeigt. Außer für die Abschnitte 1901-1920 und 1961-1980 weisen alle Abschnitte, außer natürlich 2001-2022, einen positiven Trend auf. Ab 2001 beginnt der starke Abwärtstrend. Auf die Darstellung der Konfidenzintervalle wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

Bundesland	1881-1900	1901-1920	1921-1940	1941-1960	1961-1980	1981-2000	2001-2022
1	-4,00	3,71	7,71	1,55	0,39	-2,21	-8,33
2	2,95	3,71	4,67	1,30	1,55	0,61	-8,11
3	0,24	0,87	0,12	2,10	-4,33	0,89	-5,14
4	-0,60	-1,29	0,79	3,35	-5,61	-4,86	-7,36
5	3,40	0,80	-2,39	1,16	-0,66	1,34	-4,24

6	1,90	-2,52	1,87	2,27	-4,39	0,14	-8,51
7	0,87	3,02	0,10	3,32	-6,09	-1,65	-11,34
8	-4,09	-0,14	2,31	1,29	-0,06	-3,21	-4,19
9	-8,46	3,26	3,77	4,17	-0,95	-2,07	-2,35
10	2,87	2,11	-2,00	1,45	2,84	3,14	-7,94
11	1,46	-2,47	0,72	1,53	-1,56	1,79	-7,26
12	1,13	0,52	0,23	2,88	-1,6	-1,42	-4,33
13	4,39	-2,87	1,56	-0,15	-0,77	2,17	-7,38
Mittelwert	0,16	0,67	1,50	2,02	-1,63	-0,41	-6,65
1 Baden-Württemberg		2 Bayern			3 Brandenburg		
4 Hessen		5 Mecklenburg-Vorpommern			6 Niedersachsen		
7 Nordrhein-Westfalen		8 Rheinland-Pfalz			9 Saarland		
10 Sachsen		11 Sachsen-Anhalt			12 Schleswig-Holstein		
13 Thüringen							

Tabelle 2 Anstieg der Regressionsfunktionen der Zeitabschnitte von 1881 – 2000 für die untersuchten Bundesländer

In Tabelle 2 sind die Anstiege der jeweiligen Zeitabschnitte für die untersuchten Bundesländer zusammengestellt. Es sind die Glieder a_1 der Regressionsgeraden $f(t) = a_0 + a_1 t$. Mit $f(t)$ als Niederschlagsmenge und t als Jahr (1,2,..., 20)

Es zeigt sich, dass die Trendlinien für steigende Niederschlagsmengen deutlich in der Überzahl sind (Verhältnis 56 zu 22). Es liegt demnach im Zeitraum von 120 Jahren eine deutliche Tendenz zu erhöhten Niederschlagsmengen vor. Eine Ausnahme bildet der Abschnitt 1961 bis 1980. In dieser Zeit und im Abschnitt 1981 bis 2000 liegt eine Tendenz zu geringeren Niederschlagsmengen vor. Allerdings ist die Tendenz im letztgenannten Abschnitt nur schwach. Im Abschnitt 2001-2022 sind die Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Saarland durch maximalen bzw. minimalen negativen Anstieg auffällig.

Windkraftanlagen

Im Jahr 2001 begann der verstärkte Ausbau von Windkraftanlagen (WKA) besonders in den nördlichen Bundesländern [2]. Derzeit sind etwa 29.000 WKA aufgestellt. In Tabelle 3 sind die installierten Leistungen für die Bundesländer zusammengestellt. Um Vergleiche zu ermöglichen, wurde die installierte Leistung auf die jeweilige Fläche des Bundeslandes bezogen. Der Faktor in Tabelle 3 gibt den Zubau gegenüber 2000 an. Von 4,9 GW im Jahr 2000 erhöhte sich die installierte Leistung auf 55,8 GW. Das entspricht einer Vervielfachung von 11,5. Bild 9 veranschaulicht die Werte der Tabelle 3

Windkraftanlagen	2000	2000	2021	2021	Faktor
Bundesland	MW	MW/m ²	MW	MW/m ²	
Baden-Württemberg	61	0,0017	1730	0,0484	28,2
Bayern	68	0,0010	2567	0,0364	37,8
Brandenburg	442	0,0149	7864	0,2652	17,8
Hessen	211	0,0100	2304	0,1091	10,9
Mecklenburg-Vorpommern	456	0,0196	3567	0,1531	7,8
Niedersachsen	555	0,0116	11687	0,2450	21,1
Nordrhein-Westfalen	645	0,0189	6388	0,1873	9,9
Rheinland-Pfalz	251	0,0126	3814	0,1921	15,2
Saarland	13	0,0051	531	0,2065	40,8
Sachsen	300	0,0163	1263	0,0685	4,2
Sachsen-Anhalt	494	0,0241	5318	0,2600	10,8
Schleswig-Holstein	1178	0,0746	7015	0,4440	6,0
Thüringen	181	0,0112	1739	0,1073	9,6
Summe	4855		55787		11,5

Tabelle 3 Installierte Leistung der Windkraftanlagen 2000 und 2021

Installierte Leistung Windkraftanlagen
2000 und 2021

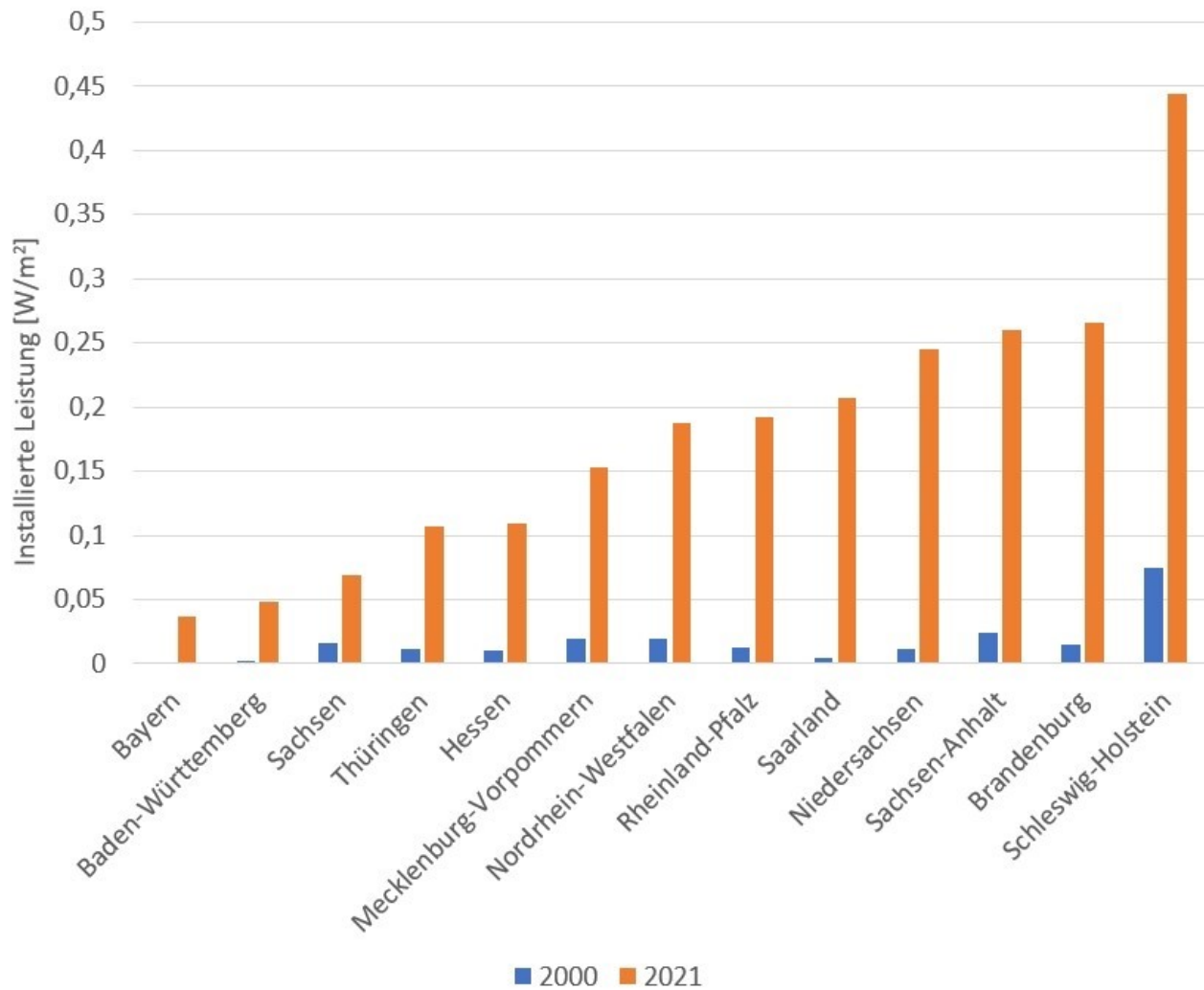


Bild 9 Installierte Leistung der Windkraftanlagen

Photovoltaikanlagen

Ebenfalls 2000 begann der Ausbau der Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen [3]. Der Ausbau begann bei 17 MW und erreichte 2021 den Wert von 58,1 GW. Das entspricht einen Vervielfältigungsfaktor von 3 415. In Bild 10 sind nur die Werte für 2021 aufgetragen, da die Werte für 2000 aus Gründen des Maßstabs nicht sichtbar sind.

Photovoltaikanlagen	2000	2000	2021	2021
Bundesland	MW	MW/m ²	MW	MW/m ²
Baden-Württemberg	7	0,0002	7413	0,2074
Bayern	0	0,0000	14917	0,2115
Brandenburg	0	0,0000	4818	0,1625
Hessen	2	0,0001	2650	0,1255

Mecklenburg-Vorpommern	0	0,0000	3121	0,1340
Niedersachsen	2	0,0000	4961	0,1040
Nordrhein-Westfalen	6	0,0002	6567	0,1925
Rheinland-Pfalz	0	0,0000	2763	0,1391
Saarland	0	0,0000	611	0,2376
Sachsen	0	0,0000	2612	0,1416
Sachsen-Anhalt	0	0,0000	3510	0,1716
Schleswig-Holstein	0	0,0000	2097	0,1327
Thüringen	0	0,0000	2010	0,1241
Summe	17		58050	

Tabelle 4 Installierte Leistung der Photovoltaikanlagen 2000 und 2021

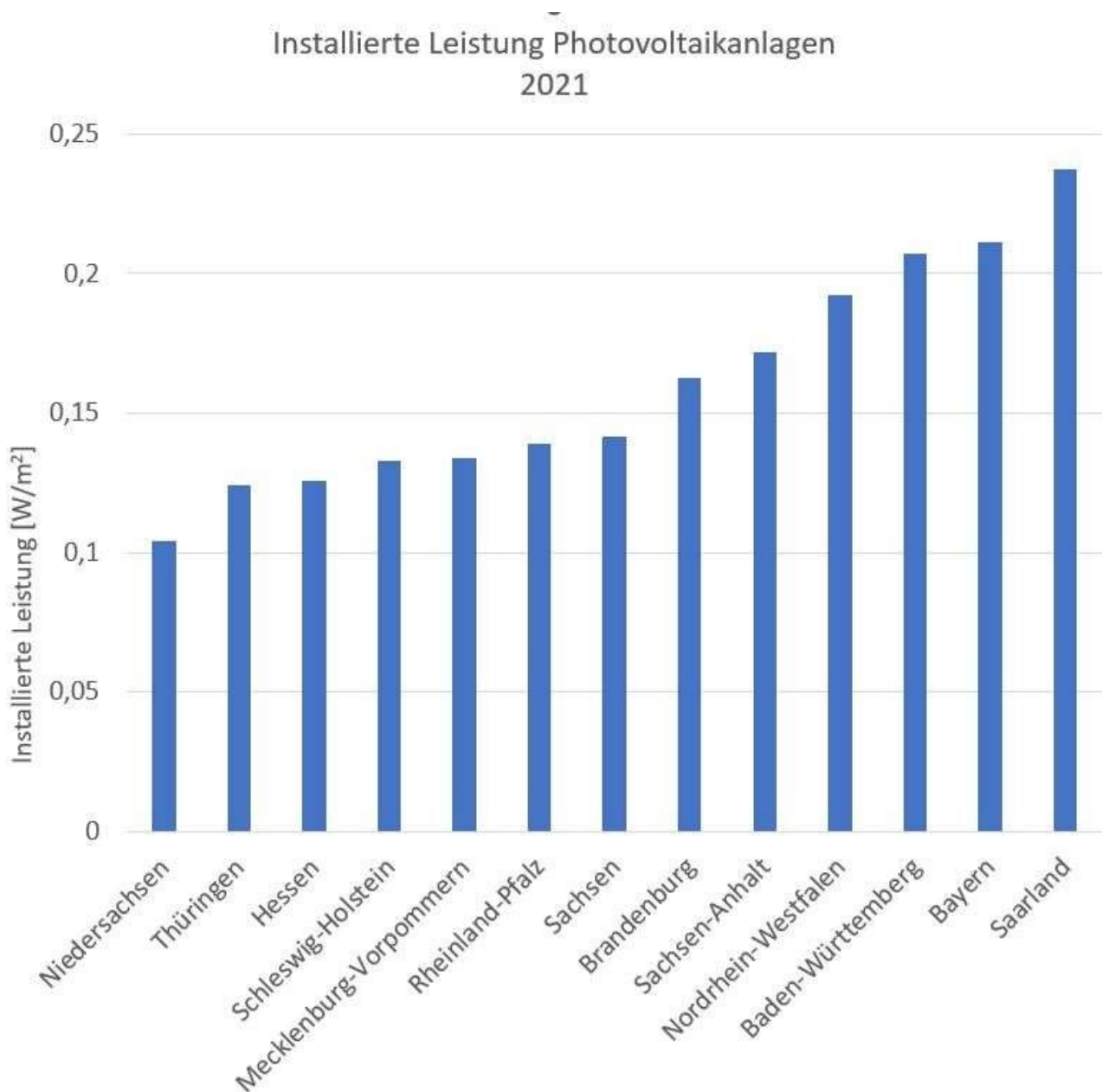


Bild 10 Installierte Leistung der Photovoltaikanlagen

Windkraft- und Photovoltaikanlagen

Tabelle 5 fasst die installierten Leistungen für WKA- und PV Anlagen zusammen. Für 2021 ergibt sich die Summe von 113,8 GW. Das ist vergleichsweise eine deutliche Überdimensionierung der installierten Kapazität, da die täglich angeforderte Leistung etwa 60 ... 80 GW beträgt.

WKA und PV Anlagen	2000	2000	2021	2021	Faktor
Bundesland	MW	MW/m ²	MW	MW/m ²	
Baden-Württemberg	68	0,0019	9143	0,2577	133,9
Bayern	68	0,0010	17484	0,2488	257,1
Brandenburg	442	0,0149	12682	0,4426	28,7
Hessen	213	0,0101	4954	0,2447	23,3
Mecklenburg-Vorpommern	456	0,0196	6688	0,3067	14,7
Niedersachsen	557	0,0117	16648	0,3606	29,9
Nordrhein-Westfalen	651	0,0191	12955	0,3989	19,9
Rheinland-Pfalz	251	0,0126	6577	0,3438	26,2
Saarland	13	0,0051	1142	0,4492	87,8
Sachsen	300	0,0163	3875	0,2263	12,9
Sachsen-Anhalt	494	0,0241	8828	0,4557	17,9
Schleswig-Holstein	1178	0,0746	9112	0,6512	7,7
Thüringen	181	0,0112	3749	0,2426	20,7
Summe	4872	0,171	113837	0,3561	20,8

Tabelle 5 Installierte Leistung der Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen 2000 und 2021

Installierte Leistung Windkraft- und Photovoltaikanlagen
2000 und 2021

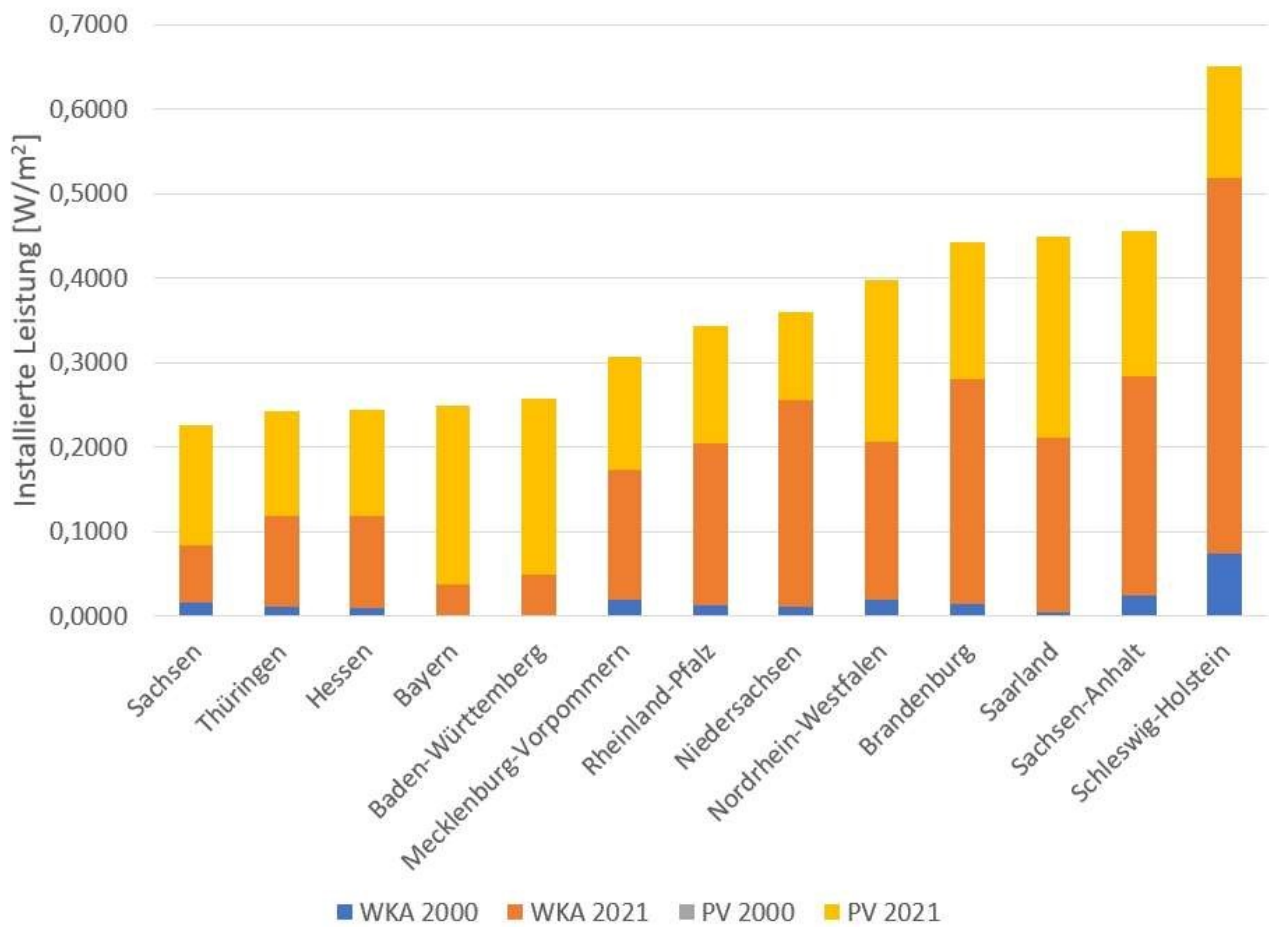


Bild 11 Installierte Leistung Windkraft- und Photovoltaikanlagen 2000 und 2021

Bild 11 zeigt die Anteile der installierten Leistungen. Die Anteile der 2000 installierten Photovoltaikanlagen werden aufgrund der Geringfügigkeit in diesem Maßstab nicht dargestellt, siehe Tabelle 4.

Schleswig-Holstein
Niederschlagsmengen und installierte Leistung WKA + PV
Konfidenzintervall 95 % Wahrscheinlichkeit

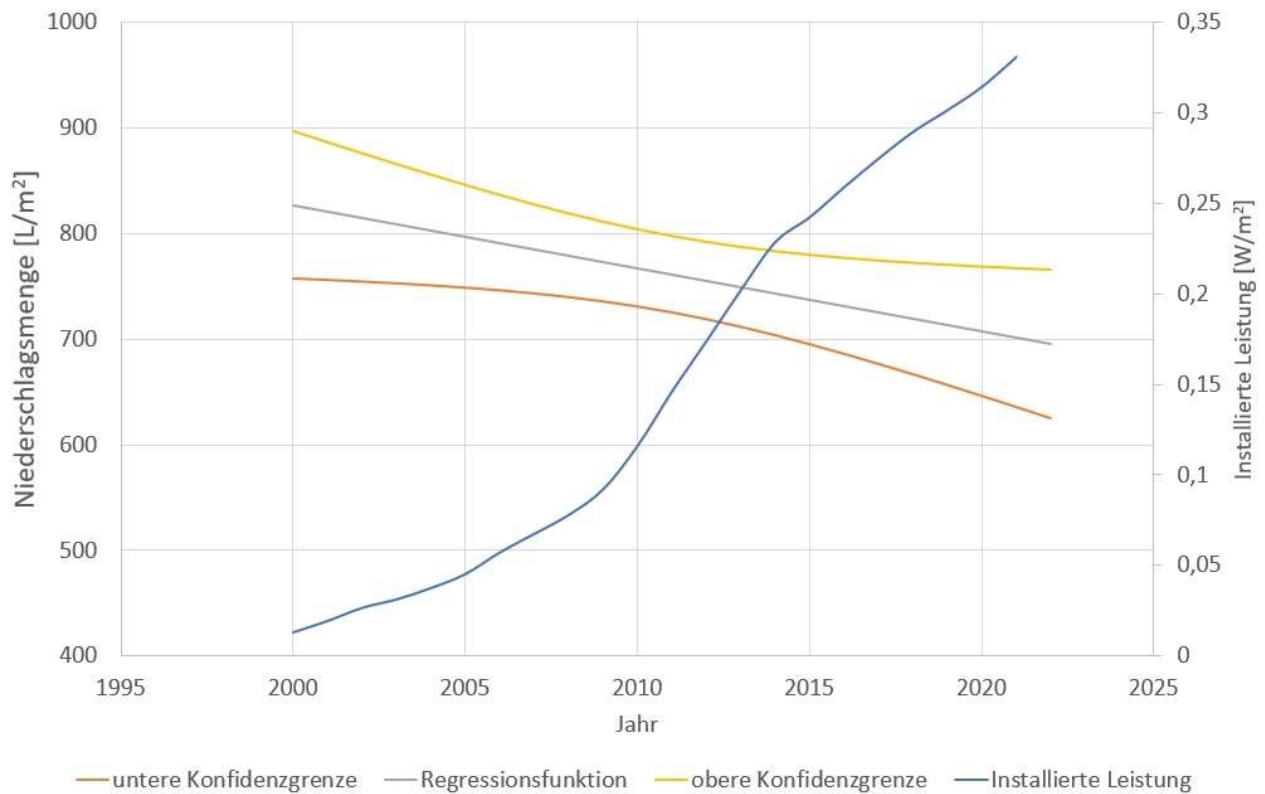


Bild 12 Niederschlagsmengen und installierte Leistung für Schleswig-Holstein

In Bild 12 sind die Niederschlagsmengen und die installierte Leistung für Schleswig-Holstein gezeigt. Es dient beispielhaft für alle übrigen Bundesländer.

Bundesland	Korrelationskoeffizient
Bayern	0,71
Saarland	0,73
Baden-Württemberg	0,74
Hessen	0,74
Thüringen	0,77
Rheinland-Pfalz	0,78
Nordrhein-Westfalen	0,79
Mecklenburg-Vorpommern	0,80
Sachsen	0,81
Brandenburg	0,81
Sachsen-Anhalt	0,82
Schleswig-Holstein	0,85
Niedersachsen	0,89

Tabelle 6 Koeffizienten der Korrelation Niederschlagsmenge und installierte Leistung

Die in Tabelle 6 zusammengestellten Korrelationsfaktoren zeigen eine starke Korrelation der betrachteten Niederschlagsmengen und der installierten Leistung von Windkraft- und Photovoltaikanlagen. Das kann zunächst nur als Gedankenansatz angesehen werden.

Zusammenfassung

Der Hintergrund des Artikels ist, wie in der Vorbemerkung betont, eine Untersuchung, ob eine Korrelation zwischen den installierten Anlagen und den Niederschlagsmengen der Bundesländer vorliegt. Es sei nochmals bemerkt, dass hier nicht Kausalitäten behauptet, sondern allenfalls vermutet werden. Die Vermutung kann insofern aufgestellt werden, da dem Autor keine sonstigen gravierenden Veränderungen im System Sonne, Erde, Atmosphäre bekannt sind, die die plötzliche Änderung der Niederschlagsmengen seit 2000 hervorgerufen haben könnten. Inwieweit Eingriffe durch Geoengineering den Rückgang der Niederschlagsmengen hervorgerufen haben, entzieht sich der Kenntnis des Autors.

In einer Arbeit [4] von 2021 kommt A. Kleidon auf eine mittlere verfügbare Windenergie von ca. 2 W/m^2 in Deutschland. Vergleicht man diesen Wert mit den installierten Leistungen der Windkraft- und Photovoltaikanlagen nach Tabelle 5, ist eine Beeinflussung atmosphärischer Vorgänge nicht auszuschließen. So ist beispielsweise in Schleswig-Holstein ca. $1/3$ der verfügbaren Windenergie aufgebraucht.

Photovoltaikanlagen reflektieren die Sonnenstrahlen ähnlich Spiegeln und wirken somit aufheizend für die Atmosphäre. Sie wirken als Wärmeinseln und beeinflussen Luftströmungen.

Quellen

1. <https://www.wetterkontor.de/>

1. <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/bundeslaender/>

[3][https://www.energycharts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=de&=DE&expansion=p_inst_states&year=20 07&chartColumnSorting=default](https://www.energycharts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=de&=DE&expansion=p_inst_states&year=20%2007&chartColumnSorting=default)

[4]https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/30/97450/Physical_limits_of_wind_energy_within_the_atmosphere

Dr. Konrad Voge ist Maschinenbau Ingenieur (Fördertechnik) und hat in unterschiedlichen Bereichen der Fördertechnik gearbeitet.