Klaus-k.maier@t-online.de

6.5.2019

Widerlegung der AGW-Theorie

1 Einleitung

Anthropogenic Global Warming[1] (AGW) ist die heute dominierende „Grundwahrheit“, die die Politik in vielen Feldern leitet und bereits zu weitreichenden Konsequenzen geführt hat (Energiewende, Große Transformation). Wer den menschgemachten Klimawandel infragestellt, wird als Klimaleugner diskreditiert. Dabei leugnet kein vernünftiger Mensch den Klimawandel und schon gar nicht das Klima.

Es geht hier nicht um eine alternative Erklärung für den Anstieg der Weltdurchschnittstemperatur, also um keine neue oder modifizierte Theorie über die Gründe und die Wirkzusammenhänge.

Es geht ausschließlich um die Widerlegung der Behauptung, dass CO_2 die mit Abstand größte Wirkung auf die Temperatur hat.

Andere Ursachen die die Temperaturänderungen mit verursachen oder mit verursachen könnten, werden daher hier nicht thematisiert. Die Widerlegung wird nicht durch theoretische, physikalische Überlegungen, sondern ausschließlich aufgrund der festgestellten Temperatur- und CO_2-Verläufe vorgenommen.

1.1 Die AGW-Behauptung

Klimaforscher, behaupten:

> dass der Temperaturanstieg in den letzten rund 150 Jahren ausschließlich oder zumindest fast ausschließlich auf den starken Anstieg der CO_2-Konzentration in der Luft zurückzuführen ist und der menschgemacht sei.

Darin stecken drei Aussagen:

1. dass in den letzten 150 Jahren die Weltdurchschnittstemperatur gestiegen ist,
2. dass der Anstieg der CO_2-Konzentration in der Luft auf den Menschen zurückzuführen ist und
3. dass der Anstieg der Weltdurchschnittstemperatur durch den Anstieg der CO_2-Konzentration in der Luft verursacht ist (Treibhausgaseffekt).

Den ersten beiden Aussagen wird zugestimmt. Die dritte Aussage wird nachfolgend widerlegt.

Die hier verwendete Datenbasis nutzt wenige, breit akzeptierte und seit längerem publizierte Darstellungen bekannter Autoren und wendet leicht nachvollziehbare statistische Analysen an.

[1] menschgemachter Klimawandel

Gliederung

1 Einleitung ... 1

1.1 Die AGW-Behauptung ... 1

2 Seit dem 19.-Jahrundert steigt die CO_2-Konzentration und auch die Weltdurchschnittstemperatur ... 3

2.1 Streudiagramm zur Verdeutlichung der Korrelation ... 4

3 Temperatur und CO_2-Konzentration über 10.000 Jahre ... 4

3.1 Unmittelbare Erkenntnisse ... 5

3.1.1 Der starke CO_2-Anstieg ist menschgemacht ... 5

3.1.2 Schon immer Temperaturschwankungen ... 5

4 Falsifikation der AGW-Theorie ... 6

4.1 Notwendige Voraussetzungen für die Beweisführung ... 6

4.2 Korrelationsprüfung ... 6

4.2.1 Visueller Kurvenvergleich ... 6

4.2.2 Korrelationsprüfung im Streudiagramm ... 7

4.2.3 Unterschiedlicher Wirkzusammenhang in 2 Zeitbereichen ... 7

5 Anlage 1: Korrelationsbeispiele ... 9

5.1 Wann liegt eine signifikante Korrelation vor – wann nicht? ... 9

5.2 Beispiele von Scheinkorrelationen ... 9

6 Anlage 2: Analyse eines allgemeinen Funktionsmodells ... 11

6.1 Systemvereinfachung ... 11

6.1.1 Klimasystem ... 11

6.1.2 Neutrales System ... 12

6.1.3 Parameter von Eingängen und Ausgang ... 12

6.2 Teil 1: Der Output resultiert aus der Primärursache, ohne andere Ursachen ... 13

6.2.1 Fall 1: Lineare Funktion, ohne andere Ursachen ... 13

6.2.2 Fall 2: Nicht-lineare Funktion, ohne andere Ursachen ... 13

6.2.3 Fall 3: Nicht monotone Funktion von P, ohne andere Ursachen ... 14

6.3 Teil 2: Der Output resultiert aus der Primärursache und anderen Ursachen ... 16

6.3.1 Fall 4: Lineare Funktion mit anderen Ursachen ... 16

6.3.2 Fall 5: Nicht lineare Funktion, mit anderen Ursachen ... 17

6.3.3 Fall 6: Lineare Funktion, mit verzögertem Output, ohne andere Ursachen ... 19

6.3.4 Fall 7: Lineare Funktion mit Rückkopplung ... 20

6.4 Erkenntnisse zusammengefasst ... 22

2 Seit dem 19.-Jahrundert steigt die CO_2-Konzentration und auch die Weltdurchschnittstemperatur

Seit der Industrialisierung (ab etwa 1880[2]) steigt durch verstärkten Einsatz fossiler Energieträger der CO_2-Ausstoß[3]. Gleichzeitig ist eine rechnerisch, aus vielen Messstationen ermittelte Weltdurchschnittstemperatur, gestiegen. Dazu passt die Treibhausgastheorie, die Svante August Arrhenius[4] (schwedischer Physiker und Chemiker und Nobelpreisträger für Chemie) 1886 aufstellte, dass nämlich durch eine steigende CO_2-Konzentration in der Luft der Treibhauseffekt erhöht wird und damit die durchschnittliche Temperatur der Erde ansteigt.

Heute wird in der vorherrschenden Wissenschaft das CO_2 als Hauptverursacher des Temperaturanstiegs angesehen. Da es noch weitere sogenannte Treibhausgase[5] gibt, rechnet man deren Wirkung in CO2-Äquivalente um.

Der Gleichlauf von CO_2-Konzentration in der Luft und der Temperatur kann im Zeitraum von 1880 bis heute überzeugend dargestellt werden:

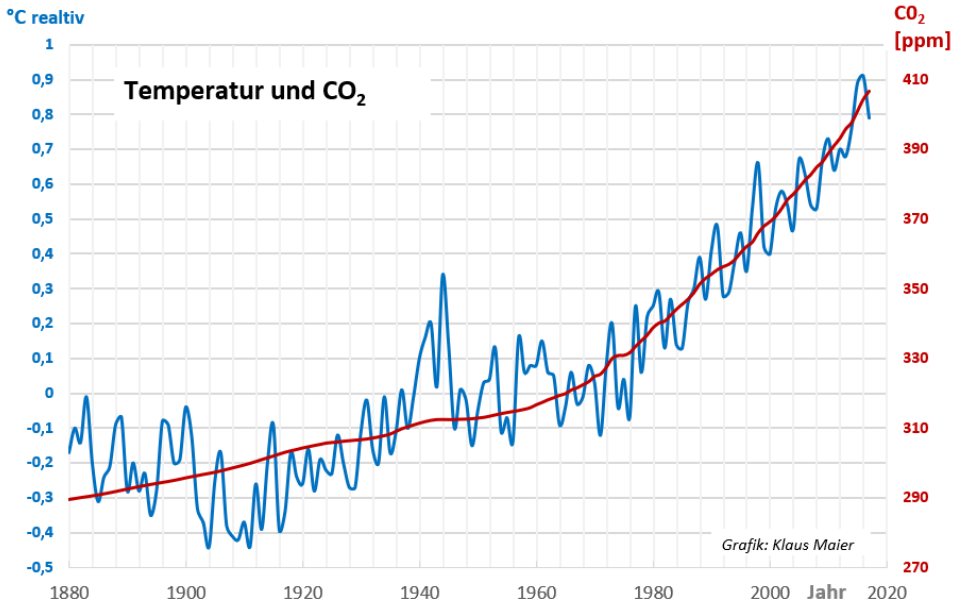


Bild 2.1

Die vertikalen Skalen der beiden Größen wurden so angepasst, dass sich eine möglichst gute Deckung der beiden Kurvenverläufe ergibt.

Quelle Temp.: http://www.acclimatise.uk.com/2019/02/08/nasa-wmo-noaa-uk-met-office-2018-was-4th-hottest-year-on-record/
Quelle CO_2: https://www.co2.earth/historical-co2-datasets

Wenn, wie hier, durch die beiden Kurven ein guter Gleichlauf (Korrelation) erkennbar ist, ist das ein Indiz, dass eine Abhängigkeit, also eine Ursache-Wirkung besteht. Ein Beweis ist es nicht[6].

---

[2] Viele nennen 1850 als Start der Industrialisierung. Da aber für den Vergleich nur ab 1880 die CO_2- und Temperaturdaten vorlagen, wird hier 1880 verwendet. Außerdem ist im Bereich 1850 bis 1880 kein signifikanter Unterschied, der zu berücksichtigen wäre.

[3] Verursacht durch: Kohle für Dampfmaschinen, Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren und Kohle/Koks für Industriewärme (z.B. Hochöfen). Hinzu kommt die wachsende Bevölkerung, die sich das Heizen mit Kohle leisten kann.

[4] *19. Februar 1859 auf Gut Wik bei Uppsala; †2. Oktober 1927 in Stockholm

[5] … z.B. Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O); beide spielen nach der Treibhausgastheorie nur eine untergeordnete Rolle (ca. 10%).

[6] siehe „Scheinkorrelationen“ z.B. Störche/Geburten-Diagramm (Anlage 1, 5.2)

Die relativ gute Übereinstimmung lässt sich auch in einer Korrelationsprüfung bestätigen (*Bild 2.2*). Der Korrelationskoeffizient ist mit über 0,9 recht hoch.

> *Hinweis: Allerdings ist bei zwei zu korrelierenden, kurzen Kurvenabschnitten, die beide ohne große Schwankungen[7] steigen, ein hoher Korrelationskoeffizient nicht überraschend. Ohne Wiederholungen solcher Gleichläufe von deutlichen Kurvenanstiegen und -abfällen ist diese Korrelation nur ein schwaches Indiz für eine Ursache-Wirkungsbeziehung.*

2.1 Streudiagramm zur Verdeutlichung der Korrelation

Trägt man die Wertepaare von CO_2-Konzentraton und Temperatur über viele einzelne Jahre (1880 bis 2017) in einer Diagrammfläche auf, zeigt sich, ob eine gute Korrelation vorliegt.

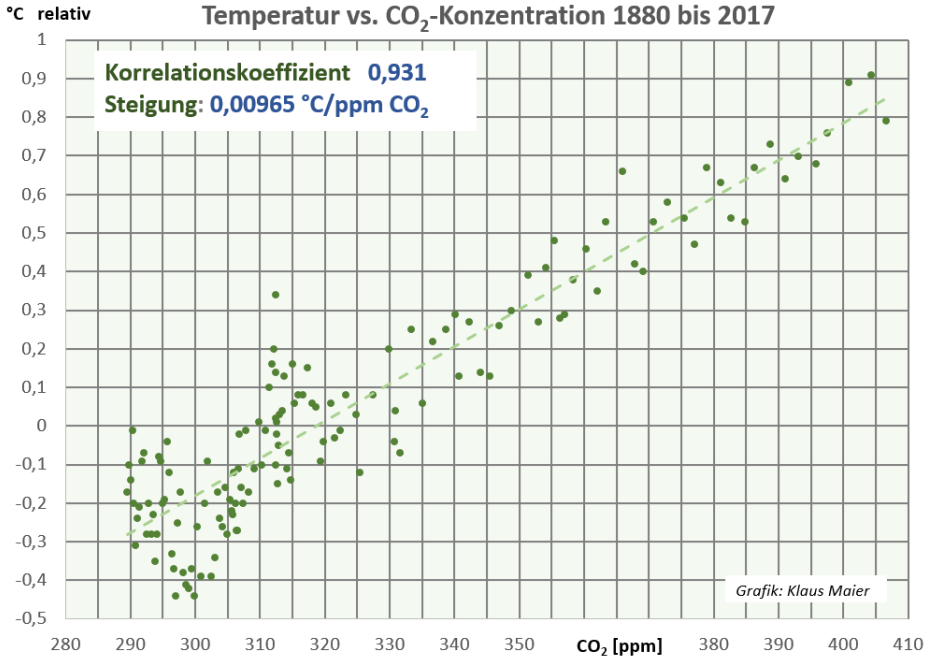


Bild 2.2

Die Regressionsgerade im Streudiagramm zeigt den positiven und weitgehend linearen Zusammenhang zwischen CO_2 und Temperatur:

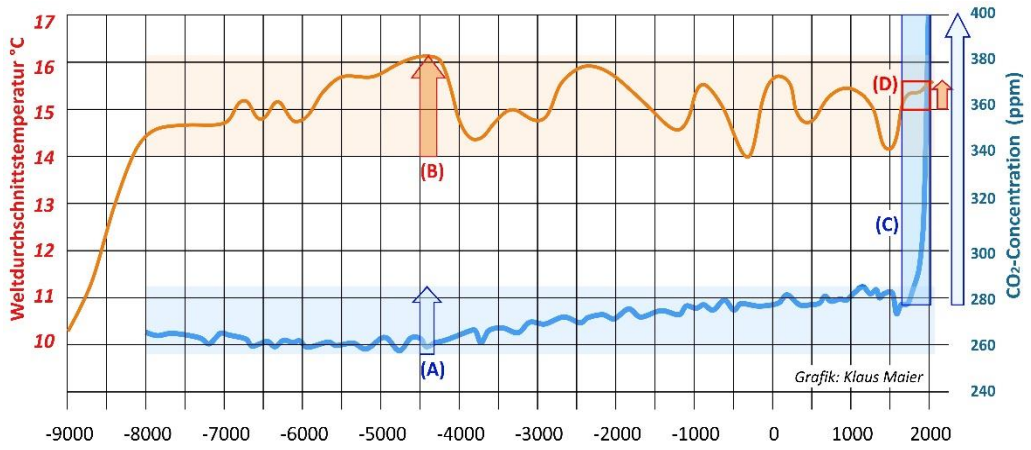
Die Temperatur steigt mit rund 1/100 °C pro ppm CO_2.

Wenn man diesen Zeitbereich betrachtet, scheint durch einen hohen Korrelationskoeffizienten eine Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen CO_2 und Temperatur zu bestehen, die vielfach unprofessionell, als Kausalität interpretiert wird.

3 Temperatur und CO_2-Konzentration über 10.000 Jahre

Es liegen wissenschaftlich anerkannte Datenreihen mit ausreichender Genauigkeit über die letzten 10.000 Jahre vor. Wenn CO_2, wie behauptet, die entscheidende Wirkgröße für die Weltdurchschnittstemperatur ist, so muss sich das auch in dem Verlauf von CO_2 und Temperatur der letzten 10.000 Jahre zeigen, da in den letzten 10.000 Jahren, also auch in den letzten 150 Jahren, die Naturgesetze unverändert gelten. Daher ist der Vergleich der jungen Vergangenheit mit den Jahrtausenden vorher naheliegend und notwendig.

[7] Eine stark gemittelte Temperaturkurve hat keine große Welligkeit mehr. Die Welligkeit, im Jahrestakt, der CO2-Kurve ist bereits auch nicht mehr enthalten.



Quellen Temperaturverlauf: nach Dansgaard et al. und Schönwiese;
https://www.eike-klima-energie.eu/2013/10/12/ipcc-bericht-von-2013-vs-klimafakten/
CO2-Konzentration: Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958;
https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/wp-content/plugins/sio-bluemoon/graphs/co2_10k.pdf

Bild 3.1

Die Pfeile (A) bis (D) kennzeichnen die Amplituden der farblichen Bereiche.

3.1 Unmittelbare Erkenntnisse

Aus *Bild 3.1* können zwei offensichtliche Erkenntnisse gewonnen werden:

3.1.1 Der starke CO_2-Anstieg ist menschgemacht

Über 10.000 Jahre fand ein minimaler Anstieg von rund 260 auf 280 ppm statt (A). Nach der Industrialisierung ist ein steiler Anstieg auf 400 ppm zu sehen. *Bild 3.1* zeigt dies im Bereich (C) deutlich. Es gibt keine natürliche Erklärung, die eine solche plötzliche Veränderung aus der Natur hervorrufen könnte.

Daher ist der starke CO_2-Anstieg der Konzentration in der Luft durch den Menschen verursacht.

Dies ist erklärlich, da die CO_2-Emissionen durch den Menschen in den letzten 100 bis 150 Jahren (besonders nach 1950) stark gestiegen sind und zu dem natürlichen CO_2-Kreislauf hinzugekommen sind.

3.1.2 Schon immer Temperaturschwankungen

Aus *Bild 3.1* entnimmt man eine Referenztemperatur von 15 °C[8]. Die Durchschnittstemperaturen über die letzten 10.000 Jahre (nach der Eiszeit) schwanken um diese Referenztemperatur im Bereich von rund plus/minus 1 °C.

Letztlich ist es für die nachfolgende Falsifikation nicht relevant, die Schwankungen auf Zehntelgrad genau und auch zeitlich genau zu kennen. Es reicht festzustellen, dass die Schwankungsbreite, also der Hub (B) bei rund 2 °C liegt.

Der Temperaturanstieg der letzten 150 Jahre über die Referenztemperatur der letzten 10.000 Jahre ist geringer oder höchstens gleich den Temperaturmaxima der letzten 10.000 Jahre.

Das betrifft auch die Änderungsgeschwindigkeiten, welche aber hier nicht interessieren.

[8] Die Referenztemperatur wird unterschiedlich angegeben und ist nicht eindeutig definiert und nicht genau bestimmt.

4 Falsifikation der AGW-Theorie

4.1 Notwendige Voraussetzungen für die Beweisführung

Es werden 4 offensichtliche und nicht mehr zu beweisenden Aussagen benötigt, um die Falsifikation der CO_2-verursachten Klimaveränderung durchzuführen:

1. Über die letzten 10.000 Jahre ist der Temperaturverlauf und die CO_2-Konzentration *ausreichend genau* bekannt (*Bild 3.1*).
2. Der Wirkzusammenhang zwischen CO_2-Konzentration (Ursache) und Weltmitteltemperatur (Wirkung) muss mindestens in diesem Zeitraum *durchgehend* und *unverändert* bestehen bzw. bestanden haben (konstante Naturgesetze).
3. Wenn als Beweis der Ursache-Wirkungsbeziehung von CO_2 und Temperatur die Korrelation in den letzten 150 Jahren angeführt wird, so bedeutet dies eine *zeitlich kurze* Ursache-Wirkungsbeziehung. Das heißt, es gibt eine geringe Zeitverzögerung (deutlich kleiner als 50 Jahre[9]) zwischen der CO_2-Erhöhung und dem Temperaturanstieg.

Nach 1. bis 3. muss sich die Wirkung aus den CO_2-Änderungen in den 10.000 Jahren gut korreliert abbilden, da die Zeitverzögerung von kleiner 50 Jahren im Verglich zu 10.000 Jahren vernachlässigbar ist.

Aufbauend auf dem Vorgesagten und unter Bezug auf *Bild 3.1* kann man nun die Widerlegung der AGW-Theorie durchführen.

4.2 Korrelationsprüfung

Betrachtet man die Zeit ab der Industrialisierung steigt mit der CO_2-Konzentration auch die Weltmitteltemperatur an, was als Korrelation und als Wirkzusammenhang interpretiert wird.

Wenn die genannten 4 Voraussetzungen gelten, muss auch eine Korrelation im langen Zeitraum vor der Industrialisierung erkennbar sein. Diese endet in *Bild 4.1* daher bewusst bei 1880.

Da der ausreichend genaue Verlauf der beiden Größen bekannt ist, kann eine Korrelationsprüfung vorgenommen werden.

4.2.1 Visueller Kurvenvergleich

Es gibt keine sichtbare Korrelation zwischen den beiden Kurven, auch wenn man die CO_2-Kurve im blauen unteren Band spreizt und versucht diese beiden Kurven übereinanderzulegen (*Bild 4.1*).

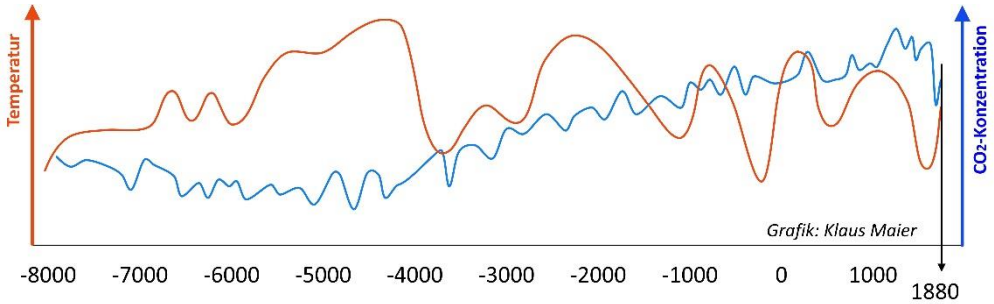


Bild 4.1 Historischer Zeitbereich von -8.000 bis 1880

Für eine Korrelationsbeziehung ist der Gleichanteil (vertikale Parallelverschiebung) ohne Relevanz; d.h. es ist egal, ob die Bezugstemperatur 14 °C oder 15°C ist oder sonst eine andere. Es braucht für

[9] Wäre die Zeitverzögerung nicht deutlich kleiner als der betrachtete Zeitraum, in dem die Korrelation vorgenommen wird, würde es keinen hohen Korrelationswert geben.

Bild 4.1 also keine vertikale Skala. Es ist augenscheinlich, dass die braune und die blaue Kurve keinerlei Gleich- oder Gegenlauf haben.

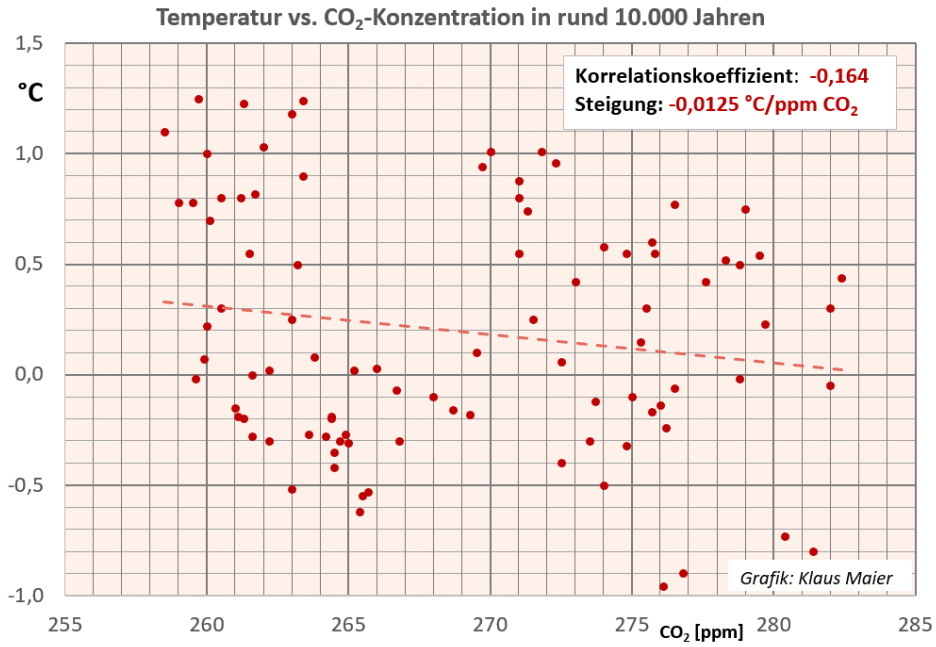
4.2.2 Korrelationsprüfung im Streudiagramm

Die Korrelationsprüfung kann man auch im Streudiagramm vornehmen:

Bild 4.2

Das Streudiagramm zeigt dies überdeutlich:

*Die Regressionsgerade ist sogar **negativ**. D.h., dass mit steigender CO_2-Konzentration die Temperatur **sinkt** und zwar mit rund 1/100 °C pro ppm CO_2.*



Da die Punkteverteilung breit über der Fläche verteilt ist und keine Tendenz hat, sich auf eine Linie zu konzentrieren, ist keine relevante Korrelation daraus ablesbar, im Gegensatz zu *Bild 2.2*. Der Korrelationskoeffizient ist sehr klein[10].

4.2.3 Unterschiedlicher Wirkzusammenhang in 2 Zeitbereichen

Wenn man den exakten Verlauf der Kurven nicht kennen würde, sondern nur deren Dynamikbereiche in verschiedenen Zeitabschnitten, so ist die Methode des Wirkfaktorenvergleichs[11] zwischen Ursache und erkennbarer Wirkung anwendbar.

Als ***Wirkfaktor*** wird das Verhältnis von *Wirkung* zur *Ursache* verstanden, wobei hierzu der Signalhub in dem betrachteten Zeitbereich verwendet wird[12].

Wirkfaktoren verschiedener Zeitbereiche werden miteinander verglichen. Sind die Werte stark unterschiedlich, gibt es keinen Wirkzusammenhang oder er ist stark nicht-linear. Sind die Werte sehr ähnlich, ist ein Wirkzusammenhang möglich.

Der Wirkfaktor erhält für den vorliegenden Fall entsprechend die Einheit: °C/ppm CO_2.

---

[10] In Anlage 2 (Kapitel 6) werden die Analysemöglichkeiten und die Aussagekraft von Streudiagramm und Korrelationskoeffizient behandelt.

[11] Dies gilt auch bei leichten Zeitverschiebungen zwischen Ursache und Wirkung.

[12] D.h. bei einem Wirkfaktor von 0,01 °C/ppm CO_2 würde jedes ppm CO_2, was dazukommt, zu einem Temperaturzuwachs von 0,01 °C führen.

Wenn es eine kausale Wirkbeziehung gibt, muss die notwendige Voraussetzung 2 (konstante Naturgesetze, s.o.) erfüllt werden[13]. Diese fordert, dass der Wirkfaktor [°C/ppm CO_2] in jedem Zeitabschnitt einigermaßen gleich groß ist[14], weil ja die gleichen Naturgesetze gelten.

Wirkfaktor 1 (zwischen -8.000 und 1880)

Der Dynamikbereich der CO_2-Änderungen zwischen -8.000 und 1880 ist in *Bild 3.1* mit (A) gekennzeichnet und der Dynamikbereich der Temperatur im gleichen Zeitraum mit (B). Daraus ergibt sich ein Wirkfaktor von B/A = ((16,3-14)°C)/((286-255)ppm) = **0,074 °C/ppm**[15].

Wirkfaktor 2 (zwischen 1880 und heute)

Wie zuvor ist der Wirkfaktor des CO_2: D/C = ((15,7-15)°C)/((400-278)ppm) = **0,0057 °C/ppm**.

Der Wirkfaktor 1 ist rund 13-fach größer als der Wirkfaktor 2.

Da **Wirkfaktor 1 wesentlich verschieden von Wirkfaktor 2** ist, wird die notwendige 2. Voraussetzung (konstante Naturgesetze) für die Kausalität zwischen CO_2 und Weltmitteltemperatur klar **verletzt.**[16]

Daher:

Die AGW-Theorie ist mehrfach widerlegt,

- **weil die Korrelationsprüfung über nahezu 10.000 Jahre keinen Zusammenhang von Temperatur und CO_2 ergibt,**
- **weil im Gegenteil, über rund 10.000 Jahre eine negative Steigung vorliegt, anstatt der erwarteten steigenden (positiven) Regressionsgeraden und**
- **weil der Wirkfaktorenvergleich den postulierten, konstanten Naturgesetzen** (über die letzten 10.000 Jahre) **widerspricht.**

[13] Die Voraussetzung 2 ist notwendig, aber nicht hinreichend für einen determinierten Wirkmechanismus.

[14] Dem liegt zugrunde, dass ein einigermaßen linearer Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung besteht.

[15] Verwendet man kürzere Zeitabschnitte, so wird der *Wirkfaktor 1 noch größer als 0,074* °C/ppm.
Eigentlich müsste der Hub sogar auf die Welligkeit beschränkt werden, also 8 ppm statt 31 ppm. Das führt zu 0,1625 °C/ppm. Damit würde der Faktor von 13 auf 28 steigen.

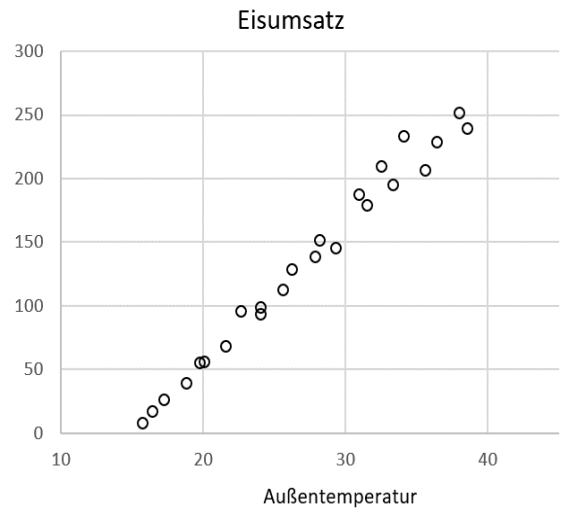
[16] Bei diesem Verfahren wird, wie erwähnt, ein weitgehend linearer Wirkmechanismus unterstellt. Nach der Treibhausgastheorie ist das aber nicht so: Die Temperatur steigt bei steigendem CO2 weniger als linear (jede Verdopplung der CO2-Konzentraion erhöht die Temperatur um den gleichen Betrag).
Da der CO2-Anstieg in den letzten 150 Jahren aber nur um den Faktor 1,7 statt einer Verdopplung angestiegen ist, kann dies den gravierenden Unterschied vom 13-fachen nicht annähernd erklären.

5 Anlage 1: Korrelationsbeispiele

Zur Verdeutlichung was Korrelationskoeffizienten, Linien- und Streudiagramme aussagen, werden folgend einige Beispiele gezeigt.

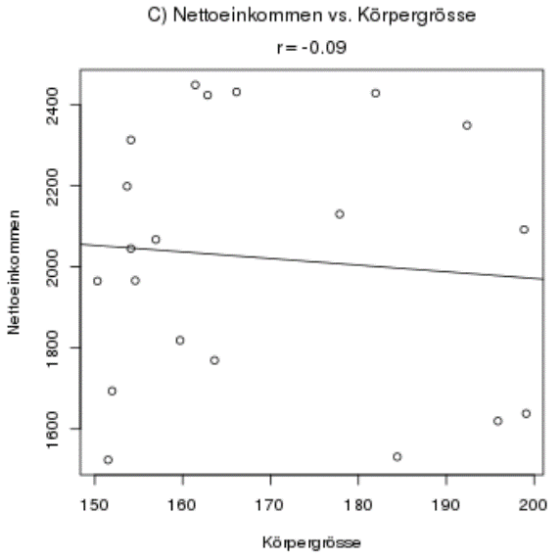
5.1 Wann liegt eine signifikante[17] Korrelation vor – wann nicht?

Ein Beispiel mit hoher Korrelation, wegen offensichtlicher Abhängigkeit der Größen



Die Punkte (Datenpaare) liegen weitgehend auf einer Linie.

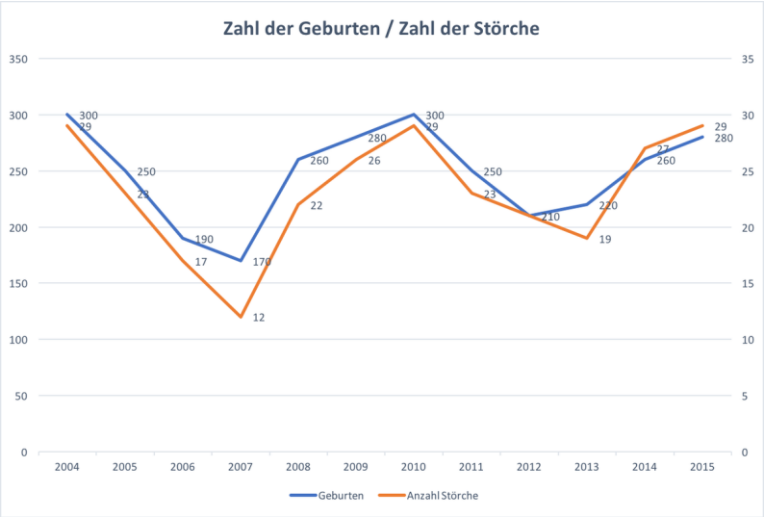
Ein Beispiel von offensichtlich nicht vorhandener Abhängigkeit zweier Größen
→ Korrelationskoeffizient sehr klein



Die Punkte (Datenpaare) liegen auf der Fläche weitgehend ungeordnet verteilt.

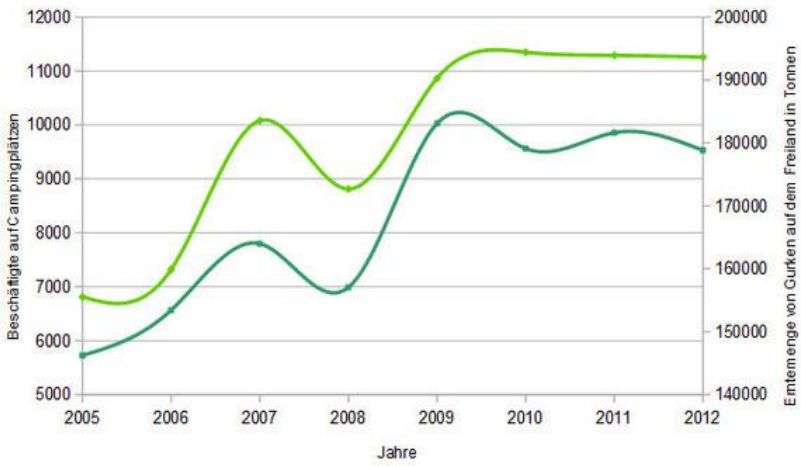
5.2 Beispiele von Scheinkorrelationen

Scheinkorrelationen zwischen zwei Größen haben hohe Korrelationskoeffizienten, haben aber offensichtlich keine Kausalität zwischen den Größen.



https://machine-learning-blog.de/2017/01/03/was-sind-grundsaetzliche-probleme-von-machine-learning/

[17] https://www.univie.ac.at/ksa/elearning/cp/quantitative/quantitative-108.html

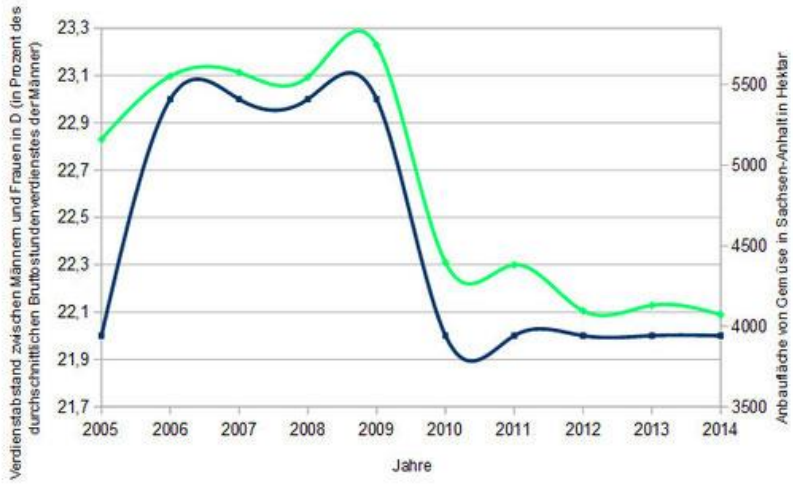


Beschäftigte auf Campingplätzen (dunkelgrün) und Erntemenge von Gurken auf dem Freiland (hellgrün)

Korrelation: 0,9579

Quelle: Statistisches Bundesamt

Grafik/Berechnung:
mit OpenOffice Calc

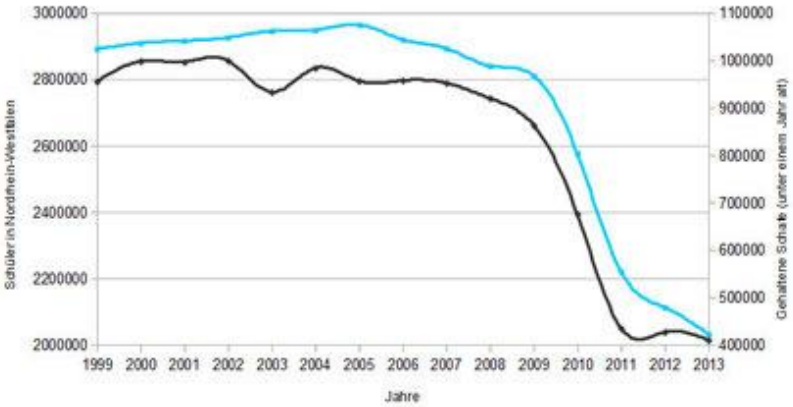


Verdienstabstand zwischen Männern und Frauen (blau) und Anbaufläche von Gemüse in Sachsen-Anhalt (grün)

Korrelation: 0,8982

Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt & Statista

Grafik/Berechnung:
mit OpenOffice Calc



Schüler in Nordrhein-Westfalen (himmelblau) und unter einem Jahr alte gehaltene Schafe (grau)

Korrelation: 0,9915

Quelle: Statistisches Bundesamt

Grafik/Berechnung:
mit OpenOffice Calc

Weitere Beispiele:

http://www.tylervigen.com/spurious-correlations

https://scheinkorrelation.jimdo.com

6 Anlage 2: Analyse eines allgemeinen Funktionsmodells

Im Anfangsteil des Papiers werden Analysen der Funktionen ***CO2-Gehalt der Luft*** und ***Weltdurchschnittstemperatur*** mittels *Liniendiagrammen*, *Streudiagrammen* und *Korrelationskoeffizienten* vorgenommen. Um diese Vorgehensweise und deren Wirksamkeit zu begründen, werden folgend einige grundsätzliche Betrachtungen vorgenommen. Es soll deutlich gemacht werden, welche Aussagen daraus abgeleitet werden können und wo die Grenzen dieser Analysemittel sind. Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst.

6.1 Systemvereinfachung

6.1.1 Klimasystem

Wenn man die Klimafrage nach Ursache und Wirkung - losgelöst von den konkreten physikalischen Größen - den Wirkmechanismen und den konkreten Mit- und Gegenkopplungen betrachtet, kann man dies formal so beschreiben:

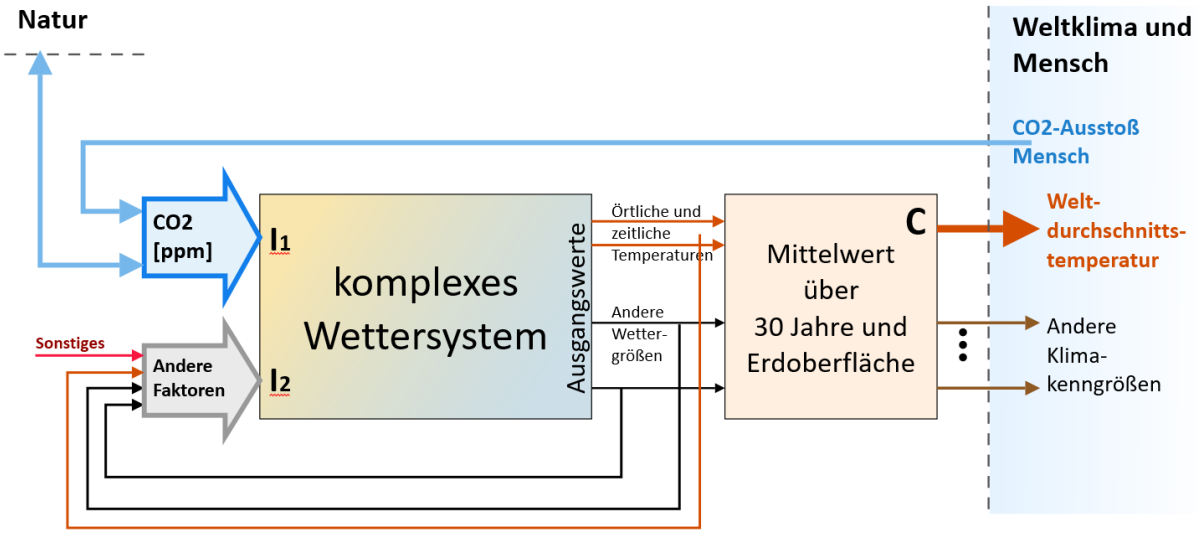


Bild 6.1

Zunächst ist klar, dass das „Weltklima“, speziell die Weltdurchschnittstemperatur, das Ergebnis einer Mittelwertbildung über 30 Jahre von vielen, örtlich verteilten Einzelwerten ist. Diese Einzelwerte entstammen aus dem komplexen Wettersystem, das heute mit extrem leistungsfähigen Computern nur für rund 1-2 Wochen halbwegs verlässlich voraussagbar ist.

Nach übereinstimmender Auffassung hängen die Ausgangswerte des Wettersystems von dem CO2-Gehalt der Luft (`I1`) und *anderen Faktoren* (`I2`) ab. Die *anderen Faktoren*, die teilweise gleichzeitig Ausgangsgrößen sind, zeigen, dass es sich um ein komplexes, rückgekoppeltes System handelt. Deshalb ist es so schwer berechenbar.

Die zentrale Frage, die im Raum steht:

> Ist der ***CO_2-Gehalt*** der Luft <u>fast allein</u> für die Entwicklung der Weltdurchschnittstemperatur verantwortlich oder spielen die ***anderen Faktoren*** eine größere Rolle, als angenommen.

Im Modellbild (*Bild 6.1*) kann das reduziert werden auf die Frage (siehe *Bild 6.2*):

> Ist `I1` entscheidend für die Entwicklung von **O,**
> d.h. spielt `I2` eine stark untergeordnete Rolle?

6.1.2 Neutrales System

Damit kann das Klimamodell (*Bild 6.1*) auf die neutrale, einfache Form gebracht werden:

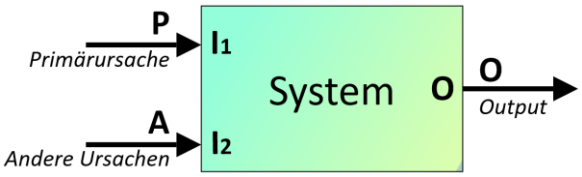


Bild 6.2

Wenn man nun grundsätzliche Aussagen über die Abhängigkeit des Output **O** aufgrund der bekannten Eingangsgrößen **P** und **A** in einem unbekannten System machen will, stellt sich die Frage, in wie weit man dies von außen erkennen kann, wenn die Eingänge **P** und **A** aus zufälligen oder bekannten[18] Signalverläufen gebildet werden und man die Übertragungsfunktion O = *f(P,A)* nicht kennt.

Folgend wird überprüft, welche Aussagen sich unter welchen Bedingungen aus *Streudiagrammen* und *Korrelationskoeffizienten* gewinnen lassen. Da es sich um keine physikalischen Größen der realen Welt handelt, sind die Zahlenwerte in den Diagrammen letztlich ohne Bedeutung.

Ziel ist es, mit dem Wissen über das Systemverhalten[19], Erkenntnisse zu gewinnen, welche Aussagen aus dem *Korrelationskoeffizienten* und dem *Streudiagramm* eines <u>unbekannten Systems</u>[20] gezogen werden können.

Am Ende werden die Erkenntnisse aufgelistet.

6.1.3 Parameter von Eingängen und Ausgang

Zugrunde liegt ein mathematisches Modell mit den Eingängen **`I1`** und **`I2`** und dem Ausgang **O**. Die Eingänge erhalten ihren Kurvenverlauf über eine Zufallsfunktion, die über Parameter gesteuert wird. Die Funktion des Outputs kann ebenso über Parameter verändert werden (*Bild 6.3*). Die Übertragungsfunktion O=*f(P,A)* des Systems ist damit bekannt und einstellbar.
Für jeden zufällig erzeugten Fall, mit je 100 Samples, werden 2 Diagramme erzeugt (Signalverlauf und Streudiagramm), die besprochen werden.

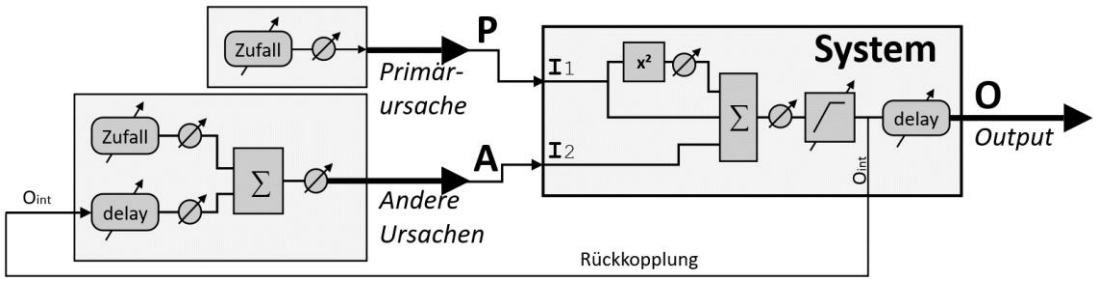


Bild 6.3

Erläuterungen
Bild 6.3 zeigt die mathematische Versuchsanordnung für die Erzeugung der Inputs und für die Systemfunktion. Jede Komponente, die einen schrägen Pfeil nach oben hat, ist eine einstellbare Größe (Parameter). Der Kreis mit Pfeil steht für einen einstellbaren Faktor. Die anderen mathematischen Komponenten, die einstellbar sind, haben entsprechend der Funktion, zu der sie gehören, eine entsprechende Bedeutung.

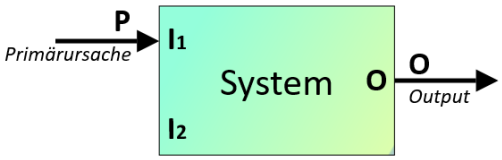
---

[18] *bekannt* meint hier Rückkopplungsanteile vom Output

[19] Das Systemverhalten ist durch Parameter eingestellt und damit bekannt

[20] Gemeint ist das Klimasystem

6.2 Teil 1: Der Output resultiert aus der Primärursache, ohne andere Ursachen



Der Input 2 (`I2`) des Systems hat in diesem Abschnitt keine Wirkung, d.h. das System besteht nur aus der „Primärursache“ P und dem daraus resultierenden Output.

Unter dieser Prämisse werden folgend einige Funktionsfälle O=*f(P)* durchgespielt.

6.2.1 Fall 1: Lineare Funktion, ohne andere Ursachen

In diesem Fall verursacht P alleine O. Dabei wurde für dieses Beispiel zwischen P und O ein Faktor (b) und eine Parallelvers chiebung (a) eingestellt, d.h. O = a + b*P .

Der Lineare Zusammenhang (O = a + b*P) ist im Streudiagramm durch die Punkte, die auf einer Geraden liegen, klar zu sehen (*Bild 6.4*). Außerdem ist der Korrelationskoeffizient genau 1 und steht damit auf dem maximalen Wert. Die Ausbildung als Gerade und der Wert 1 (bzw. -1) sind unabhängig von der Parallelverschiebung a und dem Proportionalitätsfaktor b. Wenn der Proportionalitätsfaktor negativ ist, ist die Gerade der Punkte entsprechend fallend.

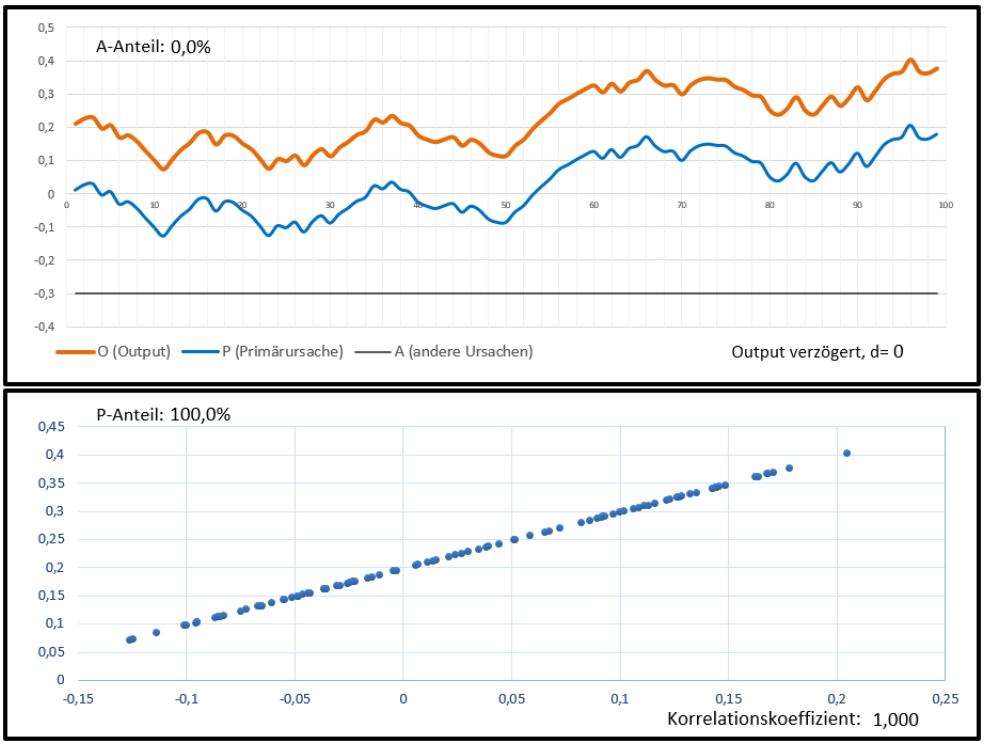


Bild 6.4

6.2.2 Fall 2: Nicht-lineare Funktion, ohne andere Ursachen

Ein linearer Zusammenhang ist in einem komplexen System eher unwahrscheinlich.

Im folgenden Beispiel wird neben einer linearen, zusätzlich eine quadratische Komponente als Funktion des Outputs *f(P)* hinzugefügt: O = a +b*P +**c***P²

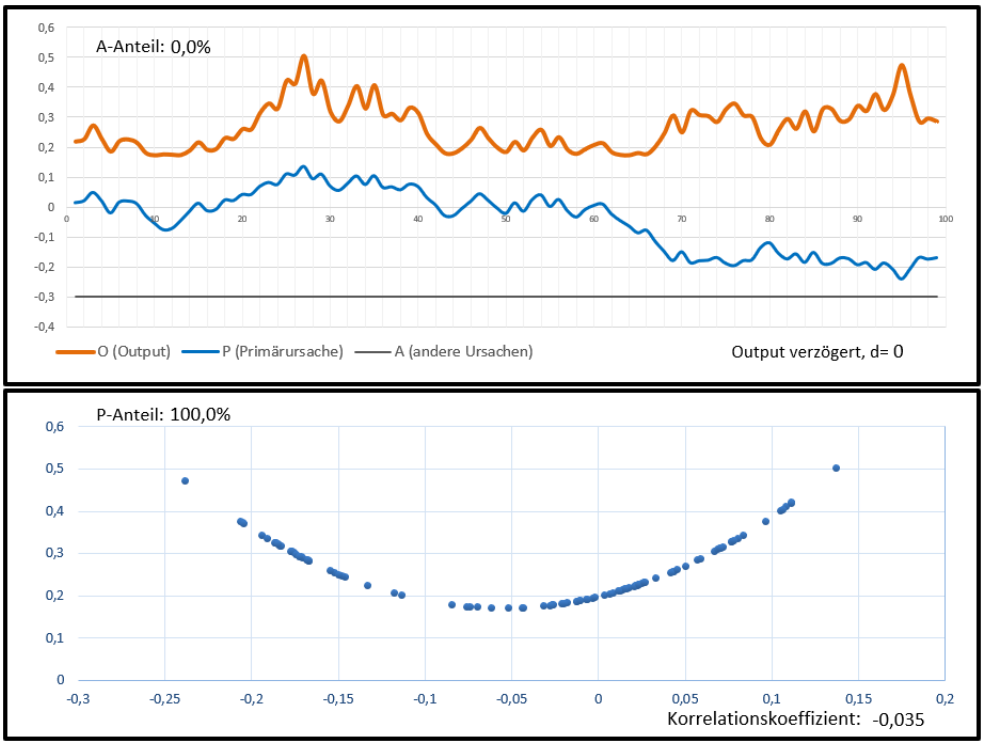


Bild 6.5

Im *Bild 6.5* ist unzweideutig zu erkennen, dass es keinen reinen linearen Zusammenhang zwischen P und O gibt. Was aber charakteristisch ist, ist, dass alle Punkte klar auf einer Linie liegen, entsprechend der Funktion O=*f(P)*. Bei einer anderen Funktion bildet sich die Linie entsprechend anders aus. Der Korrelationskoeffizient liegt meist deutlich unter 1. Er kann aber auch, je nachdem wie der zufällig erzeugte Verlauf von P liegt, nahe 1 (bzw. -1) kommen, nämlich dann, wenn die Krümmung im Streudiagramm einer Geraden nahekommt.

Erkenntnis E1: **Gibt es nur eine stark dominierende Ursache für den Output, so ist diese Funktion im Verlauf der Punktlinie im Streudiagramm zu erkennen.**

Erkenntnis E2: **Eine dominierende Ursache-Wirkungsbeziehung kann trotzdem einen niedrigen Korrelationskoeffizienten haben. Oder:**
Wenn die Funktion des Outputs nicht bekannt ist, hat der Korrelationskoeffizient keine große Aussagekraft über den Grad der Abhängigkeit von der Primärursache.

6.2.3 Fall 3: Nicht monotone Funktion von P, ohne andere Ursachen

Möglicherweise gibt es in einem komplexen System auch Sättigungseffekte. Dies wird hier als Wertbegrenzung von O nachgebildet. Im Beispiel *Bild 6.6* wird der Output auf den Wert 1 begrenzt.

Liegen viele Punkte auf einem Kurvenstück, das wenig Krümmung hat, so kann der Korrelationskoeffizient auch nahe an 1 (bzw. -1) kommen. Ist die Anzahl der Punkte hoch, die in der Begrenzung liegen, kann der Korrelationskoeffizient keinen hohen Betrag haben.

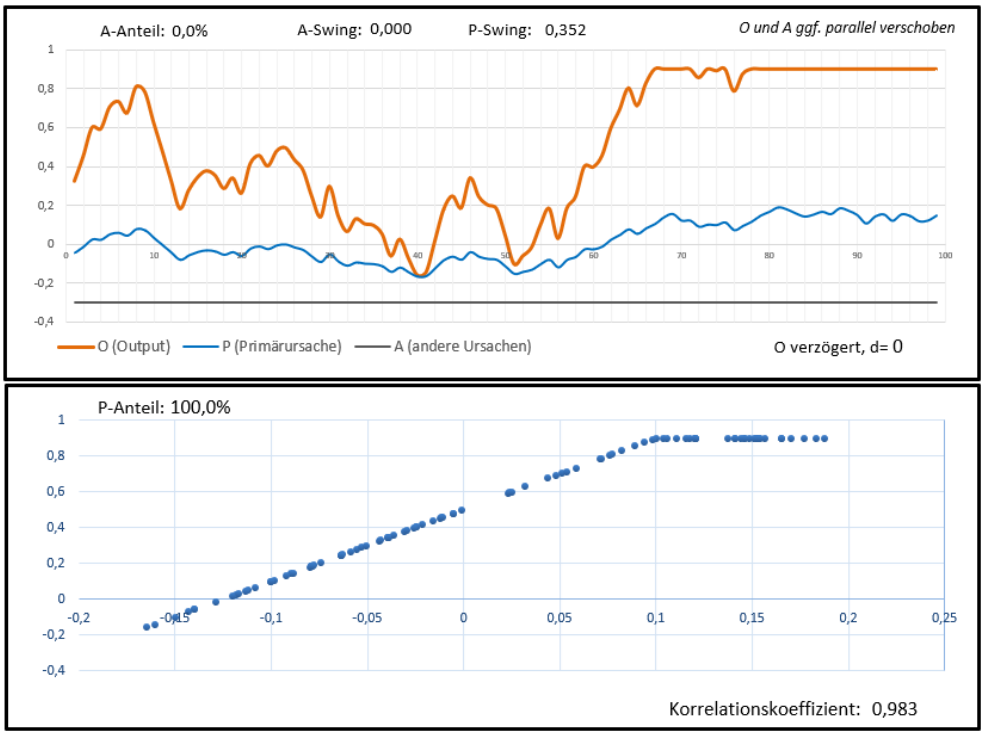
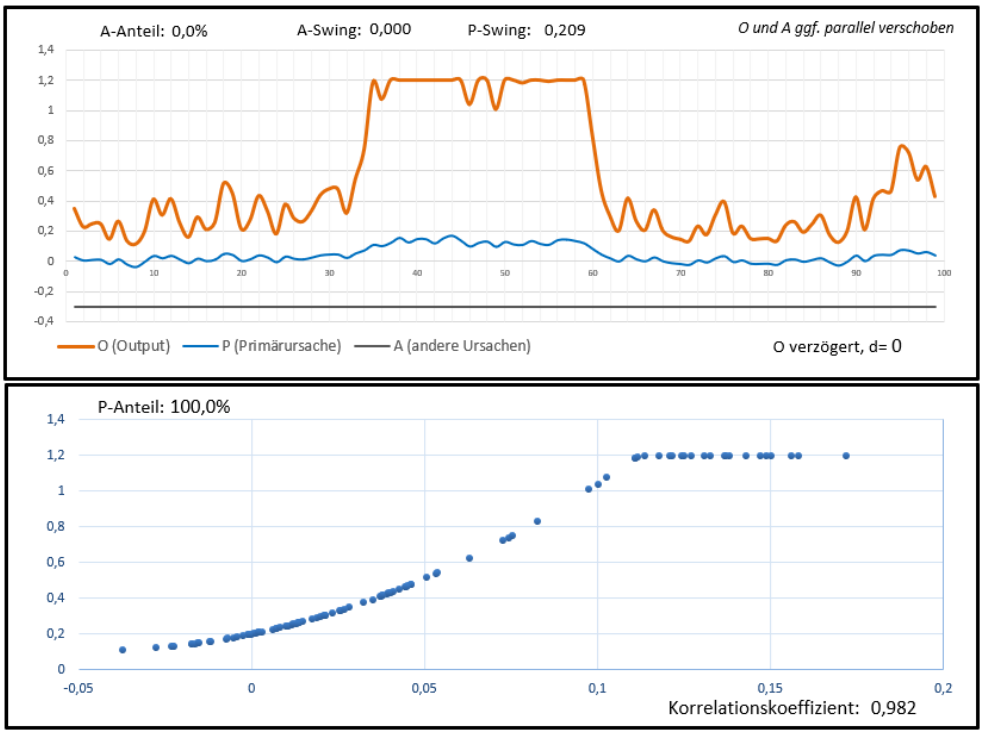


Bild 6.6

Für ein lineares, begrenztes System (ohne andere Ursachen) gilt:

Je seltener die Begrenzung greift, umso mehr dominiert der lineare Zusammenhang und umso höher wird der Betrag des Korrelationskoeffizienten.

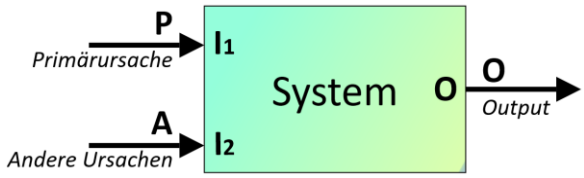
Folgend eine nichtlineare Übertragungsfunktion mit Begrenzung.



Erkenntnis E3: Ein hoher Korrelationskoeffizient ist kein Beweis für eine <u>lineare</u> Ursache-Wirkungsbeziehung.

6.3 Teil 2: Der Output resultiert aus der Primärursache und anderen Ursachen

Bisher wurde unterstellt, dass der Output des Systems ausschließlich von P, der Primärursache, in Form einer linearen, nicht-linearen Funktion und ggf. einer Sättigungseigenschaft[21], abhängig ist.



Folgend wir untersucht, in wie weit man den Anteil einer *anderen Ursache* **A** erkennen kann.

6.3.1 Fall 4: Lineare Funktion mit anderen Ursachen

Bild 6.7 zeigt die Verhältnisse, wenn ***andere Ursachen*** den Output zusätzlich etwas bestimmen. Im gezeigten Fall hat A den angegebenen geringen Anteil an den Inputs `I1` und `I2` und hat somit nur eine geringe Wirkung auf den Output. Die dunkel graue Linie zeigt diesen Anteil als Kurvenverlauf.

Es fällt auf, dass die Punkte den prinzipiell linearen Zusammenhang anzeigen, indem sie sich nahe einer idealen Geraden anordnen. Der Korrelationskoeffizient zeigt dies ebenfalls mit einem relativ hohen Betragswert an.

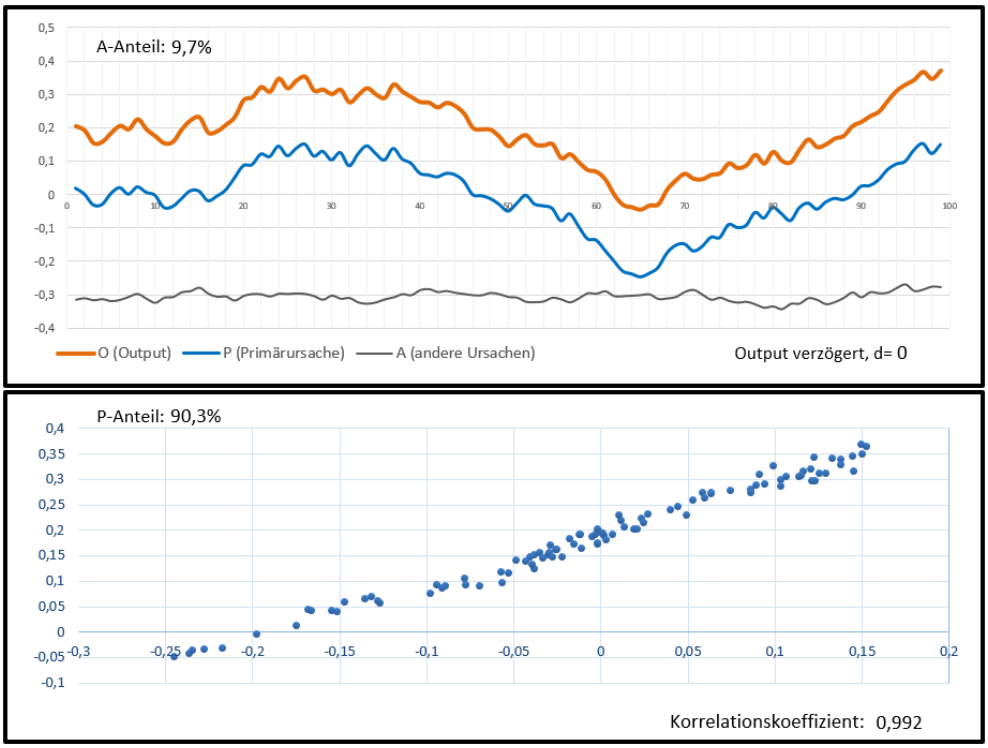


Bild 6.7

Im Beispiel *Bild 6.8* ist der Anteil A der *„anderen Ursachen“* deutlich größer als die Primärursache (siehe eingeblendeten Prozentsatz). Das Streudiagram zeigt eine Punktwolke, die keine Linie erkennen lässt. A dominiert O sichtbar, während P keine sichtbare Wirkung im Liniendiagramm zeigt. Damit ist der Korrelationswert zwischen P und O entsprechend niedrig.

[21] Gemeint ist, dass der Ausgang einen bestimmten Wert nicht über- oder unterscheitet.

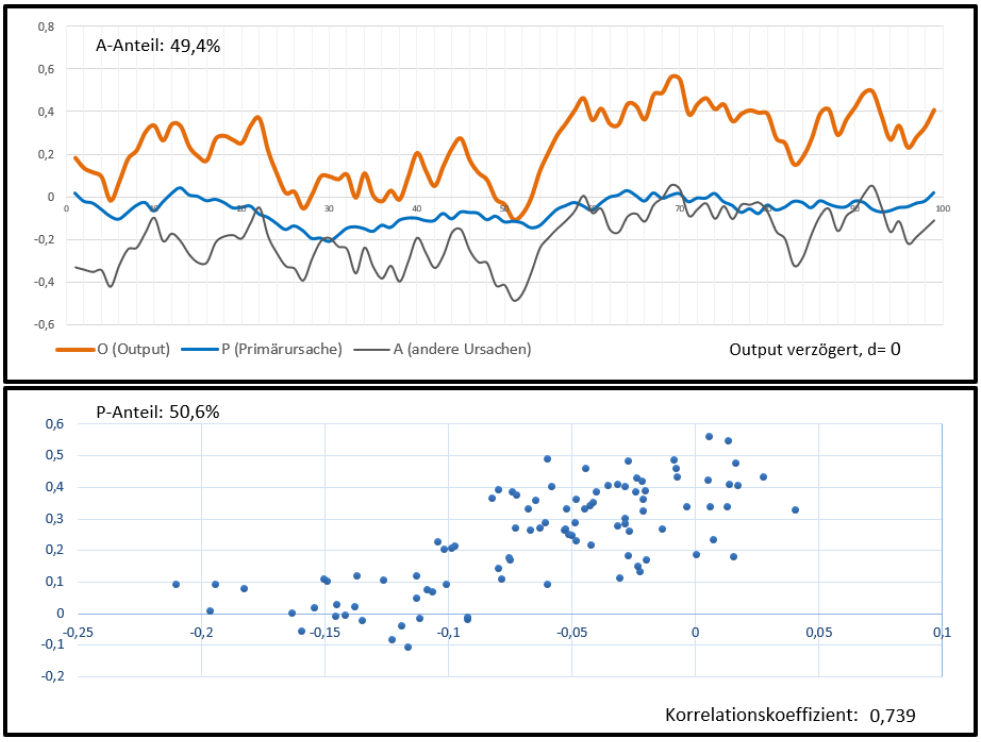


Bild 6.8

6.3.2 Fall 5: Nicht lineare Funktion, mit anderen Ursachen

Wie zu erwarten, ist wieder die Kurve, die die nicht-lineare der Funktion O=*f(P)* repräsentiert, in *Bild 6.9* zu erkennen, wobei die leichte Streuung durch den geringen Anteil von A verursacht wird.

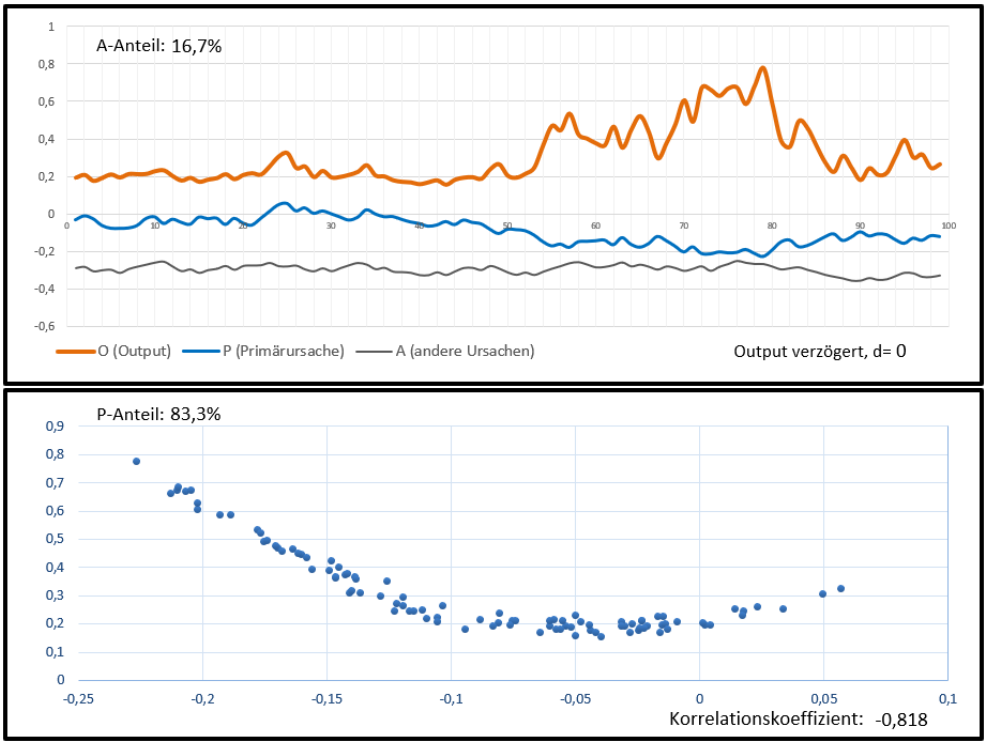


Bild 6.9

Ist der Anteil P gering, also der Anteil A relativ hoch, so zeigt sich das in *Bild 6.9* in einer Punktwolke, ohne Struktur.

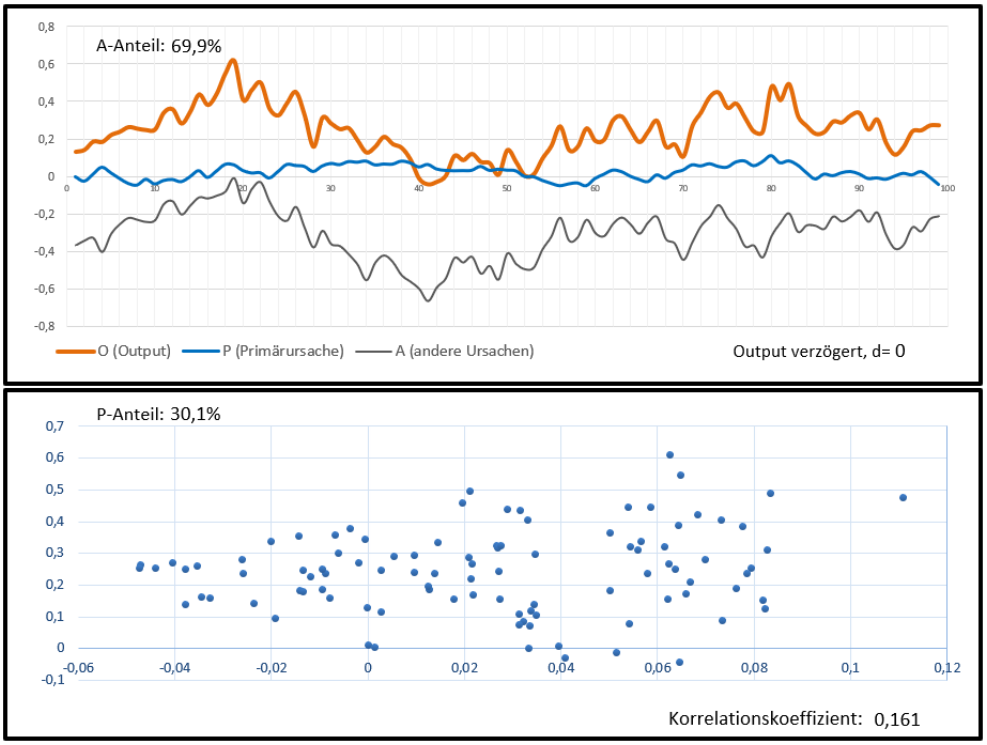


Bild 6.10

Entsprechend in *Bild 6.11* eine Zufallsfunktion P mit Begrenzung im Output:

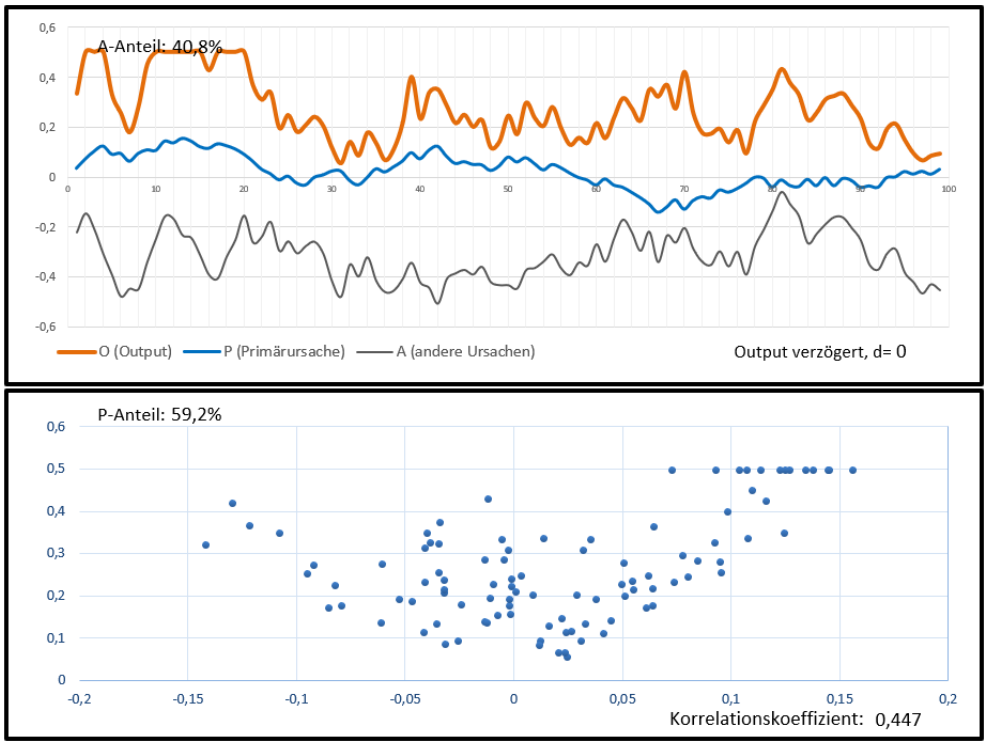


Bild 6.11

Erkenntnis E4: **Gibt es einen höheren Anteil anderer Ursachen, bilden die Punkte im Streudiagramm keine erkennbare Linie.**

Im Umkehrschluss:

Ohne erkennbare Linie im Streudiagramm hat die vermutete Primärursache keinen dominierenden Einfluss auf den Output.

6.3.3 Fall 6: Lineare Funktion, mit verzögertem Output, ohne andere Ursachen

Bisher war der Output unverzögert nach einer Ursachenänderung (Bild enthält 100 Samples) vor. Die Ursachenänderungen waren pro Schritt relativ klein. Es brauchte also 10 oder mehr Schritte um den vollen Swing zu durchlaufen. In *Bild 6.12* erkennt man daher den Gleichlauf von Primärursache und Output mit dem Auge recht gut. Das führt ohne Verzögerung zu einer idealen Linie im Streudiagramm (siehe *Bild 6.4*).

Bild 6.12 zeigt eine Verzögerung **d** des Outputs um 4 Samples. Die Ursache-Wirkung ist trotzdem im Liniendiagramm leicht zu erkennen.

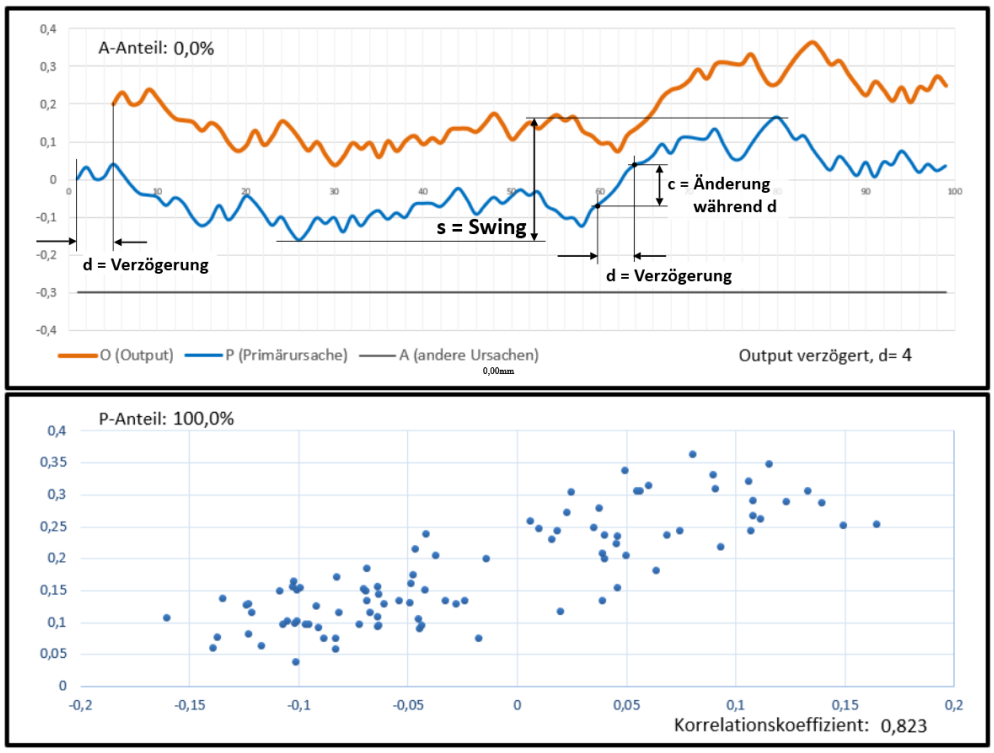


Bild 6.12

Da sich aber nach der Verzögerung d die Primärursache schon deutlich geändert hat (Wert c) und dieser mit den um 4 Samples versetzten Output verglichen wird, kann im Streudiagramm der lineare Zusammenhang nur noch durch die breite Punkte-Wolke erahnt werden. Die Änderung **c** innerhalb der Zeit ***d*** ist relativ hoch (*c/s* = 30%).

Entsprechendes gilt natürlich auch bei einem nicht-linearen Zusammenhang. Um die Funktion zwischen Ursache und Wirkung im Streudiagramm klar erkennen zu können, muss die Änderung der Ursache im Zeitraum der Verzögerung von Ursache zur Wirkung (c/s) relativ klein sein.

Erkenntnis E5: Für eine aussagekräftige Analyse des Streudiagramms ist erforderlich, dass die Änderung des Outputs in der Zeitdauer der Verzögerung (P→O) klein ist, gegenüber dem Signalhub der Ursache.

Wenn man die Verzögerung kennt, was in einem unbekannten zu analysierenden System zunächst eher unwahrscheinlich ist, so kann man für den Vergleich natürlich auch den um ***d*** versetzen Wertebereich im Streudiagramm verwenden, so dass der Verzögerungseffekt aufgehoben wird. Das führt dann wieder, bei einem sehr geringen Anteil anderer Ursachen (A), zu einer Linie von Punkten.

Eine unbekannte Verzögerung d, in einem durch P dominierten System, kann man daher durch Korrelationsversuche mit variierten Verzögerungswerten d ermitteln.

6.3.4 Fall 7: Lineare Funktion mit Rückkopplung

Bisher war der System-Input `I2`, der *anderen Ursachen* A, nur eine Zufallsfunktion, die von nichts abhängig ist. In einem komplexen, rückgekoppelten System, wie das zu untersuchende Wettermodell, sind Rückkopplungen (in Form von Mit- und Gegenkopplungen) aber normal.

Die Frage lautet daher:
Bringt eine Rückkopplung eine neue Qualität ins System und erschwert damit die Analyse, in wie weit P der dominierende Anteil des Outputs ist?

6.3.4.1 Extreme Rückkopplung

Zunächst eine starke Rückkopplung, die offensichtlich im realen Klimasystem nicht vorliegt.

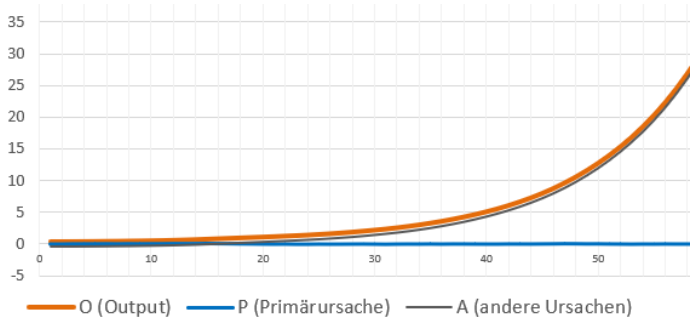


Bild 6.13

Sobald die Rückkopplung als **Mit**kopplung die kritische Höhe überschreitet (Schleifenverstärkung >1), wächst der Output bis zu einem Anschlag (sofern es den gibt).
Die ***Eskalation*** kann positiv oder negativ verlaufen.

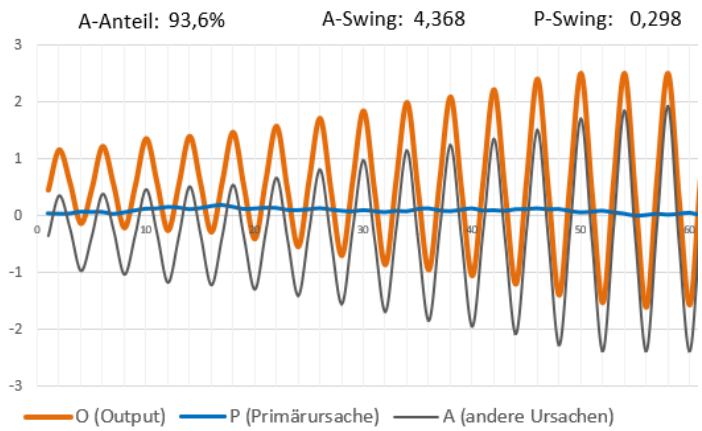


Bild 6.14

Bei einer **Gegen**kopplung schwingt der Output (***Oszillation***), wenn die Schleifenverstärkung <-1 wird.

Bei deutlich unter -1 eskaliert die Schwingung des Outputs bis zu einem Anschlag (sofern es den gibt).

Die Verzögerung der Rückkopplung bestimmt die Frequenz.

6.3.4.2 Moderate Rückkopplung

Das Klimasystem weist weder eine *Oszillation* noch eine *Eskalation* auf, der die Ausgangsgröße dauerhaft an einen Anschlag bringen würde.

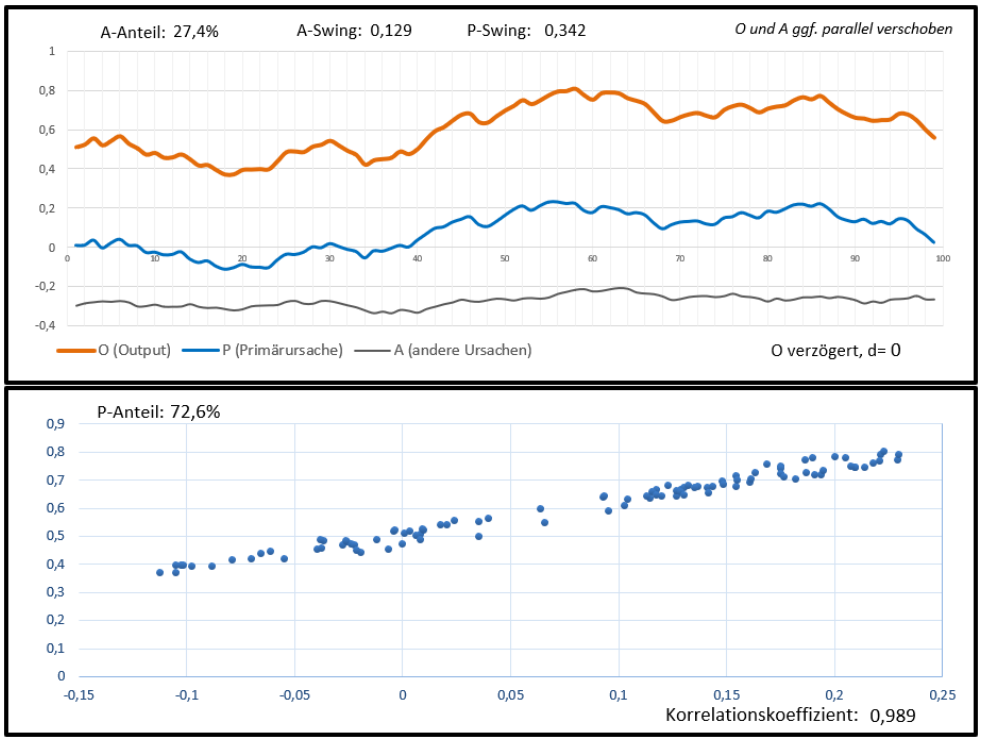


Bild 6.15

A wird hier zu je ½ aus einem Zufallswert und dem Output gebildet.

A hat an den Inputs nur einen Anteil von rund 1/4.
P dominiert also.

Der Output wird also zu rund ¾ aus dem *Primären Input* P verursacht. Dies ist der Grund, warum die Punktanordnung den linearen Zusammenhang gut zeigt.

Letztlich wirkt der Output-Anteil in A verstärkend (durch Mitkopplung) auf die Übertragungsfunktion. Nimmt man den zufälligen Anteil in A heraus wird die Streuung der Punkte um die Gerade noch geringer.

6.3.4.3 Verzögerte Rückkopplung

Viele Systeme in der Natur haben verzögerte Rückkopplungen. Die Wirkung der Verzögerung im Rückkopplungspfad soll hier geprüft werden.

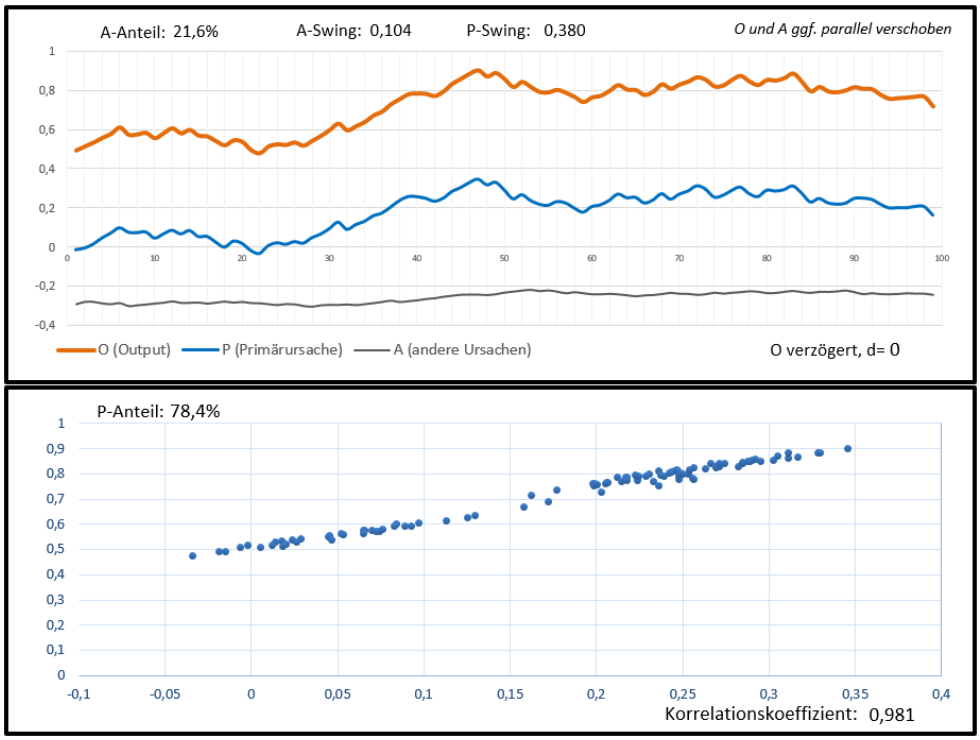


Bild 6.16

A wird hier aus 20% des Outputs gebildet, der mit 6 Samples verzögert als Input verwendet wird. Die Zufallskomponente in A ist abgeschaltet.

Die zufällige P-Funktion erzeugte einen Anteil von 21,6% von A an den Inputs.

Erkenntnis E6: Wenn P den Output dominiert und A wenig zum Output beiträgt, ist es für die Analyse egal, ob A aus Teilen von O gebildet wird oder nicht.

Die Streuung der Punkte um die Funktionslinie wächst mit

- einer höheren Zufallskomponente von A
- einem höheren Anteil von A an den Inputs
- mit einer höheren Verzögerung

Erkenntnis E7: Rückkopplungen mit oder ohne Verzögerungen, die zu einem eher kleinen Anteil der A-Funktion führt, lassen im Streudiagramm die Übertragungsfunktion von P nach O deutlich erkennen (geringe Punktstreuung).

6.4 Erkenntnisse zusammengefasst

Aus den gezeigten und analysierten Funktionsfällen können folgende Aussagen abgeleitet werden:

E1 Gibt es nur eine stark dominierende Ursache für den Output, so ist diese Funktion im Verlauf der Punktlinie im Streudiagramm zu erkennen.

E2 Eine dominierende Ursache-Wirkungsbeziehung kann trotzdem einen niedrigen Korrelationskoeffizienten haben. Oder:
Wenn die Funktion des Outputs nicht bekannt ist, hat der Korrelationskoeffizient keine große Aussagekraft über den Grad der Abhängigkeit von der Primärursache P.

E3 Ein hoher Korrelationskoeffizient ist kein Beweis für eine <u>lineare</u> Ursache-Wirkungsbeziehung.

E4 Gibt es einen höheren Anteil anderer Ursachen, bilden die Punkte im Streudiagramm keine erkennbare Linie.
Im Umkehrschluss:
Ohne erkennbare Linie im Streudiagramm hat die vermutete Primärursache keinen dominierenden Einfluss auf den Output.

E5 Für eine aussagekräftige Analyse des Streudiagramms ist erforderlich, dass die Änderung der Ursache in der Zeitdauer der Verzögerung (P→O) klein ist, gegenüber dem Signalhub der Ursache.

E6 Rückkopplungen mit oder ohne Verzögerungen, die zu einem eher kleinen Anteil der A-Funktion führt, lassen im Streudiagramm die Übertragungsfunktion O=*f(P)* deutlich erkennen (geringe Punktstreuung).

Zusammengefasst:

Eine dominierende Primärursache auf den Output liegt nur dann vor,

- wenn im Streudiagramm eine Funktionslinie deutlich erkennbar ist (E1, E2)
- und die Änderung der Primärursache, in der Zeitdauer der Verzögerung P→O eher gering ist (E5).