

Analyse und Vorhersage des Land-Ozean-Datensatzes der NASA

1. Einleitung

In diesem Projekt möchte ich den NASA-Datensatz zu globalen Temperaturabweichungen (Anomalien) analysieren. Dieser Datensatz listet die „Temperaturabweichungen von der mittleren Temperatur des Referenzzeitraums“ 1951-1980 im Zeitraum von 1881 bis 2024 auf. Diese werden in diesem Bericht auch als Anomalien bezeichnen. Dabei werde ich sowohl die langfristige Entwicklung der Temperaturen als auch saisonale Unterschiede analysieren. Außerdem sollen auch die Jahreszeiten untersucht werden. Abschließend erstelle ich eine Prognose bis 2050 mithilfe von polynomialer, sowie exponentieller Annäherung.

2. Datengrundlage

Der **Land-Ocean Global Mean Temperature Data** - Datensatz stammt von der Website <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/> und enthält folgende Spalten:

- **Year (von 1880-2025):** gibt das Jahr der Messung an
- **Monate (Jan, Feb,..., Dec):** die Anomalie bezogen auf die Durchschnittstemperatur über den jeweiligen Monat in den Jahren 1951-1980
- **J-D:** die Abweichung vom mittleren Jahresdurchschnitt in den Jahren 1951-1980
- **D-N:** Dezember-November-Durchschnitt
- **DJF:** Winter-Durchschnitt (Dezember, Jänner, Februar)
- **MAM:** Frühlings-Durchschnitt (März, April, Mai)
- **JJA:** Sommer-Durchschnitt (Juni, Juli, August)
- **SON:** Herbst-Durchschnitt (September, Oktober, November)

3. Datenaufbereitung

- Der Datensatz wurde ohne die Überschrift eingelesen
- Die erste Zeile (Jahr 1880) und die letzte Zeile (Jahr 2025) wurden wegen fehlender Einträge entfernt
- Die Indizierung wurde neu gesetzt.

4. Statistische Zusammenfassung:

	J-D	DJF	MAM	JJA	SON
Anzahl	144	144	144	144	144
Mittelwert	0.077014	0.071111	0.077569	0.064861	0.092014
Standardabweichung	0.0390291	0.416366	0.408631	0.377732	0.388178
Minimum	-0.49 (1909)	-0.67	-0.57	-0.49	-0.51
25%- Quartil	-0.2	-0.23	-0.2525	-0.22	-0.1825
50%- Quartil	-0.03	-0.025	-0.01	-0.04	-0.01
75%- Quartil	0.31	0.33	0.31	0.29	0.28
Maximum	1.28 (2024)	1.35	1.29	1.25	1.41

Die Tabelle beschreibt die statistische Zusammenfassung der Spalten J-D (Jahresdurchschnitt), sowie der Spalten DJF, MAM, JJA, SON (siehe Datengrundlage).

Der Mittelwert über alle Temperaturabweichungen in den Jahren 1881 bis 2024 betrug 0.077°C . Das bedeutet, dass die mittlere Temperatur über die Jahre 1881 bis 2024 um 0.077°C größer ist als die mittlere Temperatur in den Jahren 1951-1980.

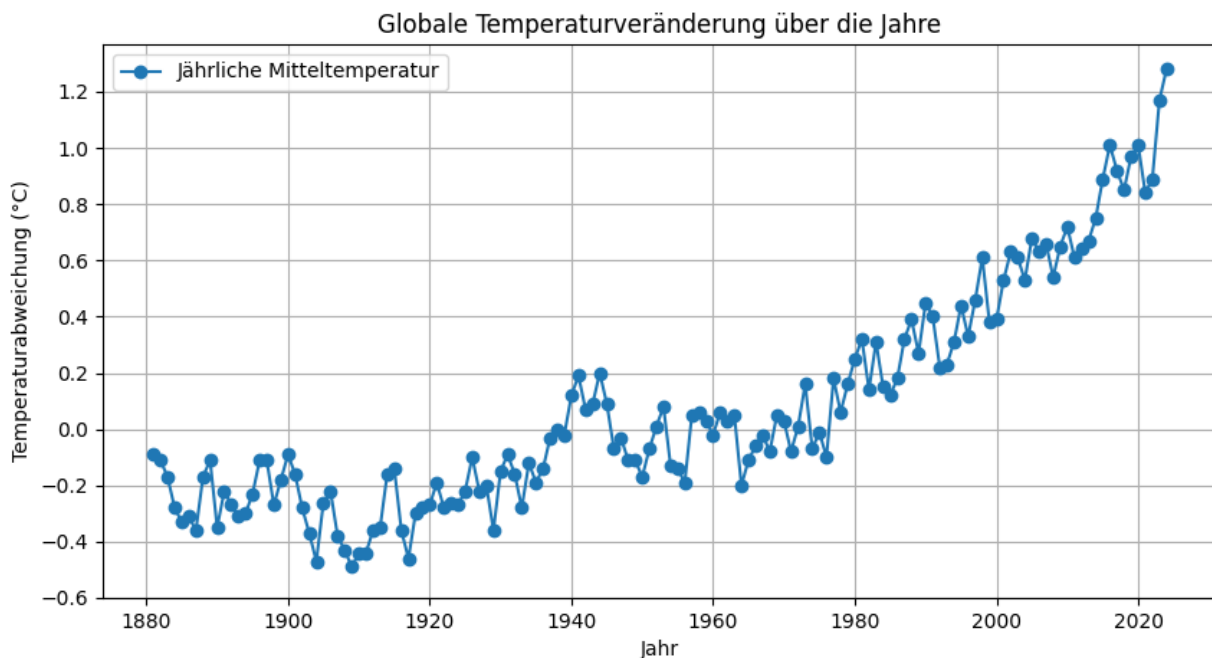
Bei Betrachtung der Jahreszeiten fällt auf, dass die gemittelte Anomalie im Herbst am größten war ($0.092^{\circ}\text{Celsius}$). Die stärksten Schwankungen bei der Temperatur gab es jedoch im Winter, die geringsten Schwankungen im Sommer.

Das kälteste Jahr war 1909 mit einer Anomalie -0.49°C , während das wärmste Jahr 2024 war mit einer Anomalie von 1.28°C .

Diese Daten geben bereits einen Einblick, wie sehr sich die Erdoberflächentemperatur seit 1880 erhöht hat. In der weiteren Analyse wird dieser Temperaturanstieg noch deutlicher sichtbar.

4. Explorative Datenanalyse

- **Globale Temperaturveränderung im Zeitraum 1880-2024**

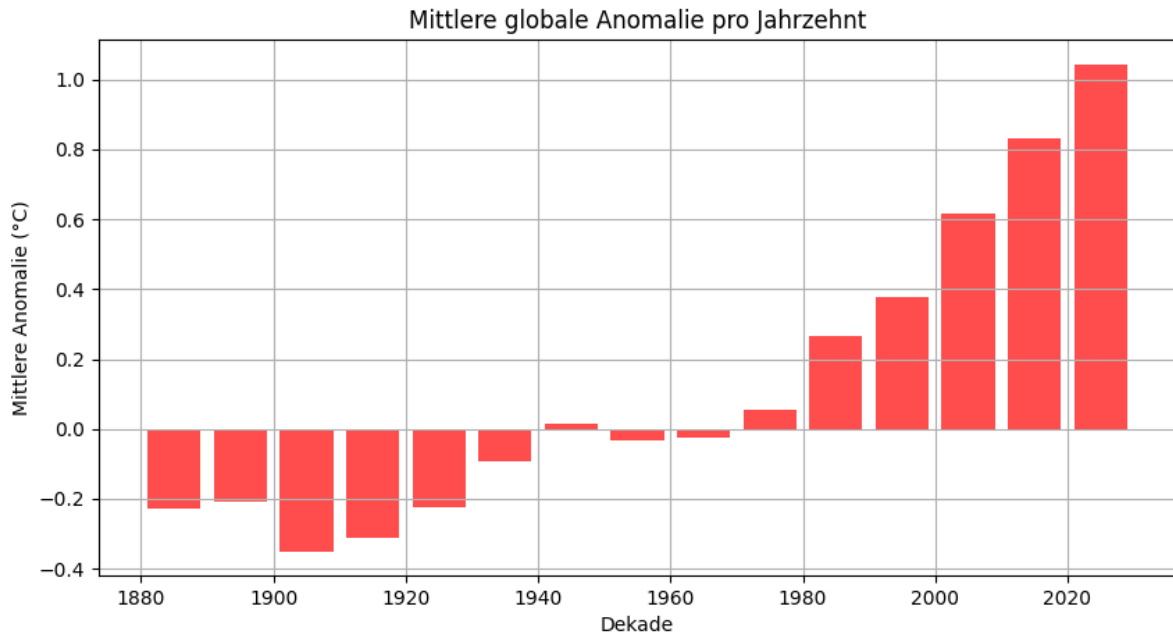


Die obere Grafik beschreibt die Entwicklung der Erdoberflächentemperatur von 1880 bis 2024. Die hier angegebene Temperatur ist die Temperaturabweichung (Anomalie) im jeweiligen Jahr von der mittleren Temperatur im Referenzzeitraum 1950-1980.

Im Zeitraum 1880 bis 1940 ist keine tendenzielle Steigung der Temperatur klar ersichtlich und die Anomalie verläuft in einem Bereich von -0.6° bis 0° Celsius. Danach erfolgte ein klar ersichtlicher Temperaturanstieg in den Jahren 1940-1945, der zweifellos auf den Zweiten Weltkrieg zurückzuführen ist. In den Folgejahren bis 1980 blieb die Temperaturabweichung mit einigen Schwankungen stets im Bereich von -0.2° bis 0.2° Celsius.

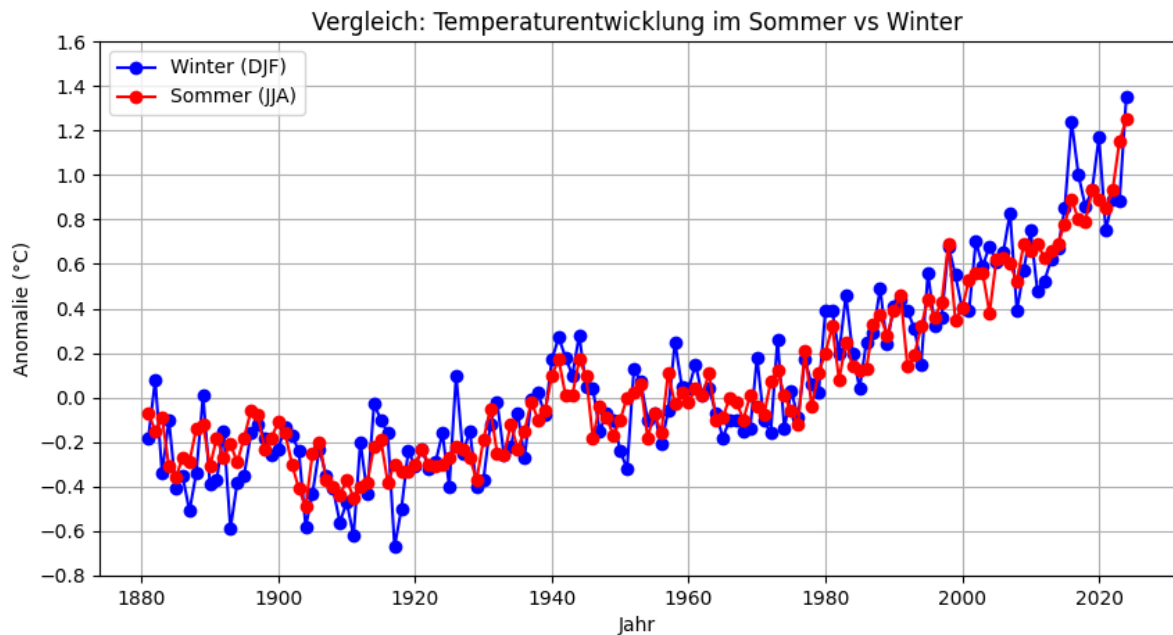
Erst seit den 80er Jahren ist ein tendenzieller Anstieg der Erdoberflächentemperatur klar zu erkennen. In den Jahren 2000 bis 2010 schien sich die Anomalie zunächst auf einen Wert von ca. 0.5° bis 0.7° Celsius zu stabilisieren. Danach folgte jedoch erneut ein rasanter Anstieg der Temperatur und 2016 wurde erstmals die 1° -Grenze überschritten. Zunächst stabilisierte sich die Erdoberflächentemperatur in einem Bereich von 0.8° bis knapp über 1° Celsius (auch bedingt durch die Coronakrise), ehe in den Jahren 2023 und 2024 ein erneuter beunruhigender Temperaturanstieg erfolgte (Ende der Pandemie). Zuletzt im Jahre 2024 betrug die Anomalie bereits 1.28° Celsius. Die weitere Entwicklung in den Folgejahren ist auch deswegen relativ unklar und wird von vielen Faktoren (z.B. Klimapolitik) abhängen.

- **Durchschnittliche Anomalie pro Jahrzehnt**



Die obere Grafik zeigt die Anomalie für jedes Jahrzehnt von 1880 bis 2024 an. Das kälteste Jahrzehnt war dabei der Zeitraum 1901-1910, danach stieg die durchschnittliche Temperatur in jedem Jahrzehnt bis 1950 um ca. 0.1° Grad an. 1950-1960 war dann das erste Jahrzehnt seit 1900-1910, das kühler als das vorige Jahrzehnt war und wie Grafik zeigt, sollte es auch das letzte bleiben. Von 1940 bis 1980 stieg die Temperatur nur unmerklich an, danach war jedes Jahrzehnt deutlich wärmer als das vorige. Seit 2000 war jedes Jahrzehnt sogar um mehr als 0.2° wärmer als das vorige. Auf den ersten Blick scheint die Erdoberflächentemperatur seit 1980 annähernd linear anzusteigen. Allerdings ist zu beachten, dass der letzte Balken nur die durchschnittliche Temperatur von 2021 bis 2024 anzeigt und dass die tatsächliche mittlere Temperatur im Jahrzehnt 2020-2030 (deutlich?) höher ausfallen wird. Daher ist auch eine annähernd lineare Entwicklung der Temperatur seit 1980 in Frage zu stellen.

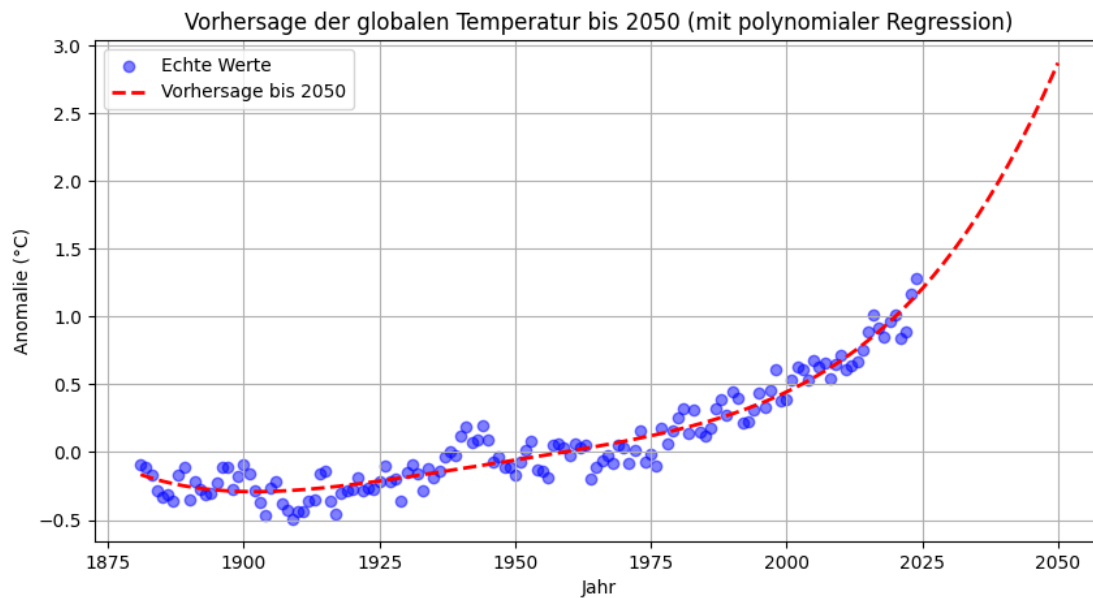
- **Vergleich der Temperaturentwicklungen im Sommer versus Winter**



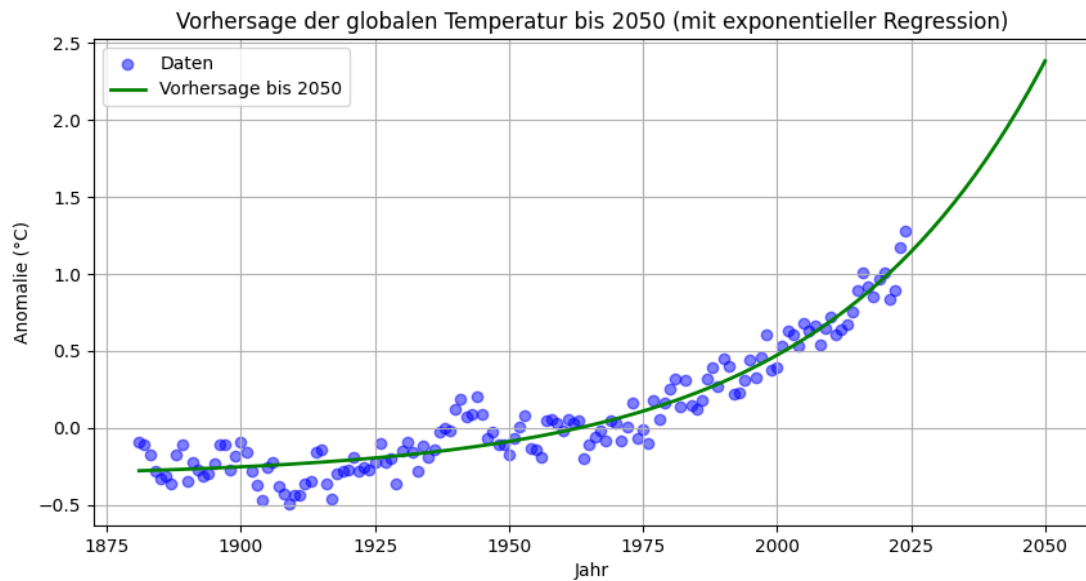
Vergleicht man die Temperaturentwicklung im Sommer und Winter, fällt auf, dass es im Zeitraum 1880- 1930 stärkere Schwankungen im Winter als im Sommer gab. Vor allem bis 1920 gab es in relativ regelmäßigen Abständen kalte Winter, die nach 1920 in dieser Form nie mehr auftraten. Im Zeitraum 1940 bis Mitte der 2010er Jahre gab es wenig Auffälligkeiten beim Sommer-Winter-Vergleich. In den letzten gab es jedoch vermehrt warme Winter und in den letzten beiden Jahren stiegen auch die Temperaturen im Sommer stark an (im Vergleich zu den Jahren davor).

5. Prognosen bis 2050

- **Prognosen basierend auf allen Daten (von 1880 – 2024)**



Die obere Grafik trifft eine Vorhersage mithilfe einer polynomialen Regression. Dabei wird ein Polynom vierten Grades gesucht, dass die Temperaturdaten von 1880 bis 2024 am besten annähert. Basierend auf dieser Vorhersage wird die Temperaturabweichung von ca. 1.3° C auf bis ca 2.8° C ansteigen. Das entspricht einem Temperaturanstieg der Erdoberfläche von ca. 1.5° C in 25 Jahren. Der MSE (Mean-Squared-Error) beträgt 0.0121 °C.

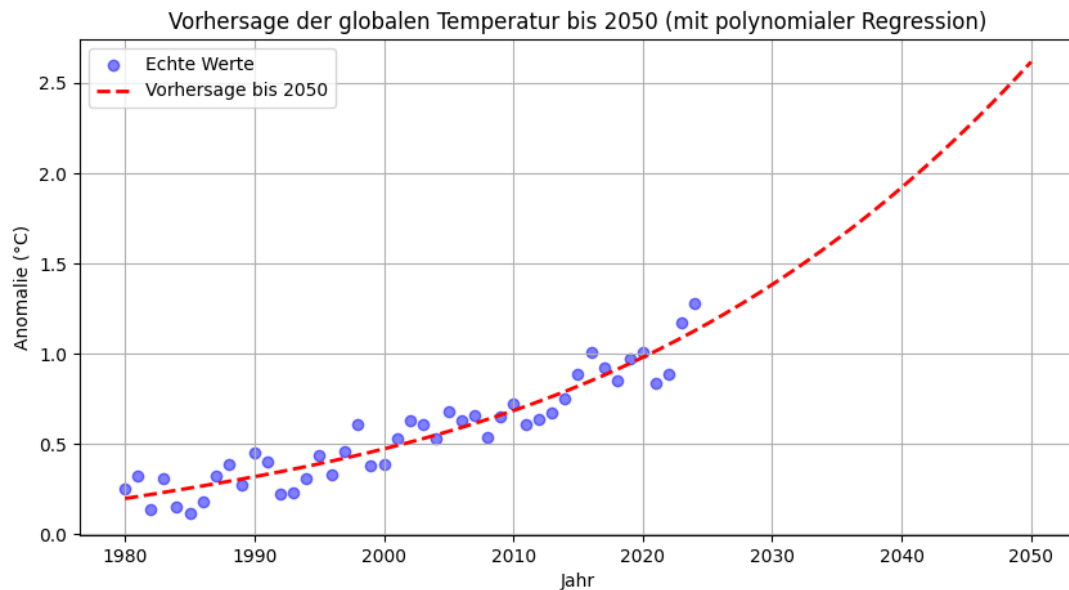


Mit exponentieller Regression steigt die Abweichung von 1.3° C auf nur ca. 2.4 ° Celsius, was einem Anstieg der Erdoberflächentemperatur von nur knapp über 1° Celsius entspricht. Allerdings weichen die Daten 2023 und 2024 bereits stärker ab als in der polynomialen Regression. Es ist allerdings noch unklar, ob es sich bei den letzten beiden Datenpunkten um Ausreißer nach oben handelt und in diesem Fall wäre dann die exponentielle Regression realistischer. Es spricht allerdings gegenwärtig wenig dafür, dass dies der Fall ist, weshalb die polynomiale Regression eine realistischere Prognose liefert.

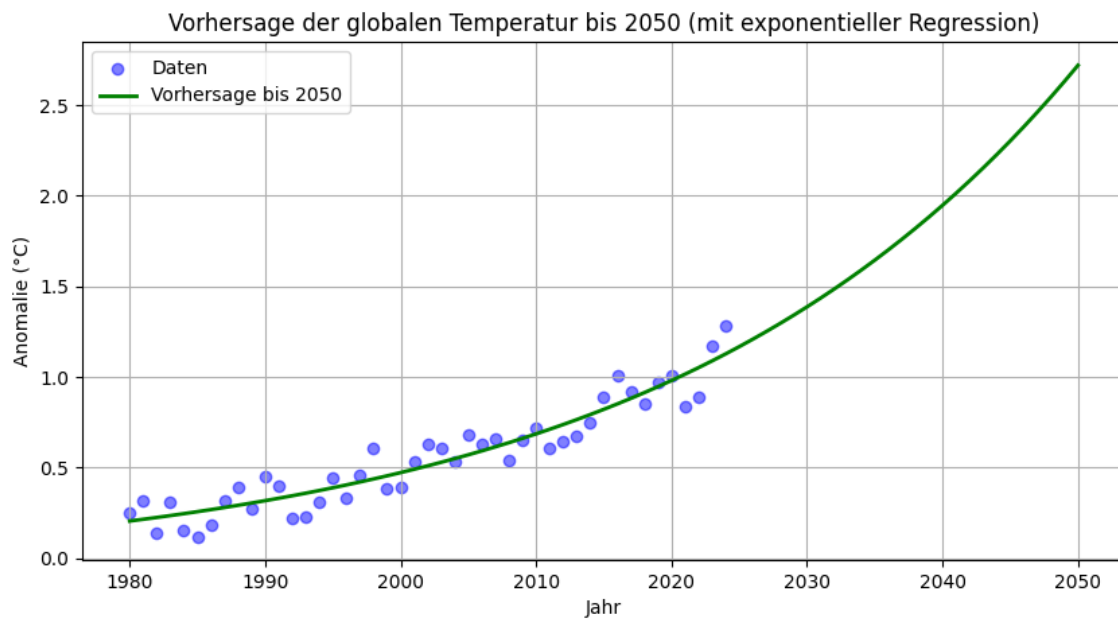
Der MSE bei der exponentiellen Regression beträgt 0.0131 °Celsius.

- **Prognosen basierend auf allen Daten (von 1980 – 2024)**

Die Analyse der Durchschnittstemperatur pro Jahrzehnt zeigte, dass ein deutlicher Temperaturanstieg erst ab den 1980er Jahren zu beobachten war. Da dieser Anstieg relativ gleichmäßig erfolgte, ist es sinnvoll, nur die Daten ab 1980 für eine Prognose zu betrachten.



Die obere Grafik zeigt die Temperaturentwicklung basierend auf den Daten ab 1980. Für die polynomiale Regression wurde hierbei ein Polynom dritten Grades verwendet (das Polynom 4ten Grades lieferte keine realistische Prognose). Der Anstieg der Temperatur basierend auf dieser Vorhersage beträgt ca. 1.3° C. Der MSE beträgt 0.0086 °C.



Diese Grafik beschreibt die Vorhersage bis 2050 mithilfe von exponentieller Regression basierend auf den Daten 1980 bis 2024. Die Anomalie steigt hier von 1.3°C auf 2.7°C , was einem Anstieg von ca. 1.4°C entspricht. Verglichen mit der exponentiellen Regression basierend auf allen Daten (ab 1880) ist hier ein um 0.3°C stärkerer Temperaturanstieg zu beobachten. Das bedeutet, dass die Daten ab 1980 eine stärkere Erderwärmung voraussagen als die Daten ab 1880. Da sich die Erdoberflächentemperatur insbesondere im Zeitraum 1940-1980 nur sehr geringfügig gestiegen ist, ist diese Vorhersage realistischer. Der MSE ist gleich wie bei der polynomialen Regression (für Daten ab 1980) ebenfalls 0.0086°C .

5. Fazit

Aus den Daten geht klar hervor, dass die Erdoberflächentemperatur seit 1880 auf 1.3° Celsius gestiegen ist. Von 1940 bis 1980 stieg die Temperatur nur geringfügig an, seit 1980 war jedes Jahrzehnt im Schnitt deutlich wärmer als das Jahrzehnt davor. Insbesondere in den letzten Jahren gab es sehr warme Winter und Sommer.

Die Prognosen basierend auf allen Daten sagen einen Temperaturanstieg von 1° bis 1.5° C bis zum Jahr 2050 voraus. Die Prognosen basierend auf den Daten ab 1980 dagegen sagen einen Temperaturanstieg von 1.3° bis 1.4° C voraus. Da die Daten erst ab 1980 kontinuierlich ansteigen, scheint die Prognose für die Daten ab 1980 realistischer. Allerdings ist zu beachten, dass eine allgemeine Vorhersage sich als schwierig erweist, vor allem, weil unklar ist, ob es sich bei den Jahresdurchschnittstemperaturen von 2023 und 2024 um Ausreißer nach oben handelt oder nicht. Es ist jedenfalls unrealistisch, dass die Temperaturen in den nächsten Jahren auf einen Wert von 2021, 2022 fallen werden, da in diesen Jahren die Pandemie für eine niedrigere Erdoberflächentemperatur hauptausschlaggebend war. Realistischer scheint es, dass sich die Temperaturen in den nächsten ähnlich tendenziell ansteigen werden, wie das vor der Pandemie der Fall war. Die Daten der nächsten Jahre werden eine Prognose definitiv erleichtern.

Quellen:

<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>