

# Jugend forscht - Schüler experimentieren

*Regionalwettbewerb Emden 2024*

*Fachbereich: Geo- und Raumwissenschaften*

## Untersuchungen zur langfristigen Temperaturentwicklung in Deutschland

*Eingereicht von:*

Lasse Schmaljohann  
Marlon Hokamp  
Eske Waschek

*Betreuer:*

Thomas Eberhardt  
Cäcilien- und Wilhelmshaven



# Inhalt

1.	Projektidee und Ziele des Projekts .....	2
2.	Fakten zum Klimawandel in Deutschland.....	2
3.	Unser Vorgehen.....	4
3.1.	Unsere Datenbasis.....	4
3.2.	Datenauswahl und Umgang mit fehlenden Datensätzen .....	5
3.3.	Datenauswertung mit EXCEL.....	5
3.4.	Ermittlung der Höhe aus dem Luftdruck.....	5
4.	Datenauswertung .....	6
4.1.	Temperaturen in unterschiedlichen Höhen .....	6
4.2.	Temperaturabnahme in Abhängigkeit von der Höhe .....	8
4.3.	Langfristiger Temperaturtrend über Deutschland .....	10
4.4.	Unsere Untersuchungen zum Abflugort Emden .....	14
5.	Fazit und Ausblick .....	16
6.	Hilfsmittel und Quellen.....	17

## 1. Projektidee und Ziele des Projekts

Seit 2022 sind wir Mitglied im Team „Stratofische“, das einen Wetterballon in die Stratosphäre fliegen lässt, um während des Fluges Umweltdaten zu messen. Nähere Infos zu unseren Forschungsergebnissen der letzten Jahre können auf unserer Homepage <https://stratofische.jimdofree.com> nachgelesen werden. Während unserer letzten Mission untersuchten wir u.a. wie die Temperaturabnahme bei zunehmender Höhe erfolgt. Die Ergebnisse waren für uns durchaus überraschend und sind in unserer letzten Jufo-Arbeit zum Thema „Temperatur- und Luftdruckverlauf beim Flug in die Stratosphäre“ veröffentlicht worden.

Um die Qualität unserer Messerergebnisse einzuschätzen, verglichen wir sie mit den Daten professioneller Wetterballonflüge. Dabei stießen wir auf eine Datenbank des Deutschen Wetterdienstes, wo wir zu verschiedenen Orten Deutschlands auch Langzeitstatistiken ab 1954 einsehen konnten.

In unserer letzten Jufo-Arbeit verwendeten wir die Statistiken des Ortes Schleswig, um unsere Forschungsfrage zur Temperaturentwicklung bei zunehmender Höhe zu beantworten. Nach dem letzten Wettbewerb verglichen wir zunächst die Daten von Schleswig mit den Daten von neun weiteren Stationen. Wir wollten wissen, ob unsere Erkenntnisse auch an den anderen Orten erkennbar sind und wie groß mögliche Abweichungen werden.

Dabei kamen wir schnell auf die Idee, auch die langfristige Temperaturentwicklung an diesen Orten zu untersuchen. Es wird viel über die Klimaerwärmung berichtet. Wir hatten nun die Möglichkeit, selbst konkrete Untersuchungen zur tatsächlichen Temperaturentwicklung an einigen Orten in Deutschland vorzunehmen. Durch die Radiosonden-Messungen der Wetterballone untersuchten wir auch die Temperaturentwicklung in unterschiedlichen Höhen.

In unserem Forschungsprojekt wollen wir u.a. folgende Fragen beantworten:

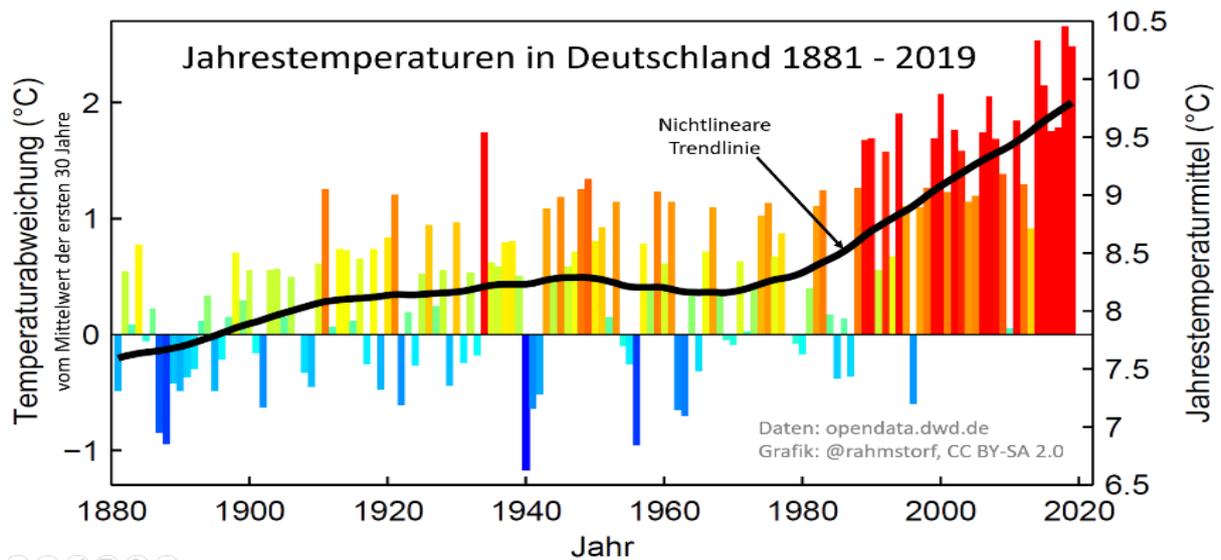
- Verläuft die Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe an allen Startorten des Deutschen Wetterdienstes gleich?
- Wie verläuft die langfristige Temperaturentwicklung in verschiedenen Höhen und an verschiedenen Orten?
- Gibt es jahreszeitliche Unterschiede bei der langfristigen Temperaturentwicklung?

## 2. Fakten zum Klimawandel in Deutschland

Seit mehr als hundert Jahren steigt die Temperatur der Erde rasanter an als zuvor. In den letzten 50 Jahren hat sich dies besonders stark ausgeprägt. Dies liegt an vielen neuen CO<sub>2</sub>-Produzenten, die in den letzten 50 Jahren dazu kamen. Beispiele dafür sind neue Fabriken, mehr Autos und der gestiegene Flugverkehr.

Die Fakten zur globalen Erwärmung werden in vielen Quellen dargestellt, bleiben in der Regel aber sehr allgemein und häufig fehlen Hinweise, wie die Daten ermittelt wurden, so dass sie meist nicht vollständig nachvollziehbar sind.

Eine der besseren Darstellungen der Temperaturabweichung der letzten 138 Jahre in Deutschland ist in der folgenden Grafik zu finden:



Man sieht, dass die Temperaturabweichung (linke Y-Achse) seit 40 Jahren stark steigt, davor war Temperaturabweichung von ca. 1910 bis 1970 relativ konstant. Es gibt zwar vereinzelt kältere Jahre, aber der Trend ist eindeutig und scheint sich in den letzten Jahren zu verstärken.

Durch den globalen Temperaturanstieg schmelzen die Polarkappen und die Gletscher, dadurch steigt der Meeresspiegel und es kommt zu Überflutungen. Daher wird es dazu kommen, dass einige Regionen der Erde im Meer versinken werden. Der Klimawandel hat aber auch noch andere Folgen, zum Beispiel dass es an einigen Orten oder in einigen Länder zu heiß wird, so dass wir Menschen dort nur noch schlecht leben können. Außerdem werden durch den Temperaturanstieg viele Pflanzen und Tierarten aussterben. Die verschiedenen Klimazonen wie Wüste, Dschungel, Mischwald, Nadelwald, Tundra und Eiswüste werden sich vom Äquator weg verschieben, wobei die Wüste wächst, und die Eiswüste schwindet.

Viele Länder, die heute unter dem Klimawandel leiden, haben gar nicht so viel CO<sub>2</sub> produziert wie zum Beispiel Deutschland. Deutschland gehört mit zu den bedeutendsten Verursachern der Klimakrise, doch erst seit einigen Jahrzehnten leidet auch Deutschland unter dem Klimawandel. Der Klimawandel ist mitten in Europa angekommen, mit immer sichtbarer werden Folgen für unsere Ökosysteme, für die Menschen und die Wirtschaft. Abschließend ein paar Argumente, warum wir endlich ausreichende Maßnahmen ergreifen sollten, um den Temperaturanstieg zu verringern.

Folgende schwerwiegende Folgen würden uns zwangsläufig treffen:

- Polarkappen und Gletscher schmelzen, dadurch steigt der Meeresspiegel, so dass Inseln und einige Regionen, wie z.B. Teile der Niederlande, im Meer verschwinden werden
- es kommt zu Überflutungen, da zu viel Wasser von den Gletschern in die Flüsse fließt
- in fünfzig Jahren wird es durch den Anstieg der Temperatur zu heiß sein, um in einigen Teilen Afrikas zu leben
- durch die Hitze-Perioden sterben viele Tier- und Pflanzenarten aus

In unserer Arbeit wollen wir nun die konkrete Temperaturentwicklung an verschiedenen Orten Deutschlands in unterschiedlichen Höhen durch Auswertung von Wetterballon-Flügen des DWD untersuchen.

### 3. Unser Vorgehen

#### 3.1. Unsere Datenbasis

Wir haben die Temperaturentwicklung zwischen 1960-2014 des DWD an verschiedenen Orten, für verschiedene Höhen ausgewertet. In der Datenbank des DWD werden Monatsmittelwerte von Radiosonden Daten verschiedener Stationen zur Verfügung gestellt:

[opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/observations\\_germany/radiosondes/monthly/air\\_temperature/homogenized/project\\_PAST/readme\\_adjusted.txt](http://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/radiosondes/monthly/air_temperature/homogenized/project_PAST/readme_adjusted.txt)

Name	WMO code	Longitude	Latitude	Altitude
Schleswig	10035	9.55	54.33	48m
Greifswald	10184	13.4	54.1	6m
Emden	10200	7.23	53.39	8m
Hannover	10338	9.7	52.27	55m
Lindenberg	10393	14.12	52.22	110m
Essen	10410	6.97	51.4	153m
Dresden	10486	13.68	51.12	232m
Meiningen	10548	10.38	50.57	453m
Idar/Oberstein	10618	7.33	49.7	376m
Stuttgart	10739	9.2	48.83	315m
Munich	10868	11.55	48.25	489m
Hohenpeissenberg	10962	11.02	47.8	986m

Es stehen also Daten aus Orten verschiedener Regionen Deutschlands zur Verfügung. Die Starthöhen sind unterschiedlich, wie in der letzten Spalte zu sehen ist.

Zu den zur Verfügung gestellten Textdateien wurde folgende Beschreibung veröffentlicht:

Data is presented in K units. Missing values are indicated with 1.0e+20.  
The data is provided at 11 mandatory pressure levels:  
850hPa, 700hPa, 500hPa, 400hPa, 300hPa, 250hPa, 200hPa, 150hPa, 100hPa, 70hPa, and 50hPa. ASCII formatting:

```
1 - 5 Station's WMO code      7 - 10 Year      14 - 15 Month
18 - 29 Temperature at 850hPa pressure level
32 - 43 Temperature at 700hPa pressure level
46 - 57 Temperature at 500hPa pressure level
60 - 71 Temperature at 400hPa pressure level
74 - 85 Temperature at 300hPa pressure level
88 - 99 Temperature at 250hPa pressure level
102 -113 Temperature at 200hPa pressure level
116 -127 Temperature at 150hPa pressure level
130 -141 Temperature at 100hPa pressure level
144 -155 Temperature at 70hPa pressure level
158 -169 Temperature at 50hPa pressure level
```

Die Daten wurden der folgenden Quelle entnommen:

[opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/observations\\_germany/radiosondes/monthly/air\\_temperature/homogenized/project\\_PAST/readme\\_adjusted.txt](http://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/radiosondes/monthly/air_temperature/homogenized/project_PAST/readme_adjusted.txt)

Hier ein Auszug aus der Quelldatei mit den Stationsdaten aus Emden:

[opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/observations\\_germany/radiosondes/monthly/air\\_temperature/homogenized/project\\_PAST/adjusted\\_Germany\\_RS\\_Temp\\_K\\_station\\_10200\\_20141213\\_DN\\_avg\\_mean3\\_yr\\_mn.txt](http://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/radiosondes/monthly/air_temperature/homogenized/project_PAST/adjusted_Germany_RS_Temp_K_station_10200_20141213_DN_avg_mean3_yr_mn.txt)

```
10200 1955 1 2.71037e+002 2.62903e+002 2.46239e+002 2.34918e+002 2.20944e+002 2.15036e+002 2.14965e+002 2.15963e+002 2.13777e+002 1.00000e+020 1.00000e+020
10200 1955 2 2.66414e+002 2.57236e+002 2.40068e+002 2.29321e+002 2.20063e+002 2.20430e+002 2.22081e+002 2.21491e+002 2.18511e+002 2.16321e+002 1.00000e+020
10200 1955 3 2.68073e+002 2.60534e+002 2.44027e+002 2.33321e+002 2.21992e+002 2.17418e+002 2.15838e+002 2.17472e+002 2.16737e+002 2.15500e+002 1.00000e+020
10200 1955 4 2.72473e+002 2.64950e+002 2.48788e+002 2.36825e+002 2.21871e+002 2.15749e+002 2.16153e+002 2.18883e+002 2.17383e+002 2.17336e+002 1.00000e+020
10200 1955 5 2.73561e+002 2.64663e+002 2.48494e+002 2.36571e+002 2.23616e+002 2.20818e+002 2.22787e+002 2.22210e+002 2.20585e+002 2.21283e+002 1.00000e+020
10200 1955 6 2.78723e+002 2.70743e+002 2.55487e+002 2.43903e+002 2.28573e+002 2.20440e+002 2.18273e+002 2.20638e+002 2.20235e+002 2.21660e+002 1.00000e+020
10200 1955 7 2.83605e+002 2.75208e+002 2.59432e+002 2.47527e+002 2.31900e+002 2.23274e+002 2.18281e+002 2.20055e+002 2.19743e+002 2.20286e+002 1.00000e+020
10200 1955 8 2.82687e+002 2.74111e+002 2.58205e+002 2.46102e+002 2.30516e+002 2.22345e+002 2.19621e+002 2.20486e+002 2.20562e+002 2.21367e+002 1.00000e+020
10200 1955 9 2.80028e+002 2.72100e+002 2.56540e+002 2.44952e+002 2.29828e+002 2.22735e+002 2.18553e+002 2.17285e+002 2.17062e+002 2.18262e+002 1.00000e+020
```

Man erkennt, die Messwerte aus dem Jahr 1955 in Kelvin, wobei in der letzten Spalte zum Luftdruck 50hPa der Wert für fehlende Daten steht.

### 3.2. Datenauswahl und Umgang mit fehlenden Datensätzen

Da viele Stationen nicht in 1954 mit der Datenerfassung begonnen hatten, untersuchten wir die Temperaturentwicklung ab 1960. Einige Stationen setzten noch etwas später ein. Einige Stationen beendeten ihre Datenerfassung bereits 2000 (z.B. Dresden). Aus den im Kapitel 3.1. beschriebenen Wetterstationen wählten wir uns alle Orte aus, die mehr als 40 Jahre Messungen ausgewertet hatten. Das waren mit einer vollständigen Statistik zwischen 1960 und 2014 die Orte **Schleswig, Stuttgart** und **München**. Ab 1961 setzten **Greifswald** und **Lindenberg** ein. Etwas später setzten Hohen **Peißenberg** (1966), **Meiningen** (1969) und **Essen** (1974) ein. Als neunten Ort untersuchten wir noch aus regionalen Gründen **Emden**, deren Messwerte allerdings eine Pause von 6 Jahren aufwies (1974-1979). Hier wurden fehlende Datensätze mit Durchschnittswerten der umliegenden Jahre ersetzt.

### 3.3. Datenauswertung mit EXCEL

Wir luden die Textdateien herunter und verteilten die Datensätze auf Spalten in EXCEL. Anschließend wandelten wir die Messwerte in °C um ( $1K = -273,15^{\circ}C$ ) und sortierten die Datensätze für die weitere Auswertung nach Monaten. In einigen Monaten fehlten jeweils Messungen, besonders in 20 km Höhe traten die fehlenden Datensätze häufiger aus. Diese Werte ersetzten wir durch die Mittelwerte der Messungen vor bzw. nach der Lücke. Danach stellten wir alle Daten zu jeder Höhe und zu jedem Monat grafisch dar. Mit Hilfe der Trendlinie einer linearen Regression, bestimmten wir die durchschnittliche Temperaturentwicklung. Aus der von EXCEL ermittelten Funktionsgleichung lasen wir den Anstieg ab. Dieser gibt uns die durchschnittliche Temperaturveränderung pro Jahr an. Wir sammelten diese Anstiege in Tabellen. Durch die Kopierfunktion vermieden wir Abschreibfehler. In einer Sammeldatei führten wir die Auswertungen aller untersuchten Standorte zusammen, stellten die Zusammenhänge grafisch dar, um zusammenfassende Erkenntnisse, Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu entdecken.

### 3.4. Ermittlung der Höhe aus dem Luftdruck

Für unsere diesjährige Untersuchung ist diese Umwandlung nicht so bedeutend. Wir könnten unsere langfristige Temperaturentwicklung auch auf die angegebenen Druckwerte von 850 hPa (erdnah) bis 50 hPa (Stratosphäre) beziehen. Für die Temperaturabnahme in Abhängigkeit von der Höhe benötigten wir aber zu den gemessenen Druckwerten die zugehörige Höhe. Dazu verwendeten wir Umrechnungsformeln und konkrete Daten von Ballonflügen, wo beide Größen zusammen gemessen wurden. Das Vorgehen haben wir bereits in unserer letzten Jufo-Arbeit beschrieben und wollen an dieser Stelle lediglich die von uns über Durchschnittsbildungen ermittelten Daten noch einmal darstellen. Die Höhe zu einem gemessenen Druck hängt natürlich wesentlich von der Wetterlage, bzw. dem Luftdruck auf Meereshöhe ab. Die im folgenden verwendeten Höhen (orange Zuordnungswerte) sind also entsprechend sinnvoll gerundete Durchschnittswerte.

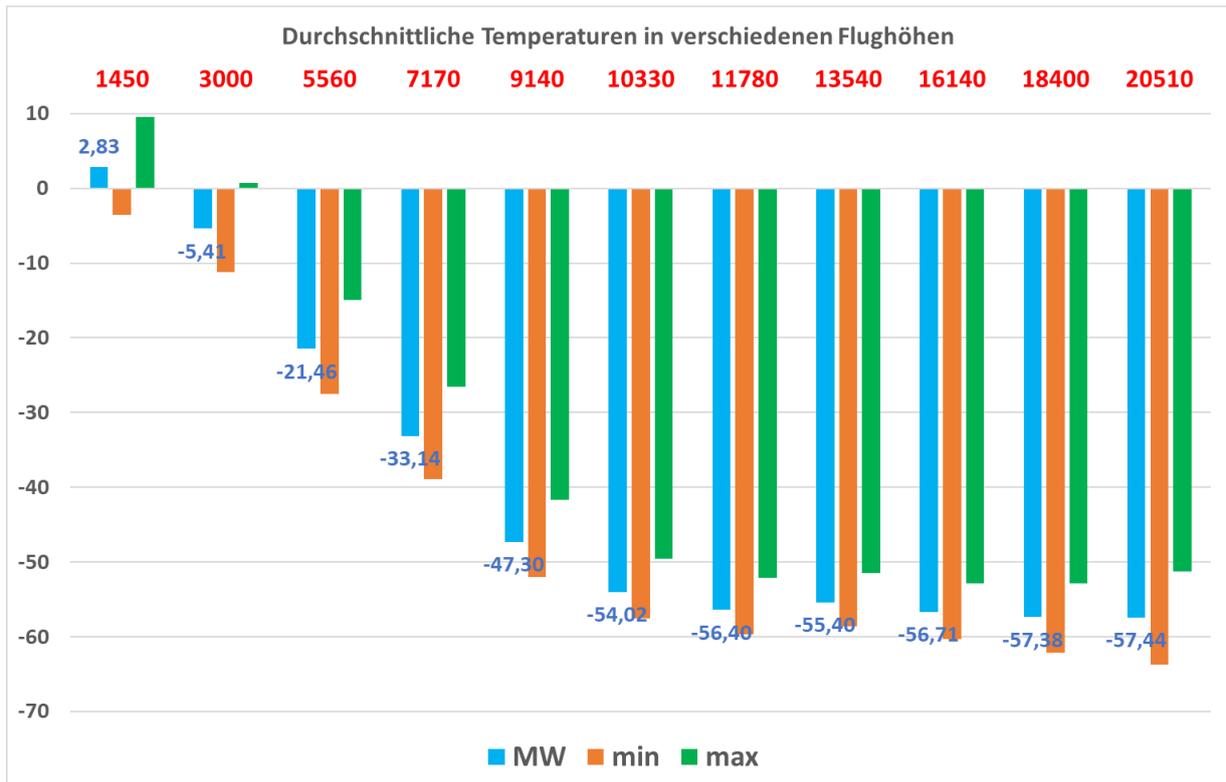
Druck in hPa	850	700	500	400	300	250	200	150	100	70	50
MW Stationen	1447	2992	5549	7155	9115	10299	11789	13559	16143	18398	20508
Int. Höhenformel	1458	3013	5575	7187	9165	10364	11777	13511	15799	17672	19325
Durchschnitt	1453	3003	5562	7171	9140	10332	11783	13535	16143	18398	20508
<b>Höhe in m</b>	<b>1450</b>	<b>3000</b>	<b>5560</b>	<b>7170</b>	<b>9140</b>	<b>10330</b>	<b>11780</b>	<b>13540</b>	<b>16140</b>	<b>18400</b>	<b>20510</b>

Ab 15 km Höhe liefert die Internationale Höhenformel keine genauen Berechnungswerte, daher verwendeten wir dort nur noch die Daten aus Wetterballonflügen, die gleichzeitig Druck und Höhe gemessen haben.

## 4. Datenauswertung

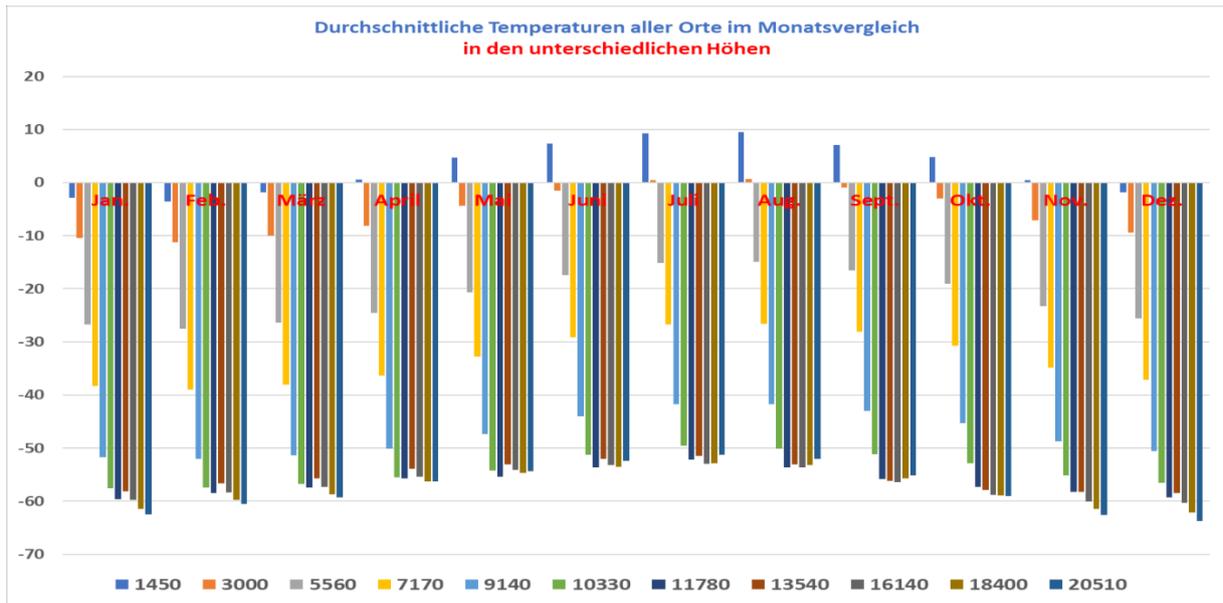
### 4.1. Temperaturen in unterschiedlichen Höhen

Zunächst wollen wir auf die durchschnittlichen Temperaturen in unterschiedlichen Höhen eingehen. Anhand der Messflüge in die Stratosphäre konnten wir den Temperaturverlauf nur bis knapp 10 km gut aufzeichnen, da unsere Temperatur-Sensoren nur bis  $-40^{\circ}\text{C}$  Daten aufzeichnen. In der folgenden Grafik haben wir die Jahresdurchschnittstemperaturen in verschiedenen Höhen dargestellt. Zwischen 10 und 20 km Höhe liegen diese zwischen  $-50^{\circ}\text{C}$  und  $-60^{\circ}\text{C}$ . In unserer aktuellen Mission (Starttag 9.1.24) haben wir neue Sensoren getestet, die wir in der kommenden Woche genauer untersuchen.



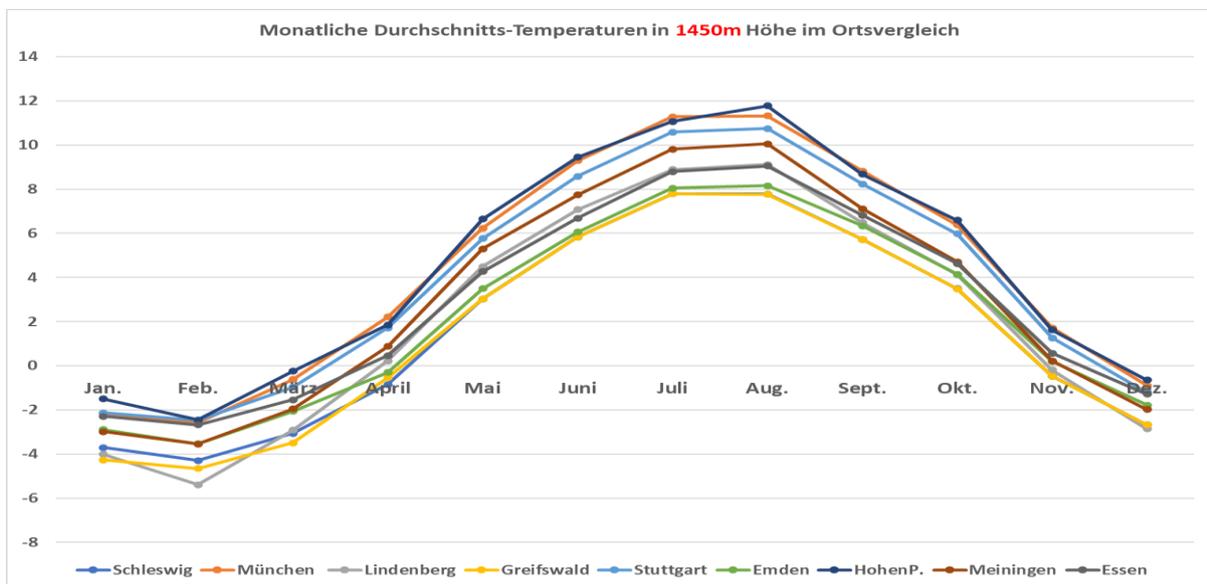
In dieser Grafik sind zusätzlich zu den Mittelwerten noch die Schwankungen zwischen den minimalen und den maximalen Jahrestemperaturdurchschnitten dargestellt. In der erdnächsten Flughöhe (ca. 1450 m) war der wärmste Jahresdurchschnitt fast  $10^{\circ}\text{C}$ , während die kälteste Durchschnittstemperatur unter dem Gefrierpunkt lag. Die Werte ergeben sich als Durchschnitt aller 9 Beobachtungsorte aus den Jahren 1960-2014. Im Durchschnitt lagen die Temperaturen in dieser Höhe bei  $2,83^{\circ}\text{C}$ . In 3000 m Höhe sank diese Durchschnittstemperatur bereits unter  $-5^{\circ}\text{C}$ . Man erkennt, dass diese Temperaturen bis in 10 km Höhe auf unter  $-50^{\circ}\text{C}$  absinken und sich dann nicht mehr stark ändern. Zwischen 11 und 15 km steigen die Werte sogar leicht an.

Interessant sind auch die Werte im Monatsvergleich. Diesen Vergleich haben wir für alle Höhen im folgenden Diagramm dargestellt. Auch hier handelt es sich um die Durchschnittstemperaturen von 1960-2014 aller neun Beobachtungsorte. In den Wintermonaten fallen die durchschnittlichen Monatstemperaturen in der Stratosphäre unter  $-60^{\circ}\text{C}$



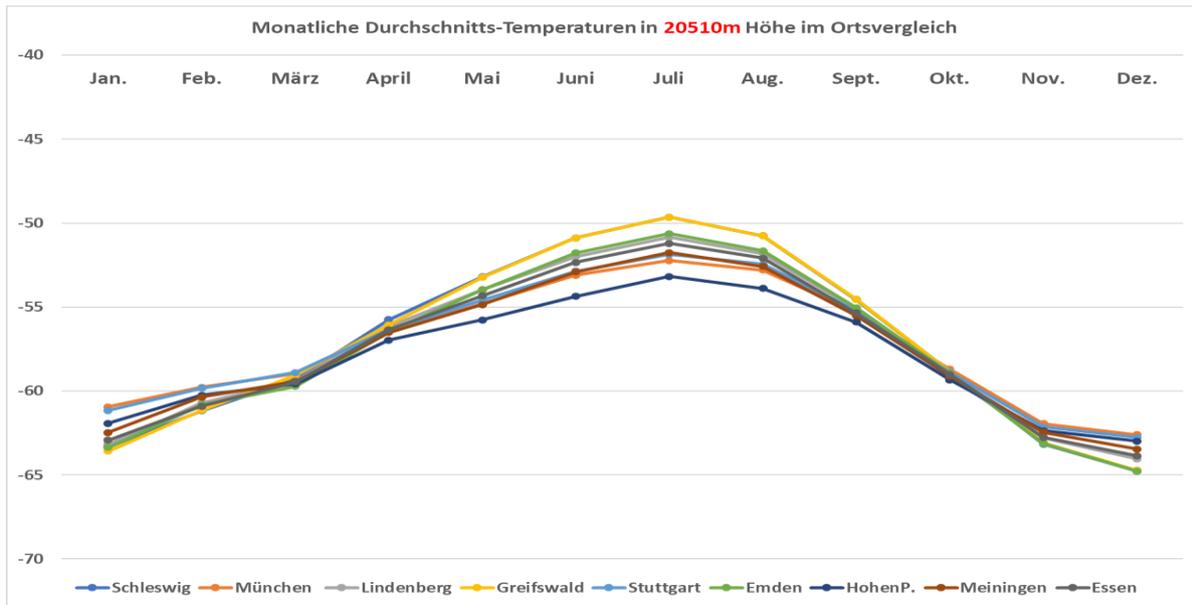
Die Temperaturen zwischen 10 und 20 km Flughöhe ähneln sich sehr stark.

Während in den erdnahen Höhen (blau und orange) der Effekt der Jahreszeiten erwartungsgemäß erkennbar ist, können wir den jahreszeitlichen Temperaturverlauf auch in der Stratosphäre noch gut erkennen. Der grundlegende Verlauf der Jahreszeiten ist trotz der Temperaturunterschiede in den einzelnen Startorten in allen Höhen und bei allen Startorten gut sichtbar. Im folgenden Diagramm haben wir den Temperaturverlauf für die erdnahe Höhe 1450 m und der größten Flughöhe 20510 m dargestellt.



Man erkennt, dass die Durchschnittstemperaturen bei einem Luftdruck von 850 hPa bei den nördlichen Startorten (Greifswald, Emden) am geringsten und bei den südlichen Standorten (Stuttgart, München, Hohen Peißenberg) am höchsten sind.

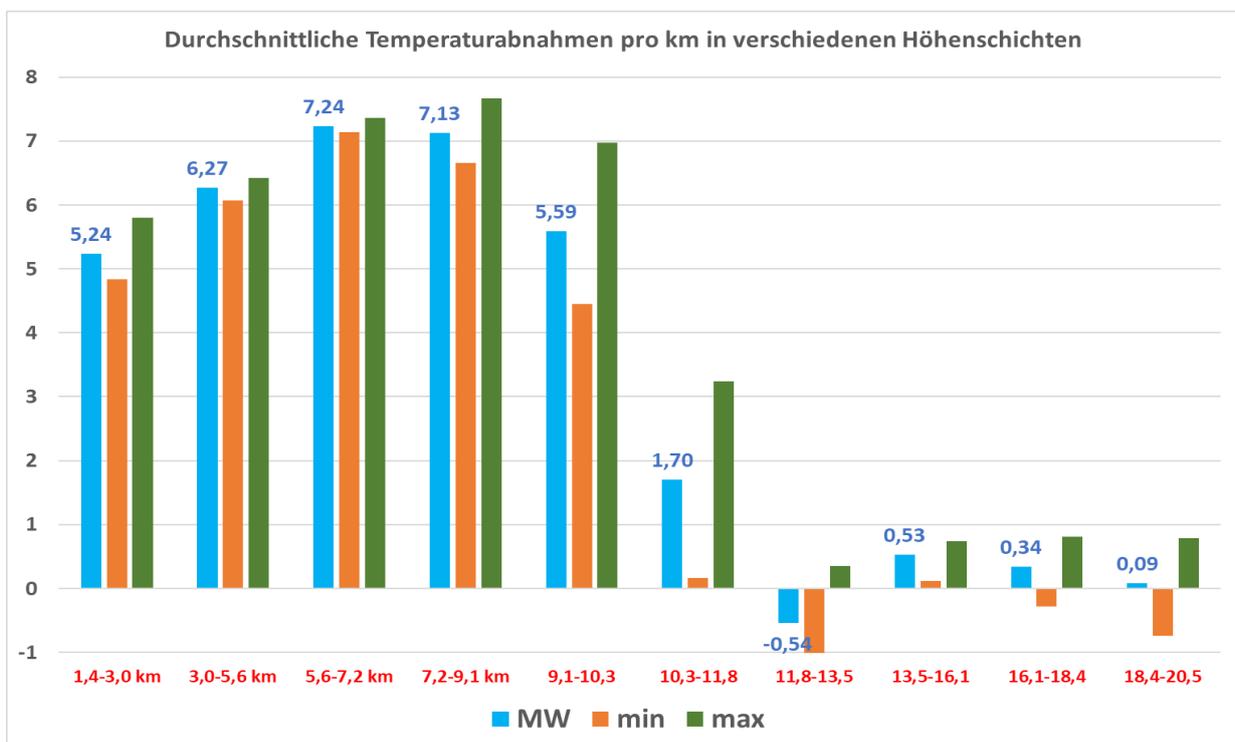
Bei einem Luftdruck von 50 hPa (etwas über 20 km Flughöhe) sind die Jahreszeiten deutlich zu erkennen.



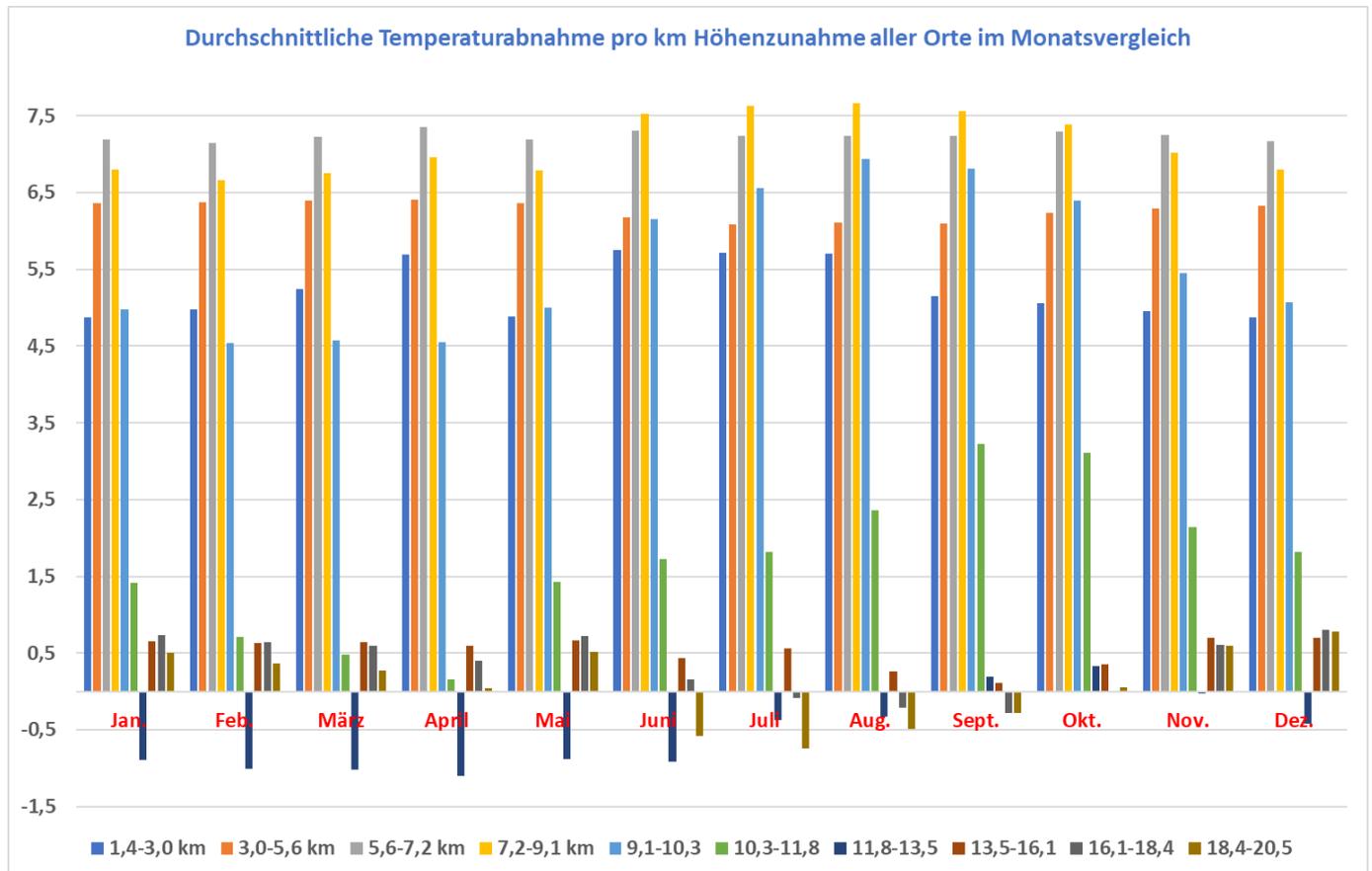
Auffallend ist hierbei, dass die nördlichen Startorte in den Wintermonaten für die tiefsten Durchschnittstemperaturen sorgen, während im Sommer dort die höchsten Temperaturen in der Stratosphäre herrschen. Im Juli blieb es in Greifswald im Durchschnitt sogar „wärmer“ als -50°C.

#### 4.2. Temperaturabnahme in Abhängigkeit von der Höhe

In diesem Abschnitt gehen wir kurz auf die durchschnittlichen Temperaturveränderungen pro Kilometer Höhenzunahme in verschiedenen Schichten der Atmosphäre ein. Wir hatten schon letztes Jahr bei unseren Untersuchungen festgestellt, dass die uns im Erdkunde-Unterricht vermittelte Angabe mit etwa 6,2 Grad Temperaturabnahme pro km kaum Gültigkeit hat. Die Temperaturabnahme ist sehr wetterabhängig und höhenabhängig, wie wir auch immer an den Messwerten unserer eigenen Ballonflüge festgestellt haben.



Selbst die Jahreszeit hat einen nicht unwesentlichen Einfluss. In einigen Abschnitten der unteren Stratosphäre gibt es zeitweise sogar leichte Temperaturzunahmen, im folgenden Diagramm mit entsprechend negativen Werten gekennzeichnet. Das folgende Diagramm stellt unser Gesamtergebnis als Durchschnitt aller Messungen aller 9 untersuchten Ort dar:

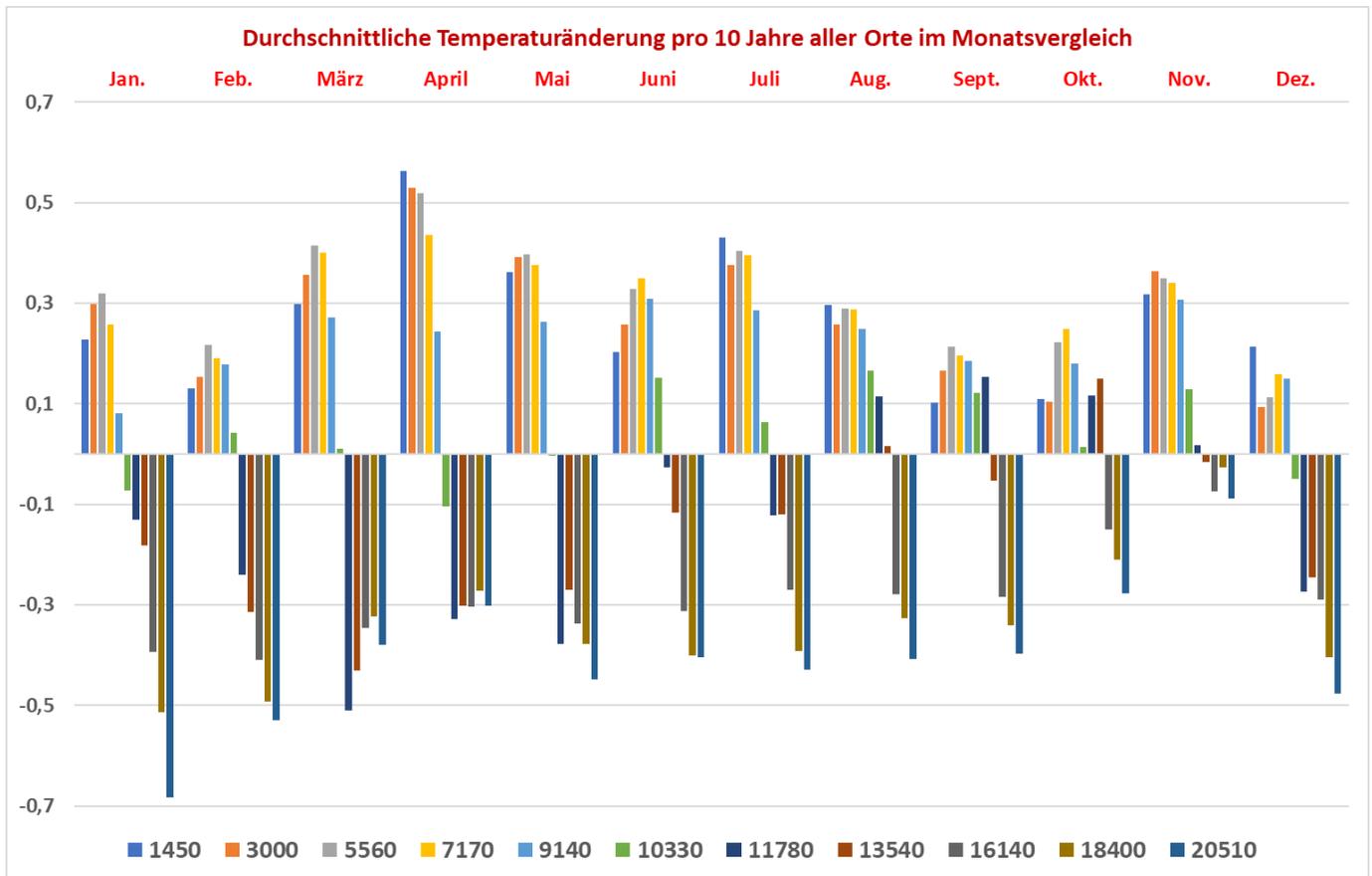


Die 6,2 Grad pro km treffen am ehesten im Bereich zwischen 3 und 6 km Höhe zu. Bis 3 km Höhe liegt die Temperaturabnahme monatsabhängig um die 5 Grad pro km bzw. 0,5 Grad pro 100 m Höhenzunahme. Auffallend der Bereich zwischen 11 und 14 km Flughöhe, hier gibt es mit Ausnahme der Herbstmonate eine Temperaturzunahme beim Aufsteigen.

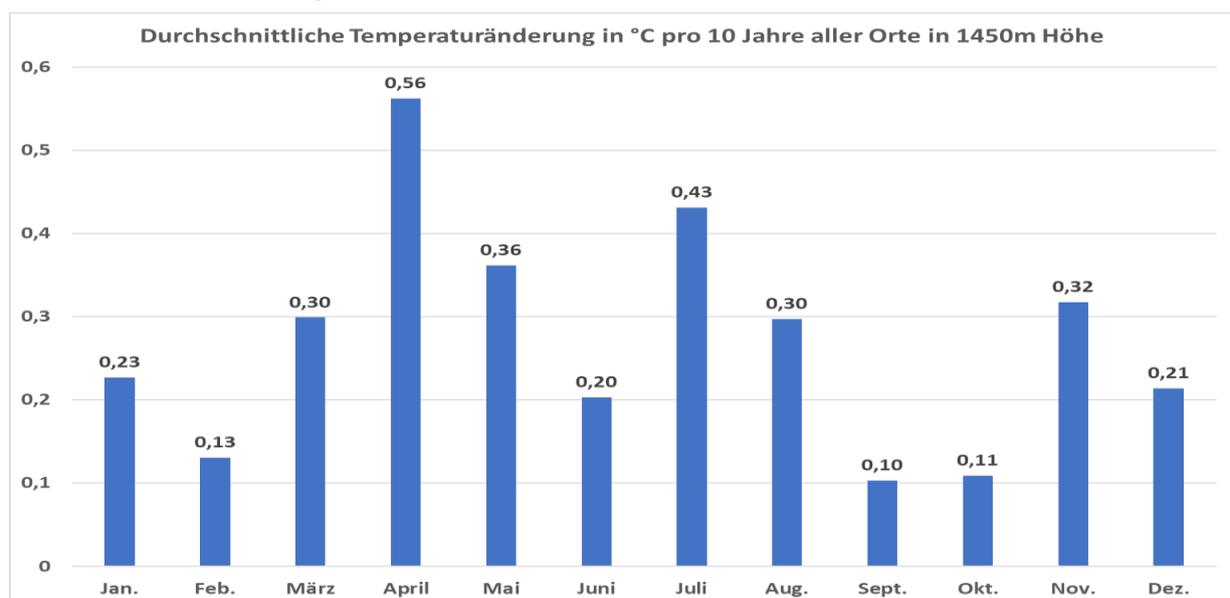
Diese Temperaturentwicklung im obersten Flugbereich unserer Untersuchung (um 20 km) ist ebenfalls in den Beobachtungsmontaten unterschiedlich und wechselt zwischen Zu- und Abnahme, wobei eine leichte Zunahme überwiegt.

### 4.3. Langfristiger Temperaturtrend über Deutschland

In diesem Abschnitt gehen wir speziell auf unser Thema, die Untersuchungen zum langfristigen Temperaturtrend, ein. Das erste Diagramm gibt einen Überblick über die durchschnittliche Temperaturentwicklung in allen Beobachtungshöhen seit 1960 an.

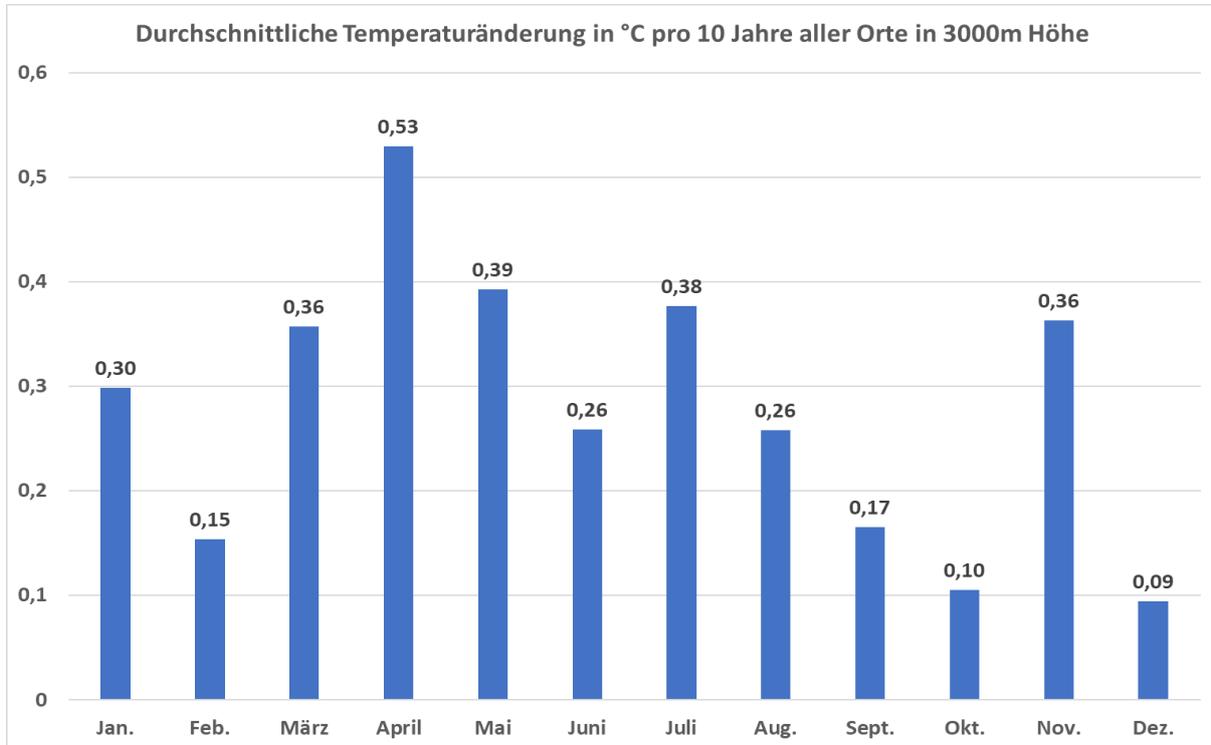


Auf den ersten Blick erkennt man, dass es in den Höhen unterhalb von 10 km wie erwartet wärmer wird. Für die unterste Flughöhe sehen die konkreten Durchschnittswerte so aus:

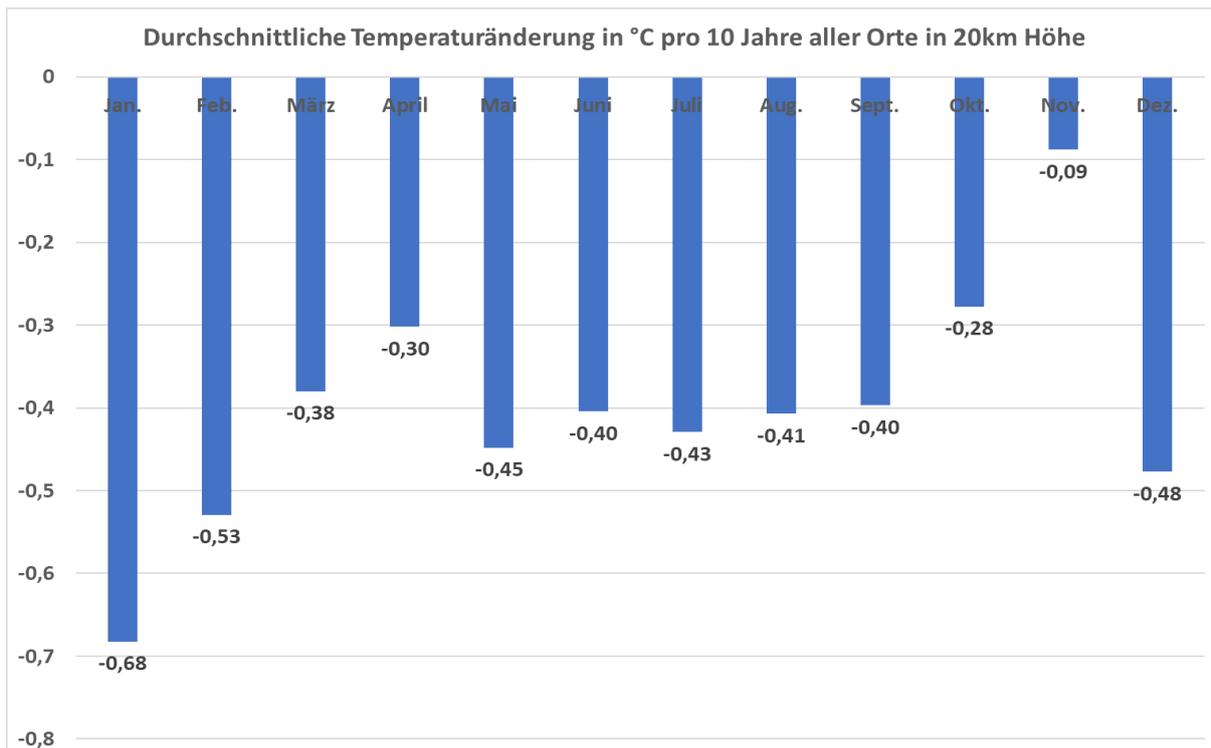


Hier kann man sehen, dass die durchschnittliche Temperaturzunahme im April am höchsten war mit 0,56 °C pro Jahrzehnt und in den Monaten Februar, September und Oktober am niedrigsten (unter 0,14 °C pro Jahrzehnt).

In der nächsten mit 3 km noch erdnahen Flughöhe ergab sich ein ähnliches Bild:



In 3000 m Höhe hat sich nicht viel verändert, außer dass die meisten Temperaturzunahmen etwas geringer sind. In den Flughöhen im Bereich der Stratosphäre findet hingegen eine Abkühlung statt, die wir im folgenden Diagramm für die größte Flughöhe dargestellt haben.



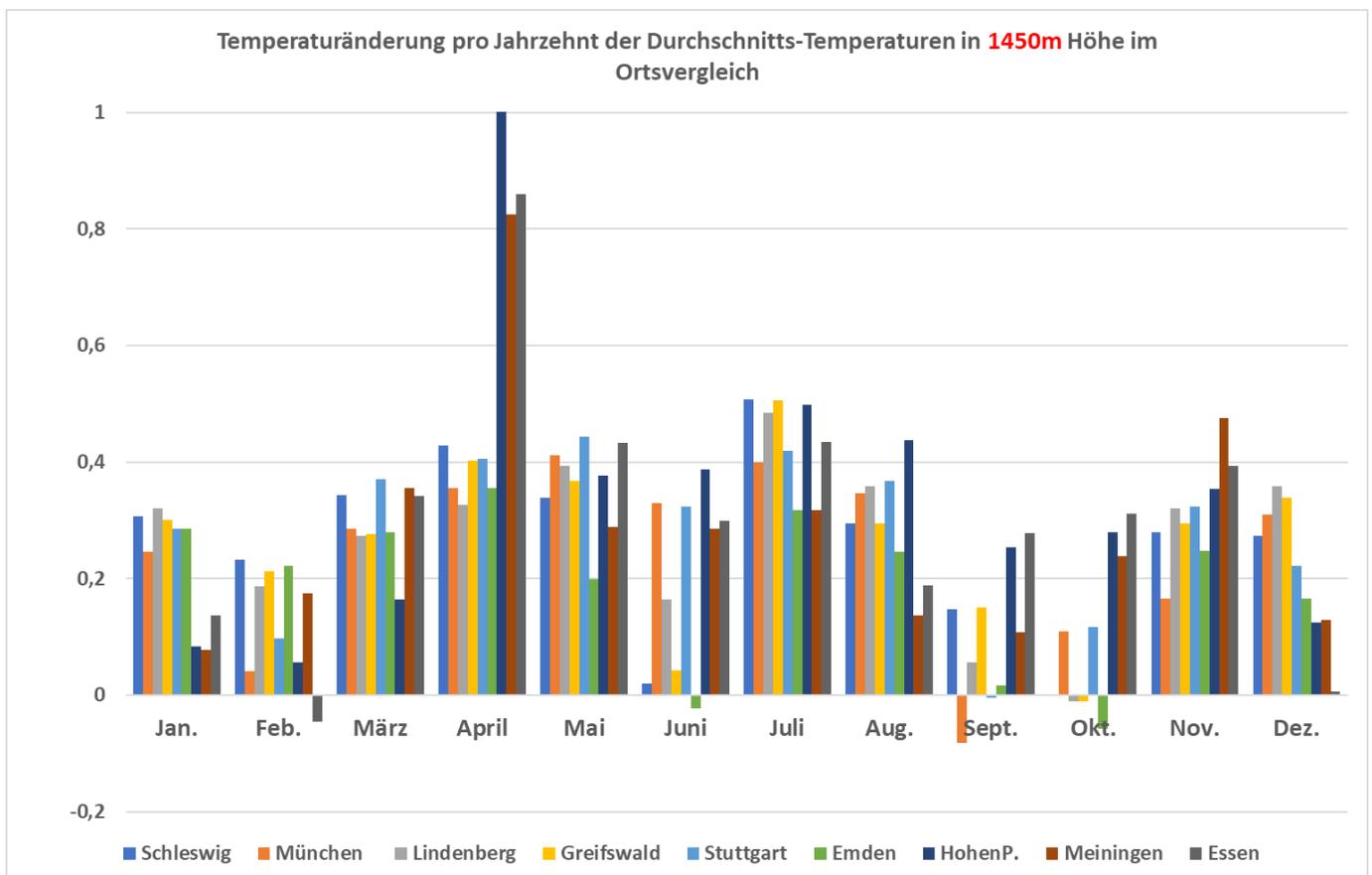
In den Wintermonaten ist diese Temperaturabnahme am stärksten. Auffallend ist, dass im November diese Abnahme sehr gering ausfällt.

Die von uns ermittelten durchschnittlichen Anstiege aller Monate und Höhen haben wir in der folgenden Tabelle zusammengetragen.

	Durchschnittliche Temperaturerhöhung pro Jahrzehnt (Daten von 1960-2015)										
	1450	3000	5560	7170	9140	10330	11780	13540	16140	18400	20510
Jan.	0,227	0,29822222	0,31977778	0,257	0,08155556	-0,073	-0,13077778	-0,18122222	-0,39422222	-0,51333333	-0,68255556
Feb.	0,13066667	0,15355556	0,21622222	0,18988889	0,17788889	0,043	-0,24	-0,31433333	-0,40977778	-0,49244444	-0,52955556
März	0,29877778	0,35711111	0,41422222	0,40088889	0,27255556	0,01033333	-0,51	-0,43077778	-0,34566667	-0,32344444	-0,38
April	0,56233333	0,52933333	0,51844444	0,43677778	0,24322222	-0,104	-0,32911111	-0,30155556	-0,30277778	-0,27188889	-0,302
Mai	0,36133333	0,39244444	0,39655556	0,37633333	0,263	-0,00328889	-0,37688889	-0,26955556	-0,33744444	-0,37222222	-0,44844444
Juni	0,203	0,25855556	0,32888889	0,34911111	0,30866667	0,151	-0,02622222	-0,11622222	-0,312	-0,40033333	-0,40422222
Juli	0,43122222	0,37677778	0,40366667	0,396	0,28533333	0,06311111	-0,12155556	-0,12066667	-0,27044444	-0,39188889	-0,42933333
Aug.	0,29677778	0,258	0,28922222	0,28844444	0,24944444	0,16533333	0,11455556	0,01588889	-0,27977778	-0,326	-0,40722222
Sept.	0,10255556	0,16533333	0,21366667	0,19522222	0,18588889	0,121	0,15355556	-0,05277778	-0,28411111	-0,34066667	-0,39688889
Okt.	0,10888889	0,10466667	0,22166667	0,24833333	0,18044444	0,01344444	0,11611111	0,15044444	-0,15033333	-0,20933333	-0,27766667
Nov.	0,31722222	0,36288889	0,34955556	0,34	0,30666667	0,12966667	0,01777778	-0,01544444	-0,07355556	-0,02733333	-0,08811111
Dez.	0,21388889	0,09411111	0,11333333	0,159	0,15044444	-0,04944444	-0,273	-0,24533333	-0,28944444	-0,40466667	-0,47711111
MW	0,27113889	0,27925	0,31543519	0,30308333	0,22542593	0,03892963	-0,1337963	-0,1567963	-0,28746296	-0,33987963	-0,40192593

Diese Untersuchungen haben wir für jeden unserer 9 Orte angestellt. Die Veröffentlichung aller einzelnen Ortsstatistiken würde aber den Rahmen dieser Arbeit überschreiten. So haben wir uns auf die Darstellung der Durchschnittswerte aller neun Beobachtungsorte beschränkt.

Um die vorhandenen regionalen Unterschiede der verschiedenen Standorte zu zeigen, haben wir für die Darstellung in dieser Arbeit die niedrigste und höchste in der Statistik vorhandene Flughöhe ausgewählt.

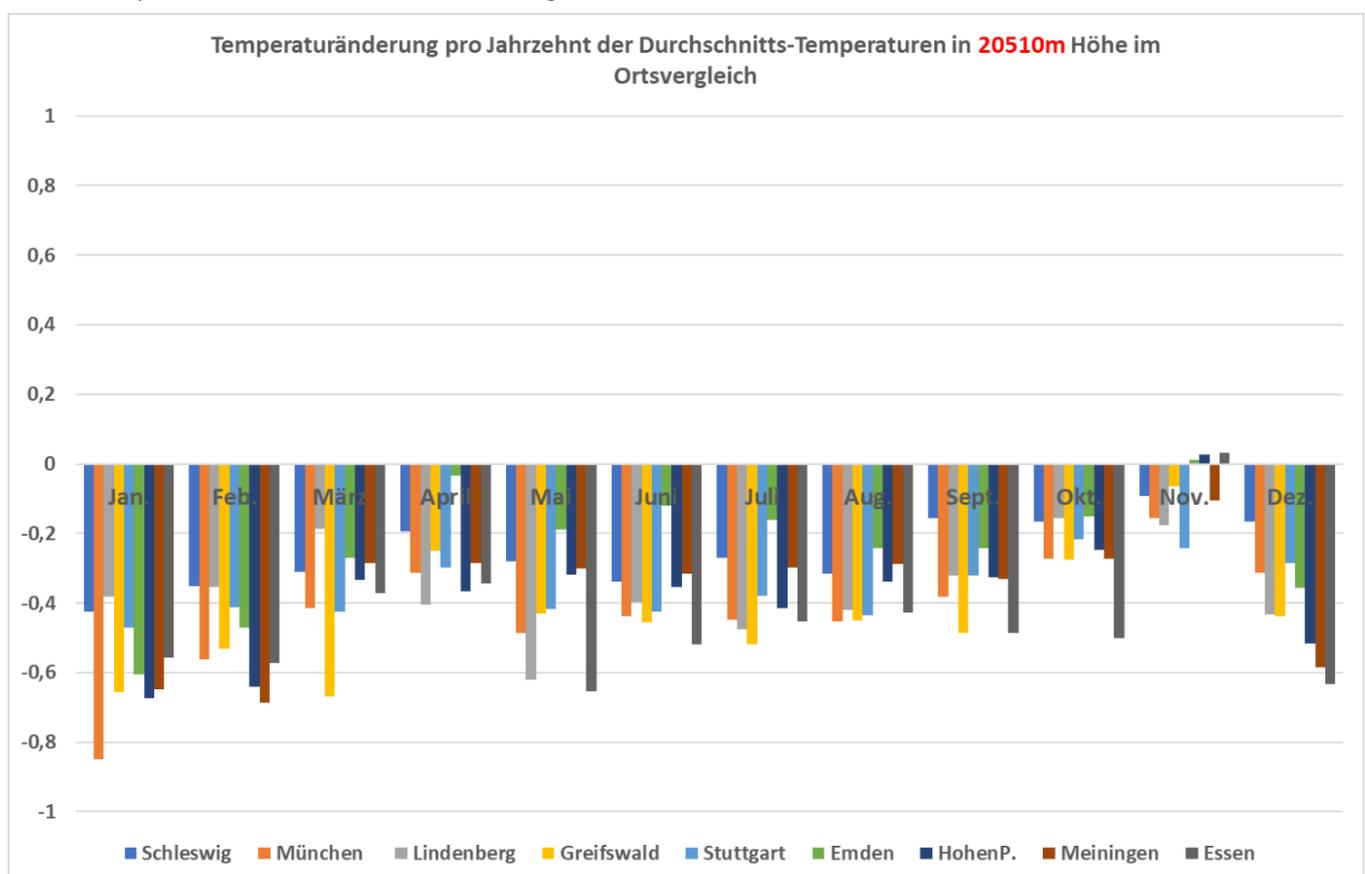


Hier kann man die Temperaturänderung pro Jahrzehnt der Durchschnitts-Temperaturen in 1450 m Höhe im Ortsvergleich sehen. Überwiegend kann man an jedem Ort in jedem Monat die langfristige

Temperaturerhöhung erkennen. Lediglich in den Herbstmonaten, September und Oktober, gibt es Orte, wo die Temperaturentwicklung nicht den Theorien von der globalen Erwärmung entspricht. Im Februar in Essen und im Juni in Emden bleiben die Temperaturen im langfristigen Trend annähernd unverändert. Für diese beiden Orte hatten wir aber den geringsten Datenzeitraum zur Auswertung zur Verfügung.

Im April fallen die Orte Hohen Peißenberg., Essen und Meiningen mit einer großen langfristigen Erwärmung aus. In diesem Monat sind die Temperaturen pro Jahrzehnt durchschnittlich um knapp 1°C angestiegen. Bei diesen Ausreißern haben wir zunächst einen Fehler in unserer Auswertung vermutet, aber beim Prüfen festgestellt, dass die Daten der Wetterballonflüge diese starke Erwärmung ergeben.

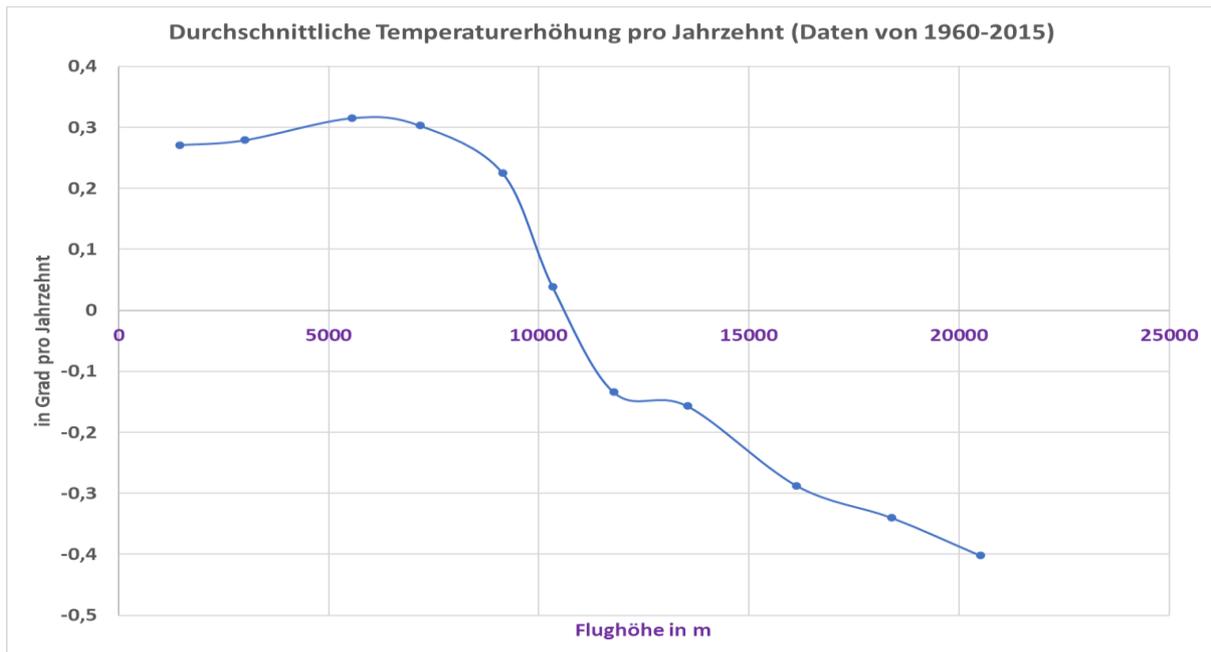
Das folgende Diagramm zeigt nun die Temperaturveränderung pro Jahrzehnt der Durchschnittstemperaturen in unserer höchsten Flughöhe von 20km.



Hier findet mit Ausnahme des Novembers in allen Orten und allen Monaten langfristig eine Abkühlung um etwa 0,5°C pro Jahrzehnt statt. Die regionalen Unterschiede der Entwicklung sind in Vergleich zum erdnahen Bereich geringer.

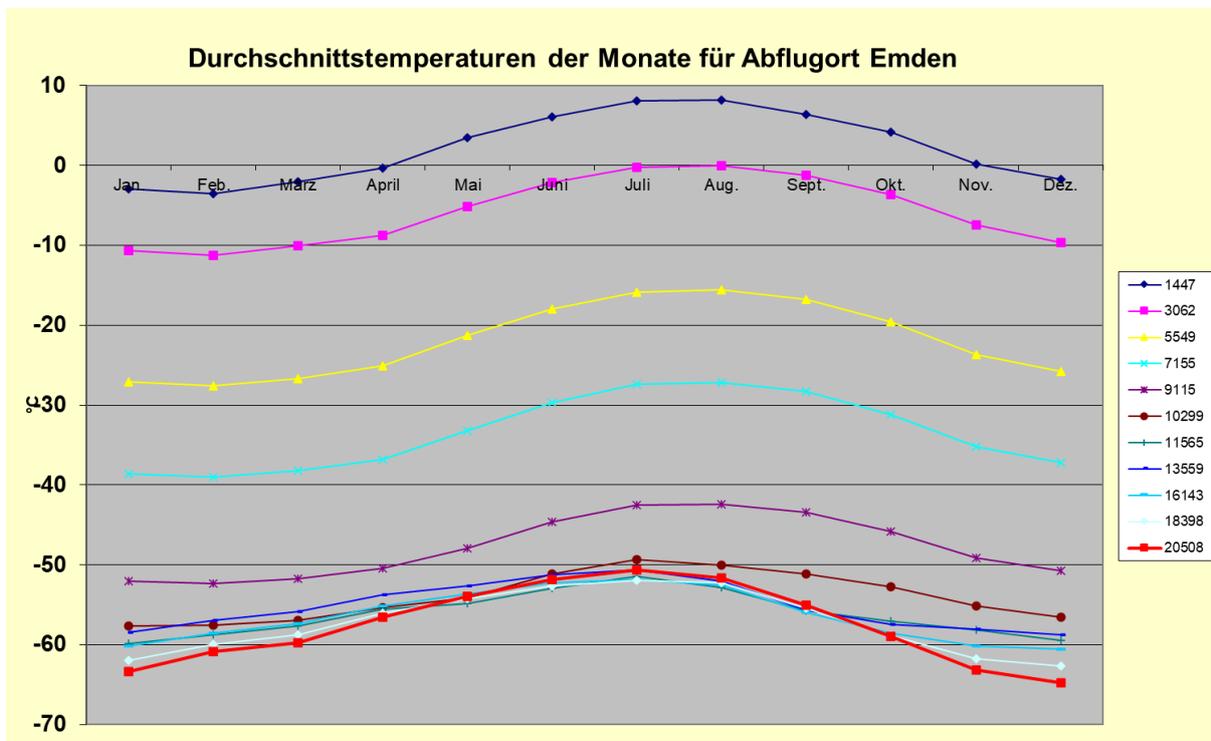
Das abschließende Diagramm fasst noch einmal die untersuchte Temperaturentwicklung aller 9 untersuchten Abflugorte über eine Durchschnittsbildung über das gesamte Jahr zusammen. An dem Verlauf der Kurve erkennt man deutlich, dass eine Erwärmung in Deutschland bis in eine Höhe von 10km nachgewiesen ist. Sie ist nach den von uns ausgewerteten Flugdaten im Bereich von 6 km am

stärksten und schwächt sich bis 10 km ab. Um die 10 km Höhe ist die Temperatur etwa konstant und in der Stratosphäre wird es langfristig gesehen kälter.

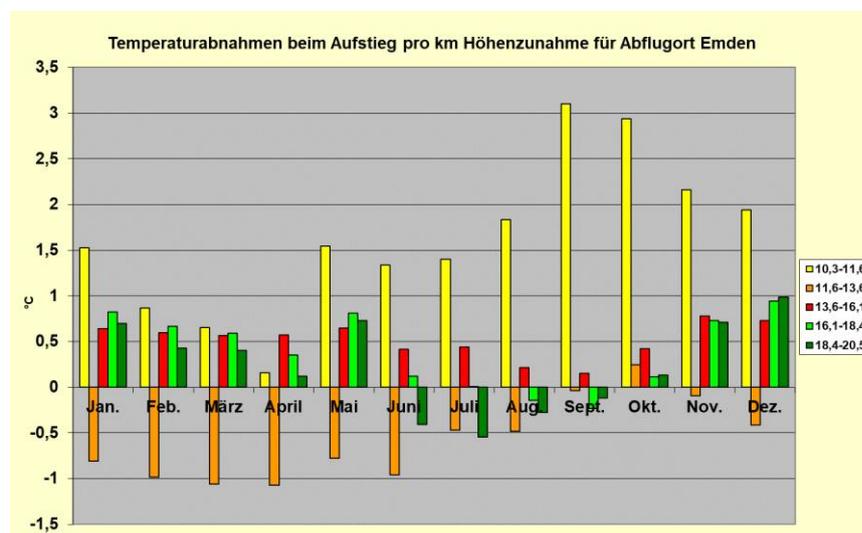
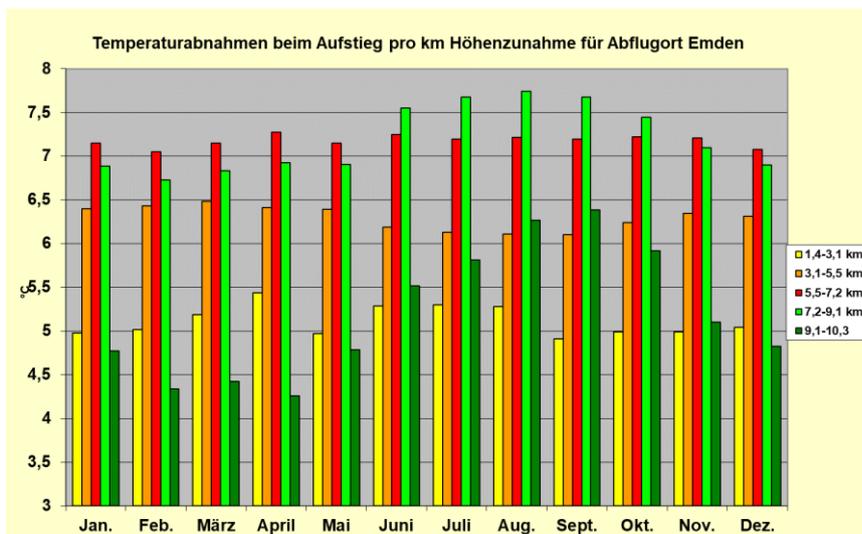


#### 4.4. Unsere Untersuchungen zum Abflugort Emden

Im letzten Abschnitt unserer Datenauswertung wollen wir wegen der Nähe zu unserem Heimatort speziell die Ergebnisse zum Abflugort Emden darstellen. Allerdings wollen wir nochmal auf die im Kapitel 3.2. erwähnte Datenlücke für die Monatsmittel hinweisen.



Auch dieses Diagramm zeigt uns, dass unsere bei unseren vier Stratosphären-Flügen alle getesteten Sensoren im Bereich der tiefen Temperaturen ungeeignet waren. Auch bei den Wetterballonflügen ab Emden kann man auch in der Stratosphäre noch gut die Jahreszeiten erkennen.



Zu den Untersuchungen zur Temperaturabnahme beim Aufstieg ergaben sich auch für den Abflugort Emden in den unterschiedlichen Monaten und Höhen unterschiedliche Werte. ersichtlich:

Im oberen Diagramm sind die Höhenbereiche bis 10 km dargestellt und im unteren Diagramm die Daten für die Stratosphäre. Am stärksten ist die Temperaturabnahme je Höhenzunahme beim Aufstieg in den Bereichen zwischen 5 und 8 km. (pro km etwas mehr als 7°C). Ab 10 km Flughöhe ändert sich die Temperatur nicht mehr so stark und nimmt in einigen Bereichen sogar leicht zu.

Die Daten zur Klimaerwärmung in den einzelnen Monaten haben wir in einer Tabelle zusammengefasst.

Durchschnittliche Temperaturerhöhung pro Jahrzehnt über Emden											
	1450	3000	5560	7170	9140	10330	11780	13540	16140	18400	20510
Jan.	0,286	0,310	0,321	0,284	0,136	-0,027	-0,052	-0,135	-0,367	-0,451	-0,606
Feb.	0,221	0,203	0,194	0,188	0,187	0,074	-0,103	-0,211	-0,345	-0,464	-0,470
März	0,279	0,369	0,458	0,420	0,378	0,058	-0,341	-0,300	-0,318	-0,285	-0,270
April	0,356	0,392	0,369	0,335	0,264	-0,031	-0,179	-0,148	-0,223	-0,138	-0,033
Mai	0,199	0,370	0,289	0,263	0,200	0,000	-0,253	-0,139	-0,242	-0,182	-0,189
Juni	-0,023	0,112	0,147	0,174	0,250	0,246	0,217	0,076	-0,190	-0,216	-0,120
Juli	0,317	0,337	0,316	0,309	0,210	-0,042	-0,072	-0,064	-0,169	-0,158	-0,161
Aug.	0,246	0,257	0,223	0,196	0,138	0,012	0,054	-0,065	-0,198	-0,198	-0,242
Sept.	0,016	0,112	0,084	0,084	0,146	0,114	0,302	-0,064	-0,197	-0,159	-0,242
Okt.	-0,058	0,008	0,047	0,048	0,100	0,039	0,317	0,400	0,137	0,064	-0,150
Nov.	0,248	0,347	0,313	0,327	0,310	0,076	-0,045	-0,039	-0,023	0,098	0,011
Dez.	0,165	0,190	0,102	0,094	0,147	-0,051	-0,184	-0,173	-0,238	-0,353	-0,357
<b>MW</b>	<b>0,188</b>	<b>0,251</b>	<b>0,239</b>	<b>0,227</b>	<b>0,206</b>	<b>0,039</b>	<b>-0,028</b>	<b>-0,072</b>	<b>-0,198</b>	<b>-0,204</b>	<b>-0,236</b>

Besonderheiten für Emden sind die beiden Monate Juni und Oktober, in denen es nach den Daten des DWD keine langfristige Erwärmung gibt. Im Jahresdurchschnitt registrierten für Emden eine durchschnittliche Temperatur Zunahme von 0,188°C pro Jahrzehnt im erdnahen Bereich von 1500 m Höhe. In allen Bereichen bis 10 km steigt die durchschnittliche Jahrestemperatur. Oberhalb von 11km sinkt langfristig die durchschnittliche Jahrestemperatur (gelbe Werte).

## 5. Fazit und Ausblick

Wir haben im Laufe des letzten Jahres umfangreiches Statistikmaterial von Ballonflügen des DWD ausgewertet, um konkrete Zahlen zu gewinnen, um uns einige Fragestellungen aus unseren eigenen Wetterballon-Flügen zu beantworten.

- Wir haben den Temperaturverlauf bis in die Stratosphäre näher betrachtet und erkannt, dass unsere eigenen verwendeten Temperatursensoren bei niedrigen Temperaturen keine sinnvollen Werte mehr liefern.
- Wir wiesen nach, dass man auch bis in 20 km Höhe die Jahreszeiten erkennt.
- Wir wissen jetzt, dass die Temperaturabnahme bei zunehmender Höhe sehr unterschiedlich verläuft und wesentlich von Jahreszeit und Höhenbereich abhängt und es Bereiche in der Stratosphäre gibt, wo die Temperatur konstant bleibt oder leicht zunimmt.
- Wir haben viel über die globale Erwärmung und deren Folgen gehört und bestimmten nun die Werte der langfristigen Temperaturzunahme für neun Orte näherungsweise für alle einzelnen Monate in unterschiedlichen Flughöhen.
- Wir zeigten, dass es oberhalb von 10 km über der Erdoberfläche langfristig, im Zuge des Klimawandels, kälter wird.

### **Grenzen unserer Auswertungen:**

In unseren Untersuchungen waren wir auf den Zeitraum von 1960-2014 beschränkt. Die den einzelnen Orten zugeordneten Werte sind keine exakten Werte, da wir aus eigener Erfahrung wissen, dass die Wetterballone zwar einem Startort zugeordnet sind, aber danach sehr große Strecken zurücklegen können. Bei den starken Winden im Dezember wäre unser in Wilhelmshaven gestartete Wetterballon teilweise bis Polen geflogen und ist in einigen Simulationen erst an der Grenze in der Nähe von Cottbus geplatzt. Unser aktueller Ballonflug vom 9.1.23 ist z.B. 200 km entfernt ungeplant in den Niederlanden in der Nähe von Drachten gelandet. Nähere Informationen haben wir auf unserer Homepage <https://strato-fische.jimdofree.com/> veröffentlicht.

In einigen Monaten einzelner Jahre gab es Datenlücken, wo keine Monatsdurchschnitte (besonders in großen Flughöhen) angegeben wurden.

### **Ausblick:**

Wir haben bereits eine Datenbank entdeckt, die über mehr als 100 Jahre Monatsmittelwerte am Boden beinhaltet. Mit diesen können wir die tatsächliche Temperaturentwicklung noch besser und genauer untersuchen und auch die Veränderungen des Temperaturtrends im Laufe vieler Jahrzehnte auswerten.

## 6. Hilfsmittel und Quellen

<https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/deutschland-ist-schon-2c-waermer-geworden/deutschland/>

<https://www.bing.com/images/>

<https://de.statista.com/themen/7993/klimawandel-in-deutschland/#topicOverview>

Zu unseren Daten:

[Index of](#)

[/climate\\_environment/CDC/observations\\_germany/radiosondes/monthly/air\\_temperature/homogenized/project\\_PASt/ \(dwd.de\)](#)

[opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/observations\\_germany/radiosondes/monthly/air\\_temperature/homogenized/project\\_PASt/readme\\_adjusted.txt](#)

[opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/observations\\_germany/radiosondes/monthly/air\\_temperature/homogenized/project\\_PASt/readme\\_adjusted.txt](#)

[opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/observations\\_germany/radiosondes/monthly/air\\_temperature/homogenized/project\\_PASt/adjusted\\_Germany\\_RS\\_Temp\\_K\\_station\\_10200\\_20141213\\_DN\\_avg\\_mean3\\_yr\\_mn.txt](#)

Zur Datenauswertung:

Microsoft EXCEL