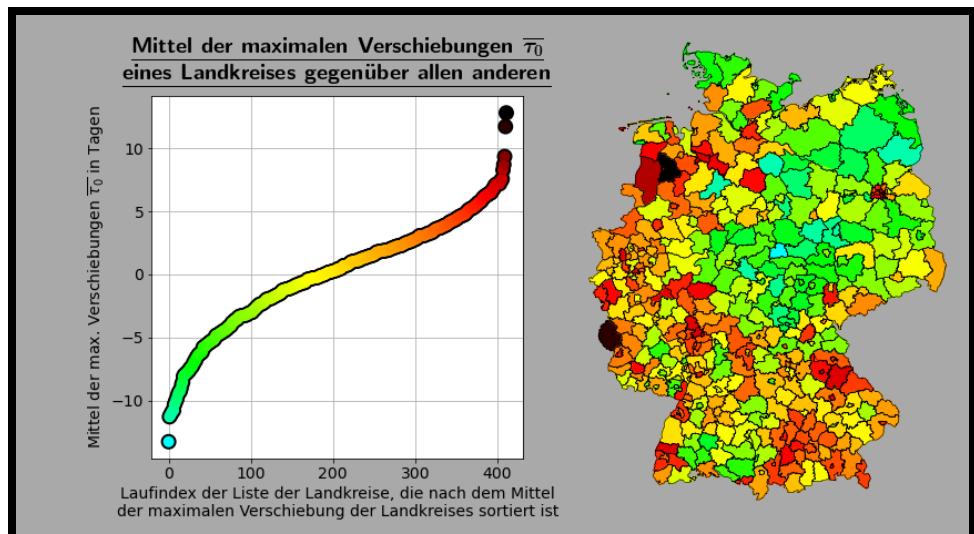


Bachelorarbeit

---

# Analyse von Covid-19-Daten der deutschen Landkreise

---



Leander Marius Bürkin

Professur für Simulation  
Institut für Mikrosystemtechnik - IMTEK  
Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau

**Autor**

Leander Marius Bürkin

**Matrikelnummer**

4747295

**Bearbeitungszeit**

16. 06. 2021 – 16. 09. 2021

**Gutachter**

Dr. Andreas Greiner

Prof. Dr. Moritz Mathias Diehl

**Betreuer**

Dr. Andreas Greiner

# **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Abschlussarbeit selbständig verfasst habe, keine anderen als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel verwendet habe und alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen wurden, als solche kenntlich gemacht habe. Darüber hinaus erkläre ich, dass diese Abschlussarbeit nicht, auch nicht auszugsweise, bereits für eine andere Prüfung angefertigt wurde.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

# Abstract

2020 and 2021 have been marked by COVID-19 and ensuing uncertainty: How does the virus spread? Does it spread from cities to rural areas? Can the counties whose case numbers skyrocket earlier be categorized in any way? Or more generally: is the spread of the virus SARS-CoV-2 correlated with certain characteristics of a given area?

An attempt to answer these questions and to summarize the given data is described in this thesis. The project uses data provided by the Robert Koch Institute (RKI).

On the basis of the processed data, an SIR model for Germany is created and several correlation analyses of COVID-19 data from various administrative districts are carried out. Finally, the results are plotted and interpreted in order to make the elusive infection patterns of COVID-19 accessible.

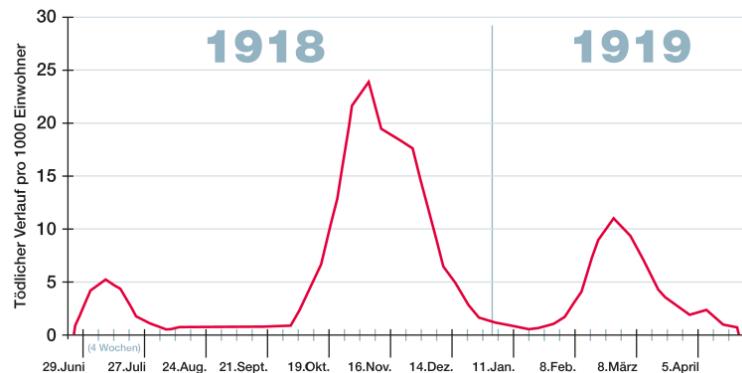
# Kurzfassung

Die Jahre 2020 und 2021 waren von der COVID-19-Pandemie und der einhergehenden Unsicherheit geprägt: Wie verbreitet sich das SARS-CoV-2 Virus? Breitet es sich von den Städten ausgehend in die ländlichen Gebiete aus? Lassen sich die Stadt- und Landkreise, deren Fallzahlen früher in die Höhe schießen, kategorisieren? Oder ganz allgemein: Korreliert die Ausbreitung von SARS-CoV-2 mit bestimmten Eigenschaften von Gebieten?

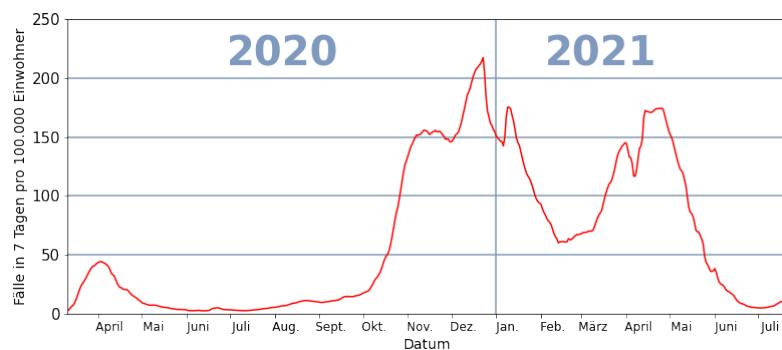
Ein Versuch, diese Fragen zu beantworten und die gegebenen Daten zusammenzufassen, ist Gegenstand dieser Arbeit. Hierbei wird mit Daten gearbeitet, welche das Robert Koch-Institut (RKI) zur Verfügung stellt.

Auf Basis der aufgearbeiteten Daten wird ein SIR-Modell für Deutschland erstellt und mehrere Korrelationsanalysen von den Daten der kreisfreien Städte, Landkreise und Regierungsbezirke zu der COVID-19-Pandemie durchgeführt. Zuletzt werden graphische Darstellungen der Ergebnisse erstellt und interpretiert, um das schwer greifbare Infektionsgeschehen des Virus SARS-CoV-2 verständlich zu machen.

*Those who cannot remember the past  
are condemned to repeat it.* - George Santayana [15]



**Abbildung 1:** Die drei Wellen der „Spanischen Grippe“ in Großbritannien, wöchentliche kombinierte Grippe- und Lungenentzündungssterblichkeit von Juni 1918 bis Mai 1919. [1]



**Abbildung 2:** Die drei Wellen der COVID-19-Pandemie in Deutschland, dargestellt durch die 7-Tage-Inzidenz jedes Tages vom 01.03.2020 bis 21.07.2021. Aus den Daten des Robert Koch-Instituts erstellt.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1 Mittelwert . . . . .	3
2.2 Susceptible-Infectious-Removed-Modell . . . . .	3
2.3 Bevölkerungsdichte . . . . .	5
2.4 7-Tage-Inzidenz . . . . .	5
2.5 Lexikographische Ordnung . . . . .	7
2.6 Korrelationsanalyse mithilfe einer Faltung . . . . .	7
2.6.1 Berechnung der Korrelationswerte . . . . .	7
2.6.2 Korrelation zwischen zwei Gebieten am Beispiel von Flensburg und Kiel . . . . .	10
2.6.3 Komprimierung und Darstellung als Matrizen . . . . .	14
2.7 Farbgebung . . . . .	17
<b>3 Vorgehensweise</b>	<b>18</b>
3.1 Datenquellen - Ursprung und Abspeicherung . . . . .	19
3.2 Datenaufbereitung . . . . .	21
3.3 Datendarstellung . . . . .	22
3.3.1 Allgemeine Daten der Gebiete . . . . .	22
3.3.2 SIR-Modell . . . . .	23
3.3.3 Korrelationsanalyse . . . . .	23

<b>4 Resultate</b>	<b>26</b>
4.1 Allgemeine Daten der Gebiete . . . . .	26
4.2 Bevölkerungsdichten der Landkreise und Regierungsbezirke . . . . .	26
4.3 Die Landkreise und Regierungsbezirke sortiert nach dem Gemeindeschlüssel . . . . .	29
4.4 Summe der 7-Tage-Inzidenzen der Landkreise und Regierungsbezirke	30
4.5 SIR-Modell für Deutschland . . . . .	32
4.6 Korrelationen zwischen Städten und ihrem Umland . . . . .	34
4.7 Korrelationsmatrizen sortiert nach der Bevölkerungsdichte . . . . .	37
4.7.1 Korrelationsmatrizen mit den nach Bevölkerungsdichten sortierten Landkreisen . . . . .	37
4.7.2 Korrelationsmatrizen mit den nach Bevölkerungsdichten sortierten Regierungsbezirken . . . . .	39
4.8 Korrelationsmatrizen sortiert nach Gemeindeschlüssel . . . . .	41
4.8.1 Korrelationsmatrizen mit den nach Gemeindeschlüsseln sortierten Landkreisen . . . . .	41
4.8.2 Korrelationsmatrizen mit den nach Gemeindeschlüsseln sortierten Regierungsbezirken . . . . .	43
4.9 Durchschnittliche Verschiebung im nationalen Vergleich . . . . .	45
4.9.1 Verteilung der durchschnittlichen Verschiebung unter den Landkreisen . . . . .	45
4.9.2 Verteilung der durchschnittlichen Verschiebung unter den Regierungsbezirken . . . . .	47
<b>5 Diskussion</b>	<b>49</b>
5.1 Aussagekraft des SIR-Modells . . . . .	49
5.2 Zusammenhänge von Bevölkerungsdichten und COVID-19-Zahlen der Landkreise . . . . .	50
5.3 Zusammenhänge von Bevölkerungsdichten und COVID-19-Zahlen der Regierungsbezirke . . . . .	51

5.4	Zusammenhänge von Gemeindeschlüssel und COVID-19-Zahlen der Landkreise und Regierungsbezirke . . . . .	55
5.5	Durchschnittliche Verschiebung der Landkreise im nationalen Vergleich	56
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>Danksagung</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	<b>60</b>
8.1	Die deutschen Landkreise sortiert nach ihrer Bevölkerungsdichte . . .	60
8.2	Die deutschen Landkreise lexikographisch sortiert nach ihren Gemeindeschlüsseln . . . . .	69
8.3	Die Regierungsbezirke sortiert nach ihrer Bevölkerungsdichte . . . .	78
8.4	Die Regierungsbezirke lexikographisch sortiert nach den Gemeindeschlüsseln ihrer Landkreise . . . . .	79
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>81</b>

# Abbildungsverzeichnis

1	Die drei Wellen der „Spanischen Grippe“ in Großbritannien, wöchentliche kombinierte Grippe- und Lungenentzündungssterblichkeit von Juni 1918 bis Mai 1919. [1] . . . . .	iv
2	Die drei Wellen der COVID-19-Pandemie in Deutschland, dargestellt durch die 7-Tage-Inzidenz jedes Tages vom 01.03.2020 bis 21.07.2021. Aus den Daten des Robert Koch-Instituts erstellt. . . . .	iv
3	In Deutschland neu gemeldete COVID-19-Fälle am jeweiligen Wochentag im Vergleich zu den am Montag der selben Woche gemeldeten Fällen. . . . .	6
4	Beispielhafte Darstellung einer Faltung anhand der Folgen [1, 2, 3, 2] und [5, 7, 5, 1]. Auf der linken Seite sind von oben nach unten hinter dem Gleichheitszeichen die Korrelationswerte für die negativen Verschiebungen $\tau = -3, \tau = -2$ und $\tau = -1$ eingetragen. Entsprechend sind der Korrelationswert für die Verschiebung $\tau = 0$ in der Mitte und die Korrelationswerte für die positiven Verschiebungen $\tau = 1, \tau = 2$ und $\tau = 3$ auf der rechten Seite zu finden. . . . .	8
5	Der Verlauf der 7-Tage-Inzidenz des Stadtkreises Flensburg (Gemeindeschlüssel 1001). In Türkis ist der originale Verlauf der 7-Tage-Inzidenz dargestellt. Der Verlauf der 7-Tage-Inzidenzen, von denen der Mittelwert der 7-Tage-Inzidenzen von Flensburg abgezogen wurde, ist Blau dargestellt. . . . .	11

6	Der Verlauf der 7-Tage-Inzidenz des Stadtkreises Kiel (Gemeindeschlüssel 1002). In Türkis sind ist der originale Verlauf der 7-Tage-Inzidenz dargestellt. Der Verlauf der 7-Tage-Inzidenzen, von denen der Mittelwert der 7-Tage-Inzidenzen von Kiel abgezogen wurde, ist Blau dargestellt. . . . .	11
7	Ergebnis der diskreten Faltung der 7-Tage-Inzidenzen der Stadtkreise Kiel und Flensburg. In Türkis ist das Ergebnis der Faltung mit den originalen 7-Tage-Inzidenzen dargestellt. Das Ergebnis der Faltung mit den 7-Tage-Inzidenzen, von denen der Mittelwert der 7-Tage-Inzidenzen des jeweiligen Landkreises abgezogen wurde, ist Blau dargestellt. . .	12
8	Korrelationsanalyse der 7-Tage-Inzidenzen der Stadtkreise Kiel und Flensburg ohne Skalierung mithilfe der Autokorrelation. In Türkis ist das Ergebnis der Korrelationsanalyse mit den originalen 7-Tage-Inzidenzen dargestellt. Das Ergebnis der Korrelationsanalyse mit den 7-Tage-Inzidenzen, von denen der Mittelwert der 7-Tage-Inzidenzen des jeweiligen Landkreises abgezogen wurde, ist Blau dargestellt. . .	13
9	Vollständige Korrelationsanalyse der 7-Tage-Inzidenzen der Stadtkreise Kiel und Flensburg skaliert mithilfe der Autokorrelation. In Türkis ist das Ergebnis der Korrelationsanalyse mit den originalen 7-Tage-Inzidenzen dargestellt. Das Ergebnis der Korrelationsanalyse mit den 7-Tage-Inzidenzen, von denen der Mittelwert der 7-Tage-Inzidenzen des jeweiligen Landkreises abgezogen wurde, ist Blau dargestellt. . .	13
10	Graphische Darstellung der Berechnung der Tendenz der Verschiebung.	15
11	Das Farbspektrum, in welchem sich die Darstellungen bewegen. Von links nach rechts steigen die eingegebenen Werte äquidistant. Der angegebene Wert wird jeweils anhand des ersten und des letzten Wertes linear in diesem Spektrum verortet. . . . .	17

12	Darstellung der ausgewählten Landkreise mit den Stadtkreisen, die sie jeweils umgeben. In Grün jeweils der Landkreis und in Dunkelgrau der Stadtkreis, der umschlossen wird. . . . .	24
13	Verteilung der Bevölkerungsdichten der deutschen Landkreise $\rho_\Omega$ , wie in Gleichung 4 beschrieben. Auf der linken Seite befindet sich die Verteilung, welche zudem die Farbgebung vorgibt. Auf der rechten Seite befindet sich die räumliche Anordnung. Die Farbgebung entspricht Abschnitt 2.7. Da jedoch wenige Werte sehr hoch sind, wie im linken Teil klar zu sehen, wird der Logarithmus der Bevölkerungsdichte benutzt, um die Farben zu vergeben. . . . .	27
14	Verteilung der Bevölkerungsdichten der deutschen Regierungsbezirke $\rho_\Omega$ , wie in Gleichung 4 beschrieben. Auf der linken Seite befindet sich die Verteilung, welche zudem die Farbgebung vorgibt. Auf der rechten Seite befindet sich die räumliche Anordnung. Die Farbgebung entspricht Abschnitt 2.7. Da jedoch wenige Werte sehr hoch sind, wie im linken Teil klar zu sehen, wird der Logarithmus der Bevölkerungsdichte benutzt, um die Farben zu vergeben. . . . .	28
15	Die Landkreise und Regierungsbezirke eingefärbt nach der lexikographischen Größe ihres Gemeindeschlüssels. . . . .	29
16	Die Verteilung der Mittel der 7-Tage-Inzidenz $\bar{i}$ unter den Landkreisen. Berechnet nach Gleichung 1 und Gleichung 5. Auf der linken Seite befindet sich die Verteilung, welche zudem die Farbgebung vorgibt. Auf der rechten Seite befindet sich die räumliche Anordnung. Die Farbgebung entspricht Abschnitt 2.7. . . . .	30
17	Die Verteilung der Mittel der 7-Tage-Inzidenz $\bar{i}$ unter den Regierungsbezirken. Berechnet nach Gleichung 1 und Gleichung 5. Auf der linken Seite befindet sich die Verteilung, welche zudem die Farbgebung vorgibt. Auf der rechten Seite befindet sich die räumliche Anordnung. Die Farbgebung entspricht Abschnitt 2.7. . . . .	31

18	Die drei Kennzahlen des SIR-Modells für Deutschland in drei Graphen wie sie in Abschnitt 2.2 definiert sind. . . . .	33
19	Die Korrelationswerte $c(\tau)$ der 7-Tage-Inzidenzen der ausgewählten Landkreise mit den Städten, die sie umgeben. Die Kurven, deren Maximum rechts der null ist, sind Orange eingefärbt. Die Kurven mit dem höchsten Punkt links der null sind Blau gefärbt. Die restlichen Kurven, welche am für $\tau = 0$ maximal werden, sind Grün gefärbt. . .	35
20	Die Tendenzen der Verschiebung $\hat{\tau}$ aus den Korrelationsanalysen der ausgewählten Städte und Landkreise. In orange sind die Tendenzen der Verschiebung für Verschiebungen $\tau$ zwischen $-14$ und $14$ dargestellt. In blau sind die Tendenzen der Verschiebung für Verschiebungen $\tau$ zwischen $-30$ und $30$ dargestellt. . . . .	36
21	Korrelationsmatrizen der Korrelationen aller Landkreise nach Bevölkerungsdichte sortiert (siehe Abschnitt 8.1). Die Farben der Zellen der oberen Matrizen entsprechen den Tendenzen der Verschiebung $\hat{\tau}$ des Landkreises der Spalte in Relation zum Landkreis der Zeile nach Gleichung 10. In den unteren Matrizen wird die Zelle entsprechend der Verschiebung $\tau_0$ der Zeitreihe des Landkreises der Spalte entgegen der Zeitreihe der Zeile mit dem höchsten Korrelationswert $c(\tau_0)$ eingefärbt. Links sind die Kennzahlen aus den Verschiebungen $\tau \in [-14, 14]$ und rechts aus den Verschiebungen $\tau \in [-30, 30]$ ausgewählt und berechnet worden. . . . .	38



25	Mittel der maximalen Verschiebungen $\bar{\tau}$ eines Landkreises gegenüber allen anderen. Dieser wird nach Gleichung 1 berechnet. Links ist die Verteilung der Mittel der maximalen Verschiebungen $\bar{\tau}$ und die Farbgebung gezeigt. Rechts ist die räumliche Verteilung dargestellt. . . . .	45
26	Mittel der Tendenzen der Verschiebung $\bar{\hat{\tau}}$ eines Landkreises gegenüber allen anderen. Dieser wird nach Gleichung 10 und Gleichung 1 berechnet. Links ist die Verteilung der Mittel der Tendenzen der Verschiebung $\bar{\hat{\tau}}$ und die Farbgebung gezeigt. Rechts ist die räumliche Verteilung dargestellt. . . . .	46
27	Mittel der maximalen Verschiebungen $\bar{\tau}$ eines Regierungsbezirks gegenüber allen anderen. Dieser wird nach Gleichung 1 berechnet. Links ist die Verteilung der Mittel der maximalen Verschiebungen $\bar{\tau}$ und die Farbgebung gezeigt. Rechts ist die räumliche Verteilung dargestellt. . . . .	47
28	Mittel der Tendenzen der Verschiebung $\bar{\hat{\tau}}$ eines Regierungsbezirks gegenüber allen anderen. Dieser wird nach Gleichung 10 und Gleichung 1 berechnet. Links ist die Verteilung der Mittel der Tendenzen der Verschiebung $\bar{\hat{\tau}}$ und die Farbgebung gezeigt. Rechts ist die räumliche Verteilung dargestellt. . . . .	48
29	Die Deutschlandkarte, Rot eingefärbt jeweils die Landkreise mit einer 7-Tage-Inzidenz am 06.10.2020 beziehungsweise 07.10.2020 über 50. . . . .	52
30	Die 7-Tage-Inzidenzen der deutschen Landkreise, in Blau die 7-Tage-Inzidenz von Cloppenburg. . . . .	53
31	Der Verlauf der 7-Tage-Inzidenzen der deutschen Regierungsbezirke. Der Verlauf des Regierungsbezirks Trier ist Blau hervorgehoben. . . . .	54

# 1 Motivation

Viele große Zivilisationen vor uns hatten bereits mit Pandemien ähnlichen Ausmaßes wie die aktuelle COVID-19-Pandemie zu kämpfen.

Schon aus dem Römischen Reich haben wir Zeugnisse der „Antoninischen Pest“ im zweiten Jahrhundert nach Christus: Vermutlich ein Ausbruch der Pocken, dessen 7-10 Millionen Tote das Römische Reich destabilisierten ([11]). Im Mittelalter verloren 200 Millionen Menschen durch die Pest ihr Leben [6]. Auch die Armeen des Ersten Weltkriegs wurden durch eine Pandemie stark geschwächt: die „Spanische Grippe“ forderte circa 100 Millionen Opfer weltweit [13].

Daten in Relation zur Bevölkerung stammen beispielsweise aus Island: nach 1707 starben dort innerhalb von zwei Jahren ein Drittel der Bevölkerung, also circa 18 000 der 50 000 Einwohner, an Pocken ([5]). Die Auswirkungen auf die Azteken, die Inka und die anderen Völker der Neuen Welt, welche vermutlich ein ähnlich vernichtender Pockenausbruch traf, und ihr anschließender Niedergang sind uns ebenfalls wohl bekannt [5].

Um derartige Schicksale in unserer globalisierten Welt zu verhindern, ist es unabdingbar, diese Bedrohungen bestmöglich zu untersuchen. Denn, wie eingangs erwähnt, „wer seine Geschichte nicht kennt, ist dazu verdammt, sie zu wiederholen“ (Freie Übersetzung des Zitats von George Santayana [15]). Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen, dass wir noch viel zu lernen haben, damit sich der Verlauf einer Pandemie nicht wiederholt.

Jedoch wissen wir über diese vergangenen Pandemien wenig, da Daten nicht nach heutigen Standards erhoben wurden und Schlussfolgerungen gezogen wurden. Beispielsweise wurden Pandemien durch den Zorn Gottes erklärt ([5]) und die Zahlen der Zeitzeugen spiegeln eher ihre subjektive Wahrnehmung wider, als wissenschaftliche Daten zu liefern ([5]). Mit dem heutigen Stand der Datenerfassung und -übermittlung lässt sich die COVID-19-Pandemie sehr viel einfacher untersuchen als deren Vorgänger.

Die meisten von uns haben genau diese Daten des Robert Koch-Instituts (RKI, [www.rki.de](http://www.rki.de)) oder der Weltgesundheitsorganisation ([www.who.int](http://www.who.int)) beobachtet und versucht zu verstehen, wie man sich zu verhalten hat. Viele Hypothesen wurden aufgestellt und man musste sich als Laie auf einmal mit Fragen und Begriffen der Epidemiologie beschäftigen, wobei man meist nur ein Puzzleteil vor Augen hatte.

Für Experten boten die zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen verschiedenste Wege sich fortzubilden. Allein das Robert Koch-Institut hat auf Basis der von ihm gesammelten Daten mehrere wissenschaftliche Publikationen veröffentlicht. Teils zur Veröffentlichung und Erläuterung der öffentlich zugänglichen Daten [7], teils zur Behandlung spezifischer wissenschaftlicher Hypothesen, beispielsweise ob die Schulschließungen einen Einfluss auf das Infektionsgeschehen hatten [12]. Auch sonst gibt es einige Veröffentlichungen, die sich mit sehr spezifischen Datensätzen auseinandersetzen, wie beispielsweise ein statistischer Vergleich der Zahl der Fahrradfahrer an verschiedenen Orten Freiburgs und der effektiven Reproduktionszahl [3].

Doch um diese Arbeiten einzurichten, benötigt es viel Fachwissen, daher soll diese Arbeit mit leicht verständlichen Mitteln und öffentlich zugänglichen Daten zum Verständnis von Pandemien beitragen.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Mittelwert

Der Mittelwert  $\bar{x}$ , auch genannt das Mittel oder auch der Durchschnitt, entspricht nach Gleichung 1 der Summe der einzelnen Werte  $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$  geteilt durch ihre Anzahl  $n$ .

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

### 2.2 Susceptible-Infectious-Removed-Modell

Einen Weg zur Beschreibung einer Pandemie bietet das „Susceptible-Infectious-Removed-Modell“ (SIR-Modell) [16]. Dieses Modell teilt die Mitglieder einer Menschengruppe in eine der drei folgenden Kategorien ein und ermöglicht es, die zeitliche Entwicklung einer Pandemie übersichtlich darzustellen:

- „Susceptible“: Menschen, welche angesteckt werden können.
- „Infectious“: Infizierte Menschen, welche weitere Menschen anstecken können.  
Werden auch als „die aktiven Fälle“ bezeichnet.
- „Removed“: Menschen, welche in die Kategorie „Infectious“ fielen, nun keine weiteren Menschen mehr anstecken können und aus dem Infektionsgeschehen entfernt wurden, in diesem Fall Genesene und Verstorbene.

Da nur die Zahlen der Kategorie „Infectious“ direkt bereitgestellt werden, müssen die Zahlen der Kategorien „Susceptible“ und „Removed“ berechnet werden.

Die Zahl der Menschen in Kategorie „Susceptible“  $S_t$  entspricht für das gewählte Gebiet  $\Omega$  am Tag  $t$  der Anzahl der Einwohner  $p_\Omega$  abzüglich der akkumulierten Zahl der Fälle des Tages  $F_t$ , wie in Gleichung 2 angegeben. Diese Berechnung wird für jeden Tag  $t$  durchgeführt, für den eine akkumulierte Zahl der Fälle  $F_t$  angegeben ist.

$$S_t = p_\Omega - F_t \quad (2)$$

Die Zahl der Menschen in Kategorie „Removed“  $R_t$  für das gewählte Gebiet  $\Omega$  am Tag  $t$  ergibt sich aus der Summe der akkumulierten Anzahl der Genesenen  $G_t$  und der akkumulierten Anzahl der Verstorbenen  $V_t$ . Sie wird ebenfalls nach Gleichung 3 für jeden Tag berechnet, für den die beiden Ausgangswerte vorliegen.

$$R_t = G_t + V_t \quad (3)$$

Die Zahlen der Kategorie „Infectious“ liegen wie bereits erwähnt als aktive Fälle vor.

In dem hier verwendeten SIR-Modell wird weder die Geburten- noch die Sterberate beachtet, die angenommene Bevölkerung bleibt durchgehend konstant.

Zudem wird angenommen, dass jedes Individuum nur einmal infiziert werden kann und die Infektion die einzige Möglichkeit darstellt, von der Kategorie „Susceptible“ in die Kategorie „Removed“ zu wechseln. Somit fällt die Zahl der Menschen in der Kategorie „Susceptible“ monoton und die Zahl der Menschen in der Kategorie „Removed“ steigt monoton an.[16]

## 2.3 Bevölkerungsdichte

Um für ein Gebiet  $\Omega$  die Bevölkerungsdichte  $\rho_\Omega$  zu berechnen, wird die Anzahl der Einwohner im Gebiet  $p_\Omega$  durch die Fläche des Gebiets  $A_\Omega$  geteilt:

$$\rho_\Omega = \frac{p_\Omega}{A_\Omega} \quad (4)$$

## 2.4 7-Tage-Inzidenz

Die 7-Tage-Inzidenz ist die Zahl der neu gemeldeten Fälle in den letzten 7 Tagen pro 100 000 Menschen [14].

Um die 7-Tage-Inzidenz  $i_t$  für den Tag  $t$  zu berechnen, wird von der akkumulierten Zahl der Fälle am gewählten Tag  $f_t$  die akkumulierte Zahl der Fälle sieben Tage zuvor  $f_{t-7}$  abgezogen. Dies ergibt die neu hinzugekommenen Fälle innerhalb von sieben Tagen.

Schlussendlich wird diese Zahl durch die Anzahl der Bewohner des Gebiets  $p_{Gebiet}$  geteilt und mit 100 000 multipliziert. Dies ergibt Gleichung 5.

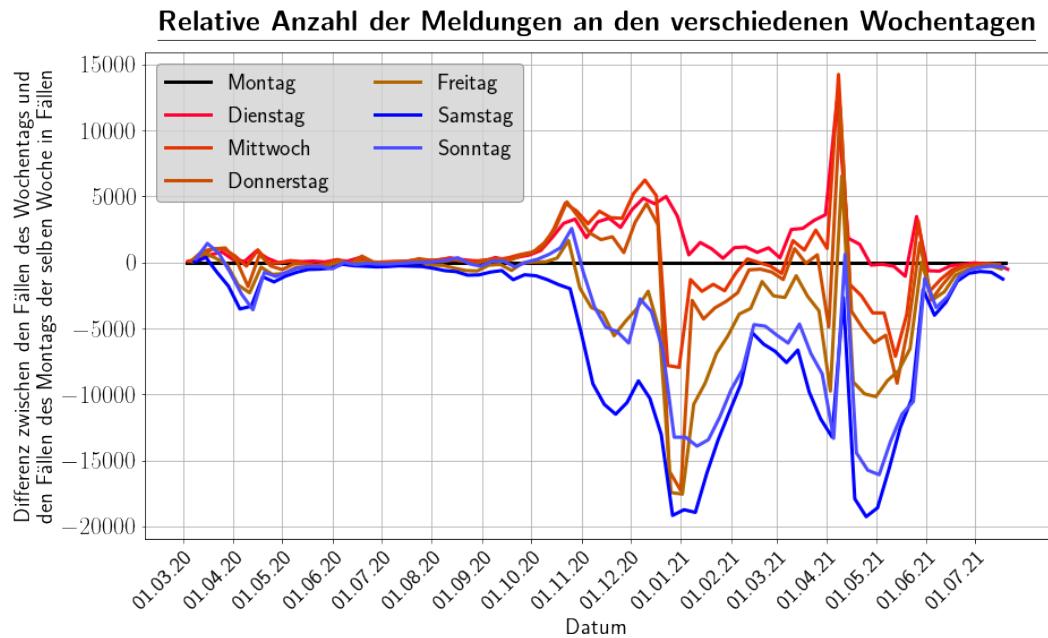
$$i_t = \frac{f_t - f_{t-7}}{p_\Omega} \cdot 100\,000 \quad (5)$$

Die 7-Tage-Inzidenz auf Basis der neu gemeldeten Fällen pro Tag bietet sich im Vergleich zu den aktiven Fällen oder der Todeszahl aus mehreren Gründen als Kennzahl für die Verbreitung eines Virus in einem Gebiet an:

Die neu gemeldeten Fallzahlen als Ausgangspunkt zu verwenden bietet sich im Gegensatz zu den aktiven Fällen an, da Beginn und Ende der Infektion bei den aktiven Fällen sehr schwer bestimmbar sind. Die Todeszahlen sind zwar eine gut bestimmmbare Größe, jedoch würde hierbei ein größerer zeitlicher Verzug zur Infektion entstehen und generell kleinere Zahlen verwendet werden, welche auf Landkreisebene sehr viel anfälliger für Ausreißer wären.

In Abbildung 3 werden die neu gemeldeten Fälle in Deutschland an unterschiedlichen Wochentagen dargestellt. Hierfür werden die einzelnen Wochen betrachtet und jeweils die Anzahl der am Montag gemeldeten Fälle von allen sieben Fallzahlen der Woche abgezogen. Dadurch ergeben sich die in Abbildung 3 dargestellten gemeldeten Fälle am jeweiligen Wochentag relativ zu den gemeldeten Fällen an den Montagen.

Klar zu erkennen werden an Wochenenden im Schnitt deutlich weniger neue Fälle registriert als an den anderen Wochentagen. Daher werden immer sieben Tage in der 7-Tage-Inzidenz zusammengefasst.



**Abbildung 3:** In Deutschland neu gemeldete COVID-19-Fälle am jeweiligen Wochentag im Vergleich zu den am Montag der selben Woche gemeldeten Fällen.

Da die Bevölkerung der deutschen Landkreise und Regierungsbezirke nicht identisch sind, wird jeweils durch die Bevölkerungszahl geteilt, um die einzelnen Gebiete miteinander vergleichen zu können.

Aufgrund der ansonsten sehr kleinen Zahlen, bietet es sich zudem an, das Ergebnis mit 100 000 zu multiplizieren.

Dies sind die drei Begründungen für die drei Schritte in der Berechnung der 7-Tage-Inzidenz nach Gleichung 5.

## 2.5 Lexikographische Ordnung

Um mehrere Zahlen in eine lexikographische Ordnung zu bringen, werden die Zahlen zuerst nach der ersten Ziffer sortiert. Anschließend werden die Zahlen mit der selben ersten Ziffer nach der zweiten Ziffer sortiert. Anschließend werden die Zahlen mit der selben zweiten Ziffer nach der dritten Ziffer sortiert und so weiter.

Dadurch ergibt sich eine Ordnung, bei welcher beispielsweise 1000 vor 200 kommt. Als Beispiel bietet sich die Liste der Landkreise in Abschnitt 8.2, die Landkreise sind hierbei lexikographisch nach dem Gemeindeschlüssel sortiert.

## 2.6 Korrelationsanalyse mithilfe einer Faltung

### 2.6.1 Berechnung der Korrelationswerte

Um festzustellen, ob die 7-Tage-Inzidenzen einiger Landkreise im Vergleich zu anderen Landkreisen eher voraus- oder nacheilen, werden die Korrelationswerte im Rahmen der nachfolgend vorgestellten Korrelationsanalyse berechnet [2].

Bei diskreten Werten, aufgeteilt in zwei Zeitreihen  $X : |X| = n$  und  $Y : |Y| = n$  mit den Werten  $x_t$  und  $y_t$ , wie in diesem Fall, basiert die Korrelationsanalyse auf einer diskreten Faltung  $X * Y$ : Für eine zeitliche Verschiebung  $\tau$  wird mit jedem Wert  $x_t$  zum jeweiligen Zeitpunkt  $t$  aus der ersten Zeitreihe mit dem zugehörigen Wert  $y_{t+\tau}$  aus der zweiten Zeitreihe ein Produkt gebildet. Der zugehörige Wert aus der zweiten Zeitreihe entspricht hierbei dem Zeitpunkt  $t$  des Wertes der ersten Zeitreihe plus

der gewählten Verschiebung  $\tau$ . Sollte dieser zweite Wert nicht existieren, wird kein Produkt gebildet.

Für jede zeitliche Verschiebung  $\tau$ , für die mindestens ein Produkt gebildet wird, werden wie in Gleichung 6 alle möglichen Produkte aufsummiert.

$$X * Y = \sum_{t=1}^n x_t \cdot y_{t+\tau} \quad (6)$$

Bildlich gesprochen wird die zweite Zeitreihe an der ersten Zeitreihe vorbeigeschoben, beginnend an dem Punkt, an dem ausschließlich das erste Element der ersten Zeitreihe mit dem letzten Element der zweiten Zeitreihe multipliziert wird. Dies ist beispielhaft mit den Folgen  $[1, 2, 3, 2]$  und  $[5, 7, 5, 1]$  in Abbildung 4 dargestellt.

$\begin{array}{c} [ 1 , 2 , 3 , 2 ] \\ * \\ [ 5 , 7 , 5 , 1 ] \\ 1 = 1 \end{array}$	$\begin{array}{c} [ 1 , 2 , 3 , 2 ] \\ * * * \\ [ 5 , 7 , 5 , 1 ] \\ 10 +21 +10 = 41 \end{array}$	$\begin{array}{c} [ 1 , 2 , 3 , 2 ] \\ * * * \\ [ 5 , 7 , 5 , 1 ] \\ 10 +21 +10 = 41 \end{array}$
$\begin{array}{c} [ 1 , 2 , 3 , 2 ] \\ * * \\ [ 5 , 7 , 5 , 1 ] \\ 5 + 2 = 7 \end{array}$	$\begin{array}{c} [ 1 , 2 , 3 , 2 ] \\ * * * \\ [ 5 , 7 , 5 , 1 ] \\ 5 +14 +15 + 2 = 36 \end{array}$	$\begin{array}{c} [ 1 , 2 , 3 , 2 ] \\ * * * \\ [ 5 , 7 , 5 , 1 ] \\ 15 +14 = 29 \end{array}$
$\begin{array}{c} [ 1 , 2 , 3 , 2 ] \\ * * * \\ [ 5 , 7 , 5 , 1 ] \\ 7 +10 + 3 = 20 \end{array}$		$\begin{array}{c} [ 1 , 2 , 3 , 2 ] \\ * \\ [ 5 , 7 , 5 , 1 ] \\ 10 = 10 \end{array}$

**Abbildung 4:** Beispielhafte Darstellung einer Faltung anhand der Folgen  $[1, 2, 3, 2]$  und  $[5, 7, 5, 1]$ . Auf der linken Seite sind von oben nach unten hinter dem Gleichheitszeichen die Korrelationswerte für die negativen Verschiebungen  $\tau = -3, \tau = -2$  und  $\tau = -1$  eingetragen. Entsprechend sind der Korrelationswert für die Verschiebung  $\tau = 0$  in der Mitte und die Korrelationswerte für die positiven Verschiebungen  $\tau = 1, \tau = 2$  und  $\tau = 3$  auf der rechten Seite zu finden.

Da bei einer Korrelationsanalyse nach Gleichung 6 Summen aus mehr Produkten übergewichtet werden und Zeitreihen mit größeren Werten größere Korrelationswerte erzeugen, müssen die Korrelationswerte noch skaliert werden.

Um zum einen die unterschiedliche Anzahl der Produkte auszugleichen, werden die

Summen durch die Anzahl ihrer Summanden geteilt, wie in Gleichung 7 gezeigt. Ohne diese Gewichtung würden zwei Zeitreihen mit konstanten Werten größer null bei einer Verschiebung  $\tau = 0$  die größte Korrelation aufweisen und die Korrelation bei betragsmäßig größeren Verschiebungen abnehmen, was nicht gewünscht ist.

Da jede Zeitreihe die gleiche Länge  $n$  hat, erhält man die Anzahl der Summanden  $m$ , indem man den Betrag der Verschiebung  $|\tau|$  von der Länge der Zeitreihe  $n$  abzieht, somit ergibt sich die Rohform einer Korrelationsanalyse  $\hat{c}(\tau)$ :

$$\hat{c}(\tau) = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^n x_t \cdot y_{i+\tau} = \frac{1}{n - |\tau|} \sum_{t=1}^n x_t \cdot y_{i+\tau} \quad (7)$$

Um zum anderen die tendenziell größeren Werte mancher Zeitreihen auszugleichen, werden die Werte aller Zeitreihen mithilfe des sogenannten „Autokorrelationswerts für die Verschiebung  $\tau = 0$  gewichtet: Er beschreibt den Wert der Korrelation einer Zeitreihe mit sich selbst bei keiner zeitlichen Verschiebung. Wie in Gleichung 8 zu sehen, werden die Werte einer Zeitreihe gewichtet, indem sie durch die Wurzel des Autokorrelationswerts für die Verschiebung  $\tau = 0$  dieser Zeitreihe geteilt werden.

$$c(\tau) = \frac{1}{n - |\tau|} \sum_{t=1}^n \frac{x_t}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t^2}} \cdot \frac{y_{t+\tau}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t^2}} = \frac{n}{n - |\tau|} \frac{\sum_{t=1}^n x_t \cdot y_{t+\tau}}{\sqrt{\sum_{t=1}^n x_t^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n y_t^2}} \quad (8)$$

Zudem wird von jedem Wert  $x_t$  der Zeitreihe der Mittelwert  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t$  abgezogen. Dadurch lassen sich Antikorrelationen feststellen: Wenn beispielsweise die Anzahl der COVID-19-Infektionen eines Landkreises zu einem Zeitpunkt überdurchschnittlich wächst, also die 7-Tage-Inzidenz minus dem Mittelwert der 7-Tage-Inzidenzen positiv ist, und das andere Produkt aus der anderen Zeitreihe negativ ist, also in dem anderen Landkreis die Anzahl der COVID-19-Infektionen unterdurchschnittlich wächst, ergibt sich ein negatives Produkt, da sich die Situation in dem einen Landkreis schneller als üblich verschlechtert, während sich die Situation im anderen Landkreis verbessert

oder langsamer als üblich verschlechtert.

Ergibt die Summe aus all den Produkten einer Korrelation eine negative Zahl, scheint die 7-Tage-Inzidenz des einen Landkreises zu fallen oder langsam zu steigen, während die 7-Tage-Inzidenz des anderen Landkreises steigt oder langsam fällt, dies wird hier Antikorrelation genannt.

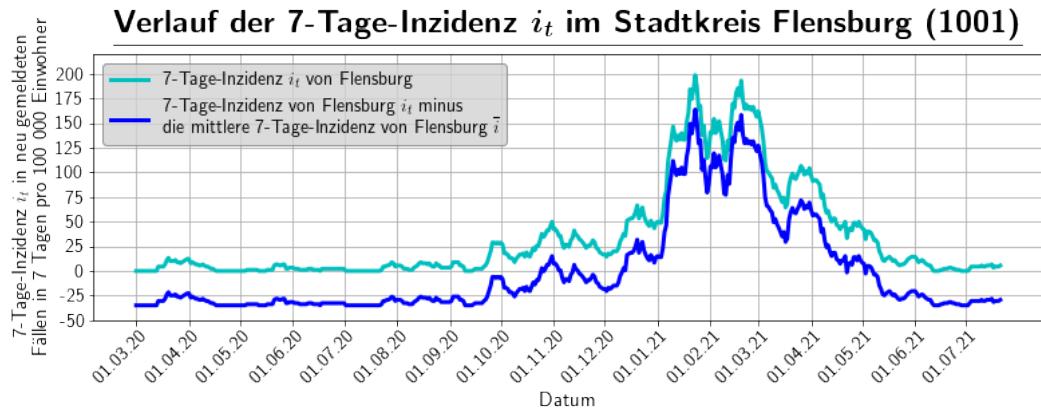
Mit allen Ergänzungen berechnet sich die Korrelation  $c(\tau)$  zwischen der Zeitreihe  $X : |X| = n$  mit den Werten  $x_t \in X$  und der Zeitreihe  $Y : |Y| = n$  mit den Werten  $y_t \in Y$  und einer Verschiebung  $\tau$  relativ zu  $X$  mithilfe der Mittelwerte der Zeitreihen  $\bar{x}, \bar{y}$  wie in Gleichung 9 beschrieben.

$$c(\tau) = \frac{n}{n - |\tau|} \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x}) \cdot (y_{t+\tau} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}} \quad (9)$$

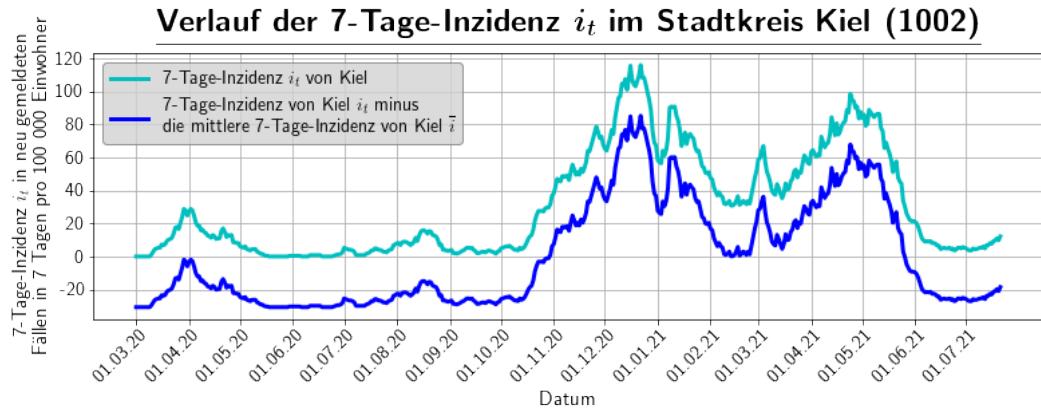
### 2.6.2 Korrelation zwischen zwei Gebieten am Beispiel von Flensburg und Kiel

Um die verwendete Terminologie und die hergeleiteten Gleichungen anhand eines Beispiels näher zu bringen, werden in diesem Abschnitt die einzelnen Schritte einer Korrelationsanalyse ausgeführt. Als Beispiel dient hierfür die Korrelation zwischen dem Verlauf der 7-Tage-Inzidenzen der Stadtkreise Flensburg und Kiel. Die Daten stammen aus dem „COVID-19 Datenhub“ ([npgeo-corona-npgeo-de.hub.arcgis.com](http://npgeo-corona-npgeo-de.hub.arcgis.com)), weitere Informationen zur Datenquelle und der Datenbeschaffung folgen in Kapitel 3.

Beide Verläufe bestehen aus 508 7-Tage-Inzidenzen, welche jeweils einem Tag zugeordnet sind. Die 7-Tage-Inzidenzen sind in Abbildung 5 und Abbildung 6 abgebildet, jeweils einmal im Original und einmal um den Mittelwert der 7-Tage-Inzidenz in x-Richtung nach unten verschoben.



**Abbildung 5:** Der Verlauf der 7-Tage-Inzidenz des Stadtkreises Flensburg (Gemeindeschlüssel 1001). In Türkis ist der originale Verlauf der 7-Tage-Inzidenz dargestellt. Der Verlauf der 7-Tage-Inzidenzen, von denen der Mittelwert der 7-Tage-Inzidenzen von Flensburg abgezogen wurde, ist Blau dargestellt.

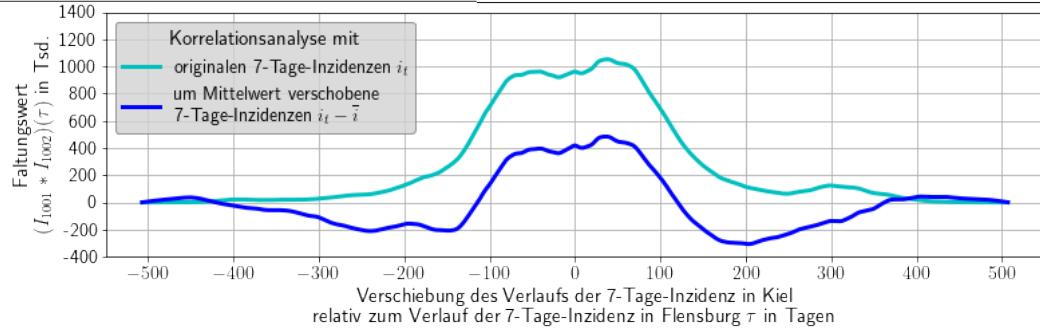


**Abbildung 6:** Der Verlauf der 7-Tage-Inzidenz des Stadtkreises Kiel (Gemeindeschlüssel 1002). In Türkis sind ist der originale Verlauf der 7-Tage-Inzidenz dargestellt. Der Verlauf der 7-Tage-Inzidenzen, von denen der Mittelwert der 7-Tage-Inzidenzen von Kiel abgezogen wurde, ist Blau dargestellt.

In Abbildung 7 ist die diskrete Faltung abgebildet, wie sie der Korrelationsanalyse zugrunde liegt und in Gleichung 6 definiert ist.

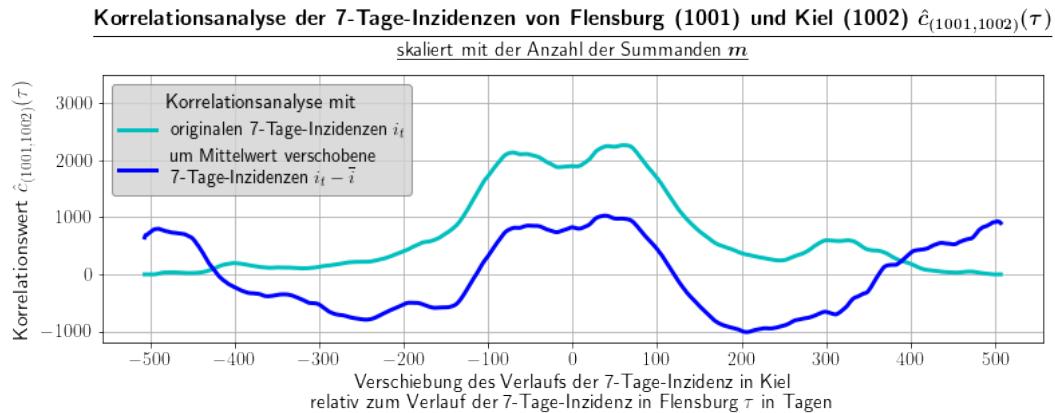
Die Faltung der beiden in Abbildung 5 und Abbildung 6 gezeigten Zeitreihen der Länge 508 erzeugt 1015 Werte, da das Spektrum der Verschiebungen  $\tau$  bei  $\tau = -507$  beginnt und die ganzen Zahlen bis einschließlich  $\tau = 507$  enthält. Für jeden der 412 Landkreise ergeben sich daher aus der Korrelationsanalyse mit sich selbst und jedem anderen Landkreis 418 180 Werte, ebenso ergeben sich für jeden der 38 Regierungsbezirke 38 570. Dies ergibt in Summe 173 755 820 Werte.

**Diskrete Faltung der 7-Tage-Inzidenzen von Flensburg (1001) und Kiel (1002) ( $I_{1001} * I_{1002}$ )**



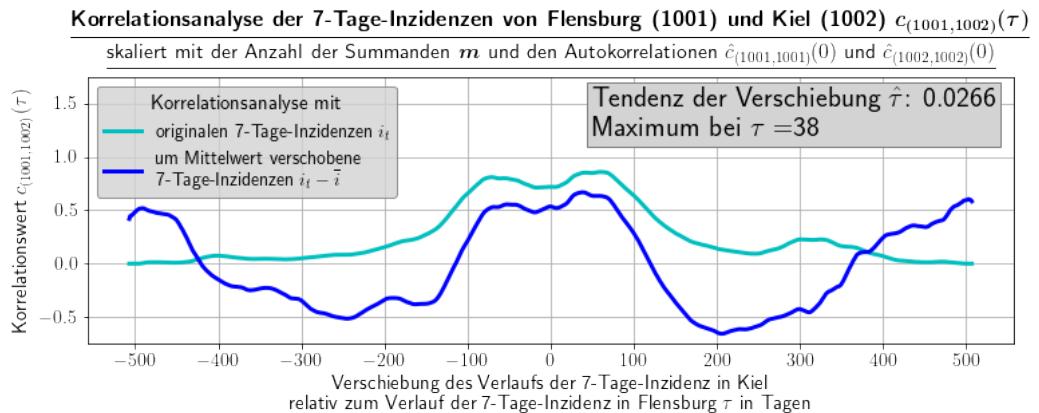
**Abbildung 7:** Ergebnis der diskreten Faltung der 7-Tage-Inzidenzen der Stadtkreise Kiel und Flensburg. In Türkis ist das Ergebnis der Faltung mit den originalen 7-Tage-Inzidenzen dargestellt. Das Ergebnis der Faltung mit den 7-Tage-Inzidenzen, von denen der Mittelwert der 7-Tage-Inzidenzen des jeweiligen Landkreises abgezogen wurde, ist Blau dargestellt.

Abbildung 8 ergibt sich, wenn die Summen jeweils durch die Anzahl ihrer Summanden (den Produkten) geteilt werden, wie in Gleichung 7 beschrieben. Klar zu erkennen sind die verstärkten Ausschläge am linken und rechten Rand. Sie entstehen dadurch, dass bei betragsmäßig größeren Verschiebungen der Divisor  $n - |\tau|$  kleiner wird. Dadurch werden die einzelnen Produkte stärker gewichtet und Abweichungen einzelner Produkte sorgen für größere Ausschläge.



**Abbildung 8:** Korrelationsanalyse der 7-Tage-Inzidenzen der Stadtkreise Kiel und Flensburg ohne Skalierung mithilfe der Autokorrelation. In Türkis ist das Ergebnis der Korrelationsanalyse mit den originalen 7-Tage-Inzidenzen dargestellt. Das Ergebnis der Korrelationsanalyse mit den 7-Tage-Inzidenzen, von denen der Mittelwert der 7-Tage-Inzidenzen des jeweiligen Landkreises abgezogen wurde, ist Blau dargestellt.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der kompletten Korrelationsanalyse abgebildet, wie sie mithilfe von Gleichung 8 erzeugt werden.



**Abbildung 9:** Vollständige Korrelationsanalyse der 7-Tage-Inzidenzen der Stadtkreise Kiel und Flensburg skaliert mithilfe der Autokorrelation. In Türkis ist das Ergebnis der Korrelationsanalyse mit den originalen 7-Tage-Inzidenzen dargestellt. Das Ergebnis der Korrelationsanalyse mit den 7-Tage-Inzidenzen, von denen der Mittelwert der 7-Tage-Inzidenzen des jeweiligen Landkreises abgezogen wurde, ist Blau dargestellt.

Jeder Korrelationswert gibt den Grad des linearen Zusammenhangs bei der jeweiligen Verschiebung an, wobei die zugeordneten Verschiebungen von links nach rechts bei jedem Schritt um eins zunehmen und der mittlere der Korrelationswerte der Verschiebung  $\tau = 0$  zugeordnet ist. Die Verschiebung ist im Kontext dieser Arbeit stets in ganzen Tagen zwischen  $-507$  und  $507$  angegeben.

### 2.6.3 Komprimierung und Darstellung als Matrizen

Das Ziel der nachfolgend beschriebenen Schritte ist, die Korrelationswerte eines Gebiets auf einen Wert zusammenzuführen. Dadurch kann man einfach und schnell auffallende Korrelationen zwischen zwei oder mehreren Gebieten finden und erhält einen besseren Überblick über die 173 755 820 ermittelten Korrelationswerte. Hierfür werden zwei Methoden verwendet:

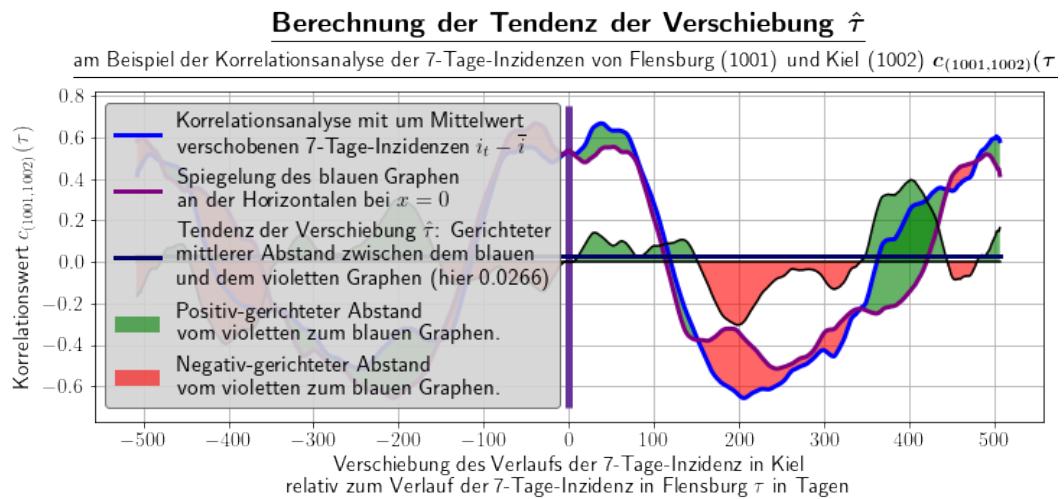
- Die Verschiebung  $\tau_0$  mit dem maximalen Korrelationswert  $c(\tau_0)$ : Die zeitliche Verschiebung, bei der die Korrelationsanalyse den größten Korrelationswert ergeben hat.
- Die Tendenz der Verschiebung  $\hat{\tau}$ : Das Mittel der Differenz zwischen den Werten der betragsmäßig gleichen Verschiebungen. Das Resultat ermöglicht eine grobe Einschätzung, ob der maximale Wert nur ein Ausreißer ist oder nicht.

Die Berechnung der Tendenz der Verschiebung  $\hat{\tau}$  ist etwas komplexer und wird daher ebenfalls am Beispiel der Korrelationsanalyse der Stadtkreise Kiel und Flensburg erklärt. In Abbildung 10 ist die Berechnung graphisch dargestellt. Die Tendenz der Verschiebung  $\hat{\tau}$  berechnet sich aus der Liste der Korrelationswerte  $C : |C| = m$ , genauer gesagt aus ihrer Länge  $m$  und ihren Werten  $c_{\tau}, -\lfloor m/2 \rfloor \geq \tau \leq \lfloor m/2 \rfloor$ :

$$\hat{\tau} = \frac{1}{\lfloor m/2 \rfloor} \sum_{\tau=1}^{\lfloor m/2 \rfloor} c_{\tau} - c_{-\tau} \quad (10)$$

In Abbildung 10 entspricht der blaue Graph den Werten der Korrelationsanalyse wie sie auch in Abbildung 9 abgebildet sind. Um bildlich die Differenz zwischen den Werten der betragsmäßig gleichen Verschiebungen darzustellen, werden die Werte der negativen Verschiebungen an der Vertikalen bei  $x = 0$  gespiegelt und Lila eingefärbt. Da die linke Seite gespiegelt wird, ist sie nicht weiter von Bedeutung.

In den Zwischenräumen der beiden Graphen und auf der Horizontalen bei  $y = 0$  sind die Differenzen der Werte der betragsmäßig gleichen Verschiebungen aufgezeichnet, deren Mittel der Tendenz der Verschiebung entspricht. Diese ist als dunkelblaue Horizontale bei  $y = 0.0266$  dargestellt.



**Abbildung 10:** Graphische Darstellung der Berechnung der Tendenz der Verschiebung.

Somit lässt sich zum einen die Verschiebung mit dem maximalen Korrelationswert ermitteln und einfach interpretieren. Da hierfür jedoch nur ein Wert herausgenommen wird, bietet es sich zum anderen an, die Tendenz der Verschiebung zu berechnen und mit der Verschiebung mit dem maximalen Korrelationswert zu vergleichen.

Um dies für alle Landkreise und Regierungsbezirke zu ermöglichen, werden die beiden Werte jeweils in einer Matrix dargestellt: Jeder Zeile und Spalte wird der Index für

ein Gebiet zugeordnet. In die Zellen werden entweder die Verschiebungen mit dem maximalen Korrelationswert oder die Tendenzen der Verschiebung eingetragen. Ein spezifischer Wert in einer Zelle stammt aus der Korrelationsanalyse der Gebiete, die der Zeile und der Spalte zugeordnet sind. Die Matrizen sind (mit umgekehrtem Vorzeichen) symmetrisch an der Diagonalen von links oben nach rechts unten. Die Diagonalen sind mit Nullen besetzt, da die Werte der positiven Verschiebung symmetrisch zu den Werten der negativen Verschiebung sind und die Korrelation mit sich selbst trivialerweise bei einer Verschiebung von  $\tau = 0$  am größten ist, da die Werte und Trends komplett identisch sind.

Um den Gebieten selbst Werte zuzuordnen und nicht nur in Kombination mit einem anderen Gebiet, wird sowohl bei den Maximalwerten wie auch den Tendenzen der Verschiebung der Mittelwert gebildet, indem die Zeilen der Matrizen aufsummiert werden und durch die Anzahl der Spalten geteilt werden.

## 2.7 Farbgebung

Um schnell verständliche Abbildungen bereitstellen zu können, werden die Werte skaliert und die Farbgebung der Deutschlandkarten derart angepasst, dass das gesamte Farbspektrum abgedeckt wird. Das Farbspektrum reicht von blau über grün zu gelb zu rot, wie in Abbildung 11 demonstriert. Die niedrigsten Werte werden blau gefärbt und in der Regel die weiteren Farben linear zugeordnet, bis dem höchsten Wert schwarz zugeteilt wird. Das bedeutet, dass einer Zahlenfolge mit 30 Zahlen mit selbem Abstand zueinander exakt die 30 in Abbildung 11 dargestellten Farben zugeordnet werden. Da manche dieser Farbwerte im Kontrast zu einem weißen Hintergrund schwer zu erkennen sind, ist der Hintergrund der meisten Abbildungen grau.



**Abbildung 11:** Das Farbspektrum, in welchem sich die Darstellungen bewegen. Von links nach rechts steigen die eingegebenen Werte äquidistant. Der angegebene Wert wird jeweils anhand des ersten und des letzten Wertes linear in diesem Spektrum verortet.

Die Matrizen werden durch die verwendete Python-Programmbibliothek „Matplotlib“ automatisch eingefärbt.

## 3 Vorgehensweise

Um dem im Kapitel „1 Motivation“ formulierten Ziel zu folgen, muss zunächst eine Datenquelle gewählt werden. Anschließend werden deren Daten in eine nutzbare Form übertragen. Schlussendlich können die Informationen aus den Daten verknüpft, interpretiert und graphisch dargestellt werden.

Der Programmcode wurde in der Programmiersprache Python mit der Umgebung Jupyter Notebook ([jupyter.org](https://jupyter.org)) erstellt und kann nachgeschlagen werden unter <https://github.com/leanderbuerkin/Bachelorarbeit>.

Diese Bachelorarbeit basiert teilweise auf den Vorleistungen des Bachelorprojekts zur Visualisierung der COVID-19-Daten von Leander Marius Bürkin. Ziel dieses Bachelorprojekts war eine Reihe an Deutschlandkarten in einem Video zusammenzufassen, welches die Ausbreitung der COVID-19-Pandemie in Deutschland vom ersten März 2020 bis zum letzten Tag, für den die API des Robert Koch-Instituts Daten liefert, darstellt.

Das Bachelorprojekt sowie eines der Videos ist verfügbar unter [https://github.com/leanderbuerkin/Bachelorprojekt/blob/master/media/germany\\_incidence\\_V4\\_300ms\\_1080p\\_music.mp4](https://github.com/leanderbuerkin/Bachelorprojekt/blob/master/media/germany_incidence_V4_300ms_1080p_music.mp4).

### **3.1 Datenquellen - Ursprung und Abspeicherung**

Das genannte Bachelorprojekt sowie diese Bachelorarbeit verwenden Informationen zur COVID-19-Pandemie und die geographischen Daten von 412 deutschen Landkreisen. Alle Daten stammen von der Programmierschnittstelle (API) des Robert Koch-Instituts „COVID-19 Datenhub“ ([npgeo-corona-npgeo-de.hub.arcgis.com](http://npgeo-corona-npgeo-de.hub.arcgis.com)) oder werden aus den daher stammenden Daten generiert. Diese Datenquelle wurde gewählt, weil sie vom Robert Koch-Institut (RKI, [www.rki.de](http://www.rki.de)) und der deutschen Bundesregierung ([www.bundesregierung.de](http://www.bundesregierung.de)) als Quelle angegeben wird. Beispielsweise unter:

- [www.bundesregierung.de/breg-de/themen/coronavirus](http://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/coronavirus)
- [www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Daten/Fallzahlen\\_Inzidenz\\_aktualisiert.html](http://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Daten/Fallzahlen_Inzidenz_aktualisiert.html)

Insgesamt werden drei verschiedene Datenpakete der API verwendet, zum einen die geographischen Daten der Landkreise, zum anderen die Summe aller aufgetretenen COVID-19-Fälle seit Beginn der Pandemie für jeden Landkreis und jeden Tag vom 01.03.2020 bis zum 21.07.2021 sowie eine Auflistung aller Meldungen der Gesundheitsämter, in welchen das Referenzdatum, das Melde datum, die Anzahl der betroffenen Menschen und deren Zustand (entweder genesen, verstorben oder noch infektiös) angegeben werden. Das Referenzdatum kann laut RKI als Tag der Infektion interpretiert werden, das Melde datum als Genesungsdatum beziehungsweise Sterbedatum [7].

Alle drei Datenpakete liefern Daten für die deutschen Landkreise. Diese sind jeweils in Form des sogenannten Gemeindeschlüssels referenziert, eine vollständige Zuordnung der Landkreise findet sich in Abschnitt 8.2. Die Gemeindeschlüssel bestehen aus vier oder fünf Ziffern, wobei die erste oder die ersten beiden das Bundesland angeben, die zweite beziehungsweise dritte Stelle gegebenenfalls den Regierungsbezirk und die letzten beiden Stellen den Landkreis bestimmen. Somit lassen sich die Landkreise in Regierungsbezirke einteilen und mithilfe der Kennzahlen der Landkreise die Kennzahlen der Regierungsbezirke berechnen.

Die Landkreise, welche das RKI angibt, stimmen nicht mit den Landkreisen des Statistischen Bundesamtes [9] überein: In den Daten des RKI gibt es 118 Landkreise mehr, beziehungsweise wenn man die kreisfreien Städte abzieht, zwölf Landkreise mehr. Diese Diskrepanz kommt durch die Aufteilung von Berlin in seine 12 Bezirke. Zudem wird der Stadtkreis Eisenach in den Daten des RKI als eigene kreisfreie Stadt gewertet und nicht zum Landkreis Wartburgkreis hinzugefügt. Der Stadtkreis Eisenach ist mit dem Gemeindeschlüssel 16056 versehen. Trotz dieser Unterschiede und obwohl auch kreisfreie Städte mit inbegriffen sind, wird im folgenden weiterhin der Begriff „Landkreise“ für alle 412 Gebiete verwendet.

Die Regierungsbezirke, welche sich aus den ersten zwei oder drei Stellen des Gemeindeschlüssels ergeben, stimmen leider auch nicht mit den Regierungsbezirken des Statistischen Bundesamtes [10] überein: Die Gemeindeschlüssel haben 38 verschiedene Präfixe, wohingegen laut statistischem Bundesamt aktuell nur 19 Regierungsbezirke existieren. Da jedoch nicht alle Bundesländer in Regierungsbezirke unterteilt sind, wird in neun Fällen das Bundesland an Stelle möglicher Regierungsbezirke verwendet. Die Diskrepanz von neun weiteren Gebieten entsteht durch die Veränderung der Regierungsbezirke seit der Einführung der Gemeindeschlüssel: Die Gemeindeschlüssel von Niedersachsen lassen auf 4 Regierungsbezirke schließen, die Gemeindeschlüssel der Rheinland-Pfalz auf 3 und die Gemeindeschlüssel Sachsen auf 3 weitere. Keines dieser Bundesländer ist aktuell noch in Regierungsbezirke unterteilt. Somit ergeben sich 19 echte Regierungsbezirke, 10 ehemalige sowie 9 Bundesländer ohne Regierungsbezirke. Trotz dieser Unterschiede und obwohl auch Bundesländer miteinbegriffen sind, wird im folgenden weiterhin der Begriff „Regierungsbezirk“ für alle 38 Gebiete verwendet.

Die genannten Daten wurden abgespeichert, damit sie nicht bei jeder Ausführung erneut angefordert und aufbereitet werden müssen.

## 3.2 Datenaufbereitung

Bevor die Daten genutzt werden können, müssen sie verifiziert werden, überflüssige Informationen entfernt und neue Kennzahlen aus den gegebenen Informationen berechnet werden. Überflüssige Informationen sind beispielsweise Alter, Geschlecht und der Tag der Publikation.

Daten vor der Datenaufbereitung, welche direkt von der API oder einem Backup davon stammen, werden als „unmodifizierte Daten“ bezeichnet.

Daten, die auf Vollständigkeit überprüft wurden, die neu-berechnete Daten enthalten und von überflüssigen Informationen bereinigt wurden, werden „modifizierte Daten“ genannt.

Zunächst werden die unmodifizierten Daten in eine übersichtlichere Form übertragen und es wird sichergestellt, dass gleich viele Werte für jeden Landkreis vorhanden sind. Zudem werden die Umrisse der 100 Landkreise von Hand geprüft, welche mehrere Polygone enthalten. Diese werden entweder als Ausschnitt oder als reale Fläche interpretiert. Würde man einfach alle Polygone zeichnen, kann es passieren, dass ein Bereich, welcher komplett von einem Landkreis umgeben ist, von einem seiner Polygone übermalt wird, welches genau diese Fläche aus dem Landkreis ausschneiden sollte.

Nachdem die unmodifizierten Daten in eine übersichtlichere Form übertragen und überprüft sind, werden aus den Daten weitere Werte berechnet.

Die Bevölkerungsdichte der Landkreise wird berechnet, indem die Anzahl der Einwohner durch die Fläche in Quadratmetern geteilt wird (siehe Gleichung 4). Beide Informationen werden von der API bereitgestellt. Die Bevölkerungsdichte wird auch für die Regierungsbezirke berechnet. Sowohl die Bevölkerungsdichten der Landkreise als auch die Bevölkerungsdichten der Regierungsbezirke werden zur Einordnung der Korrelationsanalysen auf einer Deutschlandkarte dargestellt, wobei die Farbe die Bevölkerungsdichte repräsentiert, wie in Abschnitt 2.7 beschrieben.

Für jeden Landkreis und jeden Regierungsbezirk wird eine Zeitreihe mit den 7-Tage-Inzidenzen angefertigt, welche die 7-Tage-Inzidenz nach Gleichung 5 für jeden Tag enthält, für den eine Fallzahl angegeben ist.

Um die Auflistung aller Meldungen der Gesundheitsämter nutzen zu können, müssen diese erst für jeden Landkreis und jeden Tag gesammelt und aufsummiert werden: Das Referenzdatum wird als Tag der Infektion interpretiert. Die Anzahl der betroffenen Individuen wird für jeden folgenden Tag zur akkumulierten Anzahl der Fälle hinzu addiert. Das Meldedatum wird als Tag der Genesung beziehungsweise Tag des Todes interpretiert, je nachdem ob die Meldung Genesung oder Tod angibt. Die Anzahl der betroffenen Individuen wird hier zum einen für jeden folgenden Tag zur akkumulierten Anzahl der Genesenen/Verstorbenen hinzu addiert. Zum anderen wird die Anzahl der betroffenen Individuen für jeden Tag zwischen dem Referenzdatum und dem Meldedatum zu den aktiven Fällen hinzu addiert.

Um ein Gefühl dafür zu bekommen, welcher Landkreis in welchem Ausmaß von der COVID-19-Pandemie getroffen wurde, wird die akkumulierte Anzahl der COVID-19-Fälle des letzten Tages durch die Bevölkerung des Landkreises geteilt und farblich in einer Deutschlandkarte dargestellt.

### 3.3 Datendarstellung

#### 3.3.1 Allgemeine Daten der Gebiete

Zuerst werden die folgenden Daten der Landkreise und Regierungsbezirke dargestellt, welche auf einfachen Gleichungen beruhen und lediglich zur Einordnung der anderen Ergebnisse dienen:

- Die Bevölkerungsdichte  $\rho_\Omega$  nach Gleichung 4, um diese mit dem Infektionsverhalten in Zusammenhang setzen zu können.
- Die Anordnung der Gebiete, wenn man sie lexikographisch nach ihrem Ge-

meindeschlüssel sortiert. Dadurch ergibt sich eine einheitlichere Ost-West und Nord-Süd-Aufteilung als die Sortierung nach dem Betrag des Gemeindeschlüssels, daher wird die lexikographische Ordnung verwendet.

- Das Mittel der 7-Tage-Inzidenzen nach Gleichung 5 und Abschnitt 2.1, als Maß dafür, wie stark ein Gebiet betroffen war.

### 3.3.2 SIR-Modell

Zudem wird anhand der Daten ein SIR-Modell erstellt, wie in Abschnitt 2.2 beschrieben.

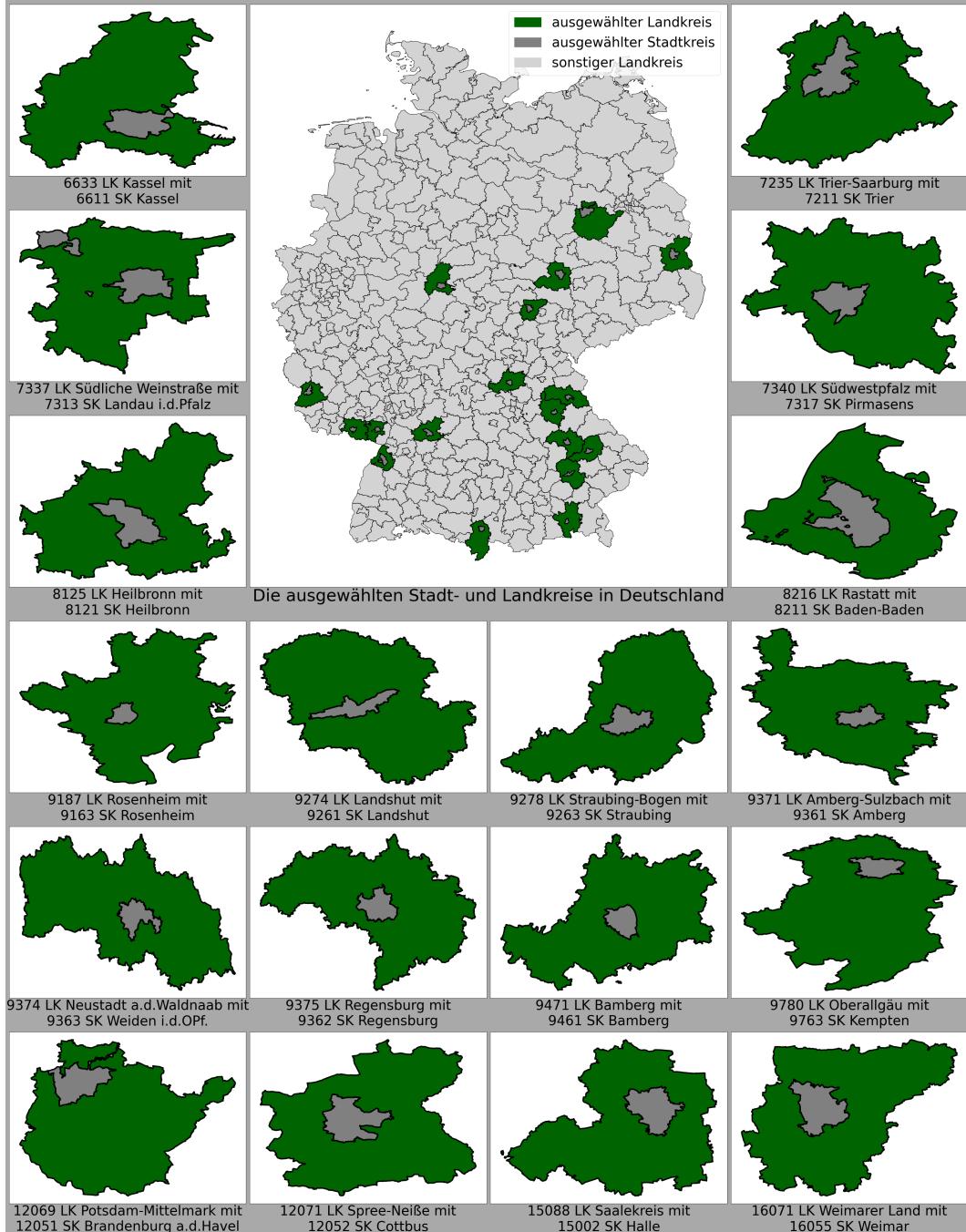
Da jedoch die Zahl der aktiven Fälle sehr niedrig und dementsprechend sensibel gegenüber kleinen Anomalien sind, wird das SIR-Modell nur auf Bundesebene erstellt. Hierfür werden die drei Kennzahlen des SIR-Modells in drei Abbildungen dargestellt.

### 3.3.3 Korrelationsanalyse

Für alle Korrelationsanalysen werden aus den in Abschnitt 2.4 genannten Gründen die 7-Tage-Inzidenzen nach Gleichung 5 verwendet. Folgende Gebiete werden nach den in Abschnitt 2.6 beschriebenen Methoden untersucht:

- Die Korrelation der in Abbildung 12 dargestellten Stadtkreise mit den Landkreisen, die sie umgeben (die Abweichungen von der in Abschnitt 2.6 beschriebenen Korrelationsanalyse sind am Ende dieses Abschnitts aufgeführt)
- Die Korrelationen aller Landkreise untereinander
- Die Korrelationen aller Regierungsbezirke untereinander

## Die ausgewählten Stadt- und Landkreise



**Abbildung 12:** Darstellung der ausgewählten Landkreise mit den Stadtkreisen, die sie jeweils umgeben. In Grün jeweils der Landkreis und in Dunkelgrau der Stadtkreis, der umschlossen wird.

In dieser Arbeit werden nur Korrelationen mit einer Verschiebungen  $\tau$  zwischen einschließlich  $-30$  und  $30$  betrachtet, da zum einen eine Interpretation für eine Verschiebung von mehr als einem Monat aufgrund der vielen Faktoren beim Infektionsgeschehen sehr schwierig ist und zum anderen einzelne Ausreißer bei größeren Verschiebungen stärker ins Gewicht fallen, weil immer weniger Produkte aufsummiert werden. Dies fällt auch in Abbildung 8 im Vergleich zu Abbildung 7 an den Rändern der Graphen auf.

Um ein detailliertes Bild zu erhalten, werden zudem Korrelationsanalysen für die Verschiebungen  $\tau$  zwischen einschließlich  $-14$  und  $14$  durchgeführt.

### **Abweichungen von der Standard-Korrelationsanalyse bei der Korrelationsanalyse einzelner ausgewählter Städte und Landkreise**

Um herauszufinden, ob sich in den Korrelationswerten zwischen einer Stadt und ihrem Umland eine zeitliche Verschiebung feststellen lässt oder andere Auffälligkeiten auftreten, werden Korrelationsanalysen für die in Abbildung 12 definierten Land- und Stadtkreise durchgeführt.

Um die festgestellten zeitlichen Verschiebungen einzuordnen, wird zusätzlich zu der in Abschnitt 2.6 beschriebenen Korrelationsanalyse ermittelt, bei wie viel Prozent der Korrelationen aller deutschen Landkreise untereinander der höchste Korrelationswert bei einer Verschiebung von  $\tau = 0$  zu finden ist.

Ansonsten werden für die ausgewählten Landkreis-Stadtkreis-Paare Korrelationsanalysen durchgeführt, wie in Abschnitt 2.6 beschrieben. Da es sich jedoch um eine übersichtliche Datenmenge handelt und für jedes Gebiet nur eine Korrelation geprüft wird, werden die Korrelationswerte explizit ausgegeben anstatt, dass die Verschiebungen mit dem maximalen Korrelationswert  $\tau_0$  und die Tendenzen der Verschiebung  $\hat{\tau}$  in Form einer Matrix dargestellt werden.

# 4 Resultate

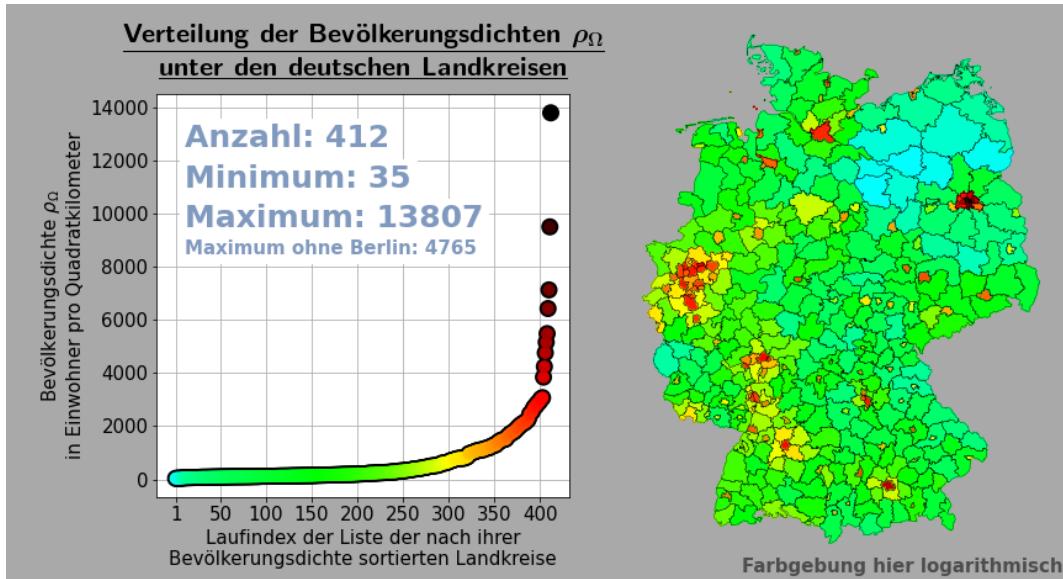
## 4.1 Allgemeine Daten der Gebiete

Wie in Unterabschnitt 3.3.1 beschrieben, werden zuerst allgemeine Daten der Landkreise und Regierungsbezirke ermittelt und dargestellt.

## 4.2 Bevölkerungsdichten der Landkreise und Regierungsbezirke

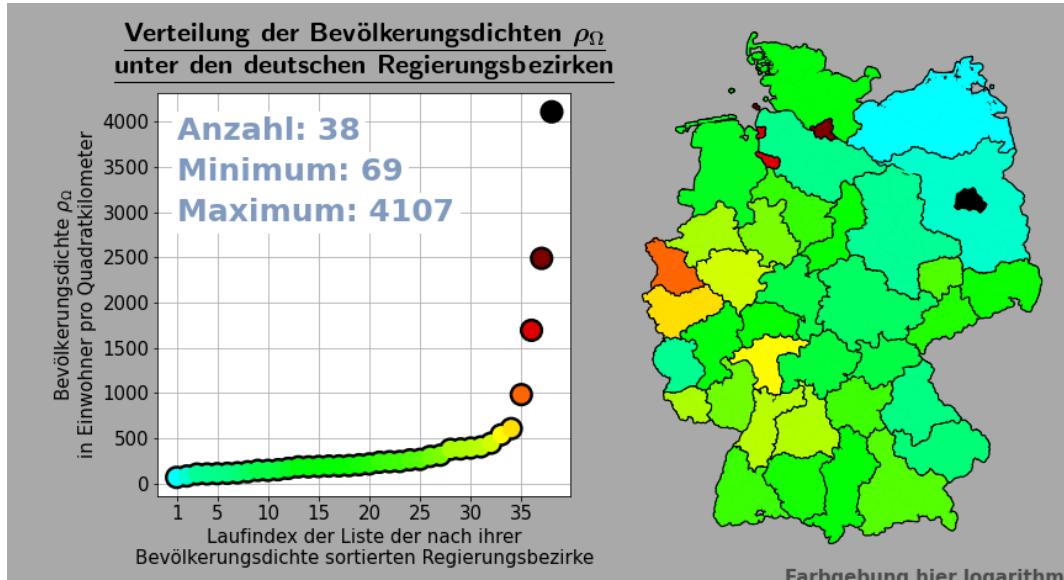
Die Landkreise in Abbildung 13 sind gemäß der Bevölkerungsdichte der Landkreise eingefärbt. Eine komplette Auflistung der Landkreise in dieser Reihenfolge findet sich in Abschnitt 8.1. Klar zu erkennen die breite Spannweite von 35 bis 13 807 Einwohnern pro Quadratkilometer.

Aus der Auflistung im Abschnitt 8.1 geht klar hervor, dass die 6 Gebiete mit der höchsten Bevölkerungsdichte die Bezirke Berlins sind. Rechnet man die Bevölkerungsdichte der gesamten Stadt Berlin zusammen, befindet sich diese auf Platz zwei und München besitzt mit 4765 Einwohnern pro Quadratkilometer die höchste Bevölkerungsdichte.



**Abbildung 13:** Verteilung der Bevölkerungsdichten der deutschen Landkreise  $\rho_\Omega$ , wie in Gleichung 4 beschrieben. Auf der linken Seite befindet sich die Verteilung, welche zudem die Farbgebung vorgibt. Auf der rechten Seite befindet sich die räumliche Anordnung. Die Farbgebung entspricht Abschnitt 2.7. Da jedoch wenige Werte sehr hoch sind, wie im linken Teil klar zu sehen, wird der Logarithmus der Bevölkerungsdichte benutzt, um die Farben zu vergeben.

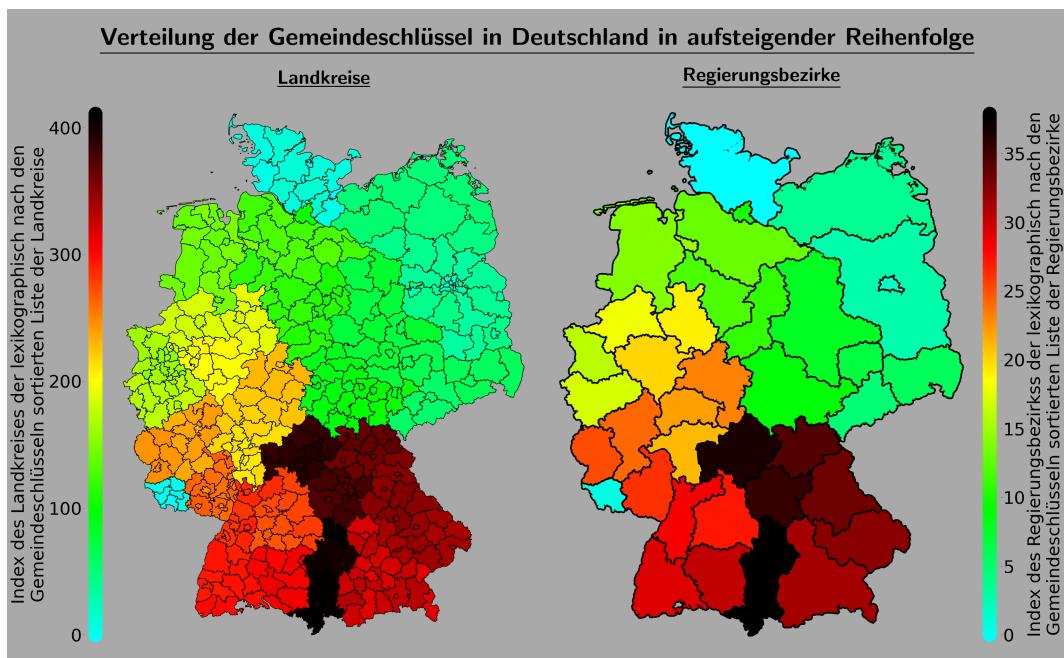
In Abbildung 14 sind die Bevölkerungsdichten der einzelnen Regierungsbezirke dargestellt. Wenig verwunderlich ist hier die Spannweite nicht ganz so groß: Die Auflistung der Regierungsbezirke nach Bevölkerungsdichte in Abschnitt 8.3 beginnt mit Mecklenburg-Vorpommern (69.65 Einwohner pro Quadratkilometer) und endet mit Berlin (4107.70 Einwohner pro Quadratkilometer).



**Abbildung 14:** Verteilung der Bevölkerungsdichten der deutschen Regierungsbezirke  $\rho_\Omega$ , wie in Gleichung 4 beschrieben. Auf der linken Seite befindet sich die Verteilung, welche zudem die Farbgebung vorgibt. Auf der rechten Seite befindet sich die räumliche Anordnung. Die Farbgebung entspricht Abschnitt 2.7. Da jedoch wenige Werte sehr hoch sind, wie im linken Teil klar zu sehen, wird der Logarithmus der Bevölkerungsdichte benutzt, um die Farben zu vergeben.

### 4.3 Die Landkreise und Regierungsbezirke sortiert nach dem Gemeindeschlüssel

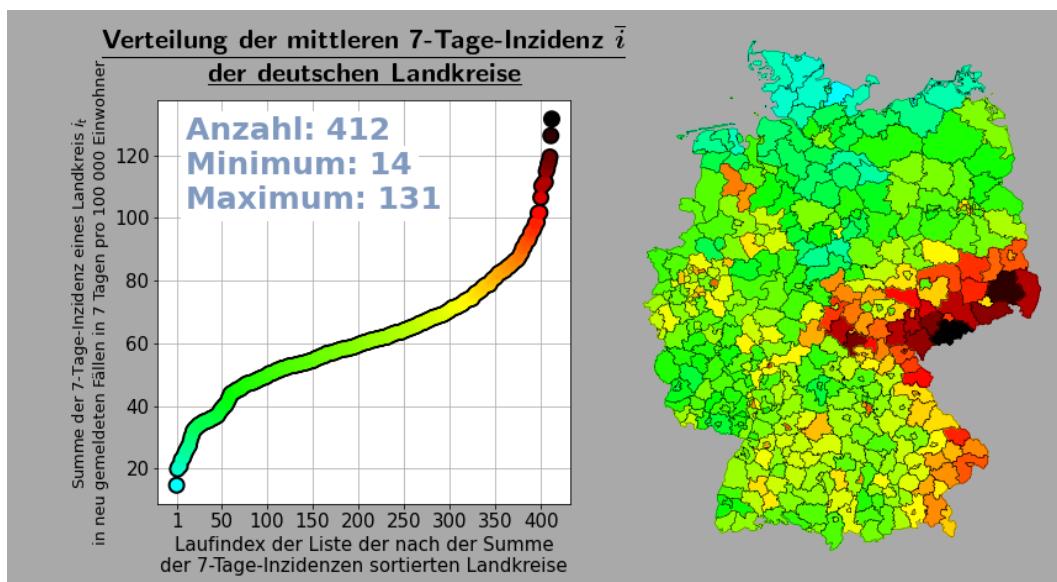
Unterabschnitt 3.3.1 folgend, wird in diesem Abschnitt die räumliche Verteilung der Gemeindeschlüssel dargestellt. In Abbildung 15 sind die Landkreise und Regierungsbezirke entsprechend der lexikographischen Ordnung der Gemeindeschlüssel eingefärbt, wie sie in Abschnitt 2.5 beschrieben ist. In der Abbildung lässt sich der in Unterabschnitt 3.3.1 angesprochene grobe Nord-Süd- und Ost-West-Verlauf erkennen. Das Saarland bildet hierbei leider eine Ausnahme, wie auch in der nach Gemeindeschlüssel sortierten Listen der Landkreise und den Regierungsbezirken in Abschnitt 8.2 und Abschnitt 8.3 sichtbar.



**Abbildung 15:** Die Landkreise und Regierungsbezirke eingefärbt nach der lexikographischen Größe ihres Gemeindeschlüssels.

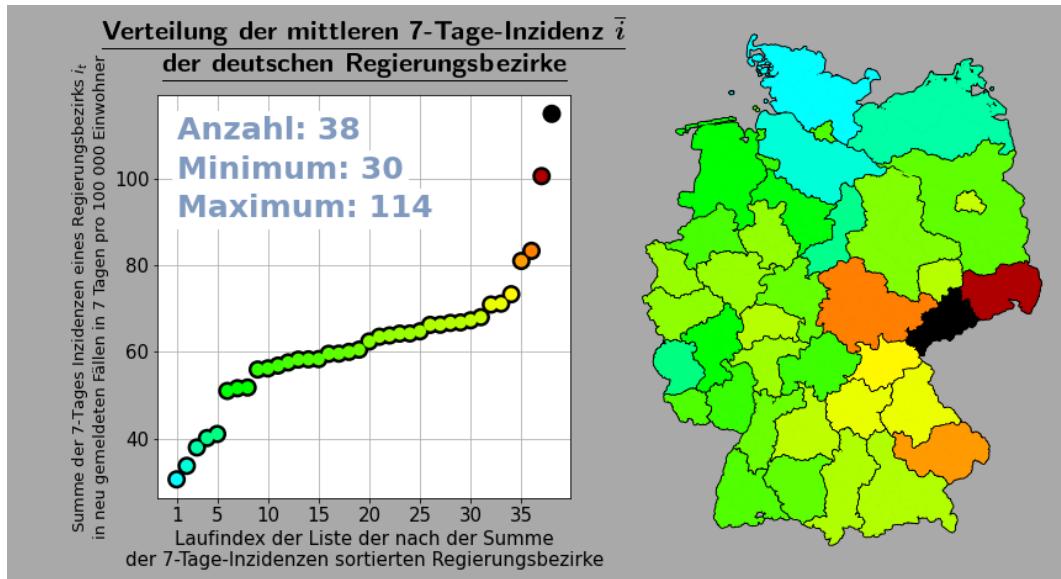
## 4.4 Summe der 7-Tage-Inzidenzen der Landkreise und Regierungsbezirke

Als letzte in Unterabschnitt 3.3.1 angesprochene Kennzahl folgt in diesem Abschnitt die Darstellung der durchschnittlichen 7-Tage-Inzidenz der Landkreise und Regierungsbezirke. In Abbildung 16 sind die Mittel der 7-Tage-Inzidenz der einzelnen Landkreise dargestellt. Auffällig ist hierbei die starke Ausprägung in Sachsen und Thüringen mit einigen Landkreisen mit durchschnittlichen 7-Tages-Inzidenzen über 100 neu gemeldeten Fällen pro 100 000 Einwohnern.



**Abbildung 16:** Die Verteilung der Mittel der 7-Tage-Inzidenz  $\bar{i}$  unter den Landkreisen. Berechnet nach Gleichung 1 und Gleichung 5. Auf der linken Seite befindet sich die Verteilung, welche zudem die Farbgebung vorgibt. Auf der rechten Seite befindet sich die räumliche Anordnung. Die Farbgebung entspricht Abschnitt 2.7.

In Abbildung 17 sind die Mittel der 7-Tage-Inzidenz der einzelnen Regierungsbezirke dargestellt. Auch hier sind zwei der drei Regierungsbezirke Sachsen's Spitzenreiter mit durchschnittlichen 7-Tage-Inzidenz von über 100 neu gemeldeten Fällen in den letzten 7 Tagen pro 100 000 Einwohnern.



**Abbildung 17:** Die Verteilung der Mittel der 7-Tage-Inzidenz  $\bar{i}$  unter den Regierungsbezirken. Berechnet nach Gleichung 1 und Gleichung 5. Auf der linken Seite befindet sich die Verteilung, welche zudem die Farbgebung vorgibt. Auf der rechten Seite befindet sich die räumliche Anordnung. Die Farbgebung entspricht Abschnitt 2.7.

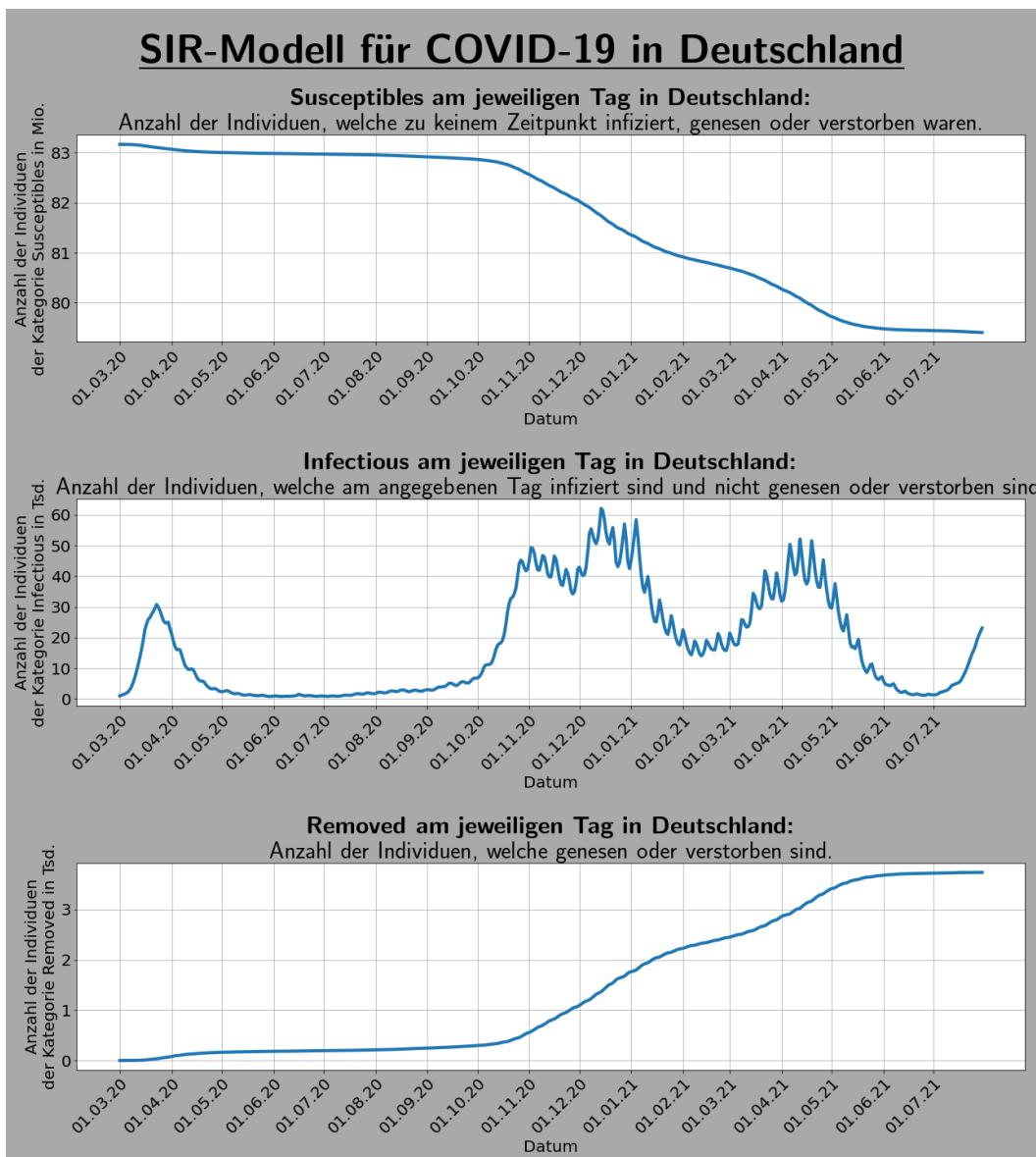
## 4.5 SIR-Modell für Deutschland

Wie in Unterabschnitt 3.3.2 beschrieben, sind in den drei Graphen in Abbildung 18 die drei Kennzahlen des SIR-Modells für Deutschland dargestellt.

Von den 3 748 038 gemeldeten Fällen weisen 46 033 Meldungen (1,2%) nachfolgend beschriebenen Inkonsistenzen auf. Dies entspricht fast der maximalen Zahl der Menschen in Kategorie „Infectious“ von circa 60 000.

In 37 757 Fällen liegt das Melde datum vor dem Referenzdatum, das heißt die Person ist nach der hier verwendeten Interpretation genesen, beziehungsweise gestorben, bevor sie sich angesteckt hat. Bei diesen Meldungen wird das Melde datum auf das Referenzdatum gesetzt. In 8276 Fällen liegt das Referenzdatum mehr als 30 Tage vor dem Melde datum, die Person ist also mehr als 30 Tage krank, was laut RKI sehr unwahrscheinlich ist.[7] Auch in diesen Fällen wird das Melde datum auf das Referenzdatum gesetzt.

1409 Fälle wurden vor dem 01. März 2020 an das RKI gemeldet. Teilweise handelt es sich um authentische Meldungen, teilweise um fragwürdige Meldungen. Da die Gesamtzahl jedoch unter einem Prozent liegt, werden die Fälle in Abbildung 18 zum 01. März 2020 hinzugerechnet.



**Abbildung 18:** Die drei Kennzahlen des SIR-Modells für Deutschland in drei Graphen wie sie in Abschnitt 2.2 definiert sind.

## 4.6 Korrelationen zwischen Städten und ihrem Umland

In Abbildung 19 sind die Korrelationswerte zwischen den in Abschnitt 3.3.3 beschriebenen Städten und den zugehörigen Landkreisen für eine zeitliche Verschiebung zwischen  $\tau = -30$  und  $\tau = 30$  als Kurven dargestellt.

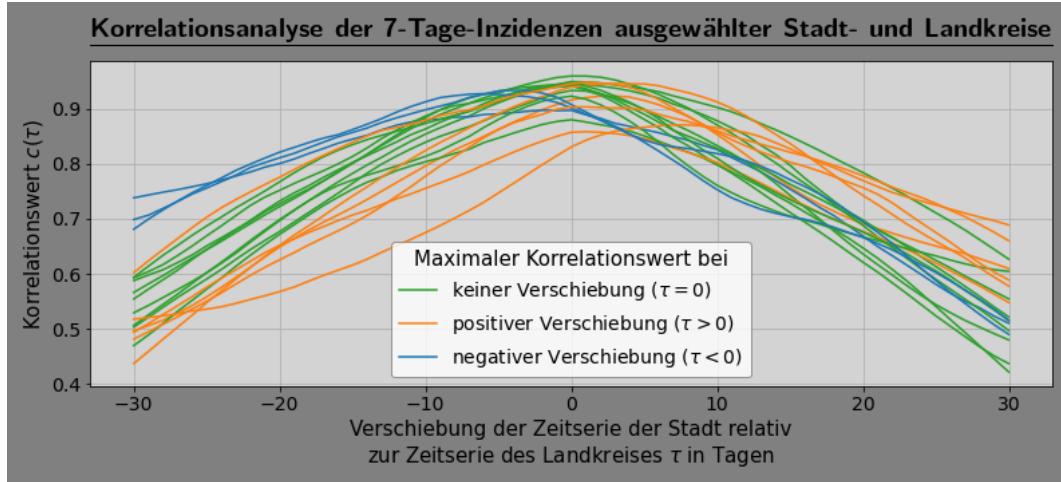
Bei den Korrelationsanalysen der folgenden Stadt- (SK) und Landkreise (LK) sind die Werte bei einer Verschiebung  $\tau = 0$  maximal:

- LK Kassel (6633) mit SK Kassel (6611)
- LK Südliche Weinstraße (7337) mit SK Landau i.d.Pfalz (7313)
- LK Heilbronn (8125) mit SK Heilbronn (8121)
- LK Rastatt (8216) mit SK Baden-Baden (8211)
- LK Rosenheim (9187) mit SK Rosenheim (9163)
- LK Landshut (9274) mit SK Landshut (9261)
- LK Straubing-Bogen (9278) mit SK Straubing (9263)
- LK Neustadt a.d.Waldnaab (9374) mit SK Weiden i.d.OPf. (9363)
- LK Oberallgäu (9780) mit SK Kempten (9763)

Bei den Korrelationsanalysen der folgenden Stadt- und Landkreise sind die Werte bei einer Verschiebung  $\tau = 1$  maximal:

- LK Amberg-Sulzbach (9371) mit SK Amberg (9361)
- LK Saalekreis (15088) mit SK Halle (15002)
- LK Weimarer Land (16071) mit SK Weimar (16055)

Bei den Korrelationsanalysen von LK Trier-Saarburg (7235) mit SK Trier (7211) und LK Regensburg (9375) mit SK Regensburg (9362) sind die Werte bei einer Verschiebung  $\tau = 3$  maximal. Die Werte der Korrelationsanalyse von LK Bamberg (9471) mit SK Bamberg (9461) sind maximal bei einer Verschiebung  $\tau = 8$ . Die Werte Korrelationsanalysen von LK Südwestpfalz (7340) mit SK Pirmasens (7317), LK Potsdam-Mittelmark (12069) mit SK Brandenburg a.d.Havel (12051) und LK Spree-Neiße (12071) mit SK Cottbus (12052) werden jeweils bei einer Verschiebung  $\tau = -2$ ,  $\tau = -4$  und  $\tau = -6$  maximal.

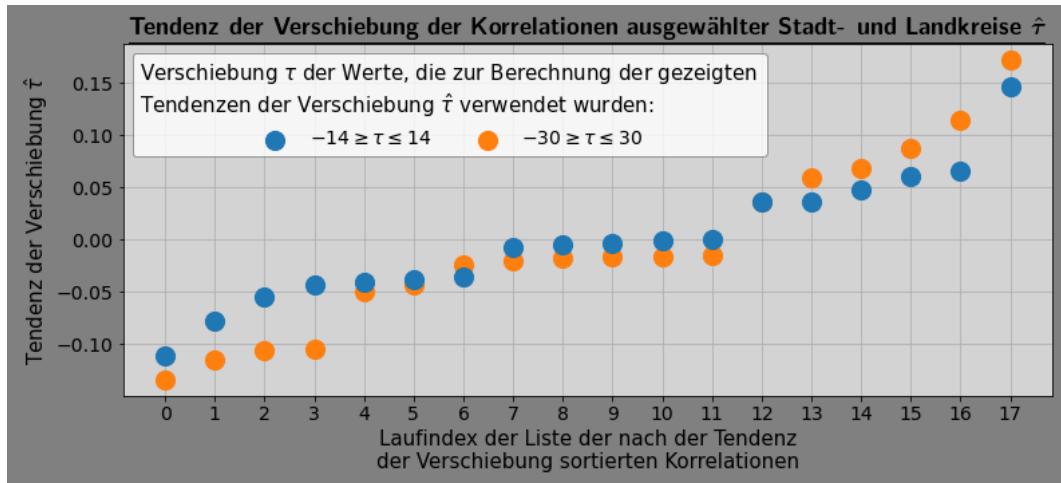


**Abbildung 19:** Die Korrelationswerte  $c(\tau)$  der 7-Tage-Inzidenzen der ausgewählten Landkreise mit den Städten, die sie umgeben. Die Kurven, deren Maximum rechts der null ist, sind Orange eingefärbt. Die Kurven mit dem höchsten Punkt links der null sind Blau gefärbt. Die restlichen Kurven, welche am für  $\tau = 0$  maximal werden, sind Grün gefärbt.

In dieser sehr kleinen Teilmenge weisen 50 % der Korrelationen den höchsten Korrelationswert bei einer Verschiebung von  $\tau = 0$  auf. Bei den Korrelationen aller deutschen Landkreise untereinander liegt bei 8.7 % der höchste Korrelationswert bei einer Verschiebung von  $\tau = 0$  (8.5 % wenn man die Korrelationen der Landkreise mit sich selbst herausrechnet).

Abbildung 20 zeigt die Tendenzen der Verschiebung  $\hat{\tau}$  der in Abschnitt 3.3.3 beschriebenen Korrelationen. Wie auch die Maxima sind auch die Tendenzen fast gleichmäßig

auf positive und negative Werte aufgeteilt. Mit Tendenzen zwischen -0.075 und 0.1 sind diese jedoch ähnlich verteilt wie die Tendenzen der Verschiebung der Korrelationen aller anderen Landkreise, wie sie im folgenden Abschnitt 4.7 beschrieben werden.



**Abbildung 20:** Die Tendenzen der Verschiebung  $\hat{\tau}$  aus den Korrelationsanalysen der ausgewählten Städte und Landkreise. In orange sind die Tendenzen der Verschiebung für Verschiebungen  $\tau$  zwischen  $-14$  und  $14$  dargestellt. In blau sind die Tendenzen der Verschiebung für Verschiebungen  $\tau$  zwischen  $-30$  und  $30$  dargestellt.

## **4.7 Korrelationsmatrizen sortiert nach der Bevölkerungsdichte**

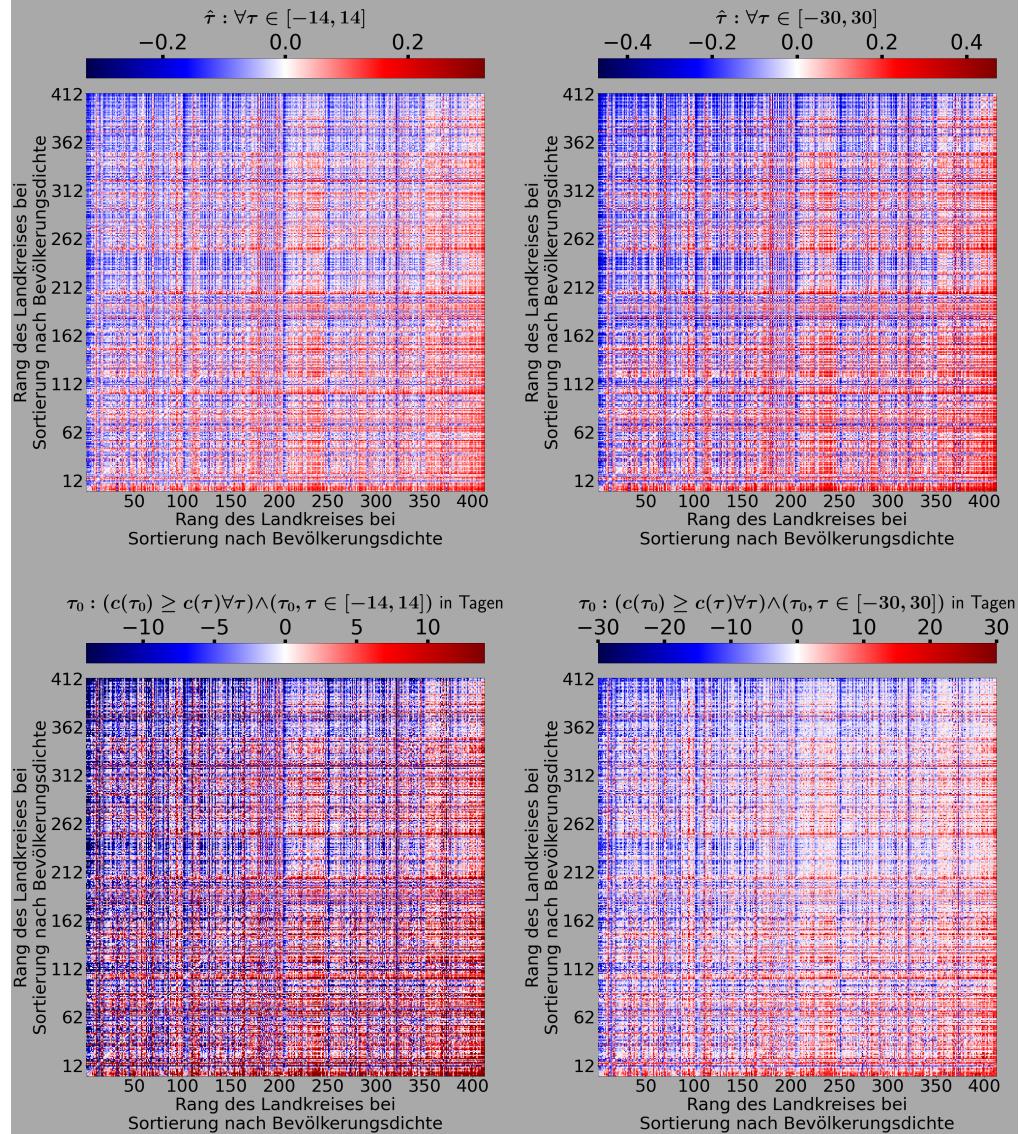
In den folgenden beiden Abschnitten Unterabschnitt 4.7.1 und Unterabschnitt 4.7.2 sind die Werte der Korrelationsanalysen als Matrizen dargestellt, wie es in Abschnitt 2.6 definiert und in Unterabschnitt 3.3.3 beschrieben ist.

### **4.7.1 Korrelationsmatrizen mit den nach Bevölkerungsdichten sortierten Landkreisen**

In Abbildung 21 finden sich die vier Matrizen mit den Werten für die Korrelationen zwischen allen Landkreisen. Die Zeilen und Spalten sind nach der Bevölkerungsdichte der Landkreise sortiert. Im Anhang in Abschnitt 8.1 befindet sich die vollständige Auflistung.

Bis auf eine kleine Überzahl an negativen Werten an der linken Seite und der entsprechenden Spiegelung mit negativem Vorzeichen an der ersten Winkelhalbierenden scheinen die Matrizen relativ homogen besetzt zu sein.

## Korrelationsmatrizen mit den nach Bevölkerungsdichte sortierten Landkreisen



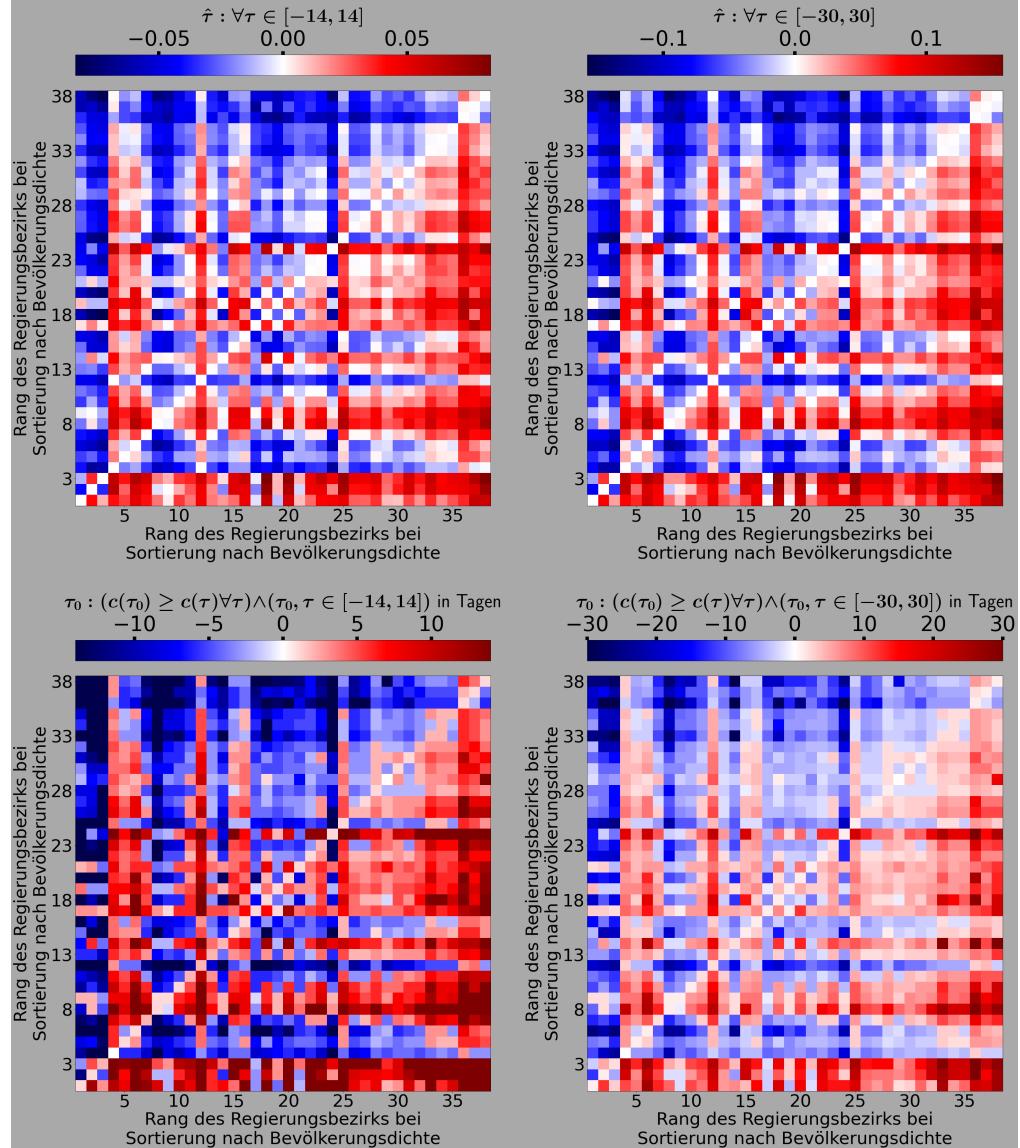
**Abbildung 21:** Korrelationsmatrizen der Korrelationen aller Landkreise nach Bevölkerungsdichte sortiert (siehe Abschnitt 8.1). Die Farben der Zellen der oberen Matrizen entsprechen den Tendenzen der Verschiebung  $\hat{\tau}$  des Landkreises der Spalte in Relation zum Landkreis der Zeile nach Gleichung 10. In den unteren Matrizen wird die Zelle entsprechend der Verschiebung  $\tau_0$  der Zeitreihe des Landkreises der Spalte entgegen der Zeitreihe der Zeile mit dem höchsten Korrelationswert  $c(\tau_0)$  eingefärbt. Links sind die Kennzahlen aus den Verschiebungen  $\tau \in [-14, 14]$  und rechts aus den Verschiebungen  $\tau \in [-30, 30]$  ausgewählt und berechnet worden.

#### **4.7.2 Korrelationsmatrizen mit den nach Bevölkerungsdichten sortierten Regierungsbezirken**

Die vier Matrizen mit den Werten für die Korrelationen zwischen den Regierungsbezirken finden sich in Abbildung 22. Die Matrizen sind gemäß Abschnitt 2.6 und Unterabschnitt 3.3.3 erstellt. Die Zeilen und Spalten sind nach der Bevölkerungsdichte der Regierungsbezirke sortiert, die vollständige Auflistung befindet sich im Anhang in Abschnitt 8.3.

In den Matrizen in Abbildung 22 ist die in Unterabschnitt 4.7.1 beschriebene Verteilung der Werte von ansteigend von links nach rechts noch deutlicher zu erkennen. Auch die Ausnahmen, wie beispielsweise der Regierungsbezirk Trier, dem die vierte Spalte zugeordnet ist: Diese Spalte fällt durch erstaunlich hohe Werte auf, wohingegen die Werte links davon sehr einheitlich blau sind. Auch die beiden Spalten rechts davon enthalten relativ hohe Werte, jedoch nicht ganz so extrem wie die Spalte des Regierungsbezirks Trier.

## Korrelationsmatrizen mit den nach Bevölkerungsdichte sortierten Regierungsbezirken



**Abbildung 22:** Korrelationsmatrizen der Korrelationen aller Regierungsbezirke nach Bevölkerungsdichte sortiert (siehe Abschnitt 8.3). Die Farben der Zellen der oberen Matrizen entsprechen den Tendenzen der Verschiebung  $\hat{\tau}$  des Regierungsbezirks der Spalte in Relation zum Regierungsbezirk der Zeile nach Gleichung 10. In den unteren Matrizen wird die Zelle entsprechend der Verschiebung  $\tau_0$  der Zeitreihe des Regierungsbezirks der Spalte entgegen der Zeitreihe der Zeile mit dem höchsten Korrelationswert  $c(\tau_0)$  eingefärbt. Rechts sind die Kennzahlen aus den Verschiebungen  $\tau \in [-14, 14]$  und rechts aus den Verschiebungen  $\tau \in [-30, 30]$  ausgewählt und berechnet worden.

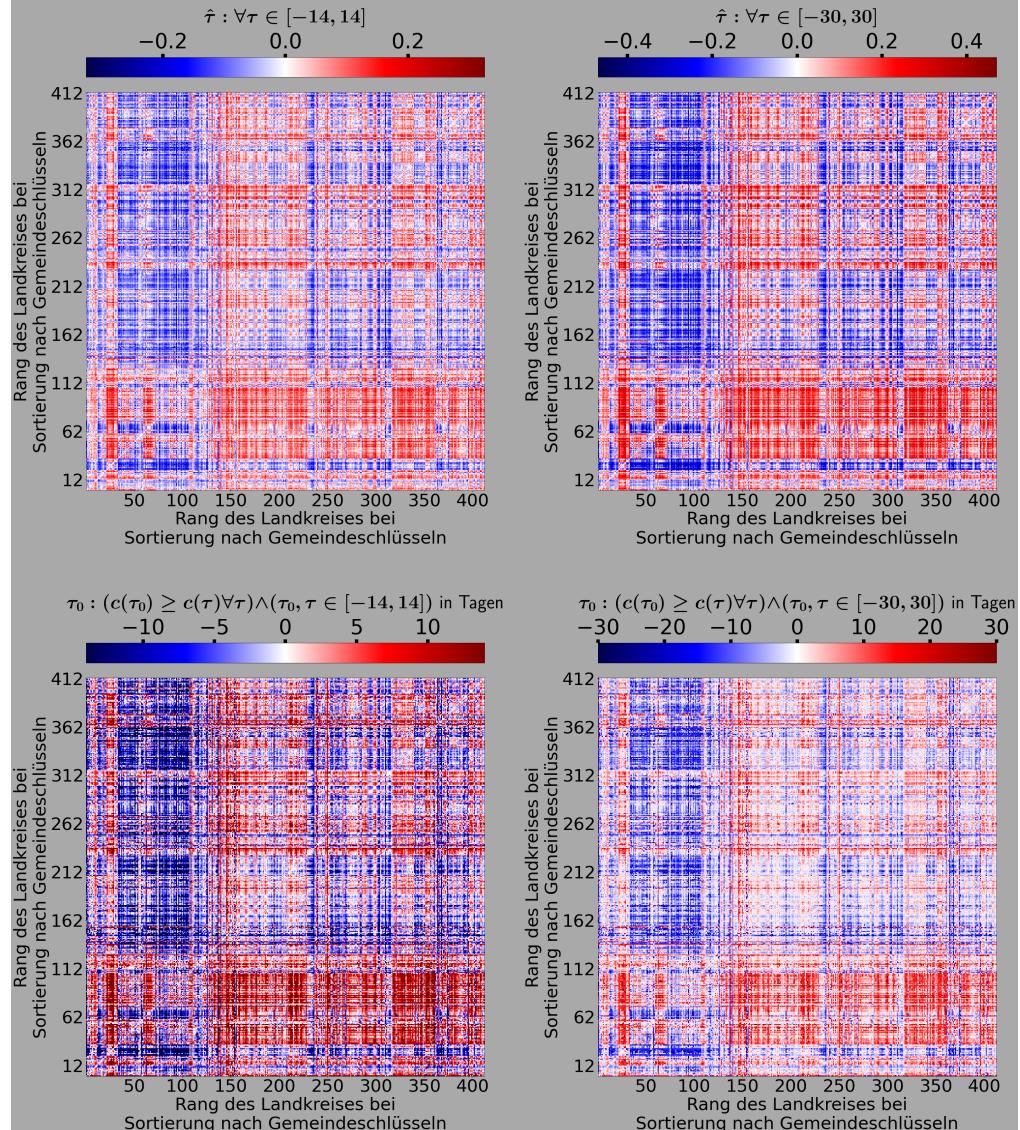
## **4.8 Korrelationsmatrizen sortiert nach Gemeindeschlüssel**

### **4.8.1 Korrelationsmatrizen mit den nach Gemeindeschlüsseln sortierten Landkreisen**

In Abbildung 23 befinden sich die vier Matrizen mit den Werten für die Korrelationen zwischen den Landkreisen. Die Zeilen und Spalten sind lexikographisch nach den Gemeindeschlüsseln der Landkreise sortiert und diesen zugeordnet. In Abschnitt 8.2 befindet sich die komplette sortierte Liste der Landkreise.

In den Matrizen zeichnet sich bereits eine auffällige Einteilung ab: Die Spalten im linken Drittel scheinen eher niedrige Werte zu enthalten, wohingegen die restlichen Spalten eher durchmischt sind jedoch im Vergleich zu den Spalten im linken Drittel eher hohe Werte enthalten.

### Korrelationsmatrizen mit den nach Gemeindeschlüsseln sortierten Landkreisen



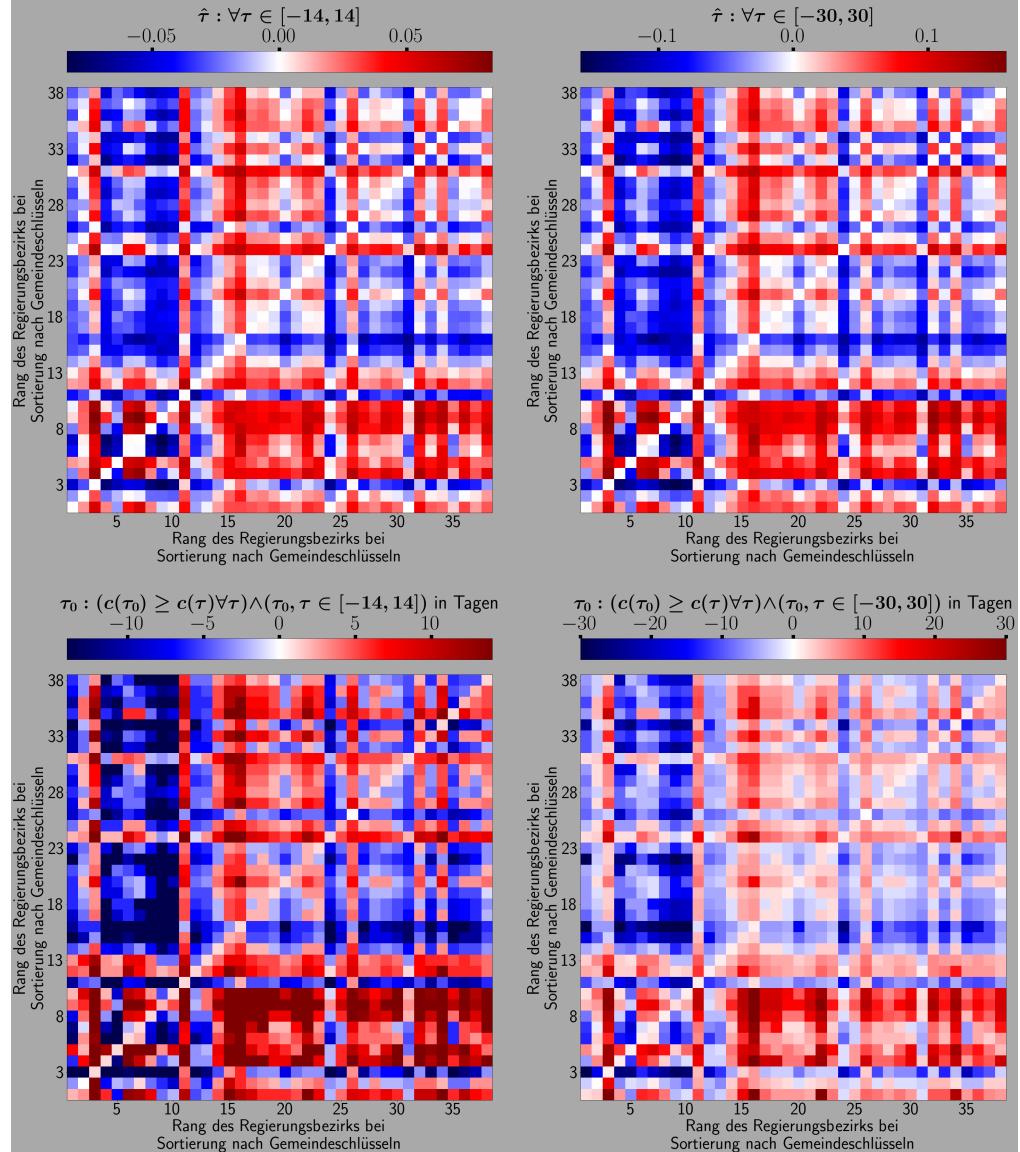
**Abbildung 23:** Korrelationsmatrizen der Korrelationen aller Landkreise lexikographisch sortiert (siehe Abschnitt 8.2). Die Farben der Zellen der oberen Matrizen entsprechen den Tendenzen der Verschiebung  $\hat{\tau}$  des Landkreises der Spalte in Relation zum Landkreis der Zeile nach Gleichung 10. In den unteren Matrizen wird die Zelle entsprechend der Verschiebung  $\tau_0$  der Zeitreihe des Landkreises der Spalte entgegen der Zeitreihe der Zeile mit dem höchsten Korrelationswert  $c(\tau_0)$  eingefärbt. Links sind die Kennzahlen aus den Verschiebungen  $\tau \in [-14, 14]$  und rechts aus den Verschiebungen  $\tau \in [-30, 30]$  ausgewählt und berechnet worden.

#### **4.8.2 Korrelationsmatrizen mit den nach Gemeindeschlüsseln sortierten Regierungsbezirken**

Die vier Matrizen mit den Werten für die Korrelationen zwischen den Regierungsbezirken befinden sich in Abbildung 24. Auch hier sind die Zeilen und Spalten lexikographisch nach den Gemeindeschlüsseln der Landkreise in den Regierungsbezirken sortiert. Die vollständige Auflistung von diesen befindet sich im Anhang in Abschnitt 8.4.

Die in Unterabschnitt 4.8.1 beschriebene Aufteilung findet sich auch in diesen Matrizen: Die Spalten im linken Drittel besitzen bis auf die dritte und elfte Spalte eher negative Werte und die Spalten in den anderen beiden Dritteln sind eher positiv. Aus der Auflistung der Regierungsbezirke in Abschnitt 8.4 ergibt sich, dass die dritte und elfte Spalte den beiden Stadtstaaten Berlin und Hamburg zugeordnet sind.

## Korrelationsmatrizen mit den nach Gemeindeschlüsseln sortierten Regierungsbezirken



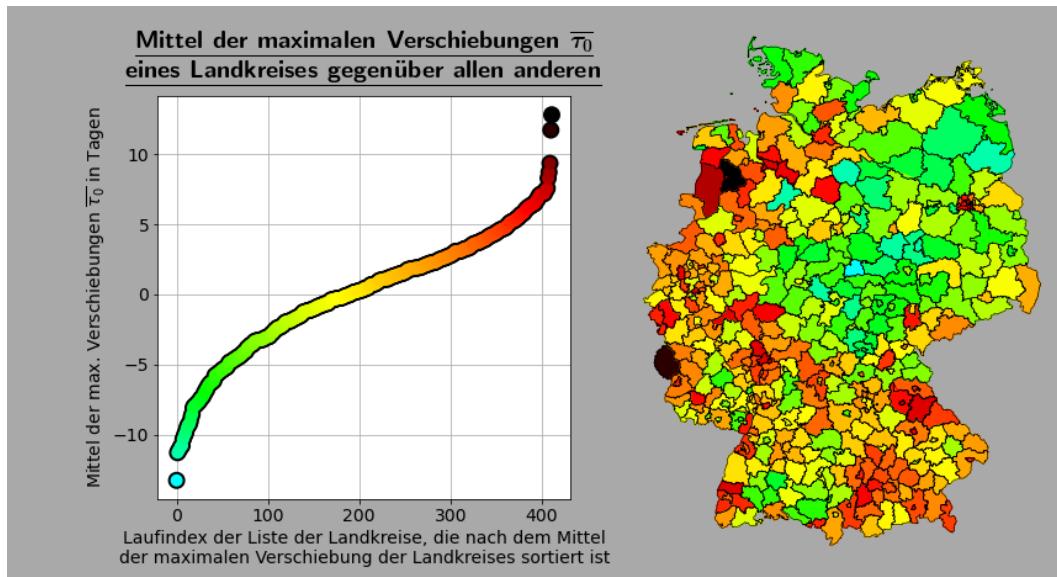
**Abbildung 24:** Korrelationsmatrizen der Korrelationen aller Regierungsbezirke lexicographisch sortiert (siehe Abschnitt 8.4). Die Farben der Zellen der oberen Matrizen entsprechen den Tendenzen der Verschiebung  $\hat{\tau}$  des Regierungsbezirks der Spalte in Relation zum Regierungsbezirk der Zeile nach Gleichung 10. In den unteren Matrizen wird die Zelle entsprechend der Verschiebung  $\tau_0$  der Zeitreihe des Regierungsbezirks der Spalte entgegen der Zeitreihe der Zeile mit dem höchsten Korrelationswert  $c(\tau_0)$  eingefärbt. Links sind die Kennzahlen aus den Verschiebungen  $\tau \in [-14, 14]$  und rechts aus den Verschiebungen  $\tau \in [-30, 30]$  ausgewählt und berechnet worden.

## 4.9 Durchschnittliche Verschiebung im nationalen Vergleich

In den folgenden Abbildungen sind die deutschen Landkreise und Regierungsbezirke wie in Abschnitt 2.6 beschrieben dem Durchschnitt der Werte ihrer Zeile in der beschriebenen Matrix eingefärbt.

### 4.9.1 Verteilung der durchschnittlichen Verschiebung unter den Landkreisen

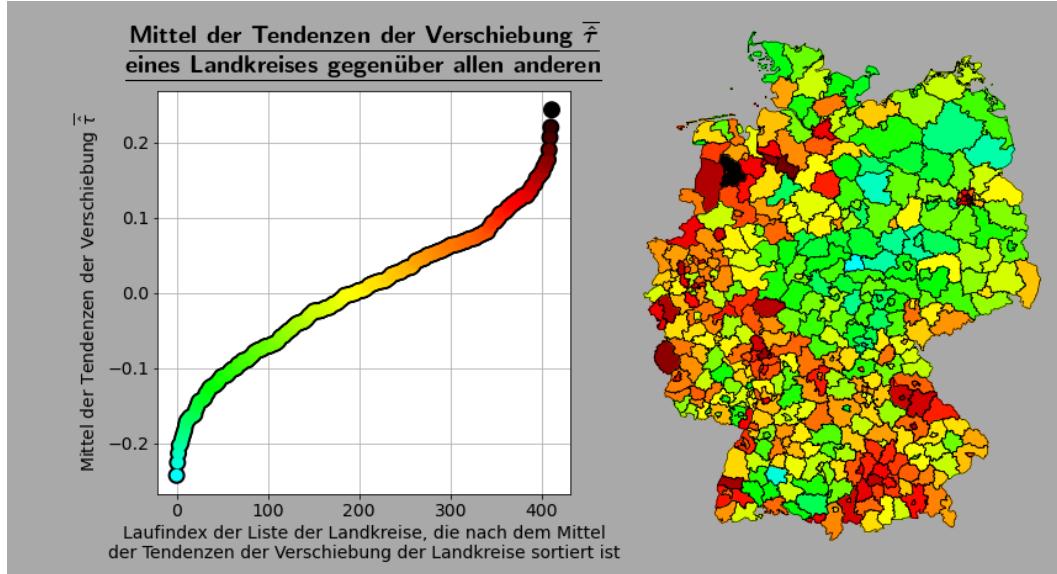
In Abbildung 25 sind die Landkreise entsprechend des Mittels ihrer Zeilen in der rechten unteren Matrix aus Abbildung 21 beziehungsweise Abbildung 23 eingefärbt. Die Zeilen der Matrizen enthalten die Verschiebungen  $\tau_0$ , die unter allen Verschiebungen  $\tau \in [-30, 30]$  den höchsten Wert  $c(\tau)$  bei der Korrelationsanalyse des Landkreises der Zeile mit dem Landkreis der Spalte erzeugen.



**Abbildung 25:** Mittel der maximalen Verschiebungen  $\bar{\tau}$  eines Landkreises gegenüber allen anderen. Dieser wird nach Gleichung 1 berechnet. Links ist die Verteilung der Mittel der maximalen Verschiebungen  $\bar{\tau}$  und die Farbgebung gezeigt. Rechts ist die räumliche Verteilung dargestellt.

Auch in Abbildung 26 sind die Landkreise entsprechend dem Mittel ihrer Zeilen in einer Matrix eingefärbt. Hierzu wurden jedoch die Werte aus der rechten oberen Matrix in Abbildung 21 beziehungsweise Abbildung 23 verwendet. Die Zeilen der Matrizen enthalten die Tendenzen der Verschiebung  $\hat{\tau}$  die aus den Korrelationswerten  $c(\tau)$  der Verschiebungen  $\tau \in [-30, 30]$  berechnet werden.

Die Karte ähnelt der Deutschlandkarte in Abbildung 25 sehr: Auch hier ist ein Ost-West-Verlauf festzustellen, wie bereits in Abschnitt 4.7 ausgeführt. Einzig Bayern und Berlin stellen Ausnahmen dar, da sie überwiegend positive Werte enthalten.

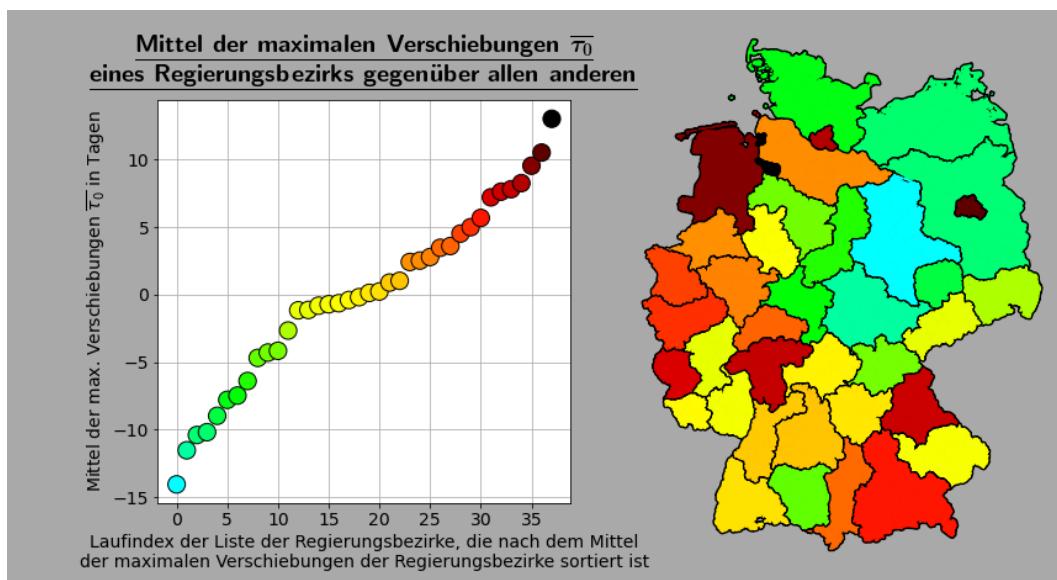


**Abbildung 26:** Mittel der Tendenzen der Verschiebung  $\bar{\tau}$  eines Landkreises gegenüber allen anderen. Dieser wird nach Gleichung 10 und Gleichung 1 berechnet. Links ist die Verteilung der Mittel der Tendenzen der Verschiebung  $\bar{\tau}$  und die Farbgebung gezeigt. Rechts ist die räumliche Verteilung dargestellt.

#### 4.9.2 Verteilung der durchschnittlichen Verschiebung unter den Regierungsbezirken

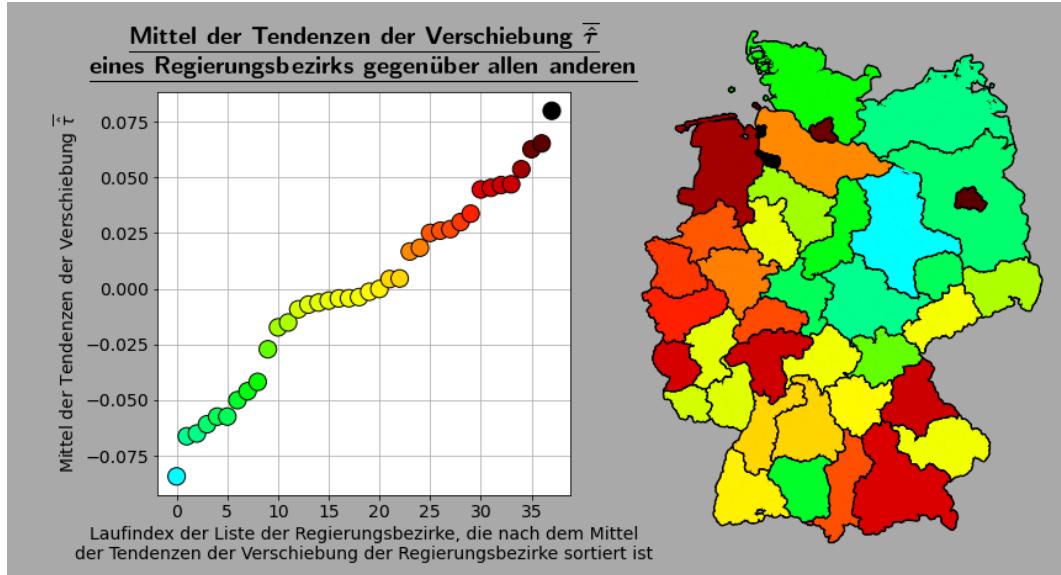
In Abbildung 27 sind die Regierungsbezirke entsprechend der Durchschnitte ihrer Zeilen in der rechten unteren Matrix aus Abbildung 22 beziehungsweise Abbildung 24 eingefärbt. Die Zeilen der Matrizen enthalten die Verschiebungen  $\tau_0$ , die unter allen Verschiebungen  $\tau \in [-30, 30]$  den höchsten Wert  $c(\tau)$  bei der Korrelationsanalyse des Regierungsbezirks der Zeile mit dem Regierungsbezirk der Spalte erzeugen.

Der bereits mehrfach angesprochene Ost-West-Verlauf ist auch hier festzustellen. Die in Unterabschnitt 4.9.1 angesprochenen Ausnahmen Bayern und Berlin sind auch hier klar zu erkennen.



Auch in Abbildung 28 sind die Regierungsbezirke entsprechend dem Mittel ihrer Zeilen in einer Matrix eingefärbt. Hierzu wurde jedoch die Werte aus der rechten oberen Matrix in Abbildung 22 beziehungsweise Abbildung 24 verwendet. Die Zeilen der Matrizen enthalten die Tendenzen der Verschiebung  $\hat{\tau}$  die aus den Korrelationswerten  $c(\tau)$  der Verschiebungen  $\tau \in [-30, 30]$  berechnet werden.

Diese Karte ähnelt der Deutschlandkarte in Unterabschnitt 4.9.2 ziemlich.



**Abbildung 28:** Mittel der Tendenzen der Verschiebung  $\bar{\tau}$  eines Regierungsbezirks gegenüber allen anderen. Dieser wird nach Gleichung 10 und Gleichung 1 berechnet. Links ist die Verteilung der Mittel der Tendenzen der Verschiebung  $\bar{\tau}$  und die Farbgebung gezeigt. Rechts ist die räumliche Verteilung dargestellt.

# 5 Diskussion

## 5.1 Aussagekraft des SIR-Modells

Die R-Wert Berechnung des Robert Koch-Instituts basiert auf den selben Daten, auf denen auch die drei Kennzahlen für das SIR-Modell in Abbildung 18 basieren [7], jedoch werden hierfür noch einige weitere Maßnahmen und Annahmen getroffen, welche das Maß dieser Bachelorarbeit sprengen würden.[7] Wie auch in der Veröffentlichung des Robert Koch-Instituts [7] und Abschnitt 4.5 beschrieben weisen die Meldungen der Daten überraschend viele Fehler auf, obwohl es sich lediglich um die automatisch festgestellten Fehler handelt.

Inwiefern die Daten nicht das Infektionsverhalten widerspiegeln, lässt sich anhand der wochentags-abhängigen Schwankungen der Infizierendenzahl abschätzen: Vermutlich werden am Wochenende weniger Tests durchgeführt oder weniger Meldungen abgegeben.

Zudem spiegeln die Zahlen nur die getesteten Fälle wider. Somit kann zum einen verstärktes Testen in späteren Zeiträumen in der Pandemie die Zahlen verfälschen und zum anderen machen symptomfreie Krankheitsverläufe es schwer, festzustellen ob und wie lange eine Person infektiös war.

Da die Zahl der Infizierenden in einem SIR-Modell sehr klein ist und daher kleine Unregelmäßigkeiten eine große Auswirkung haben, lassen sich anhand dieses simplen SIR-Modells keine stichfesten Aussagen über das Infektionsgeschehen treffen. Im Rahmen dieser Arbeit dient es als Warnung, dass die erwähnten Probleme stets

beachtet werden müssen: Die täglichen Schwankungen werden dadurch ausgeglichen, dass die 7-Tages Inzidenz verwendet wird. Die Verwendung von den täglichen Fallzahlen des RKI als offizielle Stelle sorgt für eine Vorsortierung der Meldungen. Zudem werden im weiteren Verlauf ausschließlich die Fallzahlen benutzt, da diese die höchsten Größenordnungen erreichen und daher Inkonsistenzen von einigen 100 Fällen pro Tag weniger verheerend sind.

## **5.2 Zusammenhänge von Bevölkerungsdichten und COVID-19-Zahlen der Landkreise**

Klar zu erkennen in Abbildung 13 sind die vielen kleinen roten und schwarzen Bereiche, welche Stadtkreise mit besonders hoher Bevölkerungsdichte kennzeichnen, wie auch in der nach der Bevölkerungsdichte sortierten Liste im Abschnitt 8.1 aufgeführt.

Diese sind jedoch oftmals von Landkreisen mit vergleichbar niedrigen Bevölkerungsdichten (außer im Rhein-Ruhrgebiet) umgeben. Daher lässt sich systematisch nur sehr schwer zwischen Landkreisen mit homogen niedriger Bevölkerungsdichte in einem gewissen Bereich und Landkreisen mit niedriger Bevölkerungsdichte, welche eine Stadt umschließen und eine deutlich höhere Bevölkerungsdichte aufweisen würden, wenn die Stadt zum Landkreis gehören würde, unterscheiden.

Da somit manche mittelmäßig dicht bevölkerte Gebiete nicht trivial in einen stark bevölkerten Stadtkreis und einen dünn bevölkerten Landkreis zerlegt sind, lassen sich keine Schlussfolgerungen ziehen, inwiefern dünn bevölkerte Gebiete stärker betroffen sind als dichter bevölkerte Gebiete. Dies spiegelt sich auch in den im Vergleich zu den restlichen Matrizen recht homogenen Matrizen in Abbildung 21 wider.

Jedoch lässt sich die Aufteilung vorzüglich nutzen, um festzustellen, ob die 7-Tages Inzidenzen einer Stadt vor den 7-Tages Inzidenzen im Umland steigen. Abbildung 19 zeigt jedoch eindeutig, dass die 7-Tages Inzidenzen der gewählten Städte und Landkreise ungewöhnlich zeitgleich steigen und fallen: Dass die Verschiebung mit dem

maximalen Korrelationswert in 50 % der Fälle bei  $\tau = 0$  liegt und damit deutlich über dem nationalen Durchschnitt von circa 8,7 % liegt, ist ein Indiz dafür, dass ein Landkreis und eine Stadt, die komplett vom Landkreis umgeben ist, einen sehr ähnlichen Verlauf der 7-Tage-Inzidenz haben. Da für die Korrelationsanalyse jedoch der Mittelwert der 7-Tage-Inzidenz verwendet wird, gilt diese Aussage nur für den Anstieg und den Abfall der 7-Tage-Inzidenz und nicht für die absolute Zahl der 7-Tage-Inzidenz.

Auch die sehr kleinen in Abbildung 20 eingetragenen Tendenzen der Verschiebung stützen diese These: die Tendenzen entsprechen maximal lediglich 20 % des Maximalwerts und sind zu circa gleichen Teilen positiv und negativ.

Die geringe Größe der Teilmenge mit 18 untersuchten Paaren sollte bei der Einschätzung der Ergebnisse berücksichtigt werden, auch wenn kein trivialer Zusammenhang zwischen dem Ergebnis und der Auswahlmethode besteht. Es wurden die Städte gewählt, welche vollständig von einem Landkreis umgeben sind.

### **5.3 Zusammenhänge von Bevölkerungsdichten und COVID-19-Zahlen der Regierungsbezirke**

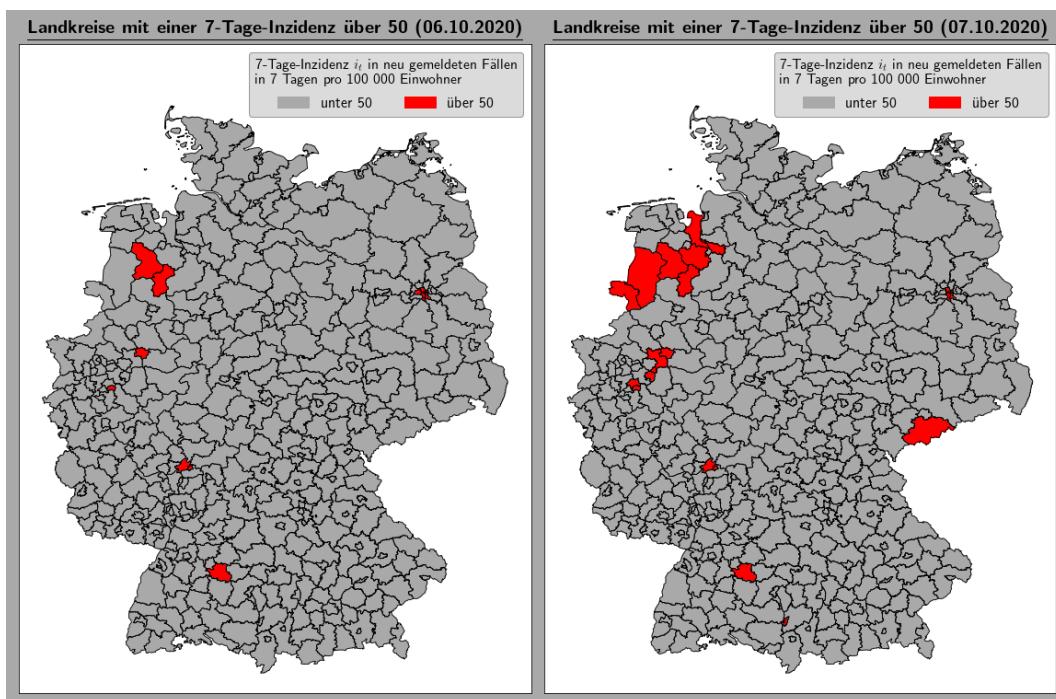
Um das oben beschriebene Problem von nicht trivial aufgeteilten Gebieten zu beheben und einen Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichten und COVID-19-Zahlen herstellen zu können, werden statt der Landkreise die Regierungsbezirke verwendet.

Alle Matrizen in Abbildung 22 scheinen einen Farbverlauf von links nach rechts zu besitzen. Dies spricht stark dafür, dass die 7-Tages Inzidenz der bevölkerungsdichten Regierungsbezirke früher ansteigt. Der Farbverlauf wirkt relativ kontinuierlich, was den Verdacht auf einen Zusammenhang noch weiter verstärkt.

Dieser Effekt entspricht durchaus der ersten Intuition, da sich, wie der Name schon sagt, in dichter bevölkerten Gebieten mehr Menschen auf engerem Raum bewegen

und dadurch mehr Menschen von Infizierenden angesteckt werden. Zudem sind die Treffpunkte in Städten vermutlich deutlich größer: Größere Unternehmen, Universitäten, größere Diskotheken, größere Wohneinheiten, stärker frequentierte Knotenpunkte des Nah- und Fernverkehrs et cetera. Dadurch kann es zu mehr und stärkeren Superspreading-Events kommen. Superspreading-Events sind Ereignisse, bei denen sich eine Vielzahl an Menschen an wenigen Infizierten anstecken.

Die Superlative dieser Superspreading-Events stören jedoch auch die Regelmäßigkeit des angesprochenen Farbverlaufs in den Matrizen: Beispielsweise kam es im Oktober 2020 im Landkreis Cloppenburg zu einem COVID-19-Ausbruch in einem Schlachthof [4]. Erstellt man für den 06.10.2020 und den 07.10.2020 eine Karte mit allen Landkreisen mit einer 7-Tage-Inzidenz über 50 rot ein, ergibt sich die Karte in Abbildung 29.

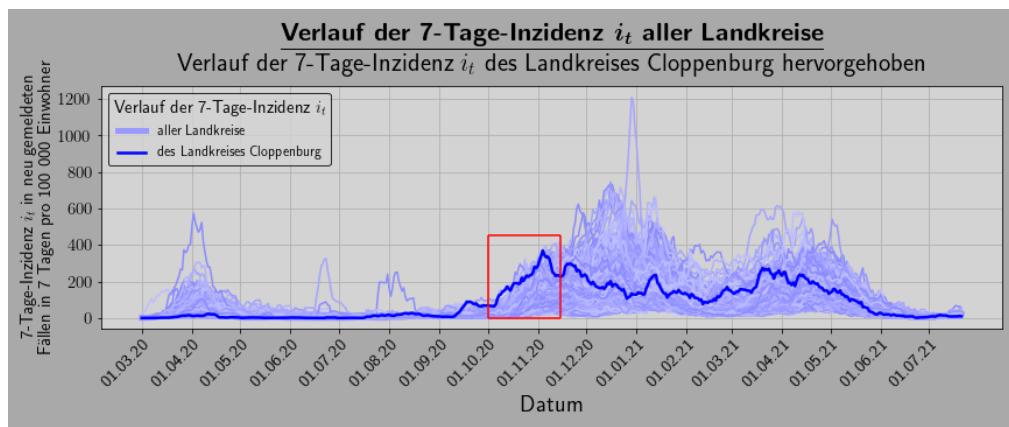


**Abbildung 29:** Die Deutschlandkarte, Rot eingefärbt jeweils die Landkreise mit einer 7-Tage-Inzidenz am 06.10.2020 beziehungsweise 07.10.2020 über 50.

Klar erkennbar: Die vielen COVID-19-Fälle in diesem Gebiet. Vermutlich sorgte die starke Ausbreitung des Virus SARS-CoV-2 in dem Schlachthof in Cloppenburg in diesem Zeitraum für einen rapiden Anstieg der COVID-19-Fälle in Cloppenburg und von dort aus im ganzen Nordwesten Deutschlands.

Die (ehemaligen) Regierungsbezirke Weser-Ems und Lüneburg im Nord-Westen Deutschlands, zu denen Cloppenburg und viele der roten Landkreise in Abbildung 29 gehören, sind den Spalten 5 und 12 der Matrizen in Abbildung 22 zugeordnet. Vor allem die zwölfte Spalte fällt klar aus dem Muster, vermutlich aufgrund dieses einen Superspreading-Events.

In Abbildung 30 ist zudem ersichtlich, dass die 7-Tage-Inzidenz in Cloppenburg nur in diesem Zeitraum zu den höchsten zählte und dass sich anschließend eher im Mittelfeld bewegte, was die Bedeutung dieses einen Superspreading-Events untermauert.

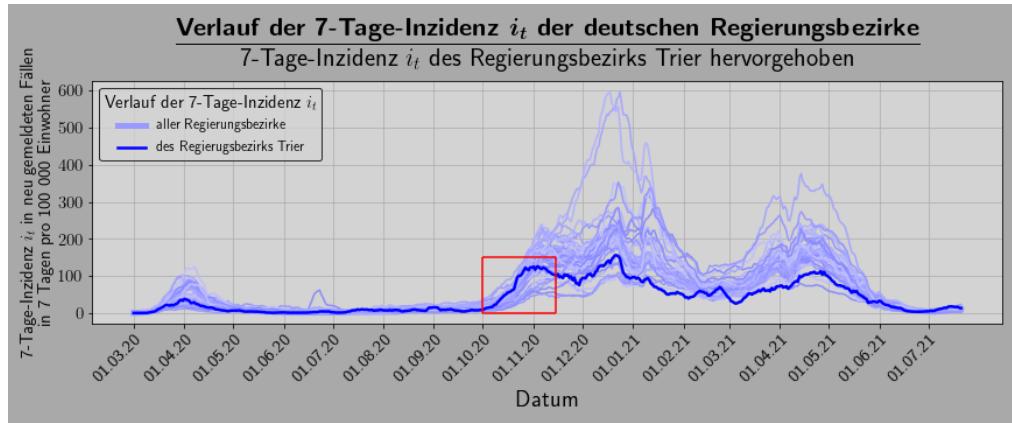


**Abbildung 30:** Die 7-Tage-Inzidenzen der deutschen Landkreise, in Blau die 7-Tage-Inzidenz von Cloppenburg.

Jedoch muss nicht immer ein außerordentlicher COVID-19-Ausbruch für eine auffällige Färbung in der Matrix sorgen: Die vierte Spalte in den Matrizen in Abbildung 22, welche dem Regierungsbezirk Trier zugeordnet ist, besitzt ebenfalls überwiegend positive Werte. Vergleicht man wie in Abbildung 31 den Inzidenzverlauf des Regierungsbezirks mit den Inzidenzverläufen der restlichen Regierungsbezirke, scheint die

7-Tage-Inzidenz des Regierungsbezirkes Trier zu Beginn durchschnittlich früh und stark angewachsen zu sein, was gegen ein markantes Superspreading-Event spricht.

Im Vergleich zu den anderen Regierungsbezirken blieb die 7-Tage-Inzidenz jedoch ungewöhnlich stabil, wie in Abbildung 31 zu sehen. Die insgesamt niedrige Summe aller täglichen 7-Tage-Inzidenzen des Regierungsbezirks, welche in Abbildung 17 erkennbar ist, stützt die These, dass die 7-Tage-Inzidenz im nationalen Vergleich zwar früh stieg, aber durchgehend bei relativ niedrigen Werten blieb.



**Abbildung 31:** Der Verlauf der 7-Tage-Inzidenzen der deutschen Regierungsbezirke.  
Der Verlauf des Regierungsbezirks Trier ist Blau hervorgehoben.

Die anhand der Matrizen erstellten Schlussfolgerungen werden auch von Abbildung 27 und Abbildung 28 gestützt, welche die Verteilung der durchschnittlichen Verschiebungen mit dem höchsten Wert und die durchschnittlichen Tendenzen der Verschiebung aller Landkreise zeigen: Bis auf die beiden erwähnten Ausnahmen, ähneln die beiden Deutschlandkarten stark der Deutschlandkarte, welche die Verteilung der Bevölkerungsdichte der Landkreise in Abbildung 14 zeigt.

## **5.4 Zusammenhänge von Gemeindeschlüssel und COVID-19-Zahlen der Landkreise und Regierungsbezirke**

Die Matrizen aus Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen keinen konstanten Farbverlauf: Viel eher sind die Spalten im linken Drittel bis auf wenige Ausnahmen mit negativen Werten besetzt, sie sind den neuen Bundesländern, Schleswig-Holstein und dem Saarland zugeordnet. Die restlichen Spalten in den anderen beiden Dritteln, welche grob den alten Bundesländern zugeordnet sind, enthalten eher positive Werte.

Wie bereits in Unterabschnitt 4.8.2 erwähnt stellen die dritte und elfte Spalte die größten Ausnahmen dar. Sie sind den beiden Stadtstaaten Berlin und Hamburg zugeordnet sind. Da es sich um Städte mit sehr hoher Bevölkerungsdichte handelt, fallen diese auch in das in Abschnitt 5.3 beschriebene Muster.

Das Saarland, welches in Abbildung 24 laut Abschnitt 8.4 der zweiten Zeile zugeordnet ist, ist in allen Matrizen eher mit Werten um die null besetzt und hebt sich damit leicht von den eher von negativen Werten geprägten Spalten ab im linken Drittel ab. Allgemein ist das Saarland sehr unauffällig und fällt nur auf, da es bei der Sortierung nach dem Gemeindeschlüssel am auffälligsten aus dem Nord-Süd- und Ost-West-Raster herausfällt, wie in Abbildung 15 zu sehen ist.

Somit scheinen die 7-Tage-Inzidenzen in den alten Bundesländern vor den 7-Tage-Inzidenzen in den neuen Bundesländern zu steigen.

## **5.5 Durchschnittliche Verschiebung der Landkreise im nationalen Vergleich**

Abbildung 25 und Abbildung 26 weisen die selben Merkmale auf wie die analysierten Abbildungen und stützen daher die folgenden Thesen:

- Die Inzidenzwerte scheinen in dichter besiedelten Gebieten tendenziell früher zu steigen als in dünner besiedelten Gebieten.
- Einzelne Superspreading-Events können für einen signifikanten früheren Auschlag der 7-Tage-Inzidenz eines ganzen Regierungsbezirks sorgen.
- Die 7-Tage-Inzidenzen in den alten Bundesländern scheinen vor den 7-Tage-Inzidenzen in den neuen Bundesländern zu steigen.

## 6 Zusammenfassung

Nach den Erkenntnissen dieser Arbeit scheinen Anstiege in den 7-Tage-Inzidenzen der deutschen Stadtstaaten bis jetzt als Vorwarnung gut geeignet gewesen zu sein. Die vielen Ausreißer wie beispielsweise das Superspreading-Event in Cloppenburg im Oktober 2020 zeigen jedoch auf, dass sich diese Ausbrüche nicht an Charakteristiken der Landkreise, Regierungsbezirke oder Bundesländer festmachen lassen.

Die Meldungen der einzelnen Landkreise, welche das Robert Koch-Institut (RKI) zur Verfügung stellt, enthalten leider sehr viele fragwürdige Meldungen. Zum Beispiel liegt das Genesungsdatum vor dem Ansteckungsdatum oder ist Infektionszeit ist außergewöhnlich lange. Da zudem die Anzahl der aktiven Fälle innerhalb einer Woche beachtlich schwankt, lässt sich aus dem SIR-Modell nicht ohne weitere Maßnahmen, wie sie das RKI bei seinen Berechnungen ergreifen, Wissen generieren.

Die Zahl der Ansteckungen, welche täglich vom RKI herausgegeben wird, eignet sich jedoch sehr gut zur Berechnung der 7-Tage-Inzidenz. Bei der Korrelation der 7-Tage-Inzidenzen der deutschen Landkreise und Regierungsbezirke ergeben sich einige interessante Erkenntnisse:

- Die 7-Tage-Inzidenzen von 18 Städten, welche von einem Landkreis komplett umgeben sind, steigen nahezu zeitgleich mit den 7-Tage-Inzidenzen der Landkreise.
- Die Inzidenzwerte scheinen in dichter besiedelten Gebieten früher zu steigen als in dünner besiedelten Gebieten.
- Einzelne Superspreading-Events können für einen signifikanten früheren Auschlag der 7-Tage-Inzidenz eines ganzen Regierungsbezirks sorgen.
- Die 7-Tage-Inzidenzen in den alten Bundesländern scheinen vor den 7-Tage-Inzidenzen in den neuen Bundesländern zu steigen, ansonsten lässt sich jedoch kein eindeutiger Nord-Süd-Verlauf oder Ost-West-Verlauf feststellen.

## 7 Danksagung

Zuallererst danke ich meinem Betreuer Dr. Andreas Greiner, welcher mich vor einem Jahr mit der Idee für diese Arbeit infiziert hat und seither dieses Abenteuer mit mir gewagt hat. Vielen Dank für Deine Expertise und Deine höchst sympathische Art! Zudem möchte ich mich bei Prof. Moritz Mathias Diehl bedanken, dass er sich mit seiner immensen Fachexpertise, in die ich durch seine Vorlesungen einen winzigen Einblick erhaschen durfte, mit meiner Bachelorarbeit befasst und sie begutachtet. Vielen Dank!

An zweiter Stelle möchte ich meinen Mitbewohnern Sarah Weitz, Sebastian Rauser und Nibischan Raveendran danken. Vielen Dank für eure Geduld und eure Wissbegierde!

Nicht zu vernachlässigen ist zudem der Beitrag meiner Familie: Im gesamten Studium boten mir meine Geschwister Elena und Fabian Bürkin Orientierung und Halt, wenn ich nicht mehr weiter wusste oder auf einem falschen Weg war. Bei der schwierigen Aufgabe, meine Pläne umzusetzen, standen mir meine Eltern stets zur Seite und motivierten mich, diese durchzuziehen. Vielen herzlichen Dank für eure Hilfsbereitschaft und eure Geduld mit eurem kleinen Bruder und Sohn zu jeder Zeit!

Zu guter Letzt möchte ich meinen Kollegen, Kommilitonen, Korrekturlesern und vor allem Freunden Andreas Philipp, Franz Ludwig Kostelezky, Lea Hohl und Ellen Hermle bedanken, die mich durch diese Arbeit begleitet haben. Auf einen Kaffee und vielen Dank!

# 8 Anhang

## 8.1 Die deutschen Landkreise sortiert nach ihrer Bevölkerungsdichte

Hier sind alle Landkreise mit Gemeindeschlüssel sortiert nach ihrer Bevölkerungsdichte aufgelistet, in Klammern ist jeweils die Bevölkerungsdichte angegeben.

1. 12070 LK Prignitz (35.60 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
2. 15081 LK Altmarkkreis Salzwedel (36.11 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
3. 12073 LK Uckermark (38.60 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
4. 12068 LK Ostprignitz-Ruppin (39.11 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
5. 3354 LK Lüchow-Dannenberg (39.48 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
6. 13076 LK Ludwigslust-Parchim (44.43 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
7. 15090 LK Stendal (45.62 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
8. 13071 LK Mecklenburgische Seenplatte (46.92 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
9. 12062 LK Elbe-Elster (53.50 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
10. 15086 LK Jerichower Land (56.35 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
11. 7232 LK Bitburg-Prüm (60.84 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
12. 13075 LK Vorpommern-Greifswald (62.00 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
13. 13072 LK Rostock (62.91 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
14. 3360 LK Uelzen (63.21 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
15. 15091 LK Wittenberg (64.26 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
16. 9374 LK Neustadt a.d.Waldnaab (66.10 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
17. 9377 LK Tirschenreuth (66.40 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
18. 7233 LK Vulkaneifel (66.54 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
19. 16069 LK Hildburghausen (67.42 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
20. 12071 LK Spree-Neiße (68.45 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
21. 16075 LK Saale-Orla-Kreis (69.73 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
22. 13073 LK Vorpommern-Rügen (70.97 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
23. 16065 LK Kyffhäuserkreis (71.52 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
24. 15083 LK Börde (71.91 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
25. 6535 LK Vogelsbergkreis (72.50 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
26. 13074 LK Nordwestmecklenburg (74.06 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
27. 3358 LK Heidekreis (74.80 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
28. 12061 LK Dahme-Spreewald (74.91 Einwohner pro km<sup>2</sup>)

29. 9673 LK Rhön-Grabfeld (78.00 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 30. 12067 LK Oder-Spree (79.03 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 31. 3357 LK Rotenburg (Wümme) (79.04 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 32. 9276 LK Regen (79.30 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 33. 1054 LK Nordfriesland (79.47 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 34. 9272 LK Freyung-Grafenau (79.49 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 35. 9575 LK Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim (79.71 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 36. 12072 LK Teltow-Fläming (80.69 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 37. 9472 LK Bayreuth (81.39 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 38. 9371 LK Amberg-Sulzbach (82.09 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 39. 12069 LK Potsdam-Mittelmark (83.45 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 40. 9372 LK Cham (83.74 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 41. 9278 LK Straubing-Bogen (84.12 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 42. 6635 LK Waldeck-Frankenberg (84.71 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 43. 16068 LK Sömmerda (86.06 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 44. 3462 LK Wittmund (86.26 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 45. 3256 LK Nienburg (Weser) (86.70 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 46. 9180 LK Garmisch-Partenkirchen (87.40 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 47. 9674 LK Haßberge (88.26 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 48. 7135 LK Cochem-Zell (88.59 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 49. 12066 LK Oberspreewald-Lausitz (89.24 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 50. 12064 LK Märkisch-Oderland (90.52 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 51. 9672 LK Bad Kissingen (90.80 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 52. 16063 LK Wartburgkreis (91.14 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 53. 15087 LK Mansfeld-Südharz (92.68 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 54. 1051 LK Dithmarschen (93.44 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 55. 9571 LK Ansbach (93.62 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 56. 12063 LK Havelland (94.29 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 57. 9277 LK Rottal-Inn (94.73 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 58. 9677 LK Main-Spessart (95.51 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 59. 3352 LK Cuxhaven (96.24 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 60. 7231 LK Bernkastel-Wittlich (96.28 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 61. 14730 LK Nordsachsen (97.44 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 62. 9577 LK Weißenburg-Gunzenhausen (97.66 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 63. 6636 LK Werra-Meißner-Kreis (98.30 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 64. 7340 LK Südwestpfalz (99.44 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 65. 16073 LK Saalfeld-Rudolstadt (99.59 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 66. 9373 LK Neumarkt i.d.OPf. (100.08 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 67. 1059 LK Schleswig-Flensburg (101.12 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 68. 15085 LK Harz (101.23 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 69. 9376 LK Schwandorf (101.34 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 70. 9777 LK Ostallgäu (101.38 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 71. 3255 LK Holzminden (101.53 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 72. 8128 LK Main-Tauber-Kreis (101.53 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 73. 16074 LK Saale-Holzland-Kreis (101.70 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 74. 9780 LK Oberallgäu (102.13 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 75. 16071 LK Weimarer Land (102.15 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 76. 9476 LK Kronach (102.46 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 77. 16066 LK Schmalkalden-Meiningen (103.22 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 78. 7140 LK Rhein-Hunsrück-Kreis (104.13 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 79. 7134 LK Birkenfeld (104.21 Einwohner pro km<sup>2</sup>)

80. 3155 LK Northeim (104.25 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 81. 16064 LK Unstrut-Hainich-Kreis (104.46 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 82. 9779 LK Donau-Ries (105.04 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 83. 9475 LK Hof (106.08 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 84. 16061 LK Eichsfeld (106.16 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 85. 3461 LK Wesermarsch (107.00 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 86. 15082 LK Anhalt-Bitterfeld (108.46 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 87. 8437 LK Sigmaringen (108.71 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 88. 9477 LK Kulmbach (108.76 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 89. 3251 LK Diepholz (109.14 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 90. 9176 LK Eichstätt (109.43 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 91. 6632 LK Hersfeld-Rotenburg (110.04 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 92. 9279 LK Dingolfing-Landau (110.09 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 93. 3151 LK Gifhorn (112.55 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 94. 3454 LK Emsland (113.43 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 95. 16076 LK Greiz (115.05 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 96. 9173 LK Bad Tölz-Wolfratshausen (115.06 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 97. 9182 LK Miesbach (115.35 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 98. 9273 LK Kelheim (115.54 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 99. 3351 LK Celle (115.56 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 100. 9189 LK Traunstein (115.56 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 101. 6634 LK Schwalm-Eder-Kreis (116.79 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 102. 16062 LK Nordhausen (116.84 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 103. 5762 LK Höxter (116.89 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 104. 7333 LK Donnersbergkreis (116.92 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 105. 12065 LK Oberhavel (117.63 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 106. 9778 LK Unterallgäu (118.24 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 107. 9274 LK Landshut (118.60 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 108. 1057 LK Plön (118.89 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 109. 14626 LK Görlitz (119.33 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 110. 9479 LK Wunsiedel i.Fichtelgebirge (119.82 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 111. 3453 LK Cloppenburg (120.19 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 112. 9773 LK Dillingen a.d.Donau (122.04 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 113. 7336 LK Kusel (122.58 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 114. 3458 LK Oldenburg (122.98 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 115. 14625 LK Bautzen (124.81 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 116. 12060 LK Barnim (124.88 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 117. 9275 LK Passau (125.70 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 118. 9172 LK Berchtesgadener Land (125.97 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 119. 16070 LK Ilm-Kreis (126.01 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 120. 15084 LK Burgenlandkreis (126.02 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 121. 9471 LK Bamberg (126.15 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 122. 1058 LK Rendsburg-Eckernförde (126.44 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 123. 15088 LK Saalekreis (127.60 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 124. 8225 LK Neckar-Odenwald-Kreis (127.72 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 125. 9478 LK Lichtenfels (128.50 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 126. 1061 LK Steinburg (128.78 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 127. 9185 LK Neuburg-Schrobenhausen (131.50 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 128. 15089 LK Salzlandkreis (131.77 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 129. 5958 LK Hochsauerlandkreis (132.65 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 130. 8127 LK Schwäbisch Hall (132.68 Einwohner pro km<sup>2</sup>)

131. 16072 LK Sonneberg (133.32 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
132. 9675 LK Kitzingen (133.37 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
133. 7235 LK Trier-Saarburg (135.17 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
134. 3154 LK Helmstedt (135.17 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
135. 8237 LK Freudenstadt (135.84 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
136. 9678 LK Schweinfurt (137.29 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
137. 9271 LK Deggendorf (138.55 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
138. 3355 LK Lüneburg (138.82 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
139. 9375 LK Regensburg (139.25 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
140. 3456 LK Grafschaft Bentheim (139.72 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
141. 9190 LK Weilheim-Schongau (140.07 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
142. 3153 LK Goslar (140.74 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
143. 9576 LK Roth (141.63 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
144. 8426 LK Biberach (142.87 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
145. 14522 LK Mittelsachsen (143.64 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
146. 9183 LK Mühldorf a.Inn (143.83 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
147. 16067 LK Gotha (144.19 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
148. 1055 LK Ostholstein (144.71 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
149. 8126 LK Hohenlohekreis (145.07 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
150. 8425 LK Alb-Donau-Kreis (145.30 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
151. 3452 LK Aurich (146.62 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
152. 9473 LK Coburg (146.85 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
153. 14628 LK Sächsische Schweiz-Osterzgebirge (148.19 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
154. 9181 LK Landsberg a.Lech (149.75 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
155. 8337 LK Waldshut (151.31 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
156. 6437 LK Odenwaldkreis (154.88 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
157. 5366 LK Euskirchen (154.93 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
158. 14729 LK Leipzig (156.19 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
159. 7141 LK Rhein-Lahn-Kreis (156.59 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
160. 16077 LK Altenburger Land (156.89 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
161. 1053 LK Herzogtum Lauenburg (156.90 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
162. 9177 LK Erding (158.61 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
163. 3455 LK Friesland (159.86 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
164. 14523 LK Vogtlandkreis (159.94 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
165. 3457 LK Leer (160.07 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
166. 6631 LK Fulda (161.64 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
167. 3158 LK Wolfenbüttel (165.26 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
168. 7131 LK Ahrweiler (165.35 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
169. 7335 LK Kaiserslautern (165.50 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
170. 14627 LK Meißen (165.56 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
171. 9774 LK Günzburg (166.46 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
172. 9679 LK Würzburg (167.94 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
173. 9186 LK Pfaffenhofen a.d.Ilm (168.55 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
174. 3459 LK Osnabrück (168.94 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
175. 3359 LK Stade (169.58 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
176. 3451 LK Ammerland (171.21 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
177. 9771 LK Aichach-Friedberg (172.72 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
178. 7337 LK Südliche Weinstraße (172.92 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
179. 3361 LK Verden (173.92 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
180. 3356 LK Osterholz (174.55 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
181. 8436 LK Ravensburg (175.02 Einwohner pro km<sup>2</sup>)

182. 3460 LK Vechta (175.60 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 183. 9676 LK Miltenberg (180.13 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 184. 9474 LK Forchheim (180.78 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 185. 9187 LK Rosenheim (181.30 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 186. 8325 LK Rottweil (181.89 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 187. 10046 LK Sankt Wendel (182.70 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 188. 6633 LK Kassel (182.92 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 189. 14521 LK Erzgebirgskreis (183.13 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 190. 7133 LK Bad Kreuznach (183.36 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 191. 10042 LK Merzig-Wadern (185.42 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 192. 3159 LK Göttingen (185.91 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 193. 3252 LK Hameln-Pyrmont (186.33 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 194. 5966 LK Olpe (188.36 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 195. 8315 LK Breisgau-Hochschwarzwald (191.57 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 196. 8327 LK Tuttlingen (191.93 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 197. 9171 LK Altötting (195.65 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 198. 6534 LK Marburg-Biedenkopf (195.93 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 199. 5558 LK Coesfeld (198.41 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 200. 8235 LK Calw (199.83 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 201. 7132 LK Altenkirchen (201.01 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 202. 3353 LK Harburg (203.83 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 203. 7143 LK Westerwaldkreis (204.03 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 204. 1060 LK Segeberg (206.07 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 205. 8417 LK Zollernalbkreis (206.60 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 206. 8326 LK Schwarzwald-Baar-Kreis (207.28 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 207. 8136 LK Ostalbkreis (208.03 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 208. 5570 LK Warendorf (210.84 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 209. 8135 LK Heidenheim (211.76 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 210. 9574 LK Nürnberger Land (214.11 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 211. 7331 LK Alzey-Worms (220.71 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 212. 7332 LK Bad Dürkheim (223.52 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 213. 9178 LK Freising (225.41 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 214. 5974 LK Soest (227.15 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 215. 3254 LK Hildesheim (228.55 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 216. 6439 LK Rheingau-Taunus-Kreis (230.66 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 217. 8317 LK Ortenaukreis (231.89 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 218. 6533 LK Limburg-Weilburg (232.80 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 219. 3257 LK Schaumburg (233.54 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 220. 9772 LK Augsburg (236.64 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 221. 6532 LK Lahn-Dill-Kreis (237.96 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 222. 9572 LK Erlangen-Höchstadt (243.24 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 223. 5970 LK Siegen-Wittgenstein (244.38 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 224. 8316 LK Emmendingen (244.71 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 225. 5774 LK Paderborn (247.09 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 226. 9671 LK Aschaffenburg (249.37 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 227. 5566 LK Steinfurt (249.78 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 228. 3157 LK Peine (251.49 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 229. 5154 LK Kleve (253.32 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 230. 9776 LK Lindau (253.85 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 231. 9175 LK Ebersberg (261.16 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 232. 5554 LK Borken (261.34 Einwohner pro km<sup>2</sup>)

233. 7137 LK Mayen-Koblenz (262.71 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 234. 8415 LK Reutlingen (263.02 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 235. 9174 LK Dachau (267.29 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 236. 5770 LK Minden-Lübbecke (269.65 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 237. 7334 LK Germersheim (278.61 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 238. 5766 LK Lippe (279.17 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 239. 6440 LK Wetteraukreis (280.31 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 240. 9188 LK Starnberg (280.75 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 241. 5358 LK Düren (281.41 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 242. 8336 LK Lörrach (283.52 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 243. 7138 LK Neuwied (291.39 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 244. 5374 LK Oberbergischer Kreis (296.44 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 245. 6435 LK Main-Kinzig-Kreis (301.30 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 246. 8216 LK Rastatt (313.54 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 247. 8125 LK Heilbronn (313.72 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 248. 12051 SK Brandenburg a.d.Havel (314.58 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 249. 6531 LK Gießen (316.70 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 250. 1062 LK Stormarn (318.89 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 251. 15001 SK Dessau-Roßlau (325.08 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 252. 8435 LK Bodenseekreis (327.11 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 253. 14524 LK Zwickau (331.45 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 254. 10045 LK Saarpfalz-Kreis (339.44 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 255. 9775 LK Neu-Ulm (339.97 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 256. 8236 LK Enzkreis (348.34 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 257. 7339 LK Mainz-Bingen (349.30 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 258. 8335 LK Konstanz (350.57 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 259. 16054 SK Suhl (359.18 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 260. 6431 LK Bergstraße (376.28 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 261. 5754 LK Gütersloh (376.70 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 262. 9573 LK Fürth (383.80 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 263. 5962 LK Märkischer Kreis (386.81 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 264. 12053 SK Frankfurt (Oder) (389.89 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 265. 8211 SK Baden-Baden (394.48 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 266. 8117 LK Göppingen (402.00 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 267. 16056 SK Eisenach (404.58 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 268. 5370 LK Heinsberg (407.38 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 269. 8215 LK Karlsruhe (410.76 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 270. 9561 SK Ansbach (418.95 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 271. 10044 LK Saarlouis (423.45 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 272. 8416 LK Tübingen (440.13 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 273. 5170 LK Wesel (441.33 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 274. 3402 SK Emden (449.07 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 275. 6432 LK Darmstadt-Dieburg (453.14 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 276. 7316 SK Neustadt a.d.Weinstraße (454.29 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 277. 3102 SK Salzgitter (463.65 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 278. 7320 SK Zweibrücken (483.04 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 279. 6434 LK Hochtaunuskreis (493.09 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 280. 1056 LK Pinneberg (496.40 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 281. 8119 LK Rems-Murr-Kreis (498.77 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 282. 3241 Region Hannover (504.02 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 283. 9179 LK Fürstenfeldbruck (504.63 Einwohner pro km<sup>2</sup>)

284. 7338 LK Rhein-Pfalz-Kreis (508.00 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 285. 8226 LK Rhein-Neckar-Kreis (517.37 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 286. 5382 LK Rhein-Sieg-Kreis (521.57 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 287. 9184 LK München (527.71 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 288. 10043 LK Neunkirchen (529.77 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 289. 5166 LK Viersen (530.26 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 290. 5758 LK Herford (556.29 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 291. 7313 SK Landau i.d.Pfalz (565.34 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 292. 12052 SK Cottbus (602.29 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 293. 9363 SK Weiden i.d.OPf. (605.20 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 294. 3103 SK Wolfsburg (606.93 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 295. 6433 LK Groß-Gerau (608.61 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 296. 16052 SK Gera (611.24 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 297. 9764 SK Memmingen (631.64 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 298. 8115 LK Böblingen (636.92 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 299. 5378 LK Rheinisch-Bergischer Kreis (646.79 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 300. 7317 SK Pirmasens (654.05 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 301. 5362 LK Rhein-Erft-Kreis (669.34 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 302. 9263 SK Straubing (705.98 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 303. 3405 SK Wilhelmshaven (708.12 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 304. 7312 SK Kaiserslautern (713.74 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 305. 5978 LK Unna (727.94 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 306. 13004 SK Schwerin (735.67 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 307. 9262 SK Passau (750.62 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 308. 7319 SK Worms (768.65 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 309. 16055 SK Weimar (772.60 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 310. 5162 LK Rhein-Kreis Neuss (783.40 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 311. 9464 SK Hof (786.98 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 312. 5954 LK Ennepe-Ruhr-Kreis (789.06 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 313. 5334 StädteRegion Aachen (790.54 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 314. 5915 SK Hamm (790.88 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 315. 16051 SK Erfurt (791.77 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 316. 8118 LK Ludwigsburg (794.77 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 317. 10041 LK Stadtverband Saarbrücken (798.94 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 318. 5562 LK Recklinghausen (806.93 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 319. 9361 SK Amberg (836.63 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 320. 8116 LK Esslingen (836.83 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 321. 9463 SK Coburg (853.31 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 322. 12054 SK Potsdam (963.50 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 323. 7211 SK Trier (964.92 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 324. 16053 SK Jena (969.41 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 325. 6438 LK Offenbach (1000.03 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 326. 9565 SK Schwabach (1007.16 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 327. 1003 SK Lübeck (1022.93 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 328. 9161 SK Ingolstadt (1028.17 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 329. 5515 SK Münster (1039.25 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 330. 8421 SK Ulm (1063.04 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 331. 7111 SK Koblenz (1076.89 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 332. 6436 LK Main-Taunus-Kreis (1077.20 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 333. 9763 SK Kempten (1093.88 Einwohner pro km<sup>2</sup>)  
 334. 9762 SK Kaufbeuren (1098.03 Einwohner pro km<sup>2</sup>)

- 335. 9261 SK Landshut (1108.96 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 336. 14511 SK Chemnitz (1112.67 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 337. 7311 SK Frankenthal (1116.06 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 338. 9462 SK Bayreuth (1116.14 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 339. 1004 SK Neumünster (1123.16 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 340. 9661 SK Aschaffenburg (1146.90 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 341. 5512 SK Bottrop (1173.13 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 342. 5914 SK Hagen (1177.24 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 343. 7318 SK Speyer (1181.35 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 344. 15003 SK Magdeburg (1184.71 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 345. 5158 LK Mettmann (1190.65 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 346. 13003 SK Rostock (1236.48 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 347. 3401 SK Delmenhorst (1242.49 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 348. 8121 SK Heilbronn (1258.60 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 349. 8231 SK Pforzheim (1283.68 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 350. 5711 SK Bielefeld (1290.85 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 351. 3101 SK Braunschweig (1297.31 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 352. 6411 SK Darmstadt (1299.31 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 353. 6414 SK Wiesbaden (1367.95 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 354. 3404 SK Osnabrück (1375.78 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 355. 9461 SK Bamberg (1407.94 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 356. 9562 SK Erlangen (1443.07 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 357. 9663 SK Würzburg (1458.20 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 358. 8221 SK Heidelberg (1478.74 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 359. 4012 SK Bremerhaven (1483.07 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 360. 8311 SK Freiburg i.Breisgau (1500.23 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 361. 5120 SK Remscheid (1503.35 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 362. 9662 SK Schweinfurt (1506.19 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 363. 5116 SK Mönchengladbach (1528.98 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 364. 11009 SK Berlin Treptow-Köpenick (1586.19 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 365. 3403 SK Oldenburg (1631.36 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 366. 5114 SK Krefeld (1664.19 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 367. 14612 SK Dresden (1694.41 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 368. 9163 SK Rosenheim (1727.63 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 369. 4011 SK Bremen (1743.98 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 370. 15002 SK Halle (1758.65 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 371. 5122 SK Solingen (1789.94 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 372. 8212 SK Karlsruhe (1794.67 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 373. 1001 SK Flensburg (1833.24 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 374. 5117 SK Mülheim a.d.Ruhr (1870.33 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 375. 9362 SK Regensburg (1917.84 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 376. 6611 SK Kassel (1936.46 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 377. 14713 SK Leipzig (1982.44 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 378. 9761 SK Augsburg (2025.77 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 379. 9563 SK Fürth (2030.43 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 380. 5316 SK Leverkusen (2078.83 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 381. 5913 SK Dortmund (2104.24 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 382. 5124 SK Wuppertal (2109.81 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 383. 5112 SK Duisburg (2140.13 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 384. 8222 SK Mannheim (2142.45 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 385. 1002 SK Kiel (2198.97 Einwohner pro km<sup>2</sup>)

- 386. 7314 SK Ludwigshafen (2213.76 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 387. 7315 SK Mainz (2238.90 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 388. 5314 SK Bonn (2328.50 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 389. 5513 SK Gelsenkirchen (2466.57 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 390. 2000 SK Hamburg (2489.29 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 391. 5911 SK Bochum (2525.55 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 392. 11005 SK Berlin Spandau (2571.74 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 393. 5315 SK Köln (2675.86 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 394. 5119 SK Oberhausen (2720.89 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 395. 9564 SK Nürnberg (2762.59 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 396. 5113 SK Essen (2769.50 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 397. 5111 SK Düsseldorf (2861.04 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 398. 6413 SK Offenbach (2875.04 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 399. 11012 SK Berlin Reinickendorf (2903.61 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 400. 11006 SK Berlin Steglitz-Zehlendorf (2942.69 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 401. 8111 SK Stuttgart (3033.65 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 402. 5916 SK Herne (3039.06 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 403. 6412 SK Frankfurt am Main (3077.83 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 404. 11003 SK Berlin Pankow (3850.86 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 405. 11010 SK Berlin Marzahn-Hellersdorf (4247.24 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 406. 9162 SK München (4765.75 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 407. 11004 SK Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf (5162.54 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 408. 11011 SK Berlin Lichtenberg (5489.14 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 409. 11007 SK Berlin Tempelhof-Schöneberg (6433.60 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 410. 11008 SK Berlin Neukölln (7136.56 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 411. 11001 SK Berlin Mitte (9511.23 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
- 412. 11002 SK Berlin Friedrichshain-Kreuzberg (13807.03 Einwohner pro km<sup>2</sup>)

## **8.2 Die deutschen Landkreise lexikographisch sortiert nach ihren Gemeindeschlüsseln**

In dieser Liste sind alle Landkreise und ihre Gemeindeschlüssel aufgelistet. Sie ist lexikographisch nach den Gemeindeschlüsseln der Landkreise sortiert.

1. 1001 SK Flensburg
2. 1002 SK Kiel
3. 1003 SK Lübeck
4. 1004 SK Neumünster
5. 10041 LK Stadtverband Saarbrücken
6. 10042 LK Merzig-Wadern
7. 10043 LK Neunkirchen
8. 10044 LK Saarlouis
9. 10045 LK Saarpfalz-Kreis
10. 10046 LK Sankt Wendel
11. 1051 LK Dithmarschen
12. 1053 LK Herzogtum Lauenburg
13. 1054 LK Nordfriesland
14. 1055 LK Ostholstein
15. 1056 LK Pinneberg
16. 1057 LK Plön
17. 1058 LK Rendsburg-Eckernförde
18. 1059 LK Schleswig-Flensburg
19. 1060 LK Segeberg
20. 1061 LK Steinburg
21. 1062 LK Stormarn
22. 11001 SK Berlin Mitte
23. 11002 SK Berlin Friedrichshain-Kreuzberg
24. 11003 SK Berlin Pankow
25. 11004 SK Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf
26. 11005 SK Berlin Spandau
27. 11006 SK Berlin Steglitz-Zehlendorf
28. 11007 SK Berlin Tempelhof-Schöneberg
29. 11008 SK Berlin Neukölln
30. 11009 SK Berlin Treptow-Köpenick
31. 11010 SK Berlin Marzahn-Hellersdorf
32. 11011 SK Berlin Lichtenberg
33. 11012 SK Berlin Reinickendorf
34. 12051 SK Brandenburg a.d.Havel
35. 12052 SK Cottbus
36. 12053 SK Frankfurt (Oder)
37. 12054 SK Potsdam
38. 12060 LK Barnim
39. 12061 LK Dahme-Spreewald
40. 12062 LK Elbe-Elster
41. 12063 LK Havelland
42. 12064 LK Märkisch-Oderland

- 43. 12065 LK Oberhavel
- 44. 12066 LK Oberspreewald-Lausitz
- 45. 12067 LK Oder-Spree
- 46. 12068 LK Ostprignitz-Ruppin
- 47. 12069 LK Potsdam-Mittelmark
- 48. 12070 LK Prignitz
- 49. 12071 LK Spree-Neiße
- 50. 12072 LK Teltow-Fläming
- 51. 12073 LK Uckermark
- 52. 13003 SK Rostock
- 53. 13004 SK Schwerin
- 54. 13071 LK Mecklenburgische Seenplatte
- 55. 13072 LK Rostock
- 56. 13073 LK Vorpommern-Rügen
- 57. 13074 LK Nordwestmecklenburg
- 58. 13075 LK Vorpommern-Greifswald
- 59. 13076 LK Ludwigslust-Parchim
- 60. 14511 SK Chemnitz
- 61. 14521 LK Erzgebirgskreis
- 62. 14522 LK Mittelsachsen
- 63. 14523 LK Vogtlandkreis
- 64. 14524 LK Zwickau
- 65. 14612 SK Dresden
- 66. 14625 LK Bautzen
- 67. 14626 LK Görlitz
- 68. 14627 LK Meißen
- 69. 14628 LK Sächsische Schweiz-Osterzgebirge
- 70. 14713 SK Leipzig
- 71. 14729 LK Leipzig
- 72. 14730 LK Nordsachsen
- 73. 15001 SK Dessau-Roßlau
- 74. 15002 SK Halle
- 75. 15003 SK Magdeburg
- 76. 15081 LK Altmarkkreis Salzwedel
- 77. 15082 LK Anhalt-Bitterfeld
- 78. 15083 LK Börde
- 79. 15084 LK Burgenlandkreis
- 80. 15085 LK Harz
- 81. 15086 LK Jerichower Land
- 82. 15087 LK Mansfeld-Südharz
- 83. 15088 LK Saalekreis
- 84. 15089 LK Salzlandkreis
- 85. 15090 LK Stendal
- 86. 15091 LK Wittenberg
- 87. 16051 SK Erfurt
- 88. 16052 SK Gera
- 89. 16053 SK Jena
- 90. 16054 SK Suhl
- 91. 16055 SK Weimar
- 92. 16056 SK Eisenach
- 93. 16061 LK Eichsfeld

- 94. 16062 LK Nordhausen
- 95. 16063 LK Wartburgkreis
- 96. 16064 LK Unstrut-Hainich-Kreis
- 97. 16065 LK Kyffhäuserkreis
- 98. 16066 LK Schmalkalden-Meiningen
- 99. 16067 LK Gotha
- 100. 16068 LK Sömmerda
- 101. 16069 LK Hildburghausen
- 102. 16070 LK Ilm-Kreis
- 103. 16071 LK Weimarer Land
- 104. 16072 LK Sonneberg
- 105. 16073 LK Saalfeld-Rudolstadt
- 106. 16074 LK Saale-Holzland-Kreis
- 107. 16075 LK Saale-Orla-Kreis
- 108. 16076 LK Greiz
- 109. 16077 LK Altenburger Land
- 110. 2000 SK Hamburg
- 111. 3101 SK Braunschweig
- 112. 3102 SK Salzgitter
- 113. 3103 SK Wolfsburg
- 114. 3151 LK Gifhorn
- 115. 3153 LK Goslar
- 116. 3154 LK Helmstedt
- 117. 3155 LK Northeim
- 118. 3157 LK Peine
- 119. 3158 LK Wolfenbüttel
- 120. 3159 LK Göttingen
- 121. 3241 Region Hannover
- 122. 3251 LK Diepholz
- 123. 3252 LK Hameln-Pyrmont
- 124. 3254 LK Hildesheim
- 125. 3255 LK Holzminden
- 126. 3256 LK Nienburg (Weser)
- 127. 3257 LK Schaumburg
- 128. 3351 LK Celle
- 129. 3352 LK Cuxhaven
- 130. 3353 LK Harburg
- 131. 3354 LK Lüchow-Dannenberg
- 132. 3355 LK Lüneburg
- 133. 3356 LK Osterholz
- 134. 3357 LK Rotenburg (Wümme)
- 135. 3358 LK Heidekreis
- 136. 3359 LK Stade
- 137. 3360 LK Uelzen
- 138. 3361 LK Verden
- 139. 3401 SK Delmenhorst
- 140. 3402 SK Emden
- 141. 3403 SK Oldenburg
- 142. 3404 SK Osnabrück
- 143. 3405 SK Wilhelmshaven
- 144. 3451 LK Ammerland

- 145. 3452 LK Aurich
- 146. 3453 LK Cloppenburg
- 147. 3454 LK Emsland
- 148. 3455 LK Friesland
- 149. 3456 LK Grafschaft Bentheim
- 150. 3457 LK Leer
- 151. 3458 LK Oldenburg
- 152. 3459 LK Osnabrück
- 153. 3460 LK Vechta
- 154. 3461 LK Wesermarsch
- 155. 3462 LK Wittmund
- 156. 4011 SK Bremen
- 157. 4012 SK Bremerhaven
- 158. 5111 SK Düsseldorf
- 159. 5112 SK Duisburg
- 160. 5113 SK Essen
- 161. 5114 SK Krefeld
- 162. 5116 SK Mönchengladbach
- 163. 5117 SK Mülheim a.d.Ruhr
- 164. 5119 SK Oberhausen
- 165. 5120 SK Remscheid
- 166. 5122 SK Solingen
- 167. 5124 SK Wuppertal
- 168. 5154 LK Kleve
- 169. 5158 LK Mettmann
- 170. 5162 LK Rhein-Kreis Neuss
- 171. 5166 LK Viersen
- 172. 5170 LK Wesel
- 173. 5314 SK Bonn
- 174. 5315 SK Köln
- 175. 5316 SK Leverkusen
- 176. 5334 StädteRegion Aachen
- 177. 5358 LK Düren
- 178. 5362 LK Rhein-Erft-Kreis
- 179. 5366 LK Euskirchen
- 180. 5370 LK Heinsberg
- 181. 5374 LK Oberbergischer Kreis
- 182. 5378 LK Rheinisch-Bergischer Kreis
- 183. 5382 LK Rhein-Sieg-Kreis
- 184. 5512 SK Bottrop
- 185. 5513 SK Gelsenkirchen
- 186. 5515 SK Münster
- 187. 5554 LK Borken
- 188. 5558 LK Coesfeld
- 189. 5562 LK Recklinghausen
- 190. 5566 LK Steinfurt
- 191. 5570 LK Warendorf
- 192. 5711 SK Bielefeld
- 193. 5754 LK Gütersloh
- 194. 5758 LK Herford
- 195. 5762 LK Höxter

- 196. 5766 LK Lippe
- 197. 5770 LK Minden-Lübbecke
- 198. 5774 LK Paderborn
- 199. 5911 SK Bochum
- 200. 5913 SK Dortmund
- 201. 5914 SK Hagen
- 202. 5915 SK Hamm
- 203. 5916 SK Herne
- 204. 5954 LK Ennepe-Ruhr-Kreis
- 205. 5958 LK Hochsauerlandkreis
- 206. 5962 LK Märkischer Kreis
- 207. 5966 LK Olpe
- 208. 5970 LK Siegen-Wittgenstein
- 209. 5974 LK Soest
- 210. 5978 LK Unna
- 211. 6411 SK Darmstadt
- 212. 6412 SK Frankfurt am Main
- 213. 6413 SK Offenbach
- 214. 6414 SK Wiesbaden
- 215. 6431 LK Bergstraße
- 216. 6432 LK Darmstadt-Dieburg
- 217. 6433 LK Groß-Gerau
- 218. 6434 LK Hochtaunuskreis
- 219. 6435 LK Main-Kinzig-Kreis
- 220. 6436 LK Main-Taunus-Kreis
- 221. 6437 LK Odenwaldkreis
- 222. 6438 LK Offenbach
- 223. 6439 LK Rheingau-Taunus-Kreis
- 224. 6440 LK Wetteraukreis
- 225. 6531 LK Gießen
- 226. 6532 LK Lahn-Dill-Kreis
- 227. 6533 LK Limburg-Weilburg
- 228. 6534 LK Marburg-Biedenkopf
- 229. 6535 LK Vogelsbergkreis
- 230. 6611 SK Kassel
- 231. 6631 LK Fulda
- 232. 6632 LK Hersfeld-Rotenburg
- 233. 6633 LK Kassel
- 234. 6634 LK Schwalm-Eder-Kreis
- 235. 6635 LK Waldeck-Frankenberg
- 236. 6636 LK Werra-Meißner-Kreis
- 237. 7111 SK Koblenz
- 238. 7131 LK Ahrweiler
- 239. 7132 LK Altenkirchen
- 240. 7133 LK Bad Kreuznach
- 241. 7134 LK Birkenfeld
- 242. 7135 LK Cochem-Zell
- 243. 7137 LK Mayen-Koblenz
- 244. 7138 LK Neuwied
- 245. 7140 LK Rhein-Hunsrück-Kreis
- 246. 7141 LK Rhein-Lahn-Kreis

- 247. 7143 LK Westerwaldkreis
- 248. 7211 SK Trier
- 249. 7231 LK Bernkastel-Wittlich
- 250. 7232 LK Bitburg-Prüm
- 251. 7233 LK Vulkaneifel
- 252. 7235 LK Trier-Saarburg
- 253. 7311 SK Frankenthal
- 254. 7312 SK Kaiserslautern
- 255. 7313 SK Landau i.d.Pfalz
- 256. 7314 SK Ludwigshafen
- 257. 7315 SK Mainz
- 258. 7316 SK Neustadt a.d.Weinstraße
- 259. 7317 SK Pirmasens
- 260. 7318 SK Speyer
- 261. 7319 SK Worms
- 262. 7320 SK Zweibrücken
- 263. 7331 LK Alzey-Worms
- 264. 7332 LK Bad Dürkheim
- 265. 7333 LK Donnersbergkreis
- 266. 7334 LK Germersheim
- 267. 7335 LK Kaiserslautern
- 268. 7336 LK Kusel
- 269. 7337 LK Südliche Weinstraße
- 270. 7338 LK Rhein-Pfalz-Kreis
- 271. 7339 LK Mainz-Bingen
- 272. 7340 LK Südwestpfalz
- 273. 8111 SK Stuttgart
- 274. 8115 LK Böblingen
- 275. 8116 LK Esslingen
- 276. 8117 LK Göppingen
- 277. 8118 LK Ludwigsburg
- 278. 8119 LK Rems-Murr-Kreis
- 279. 8121 SK Heilbronn
- 280. 8125 LK Heilbronn
- 281. 8126 LK Hohenlohekreis
- 282. 8127 LK Schwäbisch Hall
- 283. 8128 LK Main-Tauber-Kreis
- 284. 8135 LK Heidenheim
- 285. 8136 LK Ostalbkreis
- 286. 8211 SK Baden-Baden
- 287. 8212 SK Karlsruhe
- 288. 8215 LK Karlsruhe
- 289. 8216 LK Rastatt
- 290. 8221 SK Heidelberg
- 291. 8222 SK Mannheim
- 292. 8225 LK Neckar-Odenwald-Kreis
- 293. 8226 LK Rhein-Neckar-Kreis
- 294. 8231 SK Pforzheim
- 295. 8235 LK Calw
- 296. 8236 LK Enzkreis
- 297. 8237 LK Freudenstadt

- 298. 8311 SK Freiburg i.Breisgau
- 299. 8315 LK Breisgau-Hochschwarzwald
- 300. 8316 LK Emmendingen
- 301. 8317 LK Ortenaukreis
- 302. 8325 LK Rottweil
- 303. 8326 LK Schwarzwald-Baar-Kreis
- 304. 8327 LK Tuttlingen
- 305. 8335 LK Konstanz
- 306. 8336 LK Lörrach
- 307. 8337 LK Waldshut
- 308. 8415 LK Reutlingen
- 309. 8416 LK Tübingen
- 310. 8417 LK Zollernalbkreis
- 311. 8421 SK Ulm
- 312. 8425 LK Alb-Donau-Kreis
- 313. 8426 LK Biberach
- 314. 8435 LK Bodenseekreis
- 315. 8436 LK Ravensburg
- 316. 8437 LK Sigmaringen
- 317. 9161 SK Ingolstadt
- 318. 9162 SK München
- 319. 9163 SK Rosenheim
- 320. 9171 LK Altötting
- 321. 9172 LK Berchtesgadener Land
- 322. 9173 LK Bad Tölz-Wolfratshausen
- 323. 9174 LK Dachau
- 324. 9175 LK Ebersberg
- 325. 9176 LK Eichstätt
- 326. 9177 LK Erding
- 327. 9178 LK Freising
- 328. 9179 LK Fürstenfeldbruck
- 329. 9180 LK Garmisch-Partenkirchen
- 330. 9181 LK Landsberg a.Lech
- 331. 9182 LK Miesbach
- 332. 9183 LK Mühldorf a.Inn
- 333. 9184 LK München
- 334. 9185 LK Neuburg-Schrobenhausen
- 335. 9186 LK Pfaffenhofen a.d.Ilm
- 336. 9187 LK Rosenheim
- 337. 9188 LK Starnberg
- 338. 9189 LK Traunstein
- 339. 9190 LK Weilheim-Schongau
- 340. 9261 SK Landshut
- 341. 9262 SK Passau
- 342. 9263 SK Straubing
- 343. 9271 LK Deggendorf
- 344. 9272 LK Freyung-Grafenau
- 345. 9273 LK Kelheim
- 346. 9274 LK Landshut
- 347. 9275 LK Passau
- 348. 9276 LK Regen

- 349. 9277 LK Rottal-Inn
- 350. 9278 LK Straubing-Bogen
- 351. 9279 LK Dingolfing-Landau
- 352. 9361 SK Amberg
- 353. 9362 SK Regensburg
- 354. 9363 SK Weiden i.d.OPf.
- 355. 9371 LK Amberg-Sulzbach
- 356. 9372 LK Cham
- 357. 9373 LK Neumarkt i.d.OPf.
- 358. 9374 LK Neustadt a.d.Waldnaab
- 359. 9375 LK Regensburg
- 360. 9376 LK Schwandorf
- 361. 9377 LK Tirschenreuth
- 362. 9461 SK Bamberg
- 363. 9462 SK Bayreuth
- 364. 9463 SK Coburg
- 365. 9464 SK Hof
- 366. 9471 LK Bamberg
- 367. 9472 LK Bayreuth
- 368. 9473 LK Coburg
- 369. 9474 LK Forchheim
- 370. 9475 LK Hof
- 371. 9476 LK Kronach
- 372. 9477 LK Kulmbach
- 373. 9478 LK Lichtenfels
- 374. 9479 LK Wunsiedel i.Fichtelgebirge
- 375. 9561 SK Ansbach
- 376. 9562 SK Erlangen
- 377. 9563 SK Fürth
- 378. 9564 SK Nürnberg
- 379. 9565 SK Schwabach
- 380. 9571 LK Ansbach
- 381. 9572 LK Erlangen-Höchstadt
- 382. 9573 LK Fürth
- 383. 9574 LK Nürnberger Land
- 384. 9575 LK Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim
- 385. 9576 LK Roth
- 386. 9577 LK Weißenburg-Gunzenhausen
- 387. 9661 SK Aschaffenburg
- 388. 9662 SK Schweinfurt
- 389. 9663 SK Würzburg
- 390. 9671 LK Aschaffenburg
- 391. 9672 LK Bad Kissingen
- 392. 9673 LK Rhön-Grabfeld
- 393. 9674 LK Haßberge
- 394. 9675 LK Kitzingen
- 395. 9676 LK Miltenberg
- 396. 9677 LK Main-Spessart
- 397. 9678 LK Schweinfurt
- 398. 9679 LK Würzburg
- 399. 9761 SK Augsburg

- 400. 9762 SK Kaufbeuren
- 401. 9763 SK Kempten
- 402. 9764 SK Memmingen
- 403. 9771 LK Aichach-Friedberg
- 404. 9772 LK Augsburg
- 405. 9773 LK Dillingen a.d.Donau
- 406. 9774 LK Günzburg
- 407. 9775 LK Neu-Ulm
- 408. 9776 LK Lindau
- 409. 9777 LK Ostallgäu
- 410. 9778 LK Unterallgäu
- 411. 9779 LK Donau-Ries
- 412. 9780 LK Oberallgäu

## **8.3 Die Regierungsbezirke sortiert nach ihrer Bevölkerungsdichte**

Alle Regierungsbezirke sind hier aufgelistet. Zudem sind die zwei oder drei Stellen angegeben, die im Gemeindeschlüssel eines Landkreises bestimmen, ob dieser zum Regierungsbezirk gehört. Die Liste ist sortiert nach der Bevölkerungsdichte der Regierungsbezirke, diese ist jeweils in Klammern angegeben.

1. 130 Mecklenburg-Vorpommern (69.65 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
2. 120 Brandenburg (84.92 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
3. 150 Sachsen-Anhalt (106.78 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
4. 72 Trier (108.17 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
5. 33 Lüneburg (110.96 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
6. 93 Oberpfalz (114.70 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
7. 92 Niederbayern (120.35 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
8. 160 Thüringen (131.72 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
9. 66 Kassel (147.19 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
10. 94 Oberfranken (147.33 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
11. 96 Unterfranken (154.58 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
12. 34 Weser-Ems (169.14 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
13. 71 Koblenz (185.62 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
14. 10 Schleswig-Holstein (186.01 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
15. 97 Schwaben (190.21 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
16. 65 Gießen (195.06 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
17. 31 Braunschweig (196.50 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
18. 146 Dresden (200.44 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
19. 84 Tübingen (209.17 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
20. 145 Chemnitz (218.40 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
21. 32 Hannover (237.14 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
22. 83 Freiburg (242.93 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
23. 95 Mittelfranken (245.11 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
24. 147 Leipzig (263.49 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
25. 91 Oberbayern (268.65 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
26. 73 Rheinhessen-Pfalz (301.23 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
27. 57 Detmold (315.31 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
28. 55 Münster (379.56 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
29. 100 Saarland (383.95 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
30. 81 Stuttgart (393.79 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
31. 82 Karlsruhe (406.65 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
32. 59 Arnsberg (447.09 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
33. 64 Darmstadt (540.46 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
34. 53 Köln (608.55 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
35. 51 Düsseldorf (984.02 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
36. 40 Bremen (1694.26 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
37. 20 Hamburg (2489.29 Einwohner pro km<sup>2</sup>)
38. 110 Berlin (4107.70 Einwohner pro km<sup>2</sup>)

## **8.4 Die Regierungsbezirke lexikographisch sortiert nach den Gemeindeschlüsseln ihrer Landkreise**

In dieser Liste sind die Regierungsbezirke aufgeführt. Sie sind lexikographisch nach den Gemeindeschlüsseln der Landkreise, die sie enthalten, sortiert. Die ersten zwei oder drei Stellen des Gemeindeschlüssels, die den Regierungsbezirk bestimmen, sind ebenfalls aufgeführt.

1. 10 Schleswig-Holstein
2. 100 Saarland
3. 110 Berlin
4. 120 Brandenburg
5. 130 Mecklenburg-Vorpommern
6. 145 Chemnitz
7. 146 Dresden
8. 147 Leipzig
9. 150 Sachsen-Anhalt
10. 160 Thüringen
11. 20 Hamburg
12. 31 Braunschweig
13. 32 Hannover
14. 33 Lüneburg
15. 34 Weser-Ems
16. 40 Bremen
17. 51 Düsseldorf
18. 53 Köln
19. 55 Münster
20. 57 Detmold
21. 59 Arnsberg
22. 64 Darmstadt
23. 65 Gießen
24. 66 Kassel
25. 71 Koblenz
26. 72 Trier
27. 73 Rheinhessen-Pfalz
28. 81 Stuttgart
29. 82 Karlsruhe
30. 83 Freiburg
31. 84 Tübingen
32. 91 Oberbayern
33. 92 Niederbayern
34. 93 Oberpfalz
35. 94 Oberfranken
36. 95 Mittelfranken
37. 96 Unterfranken
38. 97 Schwaben

# Literatur

- [1] Auge=mit. *Spanische Grippe 1918 1919 GB*. Überarbeitung der Graphik „Three pandemic waves: weekly combined influenza and pneumonia mortality, United Kingdom, 1918–1919“ [8]. 2021. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spanische\\_Grippe\\_1918\\_1919\\_GB.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spanische_Grippe_1918_1919_GB.svg) (besucht am 25.07.2021).
- [2] Ronald N. Bracewell. „The Fourier Transform and Its Applications“. In: Singapore: McGraw-Hill Book Co, 2000, S. 24–54.
- [3] Fabian M. Bürkin. *The Impact of Mobility on Forecasting the Effective Reproduction Number of Covid-19 - A Statistical Comparison Based on Data of Freiburg*. 2020.
- [4] *Corona-Zahlen im Kreis Cloppenburg schnellen hoch*. 9. Oktober 2020. URL: <https://www.zeit.de/news/2020-10/09/corona-zahlen-im-kreis-cloppenburg-hochgeschnellt> (besucht am 25.07.2021).
- [5] Alfred W. Crosby. „Conquistador y Pestilencia: The First New World Pandemic and the Fall of the Great Indian Empires“. In: *Hispanic American Historical Review* 47. Duke University Press, Aug. 1967, S. 321–337. DOI: 10.1215/00182168-47.3.321.
- [6] F.R. DeLeo und B.J. Hinnebusch. „A plague upon the phagocytes“. In: *Nature Medicine* 11.9. 9 (2005), S. 927–928.
- [7] Dr. med. Jamela Seedat. „Epidemiologisches Bulletin“. In: 17 (2020). URL: [https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2020/Ausgaben/17%5C\\_20.pdf?%5C\\_%5C\\_blob=publicationFile](https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2020/Ausgaben/17%5C_20.pdf?%5C_%5C_blob=publicationFile).

- [8] David M Morens" Jeffery K Taubenberger. „1918 Influenza: the mother of all pandemics“. In: 12 (). DOI: 10.3201/eid1201.050979.
- [9] *Liste der deutschen Landkreise*. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/04-kreise.html> (besucht am 25.07.2021).
- [10] *Liste der deutschen Regierungsbezirke*. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/03-regierungsbezirke.html> (besucht am 25.07.2021).
- [11] Robert Littman und M Littman. „Galen and the Antonine Plague“. In: *American journal of philology* 94 (Feb. 1973), S. 243–255. DOI: 10.2307/293979.
- [12] Eveline Otte im Kampe u.a. „Surveillance of COVID-19 school outbreaks, Germany, March to August 2020“. In: *EuroSurveillance* 25.38 (2020), S. 1–6. DOI: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.38.2001645.
- [13] M. Kroneman P. Spreeuwenberg und J. Paget. „Reassessing the Global Mortality Burden of the 1918 Influenza Pandemic“. In: *American Journal of Epidemiology* 187.12 (2018), S. 2561–2567.
- [14] Robert-Koch-Institut. *Antworten auf häufig gestellte Fragen zum Coronavirus SARS-CoV-2 / Krankheit COVID-19*. Leider wird in den wissenschaftlichen Publikationen des RKIs die 7-Tage-Inzidenz nicht erklärt, daher ist hier eine Erklärung von der offiziellen Webseite referenziert. Juli 2021. URL: <https://www.rki.de/SharedDocs/FAQ/NCOV2019/gesamt.html> (besucht am 25.07.2021).
- [15] George Santayana. *The Life of Reason: Introduction and Reason in Common Sense*. 1905.
- [16] F.S. Lobo T. Harko und M. Mak. „Exact analytical solutions of the Susceptible-Infected-Recovered (SIR) epidemic model and of the SIR model with equal death and birth rates“. In: *Applied Mathematics and Computation* 236 (2014), S. 184–194.

