

MODUS-COVID Bericht vom 14.09.2023

Nützlichkeit unterschiedlicher Arten von Mobilfunkdaten in der Pandemiemodellierung

Sebastian Alexander Müller¹, Inan Bostanci²,
Kristina Maier², Sydney Paltra¹, Christian Rakow¹, Jakob Rehmann¹,
Tim Conrad², Christof Schütte², Kai Nagel¹

¹Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik (“VSP”), TU Berlin

nagel@vsp.tu-berlin.de

²Zuse-Inst. Berlin (“ZIB”)

Available via TU Berlin repository: <https://doi.org/10.14279/depositonce-18603>

Date of this version: 14-september-2023

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Website: <https://covid-sim.info>

Zusammenfassung

In diesem Bericht untersuchen wir das Potenzial von zwei verschiedenen Arten von Mobilitätsdaten für den Einsatz in der Pandemiemodellierung. Wir ergänzen unsere bisher für die Modellierung verwendeten Mobilfunkzellen-basierten “Längsschnitt”-Daten, um GPS-basierte “Querschnitts”-Daten und erklären die Vor- und Nachteile. GPS-basierte Daten zeichnen sich durch eine höhere Genauigkeit bzgl. der Verortung aus, sind jedoch - verglichen mit den Mobilfunkzellendaten - in einer deutlich kleineren Stichprobe verfügbar. Die höhere Genauigkeit ermöglicht es, verschiedene Aktivitätentypen (wie z.B. Schule, Arbeit oder Restaurant), getrennt auszuwerten - dies ist mit den Mobilfunkzellendaten nicht ohne Weiteres möglich.

Die Integration von GPS-Daten reduziert den manuellen Aufwand, verstärkt die datengetriebene Natur des Modells und minimiert Modellannahmen. Dieser Bericht präsentiert erste Ergebnisse und Validierungen der GPS-Daten für das erste Pandemiejahr. Die Kombination beider Datenquellen bietet Potenzial, um Verhaltensänderungen während der Pandemie genauer zu erforschen und die Pandemiemodellierung zu verbessern.

Analyse der Bevölkerungsaktivität: Die Möglichkeiten und Grenzen von Mobilfunkzellendaten

Während der Pandemie haben wir im Rahmen des MODUS-Covid Projektes ein agentenbasiertes Modell entwickelt, um Infektionsdynamiken zu simulieren und die Effektivität verschiedener Maßnahmen bewerten zu können. Dieses Modell ist aktivitätenbasiert: Die simulierten Personen unternehmen täglich von zu Hause ausgehend verschiedene Aktivitäten, z.B. Arbeit, Freizeit oder Schule. Wenn sie bei diesen Aktivitäten im Modell auf eine infizierte Person treffen, kann es zu einer Übertragung des Virus kommen.

Zur Bekämpfung der Ausbreitung des Corona-Virus wurden in den einzelnen Pandemie-Wellen durch die Politik zeitlich begrenzte Maßnahmen eingeführt. So wurden z.B. Schulen geschlossen, und die öffentliche Freizeit (z.B. Gastronomie, Kinos) in manchen Pandemiephasen nahezu vollständig heruntergefahren. Andere Aktivitätstypen, wie etwa die tägliche Arbeit oder Treffen in privaten Wohnungen, wurden weniger streng reglementiert¹.

Um die Wirkung dieser Einschränkungen bzw. das Verhalten der Bevölkerung zu analysieren und in unserem Modell berücksichtigen zu können, nutzen wir seit Pandemiebeginn Mobilfunkzellendaten. Diese eignen sich sehr gut, um die Aktivität einer Bevölkerung zu messen, da sie eine große Stichprobe beinhalten. Weiterhin ist es möglich, über die räumlich verteilten Mobilfunkantennen eine örtlich differenzierte Auswertung zu erhalten. Zudem lagen uns die Daten nahezu in Echtzeit vor, was für die Einschätzung der akuten Entwicklung und als Input für das Modell essenziell war.

Die folgende Abbildung 1 zeigt die Aktivität der Kölner Bevölkerung im zeitlichen Verlauf, basierend auf den uns für diesen Zeitraum vorliegenden Mobilfunkzellendaten:

¹ Ein Beispiel für die Einschränkung von Treffen in privaten Wohnungen erfolgte im Dezember 2020, als sich nur Mitglieder zweier Haushalte mit insgesamt höchstens fünf Personen (Kinder bis einschließlich 14 Jahren nicht mitgerechnet) versammeln durften (MAGS NRW 2020).

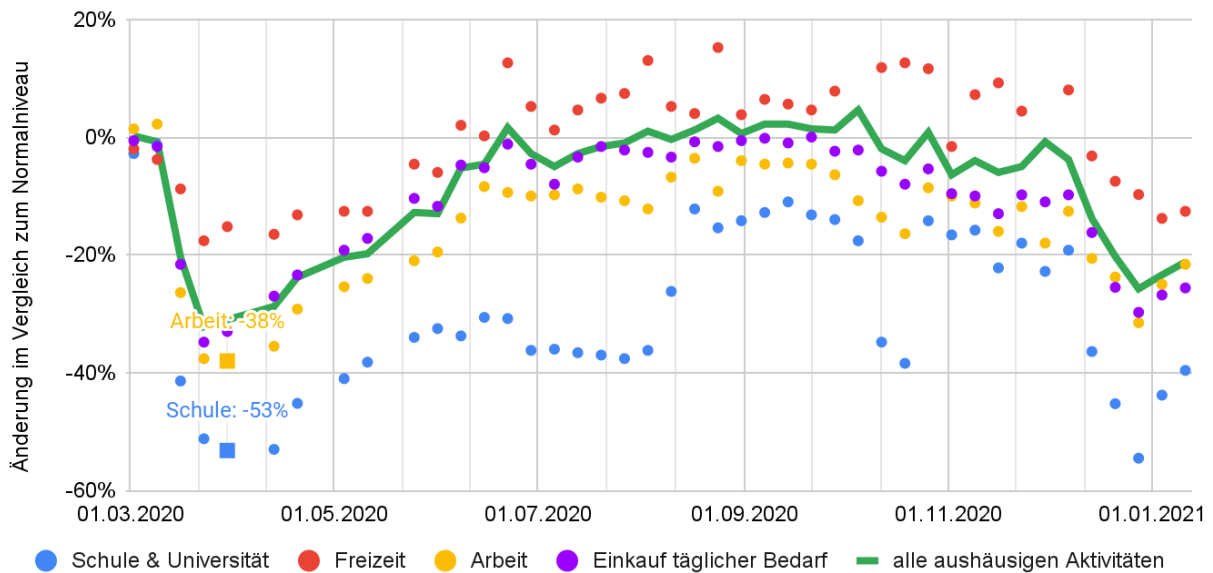


Abbildung 1: Änderung der im Mittel aushäusig verbrachten Zeit pro Person und Tag (grüne Linie) und Änderungen der Aktivitätentypen Schule & Universitäten (blau), Freizeit (rot), Arbeit (gelb) und Einkauf des täglichen Bedarfs (lila). Man sieht für alle Aktivitätentypen einen Rückgang im März 2020, Schulaktivitäten bleiben während des gesamten Jahres reduziert, die anderen Aktivitätentypen und auch die Gesamtheit aller aushäusigen Aktivitäten erreichen im Sommer 2020 wieder Normalniveau. Eigene Darstellung; Datenquelle der zugrundeliegenden Mobilfunkzellen-Daten: Senozon (2020).

Die grüne Linie zeigt, relativ zu Ende Februar 2020, wie viel Zeit die Bevölkerung außerhalb des eigenen Zuhauses verbracht hat. Die Punkte zeigen, wie sich das Niveau der verschiedenen Aktivitätentypen laut den Mobilfunkzellendaten geändert hat. Es lässt sich beispielsweise erkennen, dass die Daten im März 2020 einen starken Rückgang bei Schul- und Universitätsaktivitäten verzeichnen (in blau; ca. -50% am 30.3, siehe blaue quadratische Markierung) im Vergleich zu Arbeitsaktivitäten (in gelb; ca. -35% am 30.3, siehe gelbe quadratische Markierung). An dieser Stelle wird jedoch deutlich, dass die Mobilfunkzellendaten teilweise ungenau sind, wenn es um die detaillierte Analyse einzelner Aktivitätentypen geht: Am 30.3.2020 waren die Schulen bereits geschlossen, daher wäre ein noch stärkerer Rückgang der Schulaktivitäten als obige -50% zu erwarten gewesen. Aus diesem Grund haben wir zur Kalibrierung unseres Modells in der Vergangenheit nur die grüne Linie genutzt und z.B. das Schließen der Schulen mittels manueller Parametrisierung modelliert – also nicht basierend auf den Mobilfunkzellendaten².

² “Manuell” bedeutet in diesem Zusammenhang, dass wir regelmäßig überprüft haben, ob es Neuigkeiten bzgl. Einschränkungen des Schulbetriebs gab oder ob eine neue Fassung der Coronabetreuungsverordnung veröffentlicht wurde. Gab es Neuigkeiten, wurden diese in das Modell integriert. Schulschließungen wurden beispielsweise in eine nur noch “20%-ige Teilnahme an Schulaktivitäten” übersetzt.

Die Ungenauigkeit der Mobilfunkzellendaten bei der Erkennung der Aktivitätentypen ist darauf zurückzuführen, dass Mobilfunkzellen in Innenstädten einen Durchmesser von mehreren hundert Metern und auf dem Land einen Durchmesser von bis zu mehreren Kilometern aufweisen können (Bundestag und Tschersch 2015). Daher ist die räumliche bzw. zeitliche Verortung nur genau genug, um zwischen “zu Hause” und “nicht zu Hause” zu unterscheiden.

GPS-Daten können Mobilfunkzellendaten ergänzen

In Ergänzung zu den Mobilfunkzellendaten haben wir im Rahmen des MODUS-COVID Projekts GPS-Daten für die Stadt Köln erhalten. Mit GPS-Daten lässt sich die oben beschriebene Schwäche der Mobilfunkzellendaten prinzipiell ausgleichen, wenn beide Datenquellen kombiniert werden können. Der Vorteil der GPS-Daten ist, dass sie eine sehr hohe Genauigkeit aufweisen. Der Nachteil der GPS-Daten im Vergleich zu den Mobilfunkdaten liegt darin, dass sie in einer deutlich geringeren Stichprobe (<5%) vorliegen.

Die Mobilfunkzellendaten sind sog. Längsschnitt-Daten: Sie liefern Trajektorien und somit die Bewegungsmuster einzelner Geräte über die Zeit. Die uns vorliegenden GPS-basierten Daten hingegen sind Querschnittsdaten: Sie bieten den Vorteil hoher geographischer Genauigkeit, allerdings keine Trajektorien, sondern ausschließlich die Anzahl registrierter Geräte an einem Ort. Die Kombination von beiden Datenquellen hat großes Potenzial, da wir nun die Möglichkeit haben, eine große Stichprobe mit einer hohen Genauigkeit zu kombinieren.

In diesem Bericht zeigen wir die ersten Ergebnisse unserer Analyse und Validierung der GPS-Daten im Zeitraum bis Anfang 2021 für die Stadt Köln.

Vorgehen

Die uns zur Verfügung stehenden GPS-Daten stammen von der Firma NET CHECK³ und basieren auf zwei Datenquellen:

- 1) GPS-Daten, welche von Smartphones erzeugt werden. Diese Daten enthalten Informationen darüber, zu welchem Zeitpunkt ein Smartphone an einem bestimmten Ort ist. Wir betrachten hier nur eine Stichprobe, da solche Daten nur für einen geringen Anteil der Smartphones zur Verfügung stehen.⁴ In Abbildung 2 (links) findet sich ein Beispiel dieser GPS Daten.
- 2) OpenStreetMap-Daten, welchen für die Öffentlichkeit frei verfügbar sind. Diese Daten enthalten unter anderem Informationen in Bezug auf Land- und Gebäudenutzung. Anhand dieser Daten lässt sich also z.B. ermitteln, ob in einem Gebäude ein Supermarkt, eine Schule oder ein Restaurant verortet ist. In Abbildung 2 (rechts) findet sich ein Beispiel der OpenStreetMap-Daten.

³ <https://nc-group.net/net-check/>, (NET CHECK GmbH 2021).

⁴ Für Details siehe Einleitung und Methoden-Abschnitt von (Rüdiger u. a. 2021).

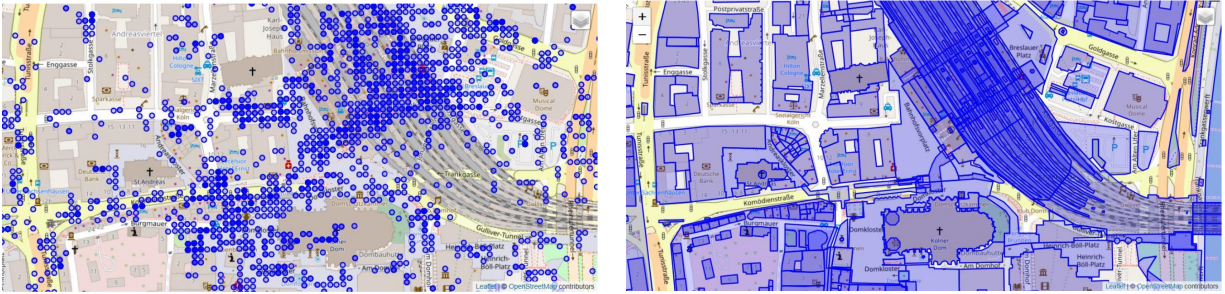


Abbildung 2: Links: Verortung der GPS-Daten an einem Beispieltag in der Umgebung des Kölner Hauptbahnhofes. Rechts: Gebäudeumrisse aus der OSM-Datenbank in der Umgebung des Kölner Hauptbahnhofes. Die Abbildungen wurden von NET CHECK für diesen Bericht bereitgestellt (NET CHECK), (Rüdiger u. a. 2021), (Schulz u. a. 2023).

Dank der Verknüpfung dieser beiden Datenquellen lässt sich ermitteln, ob die Koordinaten aus den GPS-Daten in einem bestimmten Gebäudetyp liegen. Da die Daten im zeitlichen Verlauf vorliegen, kann je nach Gebäude- bzw. Aktivitätentyp separat ausgewertet werden, wie sich das Verhalten der Bevölkerung im Pandemieverlauf geändert hat⁵. In diesen Daten sind allerdings *keine* Trajektorien enthalten. Das bedeutet, dass die Belegung eines Gebäudetyps über die Zeit bekannt ist, aber nicht, woher die entsprechenden Personen kamen, und wohin sie sich als nächstes bewegen werden.⁶

Wir geben diese Verhaltensänderungen als relative Werte an. “Relativ” bedeutet an dieser Stelle “relativ zum Normalniveau”⁷. Dazu werten wir die Anzahl der erzeugten GPS-Datensätze aus in der Annahme, dass diese Anzahl mit der Aufenthaltszeit an einem bestimmten Ort korreliert.

Aktivitätstyp-basierter Vergleich von Mobilfunkzellen- und GPS-Daten

Die folgenden Abbildungen 3 bis 8 zeigen für jeweils einen Aktivitätentyp, ob und in welchem Ausmaß sich die Aktivität relativ zum “Normalniveau” während des ersten Pandemiejahrs verändert hat. Die blauen Punkte zeigen jeweils die GPS-basierten Daten, während die roten Punkte die Mobilfunkzellen-basierten Daten zeigen. Zusätzlich sind je nach Aktivitätentyp

⁵ Gebäude haben oft mehrere Zwecke; zum Beispiel kann ein Einkaufszentrum Supermärkte, Restaurants und Geschäfte enthalten. Wenn ein GPS-Signal eine Person innerhalb eines Gebäudes ortet, wird angenommen, dass die Person jede dieser Einrichtungen besucht.

⁶ Die bekannteren Google Community Mobility Daten (Google LLC 2023) werden auf technologisch ähnliche Weise erhoben. Sie sind aber räumlich nur bis auf die Ebene der Bundesländer aufgelöst und bieten nur Daten für ausgewählte Aktivitätentypen (“Retail and recreation”, “Supermarket and pharmacy”, “Parks”, “Public transport”, “Workplaces”, “Residential”). Google hat außerdem im Oktober 2022 aufgehört, neue Daten bereitzustellen, historische Daten können allerdings noch abgerufen werden. Wie lange diese noch zur Verfügung stehen und ob Google jemals wieder neue Daten kostenfrei veröffentlicht, ist ungewiss.

⁷ Wir definieren hier den September 2020 als “Normalniveau”, da laut den Mobilfunkzellendaten zu diesem Zeitpunkt das Niveau Ende Februars 2020 der aushäusigen Aktivitäten erreicht wurde.

relevante Restriktionen dargestellt, die im Jahr 2020 eingeführt wurden (wie z.B. Schulschließungen). So lässt sich erkennen, wie die einzelnen Restriktionen in den Daten wiedergegeben werden. Zudem ist ein Vergleich der beiden Technologien (GPS und Mobilfunkzellen) möglich. Alle Darstellungen und Analysen sind unsere eigenen, die Rohdaten der Mobilfunkzellen-basierten Daten wurden stammen von Senozon (2020), die Rohdaten der GPS-basierten Daten von der Firma NET CHECK (NET CHECK).

Schulen

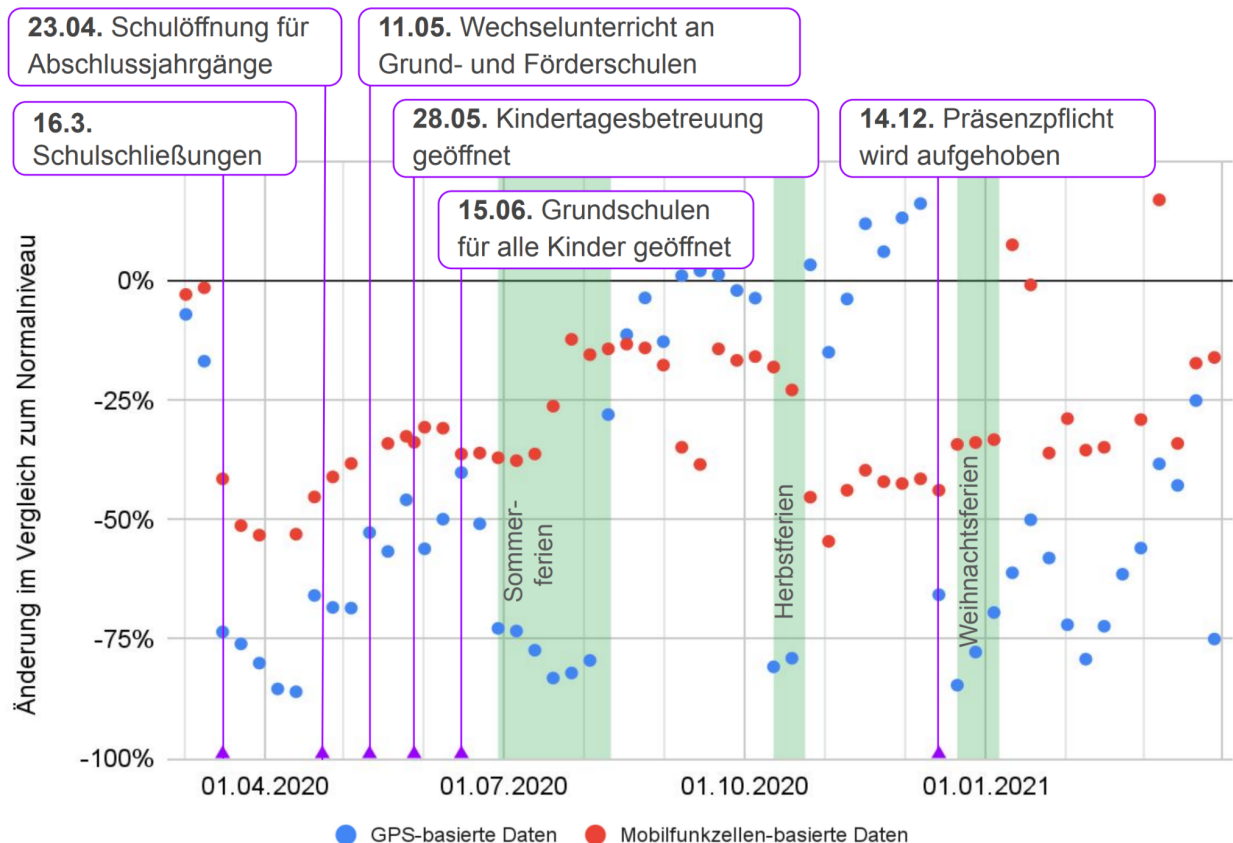


Abbildung 3: Reduktion der Schulaktivitäten. Blau: GPS-Daten, rot: Mobilfunkzellendaten (alle Bildungsaktivitäten), lila: Restriktionen (siehe auch Anhang), grün: Schulferien (ohne Osterferien 2020, da zu dieser Zeit die Schulen geschlossen waren). Man sieht bei den GPS-Daten im März 2020 eine sehr viel stärkere Reduktion als bei den Funkzellen-Daten. Weiterhin sieht man in den GPS-Daten eine starke Reduktion genau während der Schulferien, während die Funkzellen-basierten Daten hier gar nicht reagieren. In beiden Fällen sind also die GPS-Daten deutlich realistischer; diese Daten liefern den erwünschten Gewinn an Genauigkeit.

Schule (Abbildung 3): Im März 2020 verzeichnen die Daten ein sehr deutliches Absinken der Schulaktivitäten, welches auf die Schulschließungen zurückzuführen ist. Dieses Absinken ist sowohl in den GPS-Daten als auch in den Mobilfunkzellendaten zu erkennen. Der Effekt ist in

den GPS-Daten jedoch wesentlich stärker ausgeprägt: die Mobilfunkzellendaten zeigen einen Aktivitätenrückgang von ca. 50%, während dieser Wert bei den GPS-Daten bei über 75% liegt.

Nachdem beide Datenquellen einen Wiederanstieg der Bildungsaktivitäten vor den Sommerferien zeigen, unterscheiden sie sich deutlich während der Sommerferien. Während der Ferieneffekt in den GPS-Daten deutlich zu erkennen ist durch ein erneutes Absinken der Bildungsaktivitäten, verzeichnen die Mobilfunkzellendaten ein Ansteigen der Bildungsaktivitäten während der Ferien. In den GPS-Daten sind zudem die Herbst- und Weihnachtsferien deutlich zu erkennen; dies ist bei den Mobilfunkzellendaten nicht der Fall.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die GPS-Daten im Bildungskontext bzgl. des Aktivitätsniveaus als wesentlich plausibler zu bewerten sind als die Mobilfunkzellendaten.

Einzelhandel

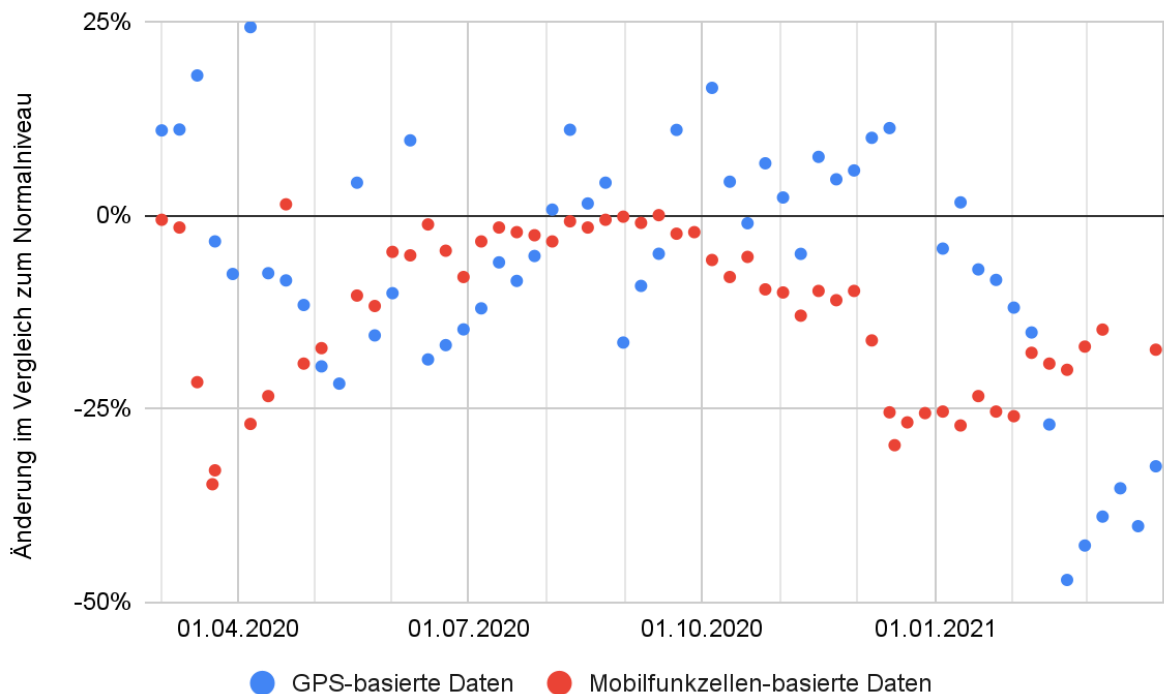


Abbildung 4: Reduktion der Einkaufsaktivitäten des täglichen Bedarfs, insb. Supermärkte. Blau: GPS-Daten, rot: Mobilfunkzellendaten. Man sieht bei den GPS-basierten Daten keinen erheblichen Rückgang des Aktivitätentyps im März 2020, immer wieder vereinzelt Rückgänge im Jahr 2020 und schließlich erhebliche Reduktionen im Frühjahr 2021. Die Mobilfunkzellen-basierten Daten verzeichnen einen Rückgang im Frühjahr 2020 und erreichen im Sommer 2020 wieder Normalniveau bevor sie im Oktober 2020 erneut absinken und ein minimales Niveau im Dezember 2020 erreichen.

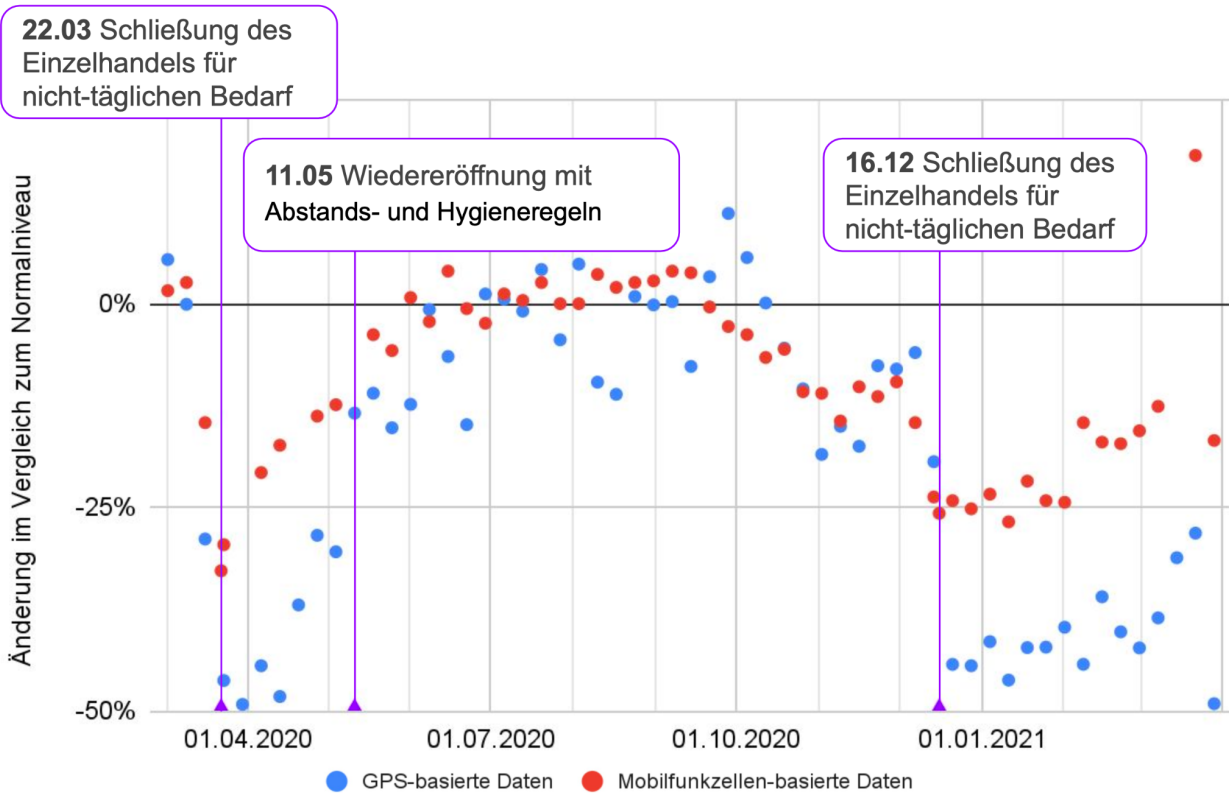


Abbildung 5: Reduktion der Einkaufsaktivitäten des nicht-täglichen Bedarfs (nicht in Abbildung 4 enthalten). Blau: GPS-Daten, rot: Mobilfunkzellendaten, lila: Restriktionen. Man sieht, dass beide Datenquellen dem Verlauf der Maßnahmen folgen. Die Reduktionen der GPS-basierten Daten sind weitaus deutlicher als die Reduktionen der Mobilfunkzellendaten.

Einzelhandel (Abbildungen 4 und 5): Die Einschränkungen im Einzelhandelsbereich bezogen sich zumeist auf den "nicht täglichen Bedarf", so dass Supermärkte und andere Geschäfte des täglichen Bedarfs auch während des sog. Lockdowns geöffnet waren (es gab hier lediglich Kapazitätsbeschränkungen und Maskenpflichten). Aus diesem Grund haben wir die Auswertung des Einzelhandels auch in diese beiden Bereiche separiert.

In den Mobilfunkzellendaten sieht die Aktivität beim täglichen Bedarf sehr ähnlich aus wie beim nicht-täglichen Bedarf. Die GPS-Daten zeigen hier deutliche Unterschiede: Während bei den Supermarktaktivitäten im März 2020 kein starker Rückgang bei den Aktivitäten zu verzeichnen ist, brechen die Aktivitäten im Bereich des nicht-täglichen Bedarfs sehr deutlich ein (ca. -50%). Ein ähnlicher Effekt ist im Dezember 2020 zu erkennen: Auch hier ist die Schließung des Einzelhandels sehr deutlich bei einer Betrachtung der Geschäfte des nicht-täglichen Bedarfs.

Gastronomie

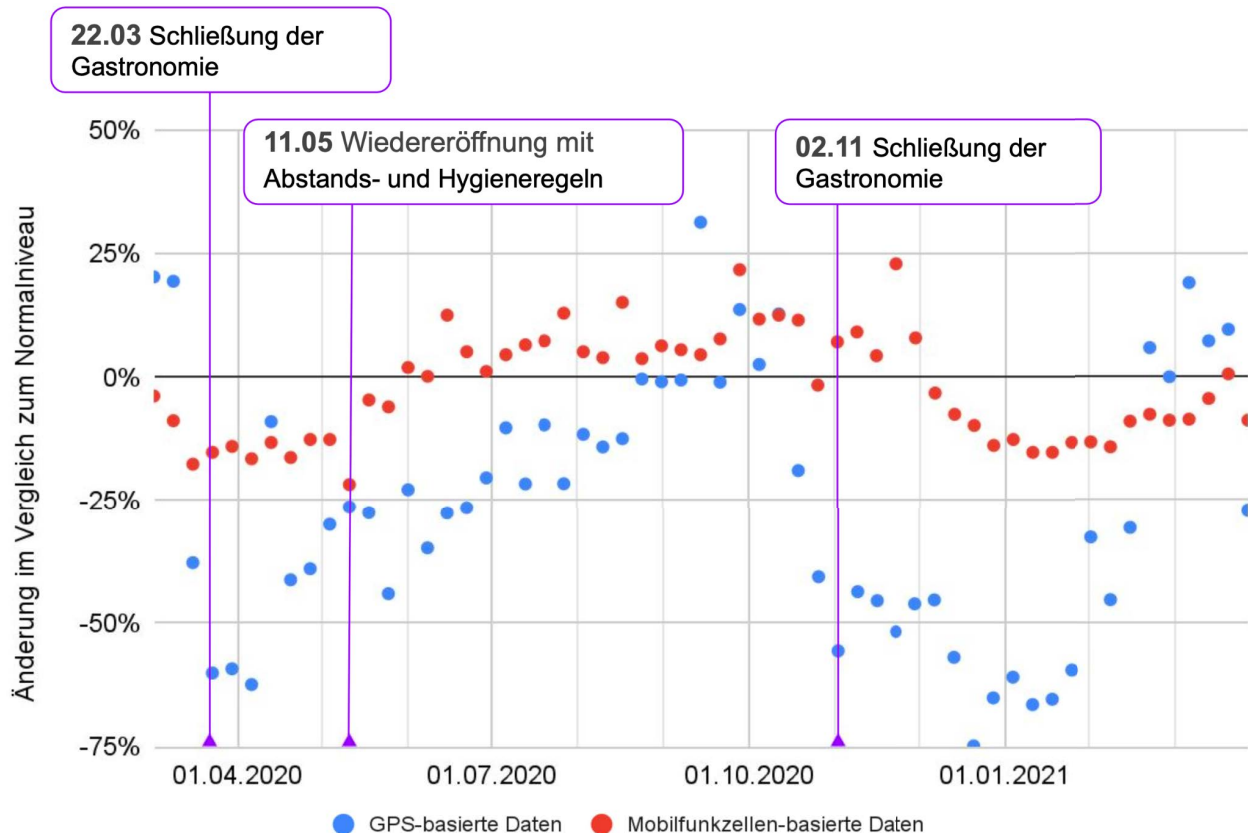


Abbildung 6: Reduktion der Gastronomieaktivitäten (Restaurant, Bar, Biergarten). Blau: GPS-Daten, rot: Mobilfunkzellendaten (alle Freizeitaktivitäten, da die Mobilfunkzellendaten keine Differenzierung der Freizeitaktivitäten ermöglichen), lila: Restriktionen. Der Verlauf der GPS-basierten Daten folgt der Einführung der Maßnahmen: Man sieht eine starke Reduktion im März 2020 mit Schließung der Gastronomie, einen Wiederanstieg mit der Wiedereröffnung im Mai 2020 und ein extremes Absinken nach erneuter Schließung der Gastronomie im November 2020. Die Mobilfunkzellen-Daten verzeichnen leichte saisonale Muster (erhöhtes Aktivitätsniveau im Sommer, reduziertes Aktivitätsniveau im Winter), enthalten aber kaum die Wirkung der Maßnahmen.

Gastronomie (Abbildung 6): Ähnlich wie bei den Einkaufsaktivitäten des nicht-täglichen Bedarfs sind die Einschränkungen der Gastronomie deutlich im Verlauf der blauen, GPS-basierten Punkte zu erkennen. Im März 2020, mit der Schließung der Gastronomie⁸ beobachten wir Reduktionen von über 60%. Analog erkennen wir auch deutlich die Schließung der Gastronomie im November 2020 im Rahmen des sog. "Lockdown light": Auch hier sinken die Gastronomie-Aktivitäten um fast 50% ab, während der stärkeren Einschränkungen ab Mitte Dezember sogar um über 60%. Für die Mobilfunkzellen-basierten Daten liegen uns keine Daten allein für die Gastronomie vor – wir haben lediglich Daten für die Kategorie "Freizeit", welche wir

⁸ Die Abholung und Lieferung für den Verzehr zu Hause war von den Einschränkungen nicht betroffen.

hier zum Vergleich verwendet haben. Die Mobilfunkzellen-basierten “Freizeit-Daten” (in rot) folgen einem ähnlichen Verlauf, verzeichnen aber einen weniger deutlich ausgeprägten Rückgang, verglichen mit den GPS-Daten: So sinken diese während der Phasen der Gastronomie-Schließung (März 2020, Jahreswechsel 2020/2021) um höchstens 20%. Auch hier sind die GPS-basierten Daten besser mit den eingeführten nicht-pharmazeutischen Interventionen (NPIs) vereinbar. Zudem ermöglichen sie eine differenzierte Betrachtung des Freizeitbereichs.

Parks

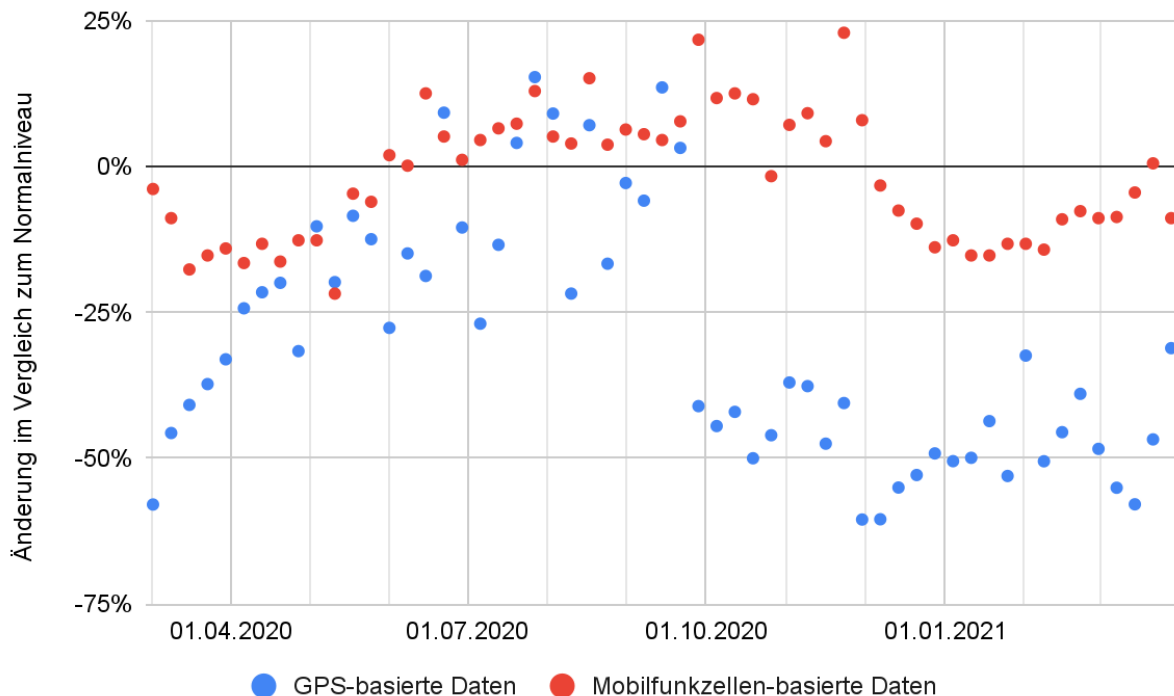


Abbildung 7: In blau: Zu- und Abnahme des Aktivitätentyps “Parks”, GPS-Daten. In rot: Reduktion der Freizeit-Aktivitätendauer, basierend auf den Mobilfunkzellen-basierten Daten. Die GPS-Daten verzeichnen deutliche saisonale Muster, mit einer Zunahme des Aktivitätentyps während des Sommers und einer starken Reduktion während des Herbst und Winters. Man beachte insbesondere den sehr starken Einbruch Ende September, der durch einen Temperatursturz ausgelöst wurde – auch die dann wieder wärmeren Tage Anfang Oktober sorgten für keine Rückkehr in die Parks. Für die Mobilfunkzellendaten sind ebenfalls saisonale, allerdings weniger ausgeprägte Muster erkennbar.

Parks (Abbildung 7): Im Zusammenhang mit Aktivitäten in Parks lässt sich ein deutlicher saisonaler Effekt feststellen. In den Sommermonaten verbringen die Menschen mehr Freizeitaktivitäten in Parks als in der Winterzeit. Der signifikante Rückgang ab Ende September ist auf einen deutlichen Temperaturabfall zurückzuführen (Weather Spark 2020). Die

Mobilfunkzellen-Daten enthalten keine separate Aufschlüsselung der Parkaktivitäten. Wenn jedoch die allgemeine Kategorie "Freizeit" betrachtet wird, dann sind weniger deutliche saisonale Muster erkennbar.

Arbeit

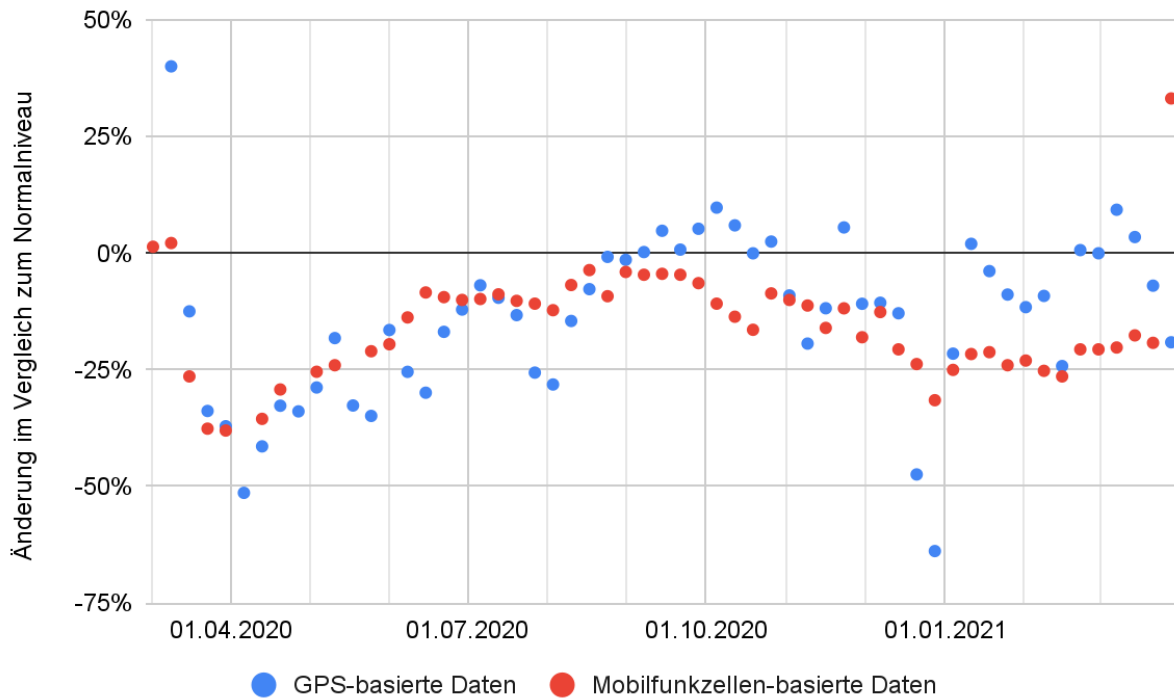


Abbildung 8: In blau: Reduktion der Aktivitäten des Typs "Arbeit", GPS-Daten. In rot: Reduktion der Arbeit-Aktivitätendauer, basierend auf den Mobilfunkzellen-basierten Daten. Für beide Datenquellen sieht man eine Reduktion des Aktivitätentyps im März 2020. Ab April 2020 nimmt das Aktivitätsniveau wieder zu, bevor es im September 2020 Normalniveau erreicht. Im Herbst 2020 verzeichnen die Mobilfunkzellen-basierten Daten stärkere Rückgänge als die GPS-basierten Daten.

Arbeit (Abbildung 8): Bei den Arbeitsaktivitäten beobachten wir im März 2020 in beiden Datenquellen eine ähnliche Reduzierung von bis zu 50%. Danach stiegen die Aktivitätsniveaus allmählich wieder auf das Normalniveau an. Es ist wichtig zu beachten, dass es weniger Einschränkungen bei den Arbeitsaktivitäten gab als in anderen Bereichen. Es gibt einen signifikanten Rückgang der Arbeitsaktivitäten rund um Weihnachten und Neujahr 2020/21.

Bis Herbst 2020 stimmen die beiden Datenquellen größtenteils überein. Danach weichen die GPS-basierten Daten deutlich von den Funkzellen-basierten Daten ab. In diesem Fall scheinen die Mobilfunkzellen-basierten Daten für die Klassifizierung von Arbeitsaktivitäten allerdings besser geeignet als die GPS-basierten Daten. Dies liegt daran, dass der Lieferant der

Mobilfunkzellendaten nicht nur den Aktivitätsort untersucht, sondern auch die Startzeiten und Dauer für den Klassifizierungsprozess berücksichtigt. Eine längere Aktivitätsdauer ist ein besseres Indiz für Arbeits-Aktivitäten als der tatsächliche Standort. Zum Beispiel werden alle GPS-Pings in Restaurants als Gastronomie- und nicht als Arbeitsaktivitäten eingestuft, auch wenn einige der Signale von Mitarbeiter:innen während der Arbeitszeit stammen könnten.

Konsequenzen für die Pandemiemodellierung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass unsere Erfahrungen in der Pandemiemodellierung über die letzten drei Jahre gezeigt haben, dass der aktivitäten- und trajektorienbasierte Ansatz sowohl effizient als auch sensibel für verschiedene Maßnahmen war. Trotz seiner Stärken war dieser Ansatz arbeitsintensiv und erforderte oft das Urteilsvermögen der Modellierer:innen, insbesondere bei der Berücksichtigung spezifischer Aktivitätseinschränkungen. Die vorliegende Analyse zeigt, dass die Integration von GPS-basierten Daten den manuellen Aufwand erheblich verringern kann und damit die datengetriebene Natur des Modells verstärkt und die Notwendigkeit von Modellannahmen reduziert. Diese Daten sind daher eine wertvolle Erweiterung für Modelle in solchen Kontexten und sollten in der zukünftigen Forschung bzw. Anwendungen einbezogen werden.

Quellen

Bundestag, Tscherisch T. Öffentliche Anhörung zum Thema Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme (IT-Sicherheitsgesetz) am 20. April 2015, 14.00 Uhr - Stellungnahme von Herrn Dipl. Ing. (FH) Thomas Tschersich, Deutsche Telekom AG [Internet]. bundestag.de. 2015 [zitiert 11. September 2023]. Verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/908164/8124058f9c68d93c9e7292baf133537b/Stellungnahme-Thomas-Tschersich-Deutsche-Telekom-data.pdf>

Google LLC. Google COVID-19 Community Mobility Reports [Internet]. 2023 [zitiert 28. August 2023]. Verfügbar unter: <https://www.google.com/covid19/mobility/>

MAGS NRW. Verordnung zum Schutz vor Neuinfizierungen mit dem Coronavirus SARS-CoV-2 (Coronaschutzverordnung – CoronaSchVO) Vom 30. November 2020 [Internet]. 2020 [zitiert 16. August 2023]. Verfügbar unter: https://www.land.nrw/sites/default/files/asset/document/coronaschutzverordnung_-_coronaschvo_vom_30.11.2020.pdf

NET CHECK. NET CHECK – Die #1 der Qualitätssicherung für Kommunikationsnetze. NC-Group. Berlin. Germany [Internet]. nc-group.net. [zitiert 4. September 2023]. Verfügbar unter: <https://nc-group.net/net-check/>

NET CHECK GmbH. „Auswirkungen des Kontaktverhaltens auf die Verbreitung von SARS-CoV-2 in Deutschland“ [Internet]. contactindex.netcheck.de. 2021 [zitiert 18. August 2023]. Verfügbar unter: <https://contactindex.netcheck.de/>

Rüdiger S, Konigorski S, Rakowski A, Edelman JA, Zernick D, Thieme A, u. a. Predicting the

SARS-CoV-2 effective reproduction number using bulk contact data from mobile phones. Proc Natl Acad Sci U S A [Internet]. 3. August 2021;118(31). Verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.2026731118>

Schulz S, Pastor R, Koyuncuoglu C, Crawford FW, Zernick D, Karch A, u. a. Real-time dissection and forecast of infection dynamics during a pandemic [Internet]. bioRxiv. 2023. Verfügbar unter: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2023.03.02.23286502v3>

Senozon. The Senozon Mobility Model [Internet]. The Senozon Mobility Model. 2020 [zitiert 19. März 2020]. Verfügbar unter: <https://senozon.com/en/model/>

Weather Spark. 2020, Wetterverlauf in Köln (Deutschland) [Internet]. weatherspark.com. 2020 [zitiert 11. September 2023]. Verfügbar unter: <https://de.weatherspark.com/h/y/54495/2020/Historisches-Wetter-w%C3%A4hrend-des-Jahres-2020-in-K%C3%B6ln-Deutschland>

Anhang

Im Anhang findet sich eine Zusammenfassung der Einschränkungen in den im Bericht diskutierten Bereichen. Die angegebenen Daten beziehen sich nur auf das Bundesland Nordrhein-Westfalen und können für andere Bundesländer abweichen. Die dargestellten Zeitleisten erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Schule

Zeitstrahl Einschränkungen des Schulbetriebs:

- **16.03. - 19.04.2020⁹** : Schulschließungen. Das 1. Maßnahmenpaket beschloss die Schließung von Grundschulen und weiterführenden Schulen¹⁰. Betreuungsmöglichkeiten für Kinder, deren Eltern beide im Bereich der kritischen Infrastruktur tätig sind, müssen angeboten werden.
- **23.04.** : Schüler:innen der Abschlussjahrgänge dürfen die Schule wieder besuchen.
- **23.04.** : Erweiterung der Berufsgruppen der bisherigen kritischen Infrastruktur, um für mehr Kinder ein Betreuungsangebot zu schaffen.
- **27.04.** : Ausdehnung der Notbetreuung auf erwerbstätige Alleinerziehende.
- **04.05.** : Wiederaufnahme des Schulbetriebs in Grundschulen, vorerst Beschränkung auf Schüler:innen der 4. Klasse).
- **11.05.** : An Grund- und Förderschulen werden Schüler:innen der Jahrgangsstufen 1-4 im Rahmen eines Wechselmodells (ein Jahrgang pro Tag) wieder unterrichtet.

⁹ Quellen: <https://www.land.nrw/pressemitteilung/ministerpraesident-armin-laschet-zur-aktuellen-lage-zum-corona-virus>, <https://www.land.nrw/pressemitteilung/nordrhein-westfalen-oeffnet-schulen-schrittweise-corona-betreuungsverordnung>, <https://www.land.nrw/pressemitteilung/stamp-stufenweise-oeffnung-bei-kindertagesbetreuung-wird-auf-erwerbstaetige>, <https://www.land.nrw/pressemitteilung/konzept-zur-schrittweisen-oeffnung-der-kindertagesbetreuung-nordrhein-westfalen>, <https://www.land.nrw/pressemitteilung/ministerin-gebauer-wenn-es-um-bildung-geht-zaehlt-jeder-tag>

¹⁰ Kindertageseinrichtungen, Kindertagespflegestellen und heilpädagogische Kindertragungseinrichtungen wurden ebenfalls geschlossen

- **14.05.** : Erweiterung der Anspruchsberechtigung auf Kindertagesbetreuung. Betreuung von Kindern mit Behinderung in Kindertageseinrichtungen/Kindertagespflegestellen.
- **28.05.** : Alle Vorschulkinder dürfen wieder an der Kindertagesbetreuung teilnehmen.
- **15.06.** : Alle Grundschul Kinder dürfen wieder regulär die Grundschule besuchen.
- **29.06. - 11.08.** : Sommerferien.
- **12.10. - 24.10.** : Herbstferien.
- **14.12.** : Schulen bleiben geöffnet, Präsenzpflicht wird aufgehoben bis zum Beginn der Weihnachtsferien.
- **21.12. - 06.01.** : Weihnachtsferien.

Gastronomie

Zeitstrahl der Einschränkungen des Gastronomiebetriebs:

- **22.03.¹¹** : Schließung der Gastronomie. Lieferung und Abholung für den Verzehr zu Hause bleibt erlaubt.
- **11.05.** : Wiederaufnahme des Betriebs von Restaurants, Gaststätten, Kneipen, Imbissen, Cafés. Hygiene- und Infektionsstandards müssen gewährleistet werden, am selben Tisch dürfen nur Personen sitzen, die nicht unter das Kontaktverbot fallen.
- **02.11.** : Schließung von Restaurants, Gaststätten, Imbissen, Kneipen, Cafés. Lieferung und Abholung für den Verzehr zu Hause bleibt erlaubt.

Supermärkte und Einzelhandel

Nicht betroffen von den Schließungen im Frühjahr 2020 waren sogenannte "Geschäfte des täglichen Bedarfs". Die schließt ein: Lebensmittelgeschäfte, Wochenmärkte, Abhol- und Lieferdienste, Getränkemärkte, Apotheken, Sanitätshäuser, Drogerien, Tankstellen, Banken, Sparkassen, Poststellen, Reinigungen, Waschsalons, Zeitungsverkauf, Tierbedarfsmärkte, Großhandel. Zeitgleich wurde die Öffnung an Sonn- und Feiertagen gestattet.

Zeitstrahl Einschränkungen von Geschäften, die nicht in die Kategorie des täglichen Bedarfs fallen:

- **22.03.** : Schließung des Einzelhandels, der keine Produkte des täglichen Bedarfs anbietet. Schließung von Friseuren und weiteren Dienstleistungsbetrieben (Kosmetikstudios, Massagepraxen).
- **11.05.** : Unabhängig von ihrer Größe dürfen Geschäfte unter den Auflagen zu Abstands- und Hygieneregeln (1 Person pro 10qm Verkaufsfläche) wieder öffnen.
- **16.12.** : Schließung aller Läden, die keine Produkte des täglichen Bedarfs anbieten.

¹¹ Quellen:

<https://www.land.nrw/pressemitteilung/nordrhein-westfalen-plan-tritt-kraft-stufenweise-oeffnung-der-anti-corona>,
https://www.land.nrw/sites/default/files/asset/document/2020-10-30_coronaschutzverordnung_vom_30._oktober_2020.pdf,