

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Freie Universität Berlin

Modellierungsnetz: OptimAgent - Optimierte
Strategien zur Kontrolle von Epidemien in
hochgradig heterogenen Populationen - Ein
entscheidungsanalytischer Ansatz zur
agentenbasierten Modellierung - Teilprojekt C

Prof. Dr. Vitaly Belik
Dr. Andrzej Jarynowski

FKZ 031L0299C

„Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit
Mitteln des Bundesministeriums für Forschung, Technologie
und Raumfahrt unter dem Förderkennzeichen 031L0299C
gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser
Veröffentlichung liegt beim Autor.“

Sachbericht zum Verwendungsnachweis. Teil II – Ausführlicher Bericht

Prof. Dr. Vitaly Belik, Dr. Andrzej Jarynowski

30. November 2025

1. Projektbeschreibung und -ziele

Das Forschungsnetzwerk OptimAgent hatte zum Ziel, ein umfassendes agentenbasiertes Modell für Epidemien in Deutschland zu entwickeln (GEMS¹). Es integriert demografische Struktur, Kontaktverhalten, Mobilität und Merkmale des Gesundheitssystems, um politische Entscheidungen zu nicht-pharmazeutischen Interventionen, Impfstrategien und Ressourcenverteilung zu unterstützen. Innerhalb dieses Netzwerks konzentriert sich der Beitrag der Freien Universität Berlin (FUB) im Teilprojekt 1 (TP1) auf i) die empirische Charakterisierung von Kontaktmustern und Verhaltensheterogenität in der deutschen Bevölkerung, ii) die Kombination aus Umfrage- und Mobilfunkdaten zur Ableitung robuster Kontaktenparameter, iii) die Untersuchung kausaler Zusammenhänge zwischen Kontakten, Verhalten und Epidemiebelastung sowie iv) die Bewertung des Einflusses von heterogenen Kontaktstrukturen auf die Ausbreitung der Epidemie und die Wirksamkeit von Interventionen (mithilfe der eigenen mathematischen Simulationsmodelle²) mit dem Ziel die Heterogenität auch in GEMS abzubilden.

Das FUB-Team in TP1 ist in die System Modelling Group eingebunden und umfasste primär Prof. Vitaly Belik (PI), Dr. Andrzej Jarynowski (Postdoc). Weitere Teammitglieder waren die Doktorandinnen wie Frau Marlli Zambrano sowie mehrere Studierende, die an Kursen von Prof. Vitaly Belik an der FUB teilnahmen, und assoziierte Forscher, die eng mit Partnern an der Universität Münster, der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und der NET CHECK GmbH zusammenarbeiteten.

2. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

2.1 Kick-off-Phase (2022) In der Startphase nahm das FUB-Team vom 27. bis 29. Juni 2022 am hybriden OptimAgent- Kick-off-Meeting in Halle (Saale) teil, wo alle Teilprojektziele, Schnittstellen und Datenflüsse abgestimmt wurden. Auf dieser Grundlage klärte die FUB ihre eigenen Verantwortlichkeiten innerhalb von TP1 sowie ihre Abhängigkeiten von anderen Teilprojekten, insbesondere im Zusammenhang mit demografischen Eingabeschichten und der Entwicklung von GEMS.

Parallel dazu machte sich die Gruppe mit den beiden zentralen Datenquellen von TP1 — COVIMOD-Studie und anonymisierte GPS-Daten von NET CHECK GmbH — vertraut. Zunächst griff sie

¹<https://github.com/IMMIDD/GEMS>

²<https://github.com/vitaly-belik/stochastic-epidemics>

auf die Daten der COVIMOD-Kontaktbefragung zu und analysierte diese. Diese Daten liefern Längsschnittinformationen zu sozialen Kontakten, Risikowahrnehmungen und Schutzverhalten, die von der Universität Münster erhoben wurden. Anschließend begann sie mit den Mobilfunkdaten von NET CHECK zu arbeiten. Diese umfassen Daten zu gemeinsamen Standorten/Kontakten sowie Mobilitätsindikatoren, die aus anonymisierten GPS- und Netzwerkinformationen abgeleitet wurden. Für beide Datenströme entwickelte das Team erste Pipelines für Datenmanagement, -bereinigung und -analyse, einschließlich Verfahren zur Qualitätsprüfung und zur Erstellung von Kontaktnetzwerken.

FUB nahm außerdem an einem von TP5 in Kaiserslautern (22-24. September 2022) veranstalteten Workshop teil, der sich mit der Definition von Schnittstellen zwischen GEMS und den anderen Teilprojekten befasste. Dort wurden die Anforderungen für die Integration heterogener Kontaktmuster und Mobilitätsdaten in das Simulationsframework präzisiert. Im Laufe des Jahres 2022 nahm das FUB-Team regelmäßig an Konsortiumstreffen und TP1-Sitzungen teil, um Zeitpläne, Verantwortlichkeiten und den Datenzugriff innerhalb des Netzwerks zu koordinieren.

2.2 Datenintegration und erste Analysen (2023) Im Jahr 2023 verlagerte sich der Schwerpunkt von den Vorbereitungsarbeiten auf die Integration und Analyse der Daten von COVIMOD und NET CHECK. Im Bereich Kontaktmuster und Mobilität entwickelte das Team ein kohärentes Rahmenwerk zum Vergleich von Kontaktmustern während und nach der Pandemie anhand der NET CHECK-Standortdaten. Dies umfasste die Definition von „Kontakt“ und „Begegnungsereignissen“ in GPS-basierten Daten, die Erstellung zeitlicher und räumlicher Kontaktnetzwerke für verschiedene Zeiträume sowie die Ableitung von Indikatoren wie Clustermaßen, Verteilungen der Kontaktdauer und Perkolations-eigenschaften, die sich für die Verwendung in Epidemiemodellen eignen.

Eine erste detaillierte Analyse der NET CHECK-Daten am Beispiel Berlins wurde für zwei Zeiträume durchgeführt: November 2020 — eine Periode mit starken Interventionen und hohem Infektionsrisiko — und November 2022 — ein Referenzzeitraum nach den Interventionen. Auf inter-individuellen Ebene wurden die räumliche Clusterbildung (z. B. durchschnittliche Nearest-Neighbor-Statistiken und explorative Community-Erkennung) sowie tageszeitliche Profile der Kontaktaktivität untersucht. Auf der intraindividuellen Ebene untersuchte das Team Veränderungen in Kontaktmustern und raumzeitlichen Trends bei Nutzern, die in beiden Zeiträumen aktiv waren, um zu quantifizieren, wie sich das individuelle Verhalten zwischen Pandemie- und Post-Pandemie-Bedingungen veränderte.

Parallel dazu nutzte die FUB-Gruppe longitudinale COVIMOD-Daten in Kombination mit externen Indikatoren wie der Nutzung sozialer Medien, um Kausalmodelle zu erstellen, die epidemiologische Ergebnisse, darunter Infektionsraten, erklären. Diese Modelle stellen quantitative Verbindungen zwischen selbstberichteten Verhaltensweisen, gemessenen Kontaktmustern und der Krankheitslast her und bilden die Grundlage für Mediationsanalysen und Szenariostudien in GEMS.

2.3 Konsolidierung, Meilensteine und Pipeline (2024) Im Jahr 2024 ging das FUB/TP1-Projekt in eine Konsolidierungsphase über, in der die verschiedenen Datenquellen und Modellierungsansätze zusammengeführt und mehrere Meilensteine erreicht wurden. Wir analysierten die Zusammenhänge zwischen GPS-basierten Kontakten, Mobilität, Krankheitslast und Indikatoren für gesellschaftliche Einstellungen und politische Maßnahmen. Die Analysen für Arbeitspaket 1 (interindividuelle COVIMOD- und Mobiltelefonkontakte) wurden im ersten Quartal 2024 abgeschlossen. Dies umfasste die Parametrisierung von Kontaktmustern nach demografischer Gruppe, Region und Epidemiephase sowie die Ableitung von Kontaktmatrizen, die direkt in GEMS verwendet werden können. Arbeitspaket 2 (Verhaltens- und Kontaktheterogenität innerhalb von Individuen)

wurde im dritten Quartal 2024 abgeschlossen. Hier wurden Modelle entwickelt, die Kontaktveränderungen mit der Selbsteinschätzung des Risikos, dem Impfstatus, soziodemografischen Faktoren und regionalen Unterschieden verknüpfen, und Verhaltensparameter wurden für die Integration in GEMS-Interventionsszenarien vorbereitet. Innerhalb von AP 3 analysierte das Team mithilfe eines vorläufigen Modellierungsansatzes unter Verwendung von empirischen zeitabhängigen Netzwerks, wie detaillierte Kontaktstrukturen, einschließlich wiederkehrender Kontakte (die aus den GPS-Daten geschätzt wurden) und räumlicher Clusterbildung, die Epidemiedynamik in Abwesenheit von Interventionen beeinflussen.

Wir haben sowohl GEMS als auch Bayes'sche Modelle zur Vorhersage zukünftiger Fälle von respiratorischen Erkrankungen eingesetzt. In Kausalmodellen (mit Verzögerungen) konnten wir zeigen, dass GPS-basierte Kontaktmuster die stärksten Prädiktoren für die zukünftige Übertragungsdynamik sind (sowohl in Modellen mit verzögerten Variablenpaaren als auch in vollständigen kausalen Modellen), während Mobilitätsindikatoren die vergangene Krankheitslast, gesellschaftliche Einstellungen und politische Maßnahmen besser widerspiegeln. Unsere Ergebnisse deuten zudem darauf hin, dass umfrage- und GPS-basierte Kontaktmessungen unterschiedliche kausale Eigenschaften aufweisen, während Google/Facebook-Mobilitätsindikatoren stark kollinear sind. Dies legt nahe, dass ein robuster Kontaktindex aus GPS-Daten erstellt und mithilfe von Umfrageinformationen korrigiert werden kann. Die Mediationsanalyse ergab, dass der Stringenzindex den Einfluss von Kontaktmustern auf die Krankheitslast auf Landesebene und den Einfluss von Kontaktmustern auf die Mobilität auf nationaler Ebene vermittelt. Der kausale Effekt verpflichtender nicht-pharmazeutischer Interventionen (NPIs) auf tatsächliche Infektionskontakte (und nicht auf Mobilitätsindikatoren) bedarf hingegen weiterer Untersuchung.

2.4 Über die Projektlaufzeit hinaus – 2025 Erweiterte Analysen von Arbeitspaket 3 zeigten die Bedeutung von Heterogenität für das Schwellenwertverhalten von der Reproduktionsrate R_t , die Ausbruchgröße und den Zeitpunkt von Epidemien auf und verdeutlichten die Unterschiede zwischen Annahmen homogener Durchmischung und realistischen Kontaktnetzwerken. Die Auswirkungen von Interventionen im vollständigen GEMS-Framework sind noch nicht vollständig absehbar und hängen von der Verfügbarkeit von GEMS v3 sowie den finalen demografischen Daten aus den TP3 und TP4 ab. Diese Modelle befinden sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts noch in der Entwicklung, und das FUB-Team hat vom 24. bis 26. November 2025 an einem weiteren GEMS-Workshop in Halle teilgenommen.

Ab 2024 und auch weiterhin im Jahr 2025 trifft sich FUB monatlich mit der NET CHECK-Team, um Dokumente und Projekte abzuschließen.

3. Publikationen unter der Beteiligung von FUB

Peer-Review- oder eingereichte und (*under review*)-Veröffentlichungen im Berichtszeitraum mit Bezug zu OptimAgent -Themen (FUB-zugehörige Autoren fettgedruckt):

1. Wójta-Kempa, M.; Skawina, A.; Płatek, D.; **Jarynowski, A.**; Skawina, I.; **Belik, V.** (2023). Social values are significant factors in control of COVID-19 the first phase pandemic. *E-methodology*, 9(9), 33–39.<https://doi.org/10.15503/emet.2022.33.39>
2. **Jarynowski, A.**; Czekaj, Ł.; Semenov, A.; **Belik, V.** (2024). Multiplex Network Approach for Modeling the Spread of African Swine Fever in Poland. In: Hà, M.H., Zhu, X., Thai, M.T.

- (eds) Computational Data and Social Networks. CSoNet 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14479. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0669-3_32
3. **Jarynowski, A.**; Jędrzejczyk, K.; Maksymowicz, S. (2023). Grain and food security as a tool of biopolitics: real-time internet monitoring and crisis management. *E-methodology*, 9(9), 96–112. <https://doi.org/10.15503/emet.2022.96.112>
 4. Xu, C., Bryzgalov, A., Horn, J., **Jarynowski, A.**, **Belik, V.**, Jaeger, V. K., Karch, A., ... (2026). Intraindividual variability in non-household contacts: A German longitudinal study, April 2020–December 2021 *BMC Infect Dis*. <https://doi.org/10.1186/s12879-026-12940-4>
 5. Phuong, H. T., Bartz, A., **Jarynowski, A.**, Lange, B., Jarvis, C. I., Rüksamen, N., (...) **Belik, V.** et al. (2025). Changes in social contact patterns in Germany during the SARS-CoV-2 pandemic—an analysis based on the COVIMOD study. *BMC Infectious Diseases*, 25(1), 588. <https://doi.org/10.1186/s12879-025-10917-3>
 6. Suer, J., Ponge, J., Brüggemann, M., Burgard, J. P., **Belik, V.**, Hellingrath, B., Rincón Hidalgo, A., **Jarynowski, A.**, Pastor, R., Huynh, T. P., Schulz, S., Thampi, A., Xu, C., **Zambrano, M.**, Mikolajczyk, R., Karch, A., Jaeger, V. K., & OptimAgent Consortium. (2025). A comparison of random mixing in a structured agent-based model with empirical contact survey data. [Preprint]. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2025.09.18.25336044> (Plos Computational Biology, under review)
 7. Huynh Thi Phuong; Janik Suer; **Vitaly Belik**; Alejandra Rincón Hidalgo; **Andrzej K. Jarynowski**; Richard Pastor; Steven Schulz; Ashish Thampi; Chao Xu; **Marlli Zambrano**; Rafael Mikolajczyk; André Karch, Veronika K Jaeger (2026). Social contact patterns derived from an epidemiological survey and GPS-based co-location data during the COVID-19 pandemic: a systematic comparison. *Epidemics*, 100886. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2026.100886>
 8. Alejandra Rincón Hidalgo, **Andrzej Jarynowski**, **Marlli Zambrano**, Ashish Thampi, Richard Pastor, Phuong Huynh, Philip El-Duah, Christian Drostén, Rafael Mikolajczyk, Veronika K. Jäger, André Karch, **Vitaly Belik**, Steven Schulz. Inferring Respiratory Disease Biology from Geolocation Data (preprint). medRxiv. <https://doi.org/10.64898/2026.03.05.26347578>

4. Geplante Manuskripte

Die FUB leitet oder ist Mitverantwortliche für die folgenden geplanten Manuskripte (zu den FUB-Autoren gehören in jedem Fall mindestens Andrzej Jarynowski und Vitaly Belik, oft zusammen mit FUB-Doktoranden und externen Partnern):

1. Johannes Ponge, Wolfgang Bock, Bernd Hellingrath, Johannes Horn, Mirjam E. Kretzschmar, Tyll Krueger, Lukas Bayer, **Vitaly Belik**, Aleksandr Bryzgalov, Jan Pablo Burgard, André Calero Valdez, Hannah Derwanz, Wolfgang Greiner, Sebastian Gruhn, Beate Jahn, Veronika Katharina Jaeger, **Andrzej Jarynowski**, Kahkashan Mahreen, Lilian Kojan, Alexander Kuhlmann, Berit Lange, Ralf Münnich, Beryl Musundi, Karol Niedzielewski, João Vitor Pamplona, Richard Pastor, Huynh Thi Phuong, Alejandra Rincon, Isti Rodiah, Markus Scholz, Steven Schulz, Soheil Shams, Uwe Siebert, Maren Steinmann, Janik Suer, Ashish

- Thampi, Sudarshan Tiwari, Chao Xu, Rafael Mikolajczyk. GEMS: The German Epidemic Microsimulation System (in preparation)
2. Steven Schulz, Alejandra Rincon Hidalgo, **Marlli Zambrano**, Ashish Thampi, **Andrzej Jarynowski**, Luca Ferretti, Huynh Thi Phuong, Chao Xu, Rafael Mikolajczyk, Richard Pastor, Veronika K Jaeger, André Karch, and **Vitaly Belik**. Working title: Short-lived and out-of-venue contacts dominate mass gathering events in Germany. (in preparation)
 3. **Marlli Zambrano**, Ashish Tampi, Alejandra Rincón Hidalgo, **Andrzej Jarynowski**, Steven Schulz, **Vitaly Belik**, Historical Community Boundaries in Berlin as Barriers for Epidemic Spread. (in preparation)
 4. **Marlli Zambrano**, Ashish Tampi, Alejandra Rincón Hidalgo, **Andrzej Jarynowski**, Steven Schulz, **Vitaly Belik**, Historical Community Boundaries in Berlin as Barriers for Epidemic Spread.. Working title: Daily Mobility Motifs: Insights into Health-Service Usage and Disease Dynamics. (in preparation)
 5. Alejandra Rincón Hidalgo, **Marlli Zambrano**, Ashish Tampi, **Andrzej Jarynowski**, Steven Schulz, **Vitaly Belik**. Working title: Recurrent Contacts and the Outperformance of Non-Degree-Based Epidemic Surveillance in Dynamic Contact Networks. (in preparation)
 6. **Andrzej Jarynowski**, Łukasz Czekaj, Phuong Huynh, Veronika K Jaeger, Rafael Mikolajczyk, Steven Schulz, André Karch, and **Vitaly Belik**. Working title: Contact Patterns Influence Disease Transmission Dynamics, Which in Turn Affect Mobility Patterns: Lessons from Optimised Mediation Analysis During the COVID-19 Pandemic in Germany. (in preparation)

Die Manuskripte 1-2 sind weitgehend abgeschlossen und warten auf das Feedback der Koautoren, voraussichtlich in der letzten Runde vor der Einreichung.

5. Dessimination

Während der Projektphase fanden außerdem umfangreiche Dessiminations- und Schulungsaktivitäten im Zusammenhang mit OptimAgent und TP1 statt. Die FUB beteiligte sich an mehreren Konferenzen, Workshops und Seminaren.

Auf der ersten nationalen Konferenz zur Modellierung von Infektionskrankheiten in Berlin am 15. März 2023 wurde ein Poster mit dem Titel “The Impact of Healthcare Access on COVID-19 Burden in Poland: An Investigation of Causal Relationships to Uncover the ‘Dark Figure’ of Infections” (Jarynowski A, Czekaj Ł, Semenov A, Belik V) präsentiert. Vortragender war Andrzej Jarynowski (FUB).

Auf dem XLII. Max-Born-Symposium in Breslau am 14. September 2023 wurde ein Vortrag mit dem Titel “Narrative review of infectious disease spread models developed in Poland during COVID-19 pandemic” gehalten (Jarynowski , Belik).

Auf der Tagung “Dynamics of Biological Systems: Emergent Phenomena at Different Scales” in Krakau am 1. Dezember 2023 wurde ein Vortrag mit dem Titel “Pandemic and post-pandemic mobility and contact patterns in Berlin – preliminary results” (Zambrano M, Jarynowski A, Belik V) gehalten.

Während der MONID-Konferenz 2023 in Berlin (März 2023) beteiligte sich das FUB-Team an der Präsentation vorläufiger OptimAgent-Ergebnisse auf Basis von COVIMOD- und Mobilfunkdaten. Wir stellten unser eigenes Kausalmodell für Polen während der COVID-19-Pandemie vor. Diese Beiträge wurden gemeinsam von FUB-Mitgliedern (insbesondere Andrzej Jarynowski und Vitaly Belik) zusammen mit Partnern aus Halle, Münster und NET CHECK erarbeitet.

Auf der MONID-Konferenz 2024 in Halle (12.–13. März 2024) leistete die FUB zahlreiche Beiträge zu Mobilfunkdaten, Kausalmodellierung und Epidemievorsorge. Diese Beiträge wurden in der Regel von FUB-Teammitgliedern (Marlli

Zambrano, Andrzej Jarynowski und Vitaly Belik) in Zusammenarbeit mit der Universität Münster, der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und NET CHECK verfasst.

Auf der ICID 2024 (Internationale Konferenz für Infektionskrankheiten) in Kapstadt wurden Arbeiten zur GPS-Daten und Mobilität basierend auf OptimAgent-Ergebnissen vorgestellt. Anschließend leitete ein Vertreter der FUB auf dem 8. Weltkongress für One Health (WOHC 2024) in Kapstadt eine Sitzung zu KI-basierten Trackingsystemen zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten. Dabei wurden Erfahrungen mit OptimAgent genutzt und die FUB als wichtigster akademischer Partner einbezogen.

Auf der E-Methodology-Konferenz 2024 in Breslau wurden Vorträge und ein Tutorial angeboten, die direkt auf den Methoden von OptimAgent basierten. Dazu gehörten "Tracking people using their phones in service of public health", "Early warning methods for epidemic wave prediction" und ein praktisches Tutorial zum "Utilizing AI tools in teaching One Health". Die FUB-Mitautoren arbeiteten dabei mit Kooperationspartnern aus Breslau und anderen Institutionen zusammen.

Auf der DPG-Frühjahrestagung in Berlin 2024 wurde ein Beitrag mit dem Titel "Network dynamics in urban mobility: a case study of Berlin during and after COVID-19" vorgestellt.

Auf der DPG-Frühjahrestagung in Regensburg 2025 hielt Marlli Zambrano einen Vortrag "Formalism and Physical Principles of Human Mobility and Routine".

Auf der NetMob 2024 in Washington DC wurden vier verschiedene Beiträge im Zusammenhang mit OptimAgent TP1 vorgestellt: i) Dissecting epidemic factors via Bayesian analysis of GPS contacts, ii) Urban segregation and daily human mobility patterns in Berlin (talk), iii) Impact of Euro 2024 on respiratory infection spread in Germany, iv) Unveiling individual and ensemble statistics of human mobility. unter https://belik.userpage.fu-berlin.de/files/BookAbstracts__Netmob24.pdf verfügbar.

Bei NetSci 2025 hatten wir die folgenden Beiträge: "Recurrent contacts explain outperformance of non-degree-based epidemic surveillance in dynamic contact networks" (poster) as well as "Physical principles of human mobility and routine" (poster). Diese wurden von Marlli Zambrano und Vitaly Belik vorgestellt.

Auf der Biennale-Konferenz an der KNUST (Ghana) im Jahr 2025 wurde das Thema "Understanding Epidemic Drivers Using GEMS Microsimulation and Bayesian Transmissibility Framework Applicable to LMICs" vorgestellt. Eine einfache Einführung in GEMS für Länder mit niedrigem und mittlerem Einkommen wurde 2024 und 2025 im Rahmen des Kurses "Modelling for pandemic preparedness and responses" in Kumasi angeboten (https://g-wac.org/ova_gallery/modelling-pandemic-preparedness-response-short-course).

Auf der Konferenz „Das Gesicht der Epidemiologie verändern – Einladung zur 20. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie (DGEpi 2025)" in Münster hatten wir einen Plenarvortrag unter unserer Beteiligung von S. Schultz, M. Zambrano*, A. Jarynowski , V. Belik "Short-lived and Out-of-Venue Contacts Dominate Mass Gathering Events in Germany" sowie weitere Beiträge wie "Dissecting Viral Evolution and Immune Response Using Geolocation Data" (talk), "Healthcare-Related Mobility Motifs as Predictors of COVID-19 Incidence" (poster), "Historical community boundaries in Berlin as barriers for epidemic spread" (poster).

Auf European Scientific Conference on Applied Infectious Disease Epidemiology – ESCAIDE 2025 in Warschau (einer vom ECDC organisierten Konferenz für angewandte Epidemiologen mit sehr geringer Zulassungsquote) präsentierten wir ein Poster: "Pre-Event Social Dynamics Dominate Potentially Infectious Contacts at Mass Gatherings: Insights from UEFA EURO 2024".

Im Workshop "Causal Inference and Infectious Disease Epidemiology" in Hamburg 2024 wurde ein Vortrag mit dem Titel „Lessons learned from causal modeling the COVID-19 pandemic in Germany: contact patterns influence" von Vitaly Belik gehalten. Es handelte sich um eine gemeinsame Arbeit der FUB und Partnerinstitutionen; die FUB-Koautoren waren hauptsächlich Andrzej Jarynowski und Vitaly Belik.

Weitere eingeladene Vorträge wurden im Rahmen des Kolloquiums "Statistische Methoden in der empirischen Forschung"³ in Berlin ("Causal Model Revealing the Impact of Healthcare Access on COVID-19 Burden" im Jahr 2024 und "Analysis of human mobility via mining of individual GPS trajectories" im Jahr 2025) und am Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB) in Wiesbaden ("Causal and spatio-temporal epidemiology of infectious diseases: searching for ecological biases"), gehalten mit Andrzej Jarynowski und Vitaly Belik als FUB-Mitautoren.

³<https://www.vetmed.fu-berlin.de/einrichtungen/vph/we16/kolloquium/index.html>

Auf der 3. Nationalen Konferenz über die Modellierung von Infektionskrankheiten (MONID), Berlin 26. - 28.02.2025) spielte FUB eine wichtige Rolle. Zunächst war FUB Gastgeber für einen Vorkonferenz-Workshop zum Thema “Modelling Diseases with the German Epidemic Microsimulation System” am 25.02.2025. Zweitens haben wir ein Mini-Symposium mitorganisiert: “Inferring contact patterns to understand disease spread: integrating mobile phone data and surveys” Moderator: Andrzej Jarynowski (Freie Universität Berlin). Contributions: Veronika Jäger (University of Münster) und Vitaly Belik (FUB) – Introduction to COVIMOD Contact Survey and NET CHECK co-location data. Huynhn Phuong (University of Münster) – Social contacts: insights from contact surveys and mobile phone data. FUB-Mitautoren: Vitaly Belik and Andrzej Jarynowski. Chao Xu (MLU Halle-Wittenberg) – Contact Variation in Germany During COVID-19: The Role of Demographics, Self-risk Perception, Vaccination, and States. FUB-Mitautoren: Andrzej Jarynowski, Vitaly Belik. Steven Schulz (NET CHECK GmbH, Berlin) – Euro 2024 in Germany: Using Mobile Phone Contact Data to Analyze the Impact of Mass Gatherings on Respiratory Infection Risk. FUB-Mitautoren: Andrzej Jarynowski, Vitaly Belik. Wir hatten auch die Gelegenheit, Poster zu präsentieren. i) Marlli Zambrano – “Understanding Mobility Behavior and Healthcare Demand in Berlin During the COVID-19 Crisis”. ii) Alisa Sergeeva – “Spatial and Temporal Dynamics of COVID-19 Tests in Ghana: Cases, Lockdowns, and Policy Correlation Insights”. iii) “Triangulation of Excess Mortality Estimation During the COVID-19 Pandemic in Ghana”. iv) Andrzej Jarynowski – “Contact patterns influence disease transmission dynamics, which in turn affect mobility patterns. Lessons learnt from optimized mediation analysis during the COVID-19 pandemic in Germany” und Vorträge: i) “Historical community boundaries in Berlin as barriers for epidemic spread”, ii) “Dissecting Epidemic Factors via Bayesian Analysis of GPS Contacts”.

Im Bereich Lehre und Ausbildung fand an der Universität Thessalien ein Workshop zum Thema “Biological surveillance in (almost) real-time” statt, und OptimAgent- Materialien wurden in die FUB-Kurse zu Data Science, Deep Learning und Digitaler Veterinärmedizin integriert. Diese Lehrveranstaltungen wurden von FUB-Mitarbeitern, insbesondere Andrzej Jarynowski und Vitaly Belik, geleitet und teilweise von Doktoranden unterstützt. Für angehende Tierärzte (im Rahmen des Kurses Digitale Veterinärmedizin, der Spring School for Biostatistics an der FUB und in anderen Kontexten) wurden mehrere Sitzungen zur epidemiologischen Modellierung organisiert. Regelmäßige TP1-Workshops und Jour-fixe-Meetings gewährleisteten den kontinuierlichen Austausch innerhalb des Projektteams. Die Modellierungsbemühungen wirken sich auf die Vorbereitungspläne für die nächste Pandemie aus. Dies wurde durch Treffen mit dem RKI (für Deutschland) und anderen Ländern, z. B. Polen, ermöglicht.

7. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Hauptkostenfaktoren für FUB/TP1 waren Personalkosten und Reisekosten. Die Personalmitel wurden primär für eine halbtags besetzte Postdoktorandenstelle von April 2023 bis Mai 2024 verwendet, die der Datenanalyse, Modellentwicklung und Koordination mit anderen Teilprojekten gewidmet war. Der zusätzliche Arbeitsaufwand von FUB-Forschenden und Doktoranden wurde im Rahmen der bestehenden institutionellen Rahmenbedingungen gedeckt und durch weitere projektbezogene Ressourcen ergänzt. Reise- und Konferenzkosten entstanden für die Teilnahme an den oben genannten Treffen, Workshops und Konferenzen, darunter nationale OptimAgent- Veranstaltungen, MONID-Treffen und internationale Konferenzen wie NetMob und DPG. Alle diese Ausgaben waren notwendig und angemessen, um die Projektziele zu erreichen, den Zugang zu Datenpartnern zu sichern, die Ergebnisse zu verbreiten und die Beiträge der FUB in das übergeordnete OptimAgent-Framework zu integrieren. Die Ausgaben liegen innerhalb des genehmigten Budgetrahmens, und es wurden keine zusätzlichen Mittel beantragt.

8. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die meisten durchgeführten Arbeiten wurden schon in der Planungsphase vorgesehen.

9. Der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses - auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft - im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

9.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten Seitens der FUB ist keine wirtschaftliche Verwertung geplant. Allerdings könne die GEMS-Plattform für die Simulation ins. weiteren respiratorischen Krankheiten benutzt werden und von Unternehmen, Versicherungen und öffentlichen Einrichtungen eingesetzt werden. Die Verwendung der Mobiltelefonaten stellt insbesondere für die Länder mit geringeren Ressourcen ein mögliches Frühwarn- und Bewertungssystem dar⁴.

9.2 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten Die GEMS-Simulationsplattform wurde implementiert. Die Arbeitspakete (Stand November 2025) sind weitestgehend erfolgreich abgearbeitet. Bezüglich weiteren Verwendung vom GEMS arbeitet FUB aktiv an dem auf GEMS-basierten Simulationsmodell für respiratorische Erkrankungen in Ghana. Weiteres GEMS-basiertes Modell für Indien wird von unter Leitung von Prof. Tyl Krüger (Wroclaw University of Science and Technology, TP 5) entwickelt. Insbesondere die unterschiedliche Datenlage zur Populationen für spezifische Länder stellt eine Herausforderung dar. Die Kooperation zwischen beiden Gruppen ist geplant. Die Ergebnisse aus dem OptimAgent werden schon aktiv in die Lehre an der FUB einbezogen (siehe oben).

9.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche/politische Anschlussfähigkeit FUB hat an zwei Workshops zwischen Robert-Koch-Institut (RKI) und MONID teilgenommen und aktiv an der Strategien der Zusammenarbeit mitgewirkt. FUB wird auch in der zweiten Förderperiode an MONID beteiligt im Rahmen des Konsortiums "Datengestützte reaktionsfähige Epidemieanalyse und Multiskalenmodellierung für die Epidemievorsorge". MONID - Phase II - Verbundprojekt: DREAM-EP (BMFTR 2026 – 2027).

10. Der während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Arbeiten des OptimAgents berührten auf spezifischen Datensätzen (COVIMOD, GPS-Daten von NET CHECK GmbH). Daher könnten die erzielten Ergebnisse primär nur im OptimAgent-

⁴Alejandra Rincón Hidalgo, **Andrzej Jarynowski**, **Marlli Zambrano**, Ashish Thampi, Richard Pastor, Phuong Huynh, Philip El-Duah, Christian Drostén, Rafael Mikolajczyk, Veronika K. Jäger, André Karch, **Vitaly Belik**, Steven Schulz. Inferring Respiratory Disease Biology from Geolocation Data (preprint). medRxiv. <https://doi.org/10.64898/2026.03.05.26347578>

Konsortium erzielt werden. Es gab allerdings weitere Projekte, die z.B. die GPS-Daten von NET CHECK GmbH zum Teil verwendeten⁵. Aus dieser Studie kam raus dass die einmalige räumliche Präzision des NET CHECK-Datensätzen sehr präzises (in Vergleich zu aggregierten Mobiltelefonaten) Bestimmen des Kontext der Kontakte erlaubt, was wiederum die präzise Bewertung der Veränderung des menschlichen Verhaltens erlaubt. Das betont wie wertvoll die individuellen GPS-Daten sind, die in TP1 analysiert werden.

⁵<https://doi.org/10.1140/epjds/s13688-024-00510-0>