# Richtlinie zum „Software-Sprint“

# Akronym – Intensivkapazitaeten

## *Schlussbericht*

Zuwendungsempfänger:

Knaut Kirkendall Panke Winkelmann GbR

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01IS20S29 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

## Kurze Darstellung der Aufgabenstellung und Motivation

Klinische Intensivpflegebetten sind für die Behandlung von Covid-19-Patienten essentiell, da sie über die notwendigen Beatmungsgeräte verfügen. Gleichzeitig ist ihre Anzahl in Deutschland begrenzt und die Zuordnung von Patienten erfolgt unter Berücksichtigung komplexer medizinischer und logistischer Rahmenbedingungen. Eine der relevantesten Bedrohungen im Rahmen einer Pandemie ist folglich, dass die Intensivpflegekapazitäten in den Krankenhäusern einiger Gebiete nicht ausreichen, um alle Patienten behandeln zu können - so wie im Frühjahr 2020 in einigen Ländern bereits geschehen. Weiterhin gehen nicht nur im Extremfall einer Pandemie, sondern selbst im Regelbetrieb wertvolle Zeit und Ressourcen bei der Zuteilung von Intensivkapazitäten verloren, da die komplexen Planungsentscheidungen nicht von intelligenter Algorithmik unterstützt werden.

Unsere Lösung bietet daher eine KI-basierte, automatisierte Planung der Belegung von Intensivkapazitäten, welche Kapazitätsengpässe und Zeitverluste von vornherein vermeidet. Auf Basis aktueller Infektionszahlen sowie der von den Krankenhäusern tagesaktuell gemeldeten Auslastung werden durch unser System Prognosen für die jeweils zu erwartende, regionale Krankenhausauslastung erstellt. Diese sind Input für eine intelligente Optimierungs-Algorithmik, die für jede Region und Klinik eine vorausschauende Zuweisung der Patienten in Echtzeit ermittelt.

Aktuell erfolgt die Zuweisung der Patienten nicht zentralisiert, sondern über lokale Leitwarten. Unser System würde in Engpasssituationen eine automatisierte und Krankenhaus übergreifende Zuordnung der Patienten über eine zentrale Stelle (z. B. Krisenstab) ermöglichen. Hierzu müssten lediglich die bereits vorhandenen Informationsquellen (z. B. Infektionszahlen des RKI, Bettenkapazitäten aller Krankenhäuser über das DIVI Intensivregister) angebunden sowie ein Einspielen der Daten in die Systeme der Leitwarten (z. B. IVENA) ermöglicht werden.

Zur Umsetzung unseres Systems wurden folgende Meilensteine definiert:

IT-seitige Meilensteine

1) Aufarbeitung und Integration von Informationen zu deutschen Gemeinden und Kreisen
2) Aufarbeitung und automatisierte Integration der Daten des RKI und der DIVI
3) Aufsetzen der Entwicklungsumgebung
4) Implementierung der API zur standardisierten Nutzung unseres Tools
5) Umsetzung automatisierter Prognosen neuer Covid-19 Fälle je Kreis
6) Finalisierung des Optimierungsmodells
7) Implementierung der Visualisierung der Umverteilung neuer Covid-19-Patienten
8) Szenario-basierte Veranschaulichung der Fähigkeiten des Tools

Produktseitige Meilensteine

1) Identifizierung der Systemanforderungen sowie potentieller Road-Blocker durch Stakeholder-Interviews
2) Identifikation möglicher Kooperationspartner/Anwender und Aufnahme von Gesprächen zu einer möglichen Zusammenarbeit
3) Umsetzung von Informations- und Marketingunterlagen
4) Zusammenarbeit mit Teams aus dem Solution Enabler Programm sowie gegenseitige konstruktive Unterstützung

## Beitrag des Projektes zu den Zielen der Förderinitiative „Software-Sprint"

Wir hoffen mit unserem Projekt demonstrieren zu können, dass innovative digitale Lösungen auch in komplexen Ausnahmesituationen wie einer globale Pandemie einen Beitrag leisten können. Insbesondere konnten wir zeigen, dass selbst in kürzester Zeit ein Prototyp entwickelt werden konnte, welcher ein ggf. sehr kurzfristig auftretendes, dramatisches Problem effektiv hätte bekämpfen können. Wir hoffen daher, dass Politik und Gesellschaft die Ergebnisse aus dem Solution Enabler Programm als eine valide Möglichkeit wahrnehmen, in Ausnahmesituationen schnelle und dennoch technisch anspruchsvolle Lösungen bereitzustellen und auch Bereitschaft zeigen, diese einzusetzen.

## Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

### Ergebnisse der IT-Entwicklung

Es wurden Datenmodelle für benötigte Datenquellen erstellt. Zunächst wurden geographischen und Verwaltungsdaten der Bundesländer, Kreise und Gemeinden in Deutschland abstrahiert, sodass diese vom Optimierungsmodell verwendet werden können. Sowohl Geokoordinaten als auch Bevölkerungsverteilung der jeweiligen Kreise wurden hier berücksichtigt. Unter anderem wurde dies unternommen, um bei späterer Entwicklung und besserer Datenlage (oder Verwendung im Kontext anderer Länder) Erweiterbarkeit zu ermöglichen. Als erste Datengrundlage für Krankenhausbelastung wurden die Covid-19 Falldaten des RKI über das "NPGEO Corona Hub 2020" angebunden. Schließlich wurden die auf Kreise aggregierten Kapazitäten der in Deutschland registrierten Krankenhäuser über das Intensivregister der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin

(DIVI) angebunden. Täglich müssen Krankenhäuser Daten zu ihrer Auslastung der DIVI zur Verfügung stellen. Die Informationen umfassen u. a. wie viele Betten insgesamt zur Verfügung stehen und wie viele davon bereits belegt sind. Weder die Krankenhausgeokoordinaten noch die krankenhausspezifischen Kapazitäten wurden ausgewertet. Alle Datenquellen können mithilfe einer PostgreSQL Datenbank zwischengespeichert werden um schnellere Zugriffszeiten zu ermöglichen.

Die Prognosen für neue Covid-19 und Nicht-Covid-19-Patienten wie auch Entlassungen basieren auf historischen Informationen zu Bettenbelegung und Meldungen an neuen Covid-19-Erkrankungen. Unter Verwendung von Annahmen des Nutzers zu z. B. Anteil der Neuerkrankungen, die einen schweren Verlauf nehmen und ins Krankenhaus müssen oder Anzahl an Tagen zwischen Neuerkrankungen und Einlieferung ins Krankenhaus werden die Prognosen heuristisch erstellt, da die Datenlage die Verwendung komplexerer Prognoseverfahren aktuell nicht zulässt.

Das Optimierungsproblem wird mit Hilfe des Constraint Programmings (CP) beschrieben und gelöst. Zwei der Vorteile ggü. Ansätzen wie z. B. Linear Optimization oder Mixed Integer Linear Programming ist, dass zum einen für CP auf kostenpflichtige Solver wie CPLEX oder GUROBI verzichtet werden kann und stattdessen Open Source Solver genutzt werden können. In diesem Fall wird Googles OR Tools genutzt. Zum anderen zeigt die Literatur, dass CP eine ganze Reihe von Optimierungsprobleme effizienter lösen kann als die obig genannten Verfahren. Das Optimierungsmodell minimiert für einen vom Nutzer definierten Betrachtungszeitraum die Anzahl an Kilometern, die Patienten durch Verlegungen in Kauf nehmen müssen, sowie die absolute Anzahl an Verlegungen. Zusätzlich kann der Nutzer bspw. die maximale Distanz, die ein Patient durch eine Umverteilung in Kauf nehmen muss, begrenzen oder die Optimierung auf bestimmte Länder oder Kreise beschränken.

Für den kontinuierlichen Betrieb der Optimierung wurde eine REST API Schnittstelle programmiert um sowohl die Datenquellen zu erreichen als auch neue Optimierungen anzustoßen. Die REST API ist mithilfe des Python Webframeworks "FastAPI" programmiert.

Für die bessere Verwaltung verschiedener Optimierungsläufe werden Optimierungen asynchron mithilfe einer "Job Queue" in einem von der API separaten Prozess berechnet. Die Job Queue ist auf der Basis der PostgreSQL Datenbank programmiert worden, um auf zusätzliche Systemabhängigkeiten zu verzichten.

Für die Visualisierung der Ergebnisse wurde die Python Bibliothek "Plotly" verwendet, um bei zukünftiger Weiterentwicklung sowohl online als auch offline interaktive Darstellungen zu ermöglichen.

Die Entwicklungsumgebung des Projektes basiert auf Docker um neuen Entwicklern eine einheitliches und funktionierendes Setup zu bieten.

| Abkürzung | Arbeitspaket | Tage | Stunden |
|---|---|---|---|
| RC | Research Covid Data | 5 | 40 |
| RE | Research Epidemic/Pandemic Data | 4 | 32 |
| RH | Research Hospital Data | 7 | 56 |
| RG | Research German Hospital System and local administrative Government | 2 | 16 |
| HD | Hospital Data Parsing | 5 | 40 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| CD | Covid Data Parsing | 5 | 40 |
| LG | Local Government Data Parsing (Kreisschlüssel, Bundesländer, Bevölkerung usw.) | 5 | 40 |
| DH | Datamodel and API for accessing hospital data | 5 | 40 |
| DC | Datamodel and API for accessing covid data | 3 | 24 |
| DL | Datamodel and API for accessing Local Government Data | 2 | 16 |
| BA | Base API Setup | 3 | 24 |
| DT | Datastore Technologie Research and Selection | 2 | 16 |
| MB | Messaging Base Technologie Research and Selection | 3 | 24 |
| JQ | Job Queue Abstraction Design and Implementation | 5 | 40 |
| DE | Development Environment Setup | 3 | 24 |
| OT | Optimization Technology Research and Selection | 4 | 32 |
| OF | Optimization Framework Integration | 1 | 8 |
| OD | Optimization Data Model Design | 5 | 40 |
| OM | Optimization Model Logic Design and Implementation | 8 | 64 |
| AD | Abstraction of Data Source and Forecasts used in Optimization (so that future data sources are pluggable) | 4 | 32 |
| ES | Epidemic Simulation Design and Implementation | 5 | 40 |
| HR | Hospital reaction/operation model design and implementation | 5 | 40 |
| RS | Research and Selection of Visualization tools | 1 | 8 |
| VE | Visualization of Epidemic Spread | 3 | 24 |
| VP | Visualization of Patient Transfer | 3 | 24 |
| SO | Simulation, Optimization and Comparison of various cases | 3 | 24 |
| | **Gesamt** | **101** | **808** |

Tabelle 1 - Übersicht IT-seitige Arbeitspakete und geleistete Arbeitstage / -stunden

**Produktseitige Ergebnisse**

Im Rahmen des Projekts konnten zahlreiche Gespräche und Interviews mit hochkarätigen Experten, Stakeholdern und potentiellen Kooperationspartner durchgeführt werden (z. B. Kliniken, Fachärzte, Mitgliedern der Krisenstäbe, Anbietern von Healthcare-Software, RKI, DIVI, Healthcare Beratungen, anderen Teams aus dem Solution Enabler Programm). Im Rahmen der Gespräche konnten die Anforderungen an das von uns geplante System zu einem großen Teil identifiziert und bei der IT-seitigen Umsetzung berücksichtigt werden. Dennoch war es uns bis dato noch nicht möglich, einen Prototypen bei einem Kooperationspartner zu implementieren und im Live-Betrieb zu testen. Insbesondere nach dem Abflauen der "ersten Welle" und ggf. auch aufgrund der darauffolgenden Sommermonate schien das allgemeine Interesse an unserer Lösung deutlich ab zu ebben. Offenkundig rechnete niemand mehr damit, dass es in Deutschland tatsächlich zu einer Engpasssituation kommen würde, welche nicht auf Basis der bisherigen Prozesse ausreichend mitigiert werden könne. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die Reaktionszeiten und

Geschwindigkeiten bei der Einführung neuer Prozesse und IT-Systeme grundsätzlich eher im Bereich von Jahren bewegen - und somit nicht ganz mit den Geschwindigkeiten und Programmlaufzeiten eines "Hackathons" zusammenpassen. Im Rahmen unserer Interviews haben wir darüber hinaus gelernt, dass insbesondere die Healthcare-Branche beim Thema Digitalisierung noch ausgesprochen verhalten ist und dem Standard anderer Industrien teils weit hinterherhinkt. Nicht zuletzt getrieben durch die hohen regulatorischen Anforderungen an die Bereiche der "kritischen Infrastruktur" (Krankenhäuser, Leitwarten etc.) ist dies nicht verwunderlich, erschwert aber eine Einführung neuer digitaler Produkte und das unverbindliche "Ausprobieren" eines ersten Prototypen enorm.

Eines der größten Bottlenecks war und ist die Datenfreigabe für die externen RKI- und DIVI-Daten. Leider haben wir hier bis dato keine offizielle Freigabe zur Nutzung dieser Daten im Rahmen eines Pilotprojekts erhalten und wurden auf die Entscheidung durch ein bisher noch nicht konstituiertes Gremium vertröstet. Im Rahmen der Gespräche haben wir zudem vor Kurzem erfahren, dass das RKI und die DIVI ein ähnliches Vorhaben bereits mit universitären Partnern planen. Da es aus unserer Sicht wenig sinnvoll wäre, ein hierzu paralleles System weiter voranzutreiben, haben wir dem RKI unsere Unterstützung angeboten und sind gespannt, ob wir hierzu positive Rückmeldung bekommen.

Als durchgängig positiv zu bewerten ist die konstruktive Zusammenarbeit zwischen den Teams und die gegenseitige Unterstützung, die im Rahmen des Solution Enabler Programms stattgefunden hat. Wir konnten hier zahlreiche Ideen und fachliche Anregungen aufgreifen, von Kontaktvermittlungen profitieren, sowie auch andere Teams mit Input (insbesondere auch zu übergreifenden Themen wie Startup und Gründung) unterstützen. Ebenso konnten wir von Know-How und Feedback der "Paten" sowie dem umfangreichen, themenspezifischen Angebot zu unterschiedlichen Themen (z. B. Marketing) profitieren.

| Abkürzung | Arbeitspaket | Tage | Stunden |
|---|---|---|---|
| SE | Stakeholder- and Expert Interviews | 7 | 56 |
| CT | Cooperation Talks | 5 | 40 |
| PP | Pre- and Post-Preparation of Meetings incl. preparing slide deck | 3 | 24 |
| PM | Project and programm management | 2 | 16 |
| AT | Administrative Stuff | 1 | 8 |
| | **Gesamt** | **18** | **144** |

Tabelle 2 - Übersicht produktseitige Arbeitspakete und geleistete Arbeitstage / -stunden

## Zielgruppe, Nutzen und mögliche Weiterentwicklungen

Die Zielgruppe unserer Lösung sind zentrale Stellen zur Koordination von Krankenhauskapazitäten. Dies könnten in Zeiten einer Pandemie bspw. Gesundheitsministerien oder Krisenstäbe auf Länder- oder Bundesebene sein. Des Weiteren kann - unabhängig von Pandemie oder "Normalzustand" - unser System von Leitwarten eingesetzt werden, um die Zuteilung der Patienten vorausschauend und effizient zu optimieren. Eine Anbindung unseres Systems an die hier bereits verwendete Software (z.B. IVENA) sollte problemlos möglich sein.

Auch verhindert unser System, dass aufgrund einer nicht-vorausschauenden Planung nachträgliche, aufwändig manuell koordinierte Patientenverlegungen durch die Krankenhäuser selbst erfolgen müssen, so dass wir hierdurch nicht nur Zeit sparen - und damit auch lebensgefährliche Verzögerungen vermeiden - sondern auch das medizinische Personal entlasten.

Da unser System eine Überlastung der Krankenhäuser verhindert, profitieren hiervon natürlich nicht zuletzt alle Patient*innen, die auf eine intensivmedizinische Behandlung angewiesen sind - selbst wenn sie nicht an Covid-19 erkrankt sind.

Durch die open-source Stellung ermöglichen wir es anderen Teams (ggf. auch der DIVI/RKI-Initiative) auf unseren Ergebnissen aufzusetzen und weitere oder ähnliche Lösungen zu entwickeln.

Während unserer Beschäftigung mit dem Thema Kapazitätsmanagement im Healthcare-Bereich haben wir darüber hinaus noch weitere, ggf. interessante Einsatzbereiche für unsere Optimierungskompetenzen identifiziert. Insbesondere die Kapazitätsplanung von OP-Ressourcen und Corona-Test-Laborkapazitäten könnten ein interessantes weiteres Einsatzgebiet sein. Hier prüfen wir derzeit, inwiefern sich unsere Lösung auf diese Themen adaptieren ließe und ob tatsächlich ein nennenswerter Bedarf vorhanden ist.

Die Arbeit an dem Projekt hat uns intensive Einblicke in den Healthcare-Bereich ermöglicht sowie die besonderen Herausforderungen, welche mit der Digitalisierung kritischer Infrastruktur verbunden sind, verdeutlicht. Des Weiteren war es eine sowohl fachlich als auch persönlich bereichernde Erfahrung, sich im Rahmen des Solution Enabler-Programms mit einer so großen Zahl an kompetenten und kreativen Teams auszutauschen und voneinander zu lernen.

## Kurze Darstellung der Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Aktuell hat das Projekt als Ganzes noch nicht zu einer Lösung geführt, da aktuell unklar ist, ob überhaupt eine Bereitschaft zum Einsatz besteht bzw. ob nicht doch von zentraler Stelle ein äquivalentes System entwickelt wird. Wie oben beschrieben haben wir hier durch unsere open-source Tools ggf. bereits nutzbare Vorarbeit geleistet und würden weitere Projekte auch darüber hinaus unterstützen.

## Kurze Angabe von Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Es wurde ein GitLab Projekt erstellt und öffentlich gemacht, über das mögliche Nutzer sowohl Zugang zur Software, als auch Informationen zum Hintergrund und zur Nutzung des Tools erhalten. Die Software unterliegt einer MIT License, ist also open source.

Das GitLab Projekt kann unter folgendem Link gefunden werden:
https://gitlab.com/daviskirkendall/enabler

Des Weiteren wurde auf Basis unterschiedlicher Szenarien zur Entwicklung der Covid-19-Fallzahlen Vergleiche der Wirkung unseres Tools auf die Verteilung der neuen Patienten erstellt. Diese sind Teil einer Präsentation zur Idee, Umsetzung und Wirkung unseres Tools, die ebenfalls im obig genannten Gitlab Projekt gefunden werden kann.

## Kurze Erläuterung zur Einhaltung der Arbeits- und Kostenplanung

Wir haben unsere Aufwände im Laufenden Projekt so adjustiert, dass die im Vorfeld durchgeführte Planung im Wesentlichen eingehalten werden konnten.

## Kurze Darstellung von etwaigen Ergebnissen bei anderen Stellen

Inspiration für die Optimierungslösung bot ein Projekt im ursprünglichen Wir vs. Virus Hackathon https://github.com/embiem/WirVsVirus. Bzgl. Datenquellen und Prognosen (insbesondere der zukünftigen Entwicklung und der Architektur welche diese ermöglichen soll) boten https://www.kaggle.com/manuelblechschmidt/everycounts-de-exploratory-data-analysis, und https://github.com/ManuelB/covid-19-vis, dessen Autoren ebenfalls am Enabler Programm beteiligt waren, wichtige Anhaltspunkte. Da Prognosen von anderen Stakeholdern bereits aktiv entwickelt werden haben wir uns auf die Entwicklung des Optimierungsalgorithmus fokussiert. Für den Test des Prototypen wurde eine heuristische Prognosemethode verwendet, die einfach durch präzisere Prognosemodelle ersetzt werden könnte.