CIRCE

Computational Immediate Response Center for Emergencies

Kurzbericht

Zuwendungsempfänger:	Förderkennzeichen:
Gauss Centre for Supercomputing (GCS) e.V. Alexanderplatz 1 c/o DFN 10178 Berlin	16HPC062

Vorhabenbezeichnung:
CIRCE - Untersuchung der Notwendigkeiten und Anforderungen an ein Computational Immediate Response Center for Emergencies im Rahmen der Services des Höchstleistungsrechenzentrums Stuttgart (HLRS)

Laufzeit des Vorhabens:
01.11.2021 – 30.04.2025

Berichtszeitraum:
01.11.2021 – 30.04.2025 (Gesamtzeitraum)

1 Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand

Das Projekt CIRCE (42 Monate) hatte folgende Ziele:

1. Klärung des Bedarfs von Behörden an Unterstützung auf Höchstleistungsrechnern (HPC, HPDA und KI) in Notfallsituationen und im täglichen Monitoring in Deutschland
2. Identifikation konkreter Anwendungsszenarien die solche Bedarfe haben und in denen ein deutsches nationales HPC-Zentrum auch kurzfristig eingesetzt werden kann
3. Identifikation von potentiellen Kollaborationspartnern auf nationaler Ebene
4. Prototypische Implementierung von Lösungen
5. Erarbeitung eines Grundkonzepts für ein verstetigtes „Computational Immediate Response Center for Emergencies (CIRCE)“ innerhalb des HLRS bzw. des Gauss Center for Supercomputing e.V. (GCS).

Das Projekt sollte zunächst am HLRS - eines der drei deutschen nationalen Höchstleistungsrechenzentren aus dem Gauss Center for Supercomputing (GCS) - durchgeführt werden, um auf Basis der bereits existierenden Arbeiten zunächst eine fokussierte Entwicklung zu ermöglichen. Bei entsprechendem Erfolg bzw. Bedarf werden die Ergebnisse des Projekts aber auch den anderen Standorten des GCS zur Verfügung stehen. Darüber hinaus öffnet das Projekt die Möglichkeit, mit ähnlichen Aktivitäten Kooperationen aufzubauen und dadurch die Verfügbarkeit der Höchstleistungsrechner und Services für eine größere Gruppe von Einrichtungen zu ermöglichen, die in diesem Bereich Bedarf haben. Hier werden insbesondere Kontakte zu Einrichtungen aufgebaut, die im Bereich der zivilen Sicherheitsforschung tätig sind und in der Regel einen hohen Rechenleistungsbedarf haben.

2 Ablauf des Vorhabens

Der Arbeitsplan realisierte einen iterativen Ansatz, um ein bestmöglichstes Ergebnis zu erzielen. Generell wurden die Arbeiten anhand von Zwischenergebnissen immer wieder verifiziert und angepasst, so dass auf Basis von Resultaten eines Arbeitspaketes auch die anderen Arbeitspakete notwendige Modifikationen vornehmen konnten.

Das Projekt wurde in zwei Arbeitspakete gegliedert:
1. Arbeitspaket 1: Erfassung und Kommunikation des Bedarfs
2. Arbeitspaket 2: Generische Szenarien und Protypische Implementationen

Diese wurden durch zwei begleitende Aktivitäten des HLRS ergänzt, die nicht Gegenstand der Förderung dieses Antrags sind: 1. Projektmanagement, 2. Rahmenkonzept CIRCE

Die beiden inhaltlichen Arbeitspakete (Bedarfserhebung, Szenarien) wurden fast gleichzeitig gestartet, da von Anfang an die gewonnenen Erfahrungen aus der Kooperation mit dem Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB) genutzt werden konnten. Das Projektmanagement begleitet das Projekt durchgehend. Die Entwicklung eines Rahmenkonzepts für die zukünftige Nutzung begann nach den ersten Projektmonaten und orientierte sich an den ersten Ergebnissen, mit stetigen Anpassungen.

3 Wesentliche Ergebnisse sowie Darstellung der Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Die durchgeführte Stakeholder-Konsultation mit dem öffentlichen Sektor im Verlauf der Projektlaufzeit hat deutlich gemacht, dass durchaus gezieltes Interesse an einer Zusammenarbeit besteht. Jedoch befinden sich viele Stakeholder im Themenfeld Simulation generell – und Höchstleistungsrechnen im Krisenfall im Speziellen – erst am Anfang. Es wurde deutlich, dass einige Behörden bei den vorhandenen Krisen einen deutlichen Handlungsbedarf sehen und grundsätzlich an einer Kooperation interessiert sind. Es ist damit zu rechnen, dass die Identifikation zahlreicher umsetzbarer Anwendungsfälle noch einige Zeit in Anspruch nehmen wird. Auf der einen Seite ist die Bekanntheit von Deutschen Bundeshöchstleistungsrechenzentren innerhalb der Zielgruppe deutlich gestiegen. Die Kontakte konnten ausgebaut werden und vereinzelt kommen Behörden eigenständig mit möglichen Simulationsideen auf das CIRCE/HLRS-Team zu. Behörden haben definitiv weitergehendes Interesse am Know-how des HLRS besteht. Die Zielgruppe findet die Expertise des HLRS für dessen Arbeitsresultate oft objektiver und vertrauensvoller als bei Beratungsfirmen aus der Privatwirtschaft.

Es konnten folgende High-Level-Szenarien identifiziert werden, die maßgeblich von der zur Verfügung stehenden Umsetzungszeit, sowie der bereits vorhandenen Entwicklungsstufe bzw. der in der anfragenden Behörde vorhandenen Umsetzungskompetenz abhängen: (A) Urgent Computing Szenario (unbekannte/ bekannte Basisdaten), (B) Monitoring Szenario, (C) Modellierungs-Szenario.
Es wurden zwei ausgewählte Proof-of-Concept Implementierungen (1) COVID Spatial Microsimulations und (2) Deichbruchsimulation Duisburg erstellt. Die Auswahl der zwei Implementierungen erfolgte nach klar definierten Kriterien. Dabei wurde zunächst sichergestellt, dass die gewählten Szenarien gemeinsam alle vier High-Level-Szenarien abdecken und somit eine umfassende Repräsentation der definierten Anwendungsbereiche gewährleistet ist. Ein weiteres zentrales Kriterium war die Verfügbarkeit der erforderlichen Basisdaten innerhalb der Projektlaufzeit, wobei der Fokus auf frei zugänglichen oder durch Kooperationspartner bereitstellbaren Daten lag. Schließlich wurde besonderes Augenmerk auf die Übertragbarkeit der entwickelten Implementierungen gelegt, um sicherzustellen, dass diese mit vertretbarem Aufwand auf weitere Anwendungsfälle oder Standorte adaptiert werden können.

Außerdem wurde ein Verstetigungskonzept von CIRCE erstellt, in dem deutlich wurde, dass die Bedürfnisse der Zielgruppe an (Transfer von) Expertenwissen für Simulation und die spezifischen Anforderungen für akkurate Simulationsservices in der ersten Phase neue Tätigkeitsfelder aufgezeigt wurden, denen man sich erst widmen sollte, bevor ein schrittweise erweiterbarer, sich selbsttragender CIRCE Service angeboten werden kann. Außerdem wurden die möglichen Organisationsformen, Prozesse und Finanzierungsoptionen aufgezeigt.

CIRCE

Computational Immediate Response Center for Emergencies

AUSFÜHRLICHER SCHLUSSBERICHT

Zuwendungsempfänger:	Förderkennzeichen:
Gauss Centre for Supercomputing (GCS) e.V. Alexanderplatz 1 c/o DFN 10178 Berlin	16HPC062

Vorhabenbezeichnung:
CIRCE - Untersuchung der Notwendigkeiten und Anforderungen an ein Computational Immediate Response Center for Emergencies im Rahmen der Services des Höchstleistungsrechenzentrums Stuttgart (HLRS)

Laufzeit des Vorhabens:
01.11.2021 – 30.04.2025

Berichtszeitraum:
01.11.2021 – 30.04.2025

1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ereignisse.

1.1 Erfassung und Kommunikation des Bedarfs

1.1.1 Zielgruppe

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Bedürfnisse der Zielgruppen Bund, Länder, Kommunen sowie Organisationen in Bezug auf den Einsatz von Simulationen, High-Performance Computing (HPC) und Künstlicher Intelligenz (KI) in Krisensituationen analysiert. Ziel war es, die spezifischen Anforderungen und Herausforderungen der einzelnen Akteure zu identifizieren und die Potenziale dieser Technologien für die Verbesserung der Krisenbewältigung zu evaluieren.

1.1.2 Methodik der Analyse

Es wurde eine qualitative Herangehensweise gewählt, die eine Kombination verschiedener Aktivitäten zur Datenerhebung und Informationsgewinnung beinhaltete. Diese umfassten sowohl externe als auch eigene Veranstaltungen sowie halbstrukturierte Interviews. Die Methodik ermöglichte eine tiefgehende Erfassung der Bedürfnisse und Anforderungen der Zielgruppen in Bezug auf den Einsatz von Simulationen, High-Performance Computing (HPC) und Künstlicher Intelligenz (KI) in Krisensituationen. Die durchgeführten Maßnahmen werden im Folgenden näher beschrieben:

a. Externe Veranstaltungen
Externe Veranstaltungen wie Fachkonferenzen, Workshops und Branchentreffen wurden besucht, um aktuelle Entwicklungen in der Branche zu beobachten und wertvolle Einblicke in bestehende und zukünftige Bedürfnisse der Zielgruppen zu gewinnen:

- Die Teilnahme an externen Veranstaltungen ermöglichte es, aktuelle Trends und Innovationen im Bereich Krisenmanagement und -technologien zu identifizieren.
- Durch Vorträge, Diskussionen und Präsentationen konnten potenzielle zukünftige Bedürfnisse erkannt werden.
- Externe Veranstaltungen boten die Möglichkeit, wertvolle Kontakte zu knüpfen und Netzwerke mit Expert:innen und Akteuren aus verschiedenen Bereichen aufzubauen, was die Grundlage für weiterführende Interviews und Kooperationen bildete.

b. Halbstrukturierte Interviews

Es wurden halbstrukturierte Interviews mit Vertretern aus Bund, Ländern, Kommunen und Organisationen durchgeführt. Diese Interviews dienten der detaillierten Informationsgewinnung und boten Raum für offene Diskussionen:

- Für die Interviews wurde ein spezifischer Leitfaden entwickelt, der zentrale Fragen zu den Themen Simulationen, HPC und KI sowie deren Anwendung in Krisensituationen enthielt. Dies ermöglichte eine einheitliche Struktur und Vergleichbarkeit der Gespräche.
- Trotz der Leitfragenstruktur wurde genügend Flexibilität eingeräumt, um auf spezifische Themen und Interessen der Gesprächspartner einzugehen. Dies förderte tiefere Einblicke in individuelle Bedürfnisse und Herausforderungen.
- Die halbstrukturierte Form ermöglichte es, detaillierte und differenzierte Informationen zu sammeln, insbesondere zu spezifischen Einsatzszenarien, bestehenden Lücken in der Krisenbewältigung und Vorschlägen für technologische Innovationen.

c. Eigene Veranstaltungen

Zusätzlich zu externen Veranstaltungen wurden eigene Workshops organisiert, um mit den Zielgruppen in den Dialog zu treten:

- Alle relevanten Diskussionen und Ergebnisse wurden dokumentiert, um ein fundiertes Verständnis der Bedürfnisse zu gewährleisten. Darüber hinaus wurden die Teilnehmenden über aktuelle Forschungsergebnisse und technologische Entwicklungen informiert, um den Wissenstransfer zu fördern.
- Die Veranstaltungen boten die Möglichkeit, direktes und praxisnahes Feedback von den Teilnehmenden zu sammeln, insbesondere in Bezug auf die Anwendbarkeit und Akzeptanz neuer Technologien wie KI und HPC in Krisensituationen.
- Die Teilnehmenden konnten in einem offenen Rahmen ihre Erfahrungen und Perspektiven teilen, was die Identifikation von gemeinsamen Herausforderungen und Potenzialen erleichterte.
- Die Veranstaltungen dienten auch dem Ausbau des bestehenden Netzwerks, um zukünftige Kooperationen und den Wissensaustausch zu fördern.

Die Kombination dieser methodischen Ansätze ermöglichte eine umfassende und tiefgehende Analyse der Bedürfnisse der verschiedenen Zielgruppen in Krisensituationen. Durch die Vielfalt der eingesetzten Methoden konnten sowohl allgemeine Trends als auch spezifische, kontextabhängige Anforderungen identifiziert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden eine solide Grundlage für die Ableitung gezielter Empfehlungen zur Optimierung des Einsatzes von Simulationen, HPC und KI in Krisenlagen.

1.1.3 Externe Veranstaltungen

Besonders in den ersten zwei Projektjahren wurde versucht Kontakt mit neuen Behörden aufzunehmen und gleichzeitig kontinuierlich die bestehenden Kontakte zu vertiefen, wozu sich externe Veranstaltungen am besten eigneten. Daher haben die Mitarbeitenden an insgesamt neun Veranstaltungen teilgenommen (siehe Tabelle 1), um potentielle Partner:innen zu identifizieren und das Projekt vorzustellen.

Veranstaltungen	Datum	Zielgruppe
Baden-Württemberg 4.0	30.06.2022 29.06.2023	Landesbehörden und Kommunen BW
Crisis-Prevention-Konferenz	21.-22.07.2022	Behörden und Organisationen im Bevölkerungsschutz
Digitaler Staat 2023	03.-04.05.2022 25.- 26.04.2023	Bundesbehörden
Digitaler Katastrophenschutz-Kongress 2022	14.-15.11.2022	Behörden und Organisationen im Bevölkerungsschutz
ISC High Performance 2023	21.-24.05.2023	Vorstellung CIRCE/ potentielle Partner
Smart Country Convention 2022	18.-20.10.2022	Kommunen
Zukunftskongress Staat & Verwaltung	20.-22.06.2022	Bundesbehörden

Tabelle 1: Besuchte Veranstaltungen seit 2022.

Die externen Veranstaltungen lieferten wertvolle Einblicke in aktuelle Herausforderungen und Potenziale im Bereich der digitalen Kompetenz, der Krisenbewältigung und des Katastrophenschutzes. Im Folgenden werden die allgemeinen Erkenntnisse sowie spezifische Erkenntnisse zum Katastrophenschutz zusammengefasst:

Allgemeine Erkenntnisse

1. Potenziale zur Stärkung der digitalen Kompetenz und Bewältigung des Fachkräftemangels: Die Empfehlung nach gezielter Förderung von Aus- und Weiterbildungsprogrammen im öffentlichen Sektor, um die bestehenden Defizite im Bereich der digitalen Kompetenzen zu beheben.
2. Synergieeffekte aufgrund geringer Kommunikation zwischen Bund, Ländern und Kommunen: Die Analyse zeigte, dass die Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Verwaltungsebenen in Deutschland ausbaufähig sind. Eine bessere Vernetzung könnte Synergieeffekte schaffen und die Effizienz in der Krisenbewältigung deutlich steigern.
3. Notwendigkeit eines konkreten Umsetzungsplans für gesteigerte Effizienz und Digitalisierung: Es besteht ein dringender Bedarf an einem umfassenden Umsetzungsplan, um die Digitalisierung in der Verwaltung voranzutreiben.
4. Onlinezugangsgesetz und Aufbau von Datenlaboren: Das Onlinezugangsgesetz (OZG) wurde als wichtiges Instrument zur Digitalisierung der Verwaltung hervorgehoben. Zusätzlich wurde der Aufbau von Datenlaboren diskutiert, die innovative Ansätze zur Datenanalyse und -nutzung fördern und als Plattform für den interdisziplinären Austausch dienen könnten.
5. Höhere Transparenz führt zu mehr Vertrauen und Akzeptanz: Eine höhere Transparenz in Entscheidungsprozessen und der Bereitstellung von Informationen ist essenziell, um das Vertrauen der Bevölkerung in staatliche Institutionen zu stärken. Dies könnte zur höheren Akzeptanz von Maßnahmen und Technologien, insbesondere im Krisenmanagement, führen.

6. Fokus auf Künstliche Intelligenz: Zurzeit wird im öffentlichen Sektor sehr stark analysiert, inwieweit die Technologie „Künstliche Intelligenz (KI)“ den Behördenalltag effizient unterstützen kann

Erkenntnisse zum Katastrophenschutz

1. Umsetzungsdefizit beim Bevölkerungsschutz: Trotz bestehender Strategien gibt es weiterhin deutliche Umsetzungsdefizite im Bevölkerungsschutz. Insbesondere die unzureichende Abstimmung und Koordination zwischen den verschiedenen Akteuren erschwert eine effektive Krisenbewältigung.
2. Feuerwehr: Vorbereitung auf dynamische Einsatzlagen: Die Ausbildung und Ausrüstung der Feuerwehr sind auf statische Einsatzlagen (z. B. Gebäudebrände) ausgerichtet. Für dynamische Lagen wie Vegetationsbrände fehlen spezialisierte Schulungen und Ausrüstungen. Hier besteht dringender Handlungsbedarf, um auf komplexe und sich rasch ändernde Einsatzszenarien reagieren zu können.
3. Deutschland wird von Unbeständigkeit, Komplexität und Mehrdeutigkeit charakterisiert: Die Krisen- und Katastrophenbewältigung in Deutschland ist durch unklare Zuständigkeiten und komplexe Entscheidungsprozesse geprägt. Diese strukturellen Probleme führen zu Verzögerungen und ineffizientem Handeln in Krisensituationen.
4. Nationale Resilienzstrategie für Katastrophen: Es wurde die Notwendigkeit einer nationalen Resilienzstrategie betont, die Prävention, Vorsorge, Bewältigung und Nachbereitung systematisch integriert.
5. Zielorientierte Zusammenarbeit mit Politik, Medien und Wissenschaft: Eine zielorientierte und interdisziplinäre Zusammenarbeit fördert das Verständnis für Krisensituationen und ermöglicht eine kohärente Kommunikation. Dies ist insbesondere für die Prävention und das Krisenmanagement von Bedeutung.
6. Umsetzungsdefizit im Katastrophenschutz: Die Uneinheitlichkeit und Unübersichtlichkeit im deutschen Katastrophenschutz bleibt ein signifikantes Problem. Es gibt Defizite in der Umsetzung bestehender Konzepte, was eine effektive Krisenbewältigung erschwert. Der Aufbau einer zentralen Plattform, die Bund, Länder und Kommunen integriert, könnte hier Abhilfe schaffen.
7. Prävention im Katastrophenschutz: Obwohl die Prävention als klares Ziel definiert ist, bleibt die praktische Umsetzung unzureichend. Es wurde ein strategischer Rahmen diskutiert, der eine verbesserte Koordinierung und gezielte Maßnahmen zur Risikominimierung ermöglicht.
8. Bessere Vorbereitung und Ausrüstung der Feuerwehr: Feuerwehrleute benötigen eine gezielte Ausbildung für dynamische Einsatzlagen wie Vegetationsbrände und sollten mit entsprechender Ausrüstung ausgestattet werden. Beispiele aus Ländern wie Frankreich und Portugal zeigen, dass eine flexible und robuste Einsatzplanung die Resilienz erheblich steigern kann.

1.1.4 Halbstrukturierte Interviews

Im gesamten Projektzeitraum wurden zur Identifikation der Nutzergruppen hauptsächlich folgende Kommunikationskanäle genutzt: E-Mail, Telefon, Videokonferenz und persönliche Treffen (öffentliche Veranstaltungen, 1:1). Dadurch konnten die verschiedenen Präferenzen zur Kontaktaufnahme/Kommunikation der Zielgruppen abgedeckt werden. Tabelle 2 zeigt die Anzahl der Behörden bzw. Organisationen, die im ersten und zweiten Projektjahr kontaktiert wurden.

	Bund	**Länder**	**Kommunen**	**Organisationen**	**Gesamt**
Anzahl initialer Anfragen	**26**	**10**	**4**	**4**	**44**
Interesse	11	4	3	4	**22**

deklariert					
Keine Themen identifiziert	3	2			**5**
Keine Rückmeldung erhalten	12	4	1		**17**

Tabelle 2: Auflistung der angesprochenen Zielgruppen

Von den insgesamt 44 kontaktierten Behörden und Organisationen hatten 22 Interesse gezeigt und mit insgesamt 20 kam es zu einem direkten Austausch. Die Erfolgsquote lag bei ca. 45 Prozent.

Es wurden mehrheitlich Bundesbehörden kontaktiert, da durch Webseitenrecherchen und besuchte Veranstaltungen dort die meisten themengeeigneten Ansprechpartner:innen identifiziert werden konnten. Länder, Kommunen und weitere Organisationen wurden ebenfalls berücksichtigt.

Die Analyse hat gezeigt, dass es einen grundsätzlichen Bedarf an der Nutzung von Simulationen im öffentlichen Sektor gibt, um Krisensituationen besser zu planen, zu bewältigen und deren Auswirkungen zu minimieren. Diese Erkenntnisse verdeutlichen, dass Simulationen ein zentrales Instrument sein können, um die Komplexität moderner Krisenszenarien zu verstehen und effektiv darauf zu reagieren.

<u>Grundsätzlicher Bedarf an Simulationen</u>

- Wachsende Bedeutung von Auswertungen: Die Analyse von Daten wird immer wichtiger, um Krisensituationen besser vorherzusehen und zu bewältigen. Durch Simulationen können Szenarien modelliert und unterschiedliche Handlungsoptionen getestet werden, um fundierte Entscheidungen zu treffen.
- Erhöhte Komplexität durch Mehrdimensionalität: Die gesellschaftliche Entwicklung, beeinflusst durch Faktoren wie Globalisierung, Klimawandel und demografische Veränderungen, führt zu einer steigenden Komplexität potenzieller Krisen. Diese Mehrdimensionalität erfordert eine erweiterte analytische und prognostische Kapazität, die durch Simulationen abgedeckt werden kann.
- Relevanz digitaler Unterstützung in Landkreisen: Insbesondere in Landkreisen mit begrenzten personellen Ressourcen kann digitale Unterstützung durch Simulationen einen erheblichen Mehrwert bieten. Simulationen können helfen, Krisenszenarien besser zu verstehen und effektive Reaktionsstrategien zu entwickeln.

<u>Sinnvolle Prognosen für spezifische Themen</u>

Simulationen können für verschiedene Krisenszenarien eingesetzt werden, um die Planung, Reaktion und Bewältigung zu optimieren:

- Migrationsströme: Simulationen können helfen, die Auswirkungen von Migrationsströmen auf Gemeinden zu prognostizieren, einschließlich des Bedarfs an Dolmetscher:innen, Unterkünften und sozialer Infrastruktur. Durch solche Vorhersagen können Gemeinden besser auf plötzliche Veränderungen reagieren und notwendige Ressourcen rechtzeitig bereitstellen.
- Hochwasser/Überschwemmungen an der Küste: Durch Simulationen von Hochwasserszenarien können Einsatzkräfte detaillierte Evakuierungspläne entwickeln, kritische Infrastrukturen

identifizieren und Ressourcen wie Boote und Hilfskräfte optimal zuweisen. Solche Modelle ermöglichen eine schnelle und koordinierte Reaktion auf Überschwemmungen und helfen, Schäden zu minimieren.

- Pandemien: Simulationen epidemiologischer Modelle können zur Planung von Maßnahmen wie Quarantäne, Impfkampagnen und sozialen Einschränkungen genutzt werden. Dies hilft, die Verbreitung von Krankheiten zu kontrollieren und die gesundheitliche Versorgung zu sichern.
- Amoklauf/Anschlag: Durch die Auswertung von Massendaten und den Einsatz von KI können Täterprofile schneller erstellt und potenzielle Gefahren identifiziert werden. Simulationen helfen, Einsatzstrategien zu optimieren und die Zusammenarbeit zwischen Sicherheitsbehörden zu verbessern.
- Vegetationsbrände: Simulationen von Brandverläufen und Wetterbedingungen können helfen, gefährdete Gebiete zu identifizieren, Evakuierungsmaßnahmen zu planen und den Einsatz von Löschflugzeugen und Bodentruppen zu koordinieren.
- Kerntechnischer Unfall: Szenarien für nukleare Unfälle können zur Planung von Evakuierungszonen, der Verteilung von Jodtabletten und der Dekontamination genutzt werden. Simulationen ermöglichen eine effektive Risikobewertung und die rechtzeitige Einleitung von Schutzmaßnahmen.

Bedarf an Computersimulationen im öffentlichen Sektor

Die Nutzung von Computersimulationen im öffentlichen Sektor bietet folgende Vorteile:

- Verbesserte Planung: Simulationen ermöglichen eine fundierte und vorausschauende Planung von Ressourcen, Personal und Infrastruktur. Dies ist entscheidend, um auf Krisenszenarien vorbereitet zu sein und die Resilienz von Gemeinschaften zu erhöhen.
- Effektive Reaktion: Durch die Modellierung von Krisenszenarien können Behörden ihre Reaktionsstrategien verfeinern und die Effektivität von Maßnahmen in Echtzeit evaluieren. Simulationen helfen, die optimale Verteilung von Ressourcen und die bestmögliche Nutzung von Einsatzkräften sicherzustellen.
- Erhöhte Effizienz: Simulationen ermöglichen es, komplexe Daten zu analysieren und potenzielle Entwicklungen vorherzusehen. Dies reduziert die Notwendigkeit von improvisierten Maßnahmen und verbessert die Effizienz in Krisensituationen.
- Sicherheit: Durch die präzise Planung und Reaktion auf Krisen können Simulationen dazu beitragen, das Sicherheitsniveau zu erhöhen, die Auswirkungen von Katastrophen zu minimieren und die Widerstandsfähigkeit von Gemeinschaften zu stärken.

Prioritäten von Simulationen etc. in Krisensituationen und deren Stellenwert

- Prognosen basieren auf der Analyse und Auswertung umfangreicher Datenbanken und gewinnen an Bedeutung, wenn sie auf validen, qualitativ hochwertigen Daten beruhen. Sie sind ein entscheidendes Instrument zur Abschätzung von Entwicklungen und zur Vorbereitung auf mögliche Krisenszenarien.
- Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit von Prognosen hängen maßgeblich von der Qualität der zugrunde liegenden Daten ab. Deshalb ist es wichtig, Datenbanken kontinuierlich zu aktualisieren und sicherzustellen, dass alle relevanten Informationen verfügbar sind. Dies erhöht die Aussagekraft von Prognosen und deren Nutzen für die Planung.

- Das Bewusstsein für die Möglichkeiten, die Vorhersagen bieten, sollte sich stärker steigern. Jedoch steigert sich bei der Erkenntnis die Anzahl der Akteure, dass datenbasierte Vorhersagen ein wertvolles Instrument zur Risikominimierung und für eine proaktive Krisenbewältigung sind.
- Um die Akzeptanz und das Verständnis für Vorhersagen weiter zu fördern, sollten Schulungen und Informationskampagnen durchgeführt werden, die die Funktionsweise und den Nutzen von Vorhersagen und Simulationen verdeutlichen.

Verfügbarkeit von Daten und Beispiele für bestehende Datenanalysen bei Behörden

- Nutzung öffentlicher und interner sensibler Datensätze fraglich
- Rechtliche Prüfung zur Datenverarbeitung notwendig
- Notwendige Datensätze oft nicht in geeigneter Form digital vorhanden
- Aufbau von Datenbanken für zukünftige Datenanalysen
- Bestehende Datenanalysen in Krisensituationen noch Leuchtturmprojekte
- Zeitnahe Integration der Datenanalyse in den Behördenalltag fraglich

Unterstützung von einem Bundeshöchstleistungsrechenzentrum

Die Analyse der Anforderungen und Bedürfnisse von Behörden im Zusammenhang mit der Unterstützung durch ein Bundeshöchstleistungsrechenzentrum (z.B. HLRS) hat mehrere wesentliche Erkenntnisse ergeben. Diese Erkenntnisse verdeutlichen die Notwendigkeit einer engen Zusammenarbeit zwischen den Behörden und dem HLRS, um die Effizienz und Effektivität bei der Erstellung und Nutzung von Simulationsmodellen in Krisensituationen zu steigern. Im Folgenden sind die wichtigsten Punkte zusammengefasst:

- Behörden benötigen interne Partner für die schnelle Erstellung von Simulationsmodellen
- Regelmäßiges Reporting, insbesondere in Echtzeit oder alle 15 Minuten bei Krisen
- Notwendigkeit der Analyse für automatische Prozesse und menschliche Bereitschaft zur Sicherstellung qualitativer Ergebnisse
- Sichere Schnittstellen, intuitive Oberflächen und vereinheitlichte Datenstrukturen
- Simulationsmodelle sollen einfach, klar und verständlich sein
- Wissenstransfer und Schulungen

Vorhandene Fachkompetenzen und Schulungen zu Simulationen etc.

Folgende Erkenntnisse verdeutlichen die Notwendigkeit, die Kompetenzen innerhalb der Behörden zu stärken und geeignete Schulungsangebote zu entwickeln. Im Folgenden werden die wesentlichen Punkte zusammengefasst:

- Begrenzte interne Data Science Ressourcen
- Wichtigkeit von Schulungen zur Interpretation und Qualität von Simulationen
- Notwendigkeit eines internen Grundverständnisses
- Bedarf an Grundlagenwissen zu HPC und KI
- Positive Resonanz zur Wissens- und Bewusstseinsförderung von Chancen

Informationssicherheit und Datenschutz

Informationssicherheit und Datenschutz sind in Krisensituationen von zentraler Bedeutung. Die Weitergabe sensibler Daten, die Nutzung interner Netzwerke, die Klärung von Haftungsfragen und der sichere Datentransfer erfordern klare Regelungen und ein hohes Maß an Vorsicht. Offizielle Empfehlungen und Leitlinien von Fördergebern können dazu beitragen, Unsicherheiten zu reduzieren und den verantwortungsvollen Umgang mit sensiblen Informationen zu gewährleisten.

1.1.5 Eigene Veranstaltungen

Die durchgeführten Veranstaltungen lieferten wertvolle Erkenntnisse über die aktuellen Herausforderungen, Interessen und Bedürfnisse der Zielgruppen in Bezug auf High-Performance Computing (HPC) und Künstliche Intelligenz (KI). In Abbildung 1 sind die fünf CIRCE Veranstaltungen abgebildet und zeigt die Aufteilung der Teilnehmenden nach Zielgruppe.

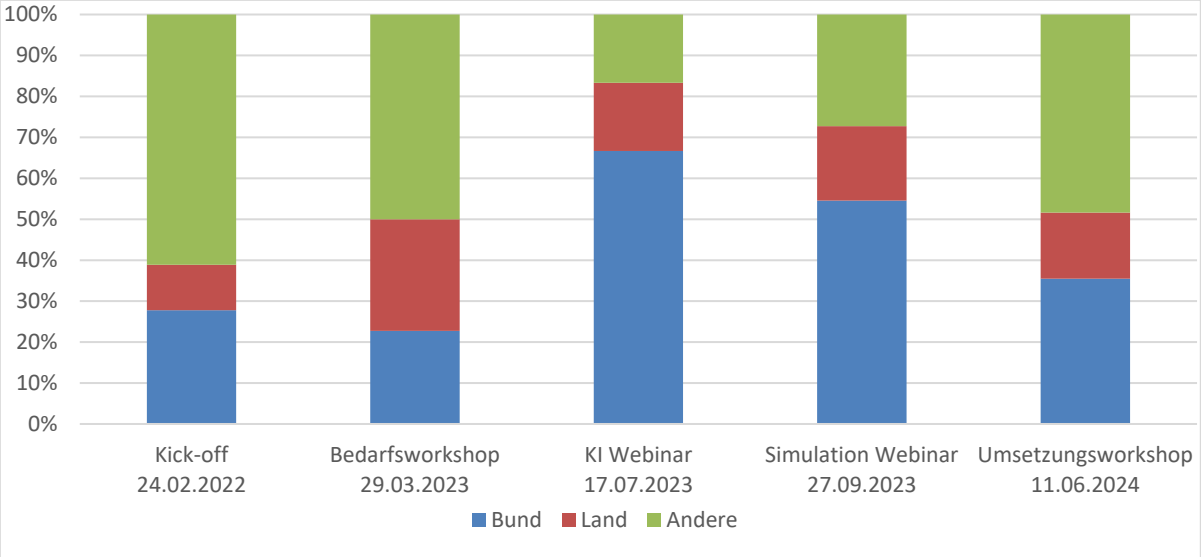

Abbildung 1: CIRCE Veranstaltungen

Die wichtigsten Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst:

1. Interesse an High-Performance Computing (HPC) und Künstlicher Intelligenz (KI), jedoch Fachkräftemangel
Die Veranstaltungen zeigten ein großes Interesse der Zielgruppen am Einsatz von HPC und KI, insbesondere in Bereichen wie Datenanalyse und Krisenprävention. Gleichzeitig wurde deutlich, dass es einen erheblichen Mangel an Fachkompetenzen und personellen Ressourcen gibt, um diese Technologien effektiv zu implementieren und zu nutzen. Diese Diskrepanz stellt eine zentrale Herausforderung dar und erfordert gezielte Maßnahmen zur Förderung der digitalen Kompetenz in den betroffenen Institutionen.

2. Geringe Priorität von High-Performance Computing bei Behörden
Der Einsatz von HPC hat derzeit in vielen Behörden eine niedrige Priorität, da sich die bestehenden Ressourcen und Strategien vor allem auf etablierte Verfahren konzentrieren. Jedoch könnten sich diese Prioritäten mit der Einführung neuer Resilienzstrategien im Katastrophenschutz ändern. Insbesondere die stärkere Fokussierung auf Prävention und die Nutzung von Simulationen und Datenanalysen zur Risikobewertung könnten die Bedeutung von HPC in Zukunft erhöhen.

3. Hoher Bedarf an Schulungen zu digitalen Themen
Ein weiterer zentraler Punkt, der während der Veranstaltungen angesprochen wurde, ist der hohe Bedarf

an Schulungen und Fortbildungen zu digitalen Themen wie Künstliche Intelligenz und Datenanalyse. Die Zielgruppen sehen in diesen Schulungen eine wichtige Voraussetzung, um die notwendigen Kompetenzen für den Umgang mit neuen Technologien aufzubauen und deren Potenziale voll auszuschöpfen. Es besteht ein besonderes Interesse an praxis-orientierten Fortbildungsangeboten, die sich gezielt an den Bedürfnissen der jeweiligen Akteure orientieren.

4. CIRCE-Veranstaltungen als wichtige Netzwerk-Events
Die CIRCE-Veranstaltungen bieten eine Plattform, um eine HPC-affine Community aufzubauen und eine transparente Kommunikation zwischen den verschiedenen Behörden und Organisationen zu fördern. Diese Veranstaltungen tragen dazu bei, den Austausch von Wissen und Erfahrungen zu erleichtern und gemeinsame Lösungsansätze für die Herausforderungen im Bereich Krisenmanagement und Katastrophenschutz zu entwickeln.

5. Wunsch nach stärkerer Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Behörden
Es wurde ein deutliches Interesse an einer intensiveren Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Behörden geäußert. Die objektiven Sichtweisen und Forschungsergebnisse der Wissenschaft können dazu beitragen, die Entscheidungsprozesse in den Behörden zu unter-stützen und zu optimieren. Eine stärkere Integration von wissenschaftlichen Erkenntnissen in die behördliche Praxis könnte zudem die Synergieeffekte in der öffentlichen Verwaltung erhöhen und zu einer effizienteren und effektiveren Krisenbewältigung führen.
Diese Erkenntnisse zeigen, dass trotz vorhandener Hürden und Defizite ein großes Potenzial für die verstärkte Nutzung von HPC und KI im öffentlichen Sektor besteht. Um dieses Potenzial zu realisieren, sind jedoch gezielte Maßnahmen in den Bereichen Weiterbildung, Ressourcenaufbau und interdisziplinäre Zusammenarbeit erforderlich.

1.1.6 Fazit zur zukünftigen Zusammenarbeit mit dem öffentlichen Sektor

Aufgrund des Kenntnisstands von der Bedarfsanalyse wäre die Etablierung von langfristigen Angeboten an Aus- und Weiterbildung sinnvoll, sodass HPC-Kompetenzen bei den Behörden aufgebaut werden können und eine vertrauensvolle Basis entstehen kann damit die Behörden das HLRS/GCS als erste Anlaufstelle für Simulationen bei Krisensituationen sehen. Zudem sollten einfache Prozesse vorhanden sein, sodass die Umsetzung von Urgent Computing wegen bürokratischen Strukturen nicht unnötig verzögert wird.
Sinnvolle Schritte, um die Nutzung von High-Performance Computing (HPC) und Künstlicher Intelligenz (KI) im Krisenmanagement und Katastrophenschutz effektiv zu fördern sind:

1. Etablierung langfristiger Aus- und Weiterbildungsangebote
    - Entwicklung und Implementierung strukturierter und langfristiger Aus- und Weiterbildungsprogramme, die auf die spezifischen Bedürfnisse der Zielgruppen (Bund, Länder, Kommunen, Organisationen) im Bereich Simulationstechnologien und HPC-Kompetenzen abgestimmt sind.
    - Entwicklung modularer Kursangebote in Kooperation mit Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Weiterbildungsträgern.
    - Erstellung praxisnaher Lehrmaterialien und Fallstudien, die spezifische Anwendungsfälle im Krisenmanagement behandeln.
    - Förderung von Zertifikatsprogrammen, um erworbene Kompetenzen offiziell anzuerkennen und einen Anreiz zur Teilnahme zu schaffen.

2. Zusammenarbeit mit Hochschulen und relevanten Ausbildungseinrichtungen
    - Verstärkung der Kooperation zwischen öffentlichen Verwaltungen, Hochschulen, der Polizei und der Feuerwehr, um den Austausch von Wissen und Ressourcen zu fördern und den Zugang zu modernsten Technologien zu erleichtern.

- Entwicklung gemeinsamer Forschungsprojekte und praxisnaher Studiengänge, die auf die Nutzung von Simulationen, HPC und KI im Krisenmanagement ausgerichtet sind.
- Implementierung von Praktika, die Studierenden der öffentlichen Verwaltung, der Polizei und der Feuerwehr ermöglichen, praktische Erfahrungen in der Anwendung dieser Technologien zu sammeln.
- Förderung von Kooperationen bei der Entwicklung und dem Einsatz von Simulationssoftware und HPC-Ressourcen zur Ausbildung und für Trainingszwecke.

3. Förderung von Netzwerken und Community-Bildung
    - Aufbau einer HPC- und KI-affinen Community innerhalb der öffentlichen Verwaltung und Krisenmanagement-Organisationen, um den Wissensaustausch und die Vernetzung der Akteure zu fördern.
    - Regelmäßige Durchführung von Netzwerktreffen, Workshops und Konferenzen wie den CIRCE-Veranstaltungen, um aktuelle Entwicklungen und Best Practices zu diskutieren.
    - Etablierung einer Online-Plattform, auf der relevante Informationen, Forschungsarbeiten und Anwendungsfälle geteilt werden können.
    - Initiierung von thematischen Arbeitsgruppen, die sich auf spezifische Aspekte wie HPC im Katastrophenschutz oder KI im Krisenmanagement konzentrieren

4. Interministerielle Vereinbarungen und einfache Prozessgestaltung
    - Etablierung klarer rechtlicher und organisatorischer Rahmenbedingungen durch interministerielle Vereinbarungen, um die Umsetzung von Urgent Computing zu beschleunigen und zu erleichtern.
    - Ausarbeitung und Implementierung von Vereinbarungen zwischen relevanten Ministerien (z. B. Innen-, Verteidigungs-, und Bildungsministerium) zur Freigabe und Nutzung von HPC-Ressourcen in Krisenfällen.
    - Entwicklung vereinfachter Prozesse und standardisierter Abläufe, um die Bereitstellung von HPC-Kapazitäten im Bedarfsfall zu beschleunigen.
    - Einrichtung einer zentralen Anlaufstelle für die Koordinierung von Urgent Computing-Anfragen und die schnelle Zuweisung von Rechenressourcen.

1.2 Generische Szenarien und Prototypische Implementationen

Basierend auf den identifizierten Bedarfen sowie Nutzungsmöglichkeiten konnten generelle High-Level Szenarien für den potentiellen Einsatz von HPC, HPDA und KI für Bundes- und Landesbehörden definiert werden. Diese bilden die Grundlage zur Definition der potentiellen Services von CIRCE.
Zur Demonstration der Möglichkeiten und des Nutzens von HPC in der Krisenbewältigung sowie der beispielhaften Evaluation von notwendigen Personal- und Rechnerressourcen bei konkreter Umsetzung der High-Level Szenarien wurden zwei Proof-of-Concept Implementierungen durchgeführt. Diese dienen auch der konkreten Verdeutlichung, wie CIRCE mit Behörden und Ämtern interagieren kann und welche Vorteile daraus entstehen, und bilden die wesentliche Grundlage für die nach Projektende folgende Nutzerinformation.
Im Folgenden wird zunächst die Definition der High-Level Szenarien im Detail erläutert und anschließend die prototypischen Proof-of-Concept Implementierungen vorgestellt. Darauf aufbauend werden am Ende des Abschnitts die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich weiterer, notwendiger, genereller Schritte hin zu operativen CIRCE-Services diskutiert.

1.2.1 High-level Szenarien

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt verdeutlicht wurde, existieren verschiedene Szenarien, in welchen Behörden potentiell ein überdurchschnittlich hohes Maß an Rechenleistung benötigen. Ebenso stellte sich im Verlaufe der Bedarfserhebung heraus, dass Szenarien existieren, in denen ein erhöhter Kompetenzbedarf nicht nur im Bereich der Nutzung von Rechenressourcen, sondern vor allem im Bereich der Modellierung und Simulation sowie der Anwendung von Verfahren der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens besteht.
Wie sich bei der Analyse der identifizierten Szenarien zeigte, ist insbesondere bei Szenarien, in denen die Modellierungsaufgabe nicht abschließend geklärt ist, der Bedarf an Rechenressourcen zunächst nicht zwingend deckungsgleich mit dem gesteigerten Bedarf an Kompetenz die im Bereich der Modellbildung und Implementierung benötigt wird.
Auf Basis der Bedarfserhebung sowie der Erfahrung, die aus den am HLRS durchgeführten Arbeiten gewonnen wurde, kann festgehalten werden, dass zum jetzigen Zeitpunkt bei den meisten Umsetzungen von Simulations- oder KI-Anwendungen zunächst Kompetenzen im Bereich der Modellierung sowie der Implementierung benötigt werden und erst daraus der Bedarf an Rechenressourcen sowie Kompetenz hinsichtlich deren effizienter Verwendung entsteht.

Auf Basis der Bedarfserhebung sowie der Erfahrung, die aus den am HLRS durchgeführten Arbeiten gewonnen wurde, kann festgehalten werden, dass zum jetzigen Zeitpunkt bei den meisten Umsetzungen von Simulations- oder KI-Anwendungen zunächst Kompetenzen im Bereich der Modellierung sowie der Implementierung bzw. Portierung bereits etablierter numerischer Verfahren auf HPC-Systeme benötigt werden und sich erst daraus der Bedarf an Rechenressourcen sowie Kompetenz hinsichtlich deren effizienter Verwendung ergibt.

Aus den vorgenannten Erkenntnissen ergibt sich in der Übersicht die folgende grundlegende Gliederung der identifizierten High-Level-Szenarien.

- *HPC-Ressourceneinsatz* – Durch den Einsatz von HPC-Systemen d.h. hochintegrierter Parallelrechner wird die Berechnungszeit und Ergebnisqualität so weit erhöht, dass quantitative Vorhersagen auf Basis von Simulations- oder KI-Anwendungen ermöglicht werden. Es werden zwei wesentliche Anwendungsfälle unterschieden:
    - **Urgent Computing** - Innerhalb kürzester Zeit muss ein Ergebnis, eine Prognose oder eine Datenauswertung vorliegen. Beispiele hierfür sind:
        - Überflutungsprognosen im Falle eines bevorstehenden Deichbruchs
        - Überflutungsprognosen im Falle von Starkregenereignissen
        - Ausbreitungssimulation von Waldbränden
        - Simulation von Schadstoffausbreitung und -Niederschlag im Havarie-fall
        - Optimierung von Personen- und Fahrzeugströmen im Evakuierungsfall
    - **Monitoring** - Über längere Zeiträume hinweg sind in gewissen Abständen oder zu gewissen Terminen verlässlich Ergebnisse, Prognosen oder Datenaus-wertungen zu liefern. Beispiele hierfür sind:
        - Simulation von Erregerausbreitung in einer Bevölkerung
        - Simulation der Blutspendendynamik in Deutschland
        - Überflutungsprognosen im Falle eines bevorstehenden Deichbruchs
- *HPC-Kompetenz* – Unter diese Kategorie fallen die zum HPC-Ressourceneinsatz notwendigen, vorbereitenden und begleitenden Maßnahmen, die sich in drei High-Level Szenarien gruppieren

lassen:

- **Automation** – Sowohl für Simulationsanwendungen als auch KI-Applikationen aus den beiden vorgenannten High-Level Szenarien ist Automation eine wesentliche Voraussetzung zum produktiven Einsatz. Da Automationsmethodiken verallgemeinert werden können, wurde die Definition eines eigenen High-Level Szenarios gewählt.
- **HPC-Portierung** - Eine bestehende Modellierungsmethode soll durch den Einsatz von HPC und/oder KI beschleunigt und/oder in ihrer Genauigkeit verbessert werden.
- **Modellierung** - Eine Problemstellung soll der Simulation zugänglich gemacht werden, ohne dass bereits ein numerisches Modell vorhanden ist.

1.2.1.1 Urgent Computing

Hierbei handelt es sich per Definition um Szenarien, die kurzfristig den Einsatz von Rechenressourcen notwendig machen. Typisches Beispiel wären z.B. Überflutungssimulationen bei Gefahr eines Dammbruches durch anhaltendes Hochwasser zur Beantwortung der Frage, welche Gebiete bei aktueller Lage und Pegelstand zu evakuieren sind und wo die Einsatzkräfte eigene Fahrzeuge gefahrlos positionieren können. Ein weiteres Beispiel wäre die Ausbreitungssimulation bei Waldbränden, wiederum zur Planung notwendiger Evakuierungen und Positionierung von Einsatzkräften sowie der Planung von Brandschneisen.
Bei diesen Szenarien steht fest, dass durch die Reaktionszeit unterhalb weniger Tage oder im ungünstigsten Falle weniger Stunden, die benötigten Simulations- und Datenaufbereitungsverfahren vor Eintreten des Szenarios bekannt und festgelegt sein müssen. Hinsichtlich der benötigten Basisdaten kann eine weitere Unterteilung des Urgent Computing Szenario vorgenommen werden:

- **Bekannte Basisdaten**

  Dies bedeutet, neben den Simulations- und/oder Datenaufbereitungsverfahren sind auch die zu Grunde liegenden Daten wie, im Falle der genannten Beispiele, der Geländetopologie sowie Besiedlungs- und Vegetationsdaten bereits verfügbar und automatische Methoden zur Beschaffung aktuell benötigter Daten wie z.B. numerischer Wetterprognosen im betrachteten Gebiet oder relevanter Pegeldaten sind eingerichtet.

- **Unbekannte Basisdaten**

  Dies bedeutet, dass ein bereits bekanntes Simulations- und/oder Datenaufbereitungsverfahren auf ein Gebiet angewandt werden soll, in welchem es zuvor nicht zum Einsatz kam. Z.B. soll ein im für den Raum Duisburg validiertes und eingerichtetes Verfahren zur Dammbruch- und Überflutungssimulation auf den Raum Frankfurt (Oder) übertragen werden.

Das Urgent-Computing Szenario mit bekannten Basisdaten ist die einzige Möglichkeit Antwortzeiten innerhalb weniger Stunden zu ermöglichen. Sind die Basisdaten unbekannt ist auch bei bekannten Beschaffungswegen die Realisierung einer Vertrauenswürdigen Simulation oder Datenauswertung nur in Tagen und nicht Stunden realisierbar.

1.2.1.2 Monitoring

In diesem Szenario wird über einen längeren Zeitraum hinweg ein Service zur Verfügung gestellt, der regelmäßig Ergebnisse eines Simulations- oder Datenauswertungsverfahrens zur Verfügung stellt. Prototyp

eines solchen Szenarios ist der am HLRS installierte Prognoseprozess zur Vorhersage der Intensivbettenauslastung in den Bundesländern durch Pandemiepatienten. Eine weitere Problemstellung wäre beispielsweise die Prognose der Verfügbarkeit von Blutkonserven in Deutschland durch Vorhersage der Blutspendendynamik in der Bevölkerung. Prinzipiell gilt festzuhalten, dass sich Urgent Computing Szenarien in vielen Fällen nur auf Basis eines Monitoring Szenarios realisieren lassen da es sich in vielen denkbaren Fällen um stark nichtlineare Problemstellungen handelt, bei denen der aktuelle Zustand von den vorangegangenen Zustandsänderungen abhängt.

1.2.1.3 Automation

Das HPC-Kompetenz Szenario Automation wurde von der HPC-Portierung unterschieden, da sich die beiden Szenarien auf grundlegend verschiedene Kompetenzen stützen die in HPC-Zentren üblicherweise in unterschiedlichen Abteilungen angesiedelt sind. Während bei der HPC-Portierung das Wissen um effiziente Implementierung auf hochparallelen Rechnersystemen und Fragestellungen der Parallelisierung, effektiven Skalierbarkeit und Performanceanalyse relevant sind, wird beim Szenario Automation die Kompetenz in Fragen der Prozessautomation relevant. Hierbei werden tiefgreifende Kenntnisse der externen Netzanbindung des HPC-Systems, der Scheduling- und Zugriffsregeln verschiedener Ressourcen sowie der Dateisysteme benötigt. So lassen sich effizientes Datenhandling, d.h. sog. Staging, Ergebnisbereitstellung und -Verteilung, sowie automatische Anwendungsausführung und Fehlerbehandlung realisieren.

1.2.1.4 HPC-Portierung

Dieses Szenario stimmt im Wesentlichen mit der klassischen Anwenderunterstützung im HPC-Zentrum überein. Es besteht bereits ein numerisches Simulationsmodel oder eine Datenauswertung, welche für ein gegebenes Anwendungsszenario konkrete Ergebnisse liefert. Das numerische Model weißt jedoch nicht die Antwortzeit auf, welche im Falle des Urgent Computing die Erstellung einer Prognose oder Auswertung vor Eintritt des Ereignisses erlaubt oder im Falle des Monitorings die Einhaltung des geforderten Reporting Intervalls zulässt. Die Applikation muss auf den hochintegrierten, parallelen Rechenressourcen eines HPC-Zentrums zur Ausführung gebracht werden.

1.2.1.5 Modellierung

In einem solchen Szenario ist zunächst nur klar, dass mit Hilfe von Simulationen oder Verfahren der künstlichen Intelligenz bzw. des maschinellen Lernens Vorteile in einer Gefahren- oder Notfallsituation gewonnen werden können. Das konkret anzuwendende Verfahren ist jedoch noch nicht bekannt und es ist auch nicht klar, ob das anzuwendende Verfahren bei effizienter Umsetzung überhaupt HPC-Ressourcen benötigt oder nicht. In einem solchen Fall, der bei der Bedarfserhebung relativ häufig auftrat kann das HPC-Zentrum nicht alleine die Unterstützungsleistung bieten da in einem solchen Fall zunächst die Kompetenz von Fachexperten aus der Forschung oder aber von kommerziellen Dienstleistern benötigt wird. Hier übernimmt das HPC-Zentrum im Wesentlich die Rolle eines Vermittlers, der aufgrund seiner Einbindung in zahlreiche Anwender-Communities die bereits HPC-Ressourcen des Zentrums nutzen, einen Kontakt zu einer Einrichtung bzw. einem Anbieter der benötigten Modellierungskompetenz herstellen kann.

1.2.2 Proof-of-Concept Implementierungen

Im Rahmen des Projektes CIRCE konnten zwei Proof-of-Concept Implementierungen realisiert bzw. untersucht werden. Es handelte sich hierbei um

1. agentenbasierte Simulation am Anwendungsbeispiel der Erregerausbreitung in einer Bevölkerung und
2. Überflutungssimulationen am Anwendungsbeispiel einer Deichbruchsimulation

Die Implementierungen wurden auf Basis der Bedarfsanalyse ausgewählt. Die Auswahlkriterien beinhalteten neben den formulierten Bedarfen und der Interessensbekundung einer Zusammenarbeit seitens der beteiligten Behörden:

- die Anwendbarkeit von HPC-Methoden
- die Repräsentation der definierten High-level Szenarien
- die Verfügbarkeit der Daten
- die Übertragbarkeit der expliziten Implementierung auf weitere Anwendungen

1.2.2.1 Agentenbasierte Simulation

In dieser ausgewählten Proof-of-Concept Implementierung, die auf der agentenbasierten Simulationsmethode basiert, wurde hinsichtlich der Übertragbarkeit expliziter Implementierung auf weitere Anwendungen gearbeitet. Hierzu wurde auf dem Softwarepaket CoSMic aufgesetzt. Bei CoSMic handelt es sich um die Implementierung eines agentenbasierten Models mit einem erweiterten „Susceptible Exposed Infected Recovered“ (SEIR) Compartment Ansatz, welches zu Projektbeginn als Implementierung in der Programmiersprache R vorlag. Bei agentenbasierten Simulationen werden für jedes Individuum einer Population gewisse relevante Eigenschaften definiert. Diese Eigenschaften sind üblicherweise konstant oder können sich mit der Zeit ändern. Zusätzlich werden für jedes Individuum sogenannte Zustände definiert, die es annehmen kann und die sich nach festgelegten Regeln ändern können. Die Zustandsänderungen können auf Basis der Eigenschaften des Individuums mit der Zeit oder auf Basis seiner Interaktion mit der Umgebung erfolgen.

Die HPC-Portierung auf CPU-basierte Systeme des agentenbasierten Simulationsprogrammes CoSMic wurde im Projektzeitraum vervollständigt und es wurde begonnen wesentliche Erkenntnisse im Bezug zu den benötigten Rechenressourcen im Verhältnis zur angewandten Modellkomplexität zu extrahieren. Hinsichtlich der Verallgemeinerung des Prozesses, der bei der Modell- und Anwendungsentwicklung sowie dem produktiven Modellbetrieb von agentenbasierten Modellen zu einer für die nutzende Behörde transparenten und nachvollziehbaren Prognoseerstellung führt, lag der Fokus auf der Abstraktion der agentenbasierten Methode auf Basis allgemein erklärbarer algorithmischer Teilschritte ohne dabei jedoch die performante Ausführung auf HPC-ressourcen zu vernachlässigen bzw. zu beeinträchtigen. Ein weiteres Arbeitsgebiet hinsichtlich der erklärbaren Modellentwicklung und Prognoseerstellung war die Untersuchung der Prognosequalität des CoSMic Modells im Bezug zur angewandten Modellkomplexität. Gemeinsam mit dem Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB) wurde nach dem Ansatz „How Simple is too Simple“ das Modell schrittweise vereinfacht. Ziel war es, die Auswirkungen auf die Prognosequalität zu analysieren und so eine Grundlage für das Vertrauen in agentenbasierte Modelle zu schaffen. Das Ziel der Arbeiten zur Übertragung des Ansatzes auf weitere Anwendungsszenarien ist es, zu untersuchen, wie sich hochaufgelöste agentenbasierte Modelle – die 100 Prozent der bundesdeutschen Bevölkerung abbilden und parallele HPC-Ressourcen nutzen – den Prognosekonsumenten transparent erläutern lassen.

Auf Basis der durchgeführten Arbeiten konnten die folgenden, allgemeinen fünf Schritte zur Portierung eines agentenbasierten Modellierungsproblems auf HPC-Ressourcen formuliert werden:

1. **Portierung der ursprünglichen Modellimplementierung auf HPC-Ressourcen**
   Ziel dieses Schrittes ist es herauszufinden, wie die Effizienz der Originalimplementierung ist, welche Performance-Bottlenecks bestehen und ob bereits mit einfachen Mitteln Performanceverbesserungen erzielt werden können. Im Falle des CoSMic Modells konnten beispielsweise wesentliche Laufzeitverbesserungen durch die Verwendung effizienterer R-Bibliotheken erzielt werden ohne Veränderungen an der eigentlichen Algorithmik der Implementierung vornehmen zu müssen. Des Weiteren ermöglichen HPC-Ressourcen mit relativ geringem Aufwand die mehrfache parallele Ausführung auch seriell implementierter Modelle. Dies bringt durch den inhärent nicht deterministischen Charakter agentenbasierter Modelle eine wesentliche Verkürzung der Ausführungszeit gegenüber der seriellen Abarbeitung einzelner Modellausführungen. Die Wirkung dieses Schrittes,

der bei erster Betrachtung als nicht notwendige Beibehaltung einer unter Umständen ineffizienten Anwendung erscheint, ist der schrittweise Vertrauensaufbau in die Nutzung von HPC-Ressourcen. Es wird zunächst demonstriert wie das die vorhandene Implementierung mit Hilfe von HPC-Ressourcen beschleunigt werden kann und welche Möglichkeiten sich dadurch eröffnen. Die Modellentwickler können weiter dessen Funktionsweise vollständig nachvollziehen und die Ergebnisse eins zu eins mit den Ihnen bekannten vergleichen. Würde direkt auch die Implementierung geändert, d.h. auf eine hocheffiziente aber dem Modellentwickler unbekannte Programmiersprache übergegangen, würde auch das Verständnis für das Modell direkt verloren gehen und so das Vertrauen in die Ergebnisqualität nachhaltig gestört.

2. **Variation der Agentenanzahl**
   Im Gegensatz zur wissenschaftlichen Verwendung agentenbasierter Modelle, die oft zur Analyse prinzipiellen Systemverhaltens eingesetzt werden, ist bei deren Einsatz zur stabilen Prognose realistischer Kenngrößen eines Systems die Anzahl der modellierten Individuen einer Population ein wesentlicher Faktor. Aus diesem Grund ist es unerlässlich als zweiten Schritt eine Studie zum Verhalten der Modellergebnisse bei Variation der modellierten Agentenanzahl durchzuführen.

3. **Nutzerreview**
   Gemeinsam mit dem Nutzer und falls dieser nicht mit dem ursprünglichen Modellentwickler übereinstimmt, dem Modellentwickler, wird ein Review der Analysen durchgeführt und weitere Schritte festgelegt. Bei der Entwicklung von CoSMic wurde hier beispielsweise entschieden, zunächst die originale R-Implementierung des Modells im produktiven Einsatz zu verwenden und parallel eine effiziente Re-Implementierung in einer kompilierten Programmiersprache durchzuführen und deren Ergebnisse fortlaufend gegen die der Originalimplementierung zu validieren bis die Sicherheit einer korrekten Implementierung besteht und diese die Originalimplementierung ablösen kann. Auch an diesem Schritt zeigt sich die Notwendigkeit, die Originalimplementierung des Modells zunächst beizubehalten. Andernfalls wäre eine Diskussion des Modellverhaltens nur auf Basis der Ergebnisse möglich und nicht auch auf Basis algorithmischer Details. Im Rahmen der Überführung des CoSMic Modells in Produktion hat sich die Beibehaltung dieser Möglichkeit als wesentlich zur Vertrauensbildung zwischen nutzender Behörde und dem die Anwendung ausführendem HPC-Zentrum erwiesen.

4. **Implementierung der Prozessautomation**
   Die Erfahrung aus der Prozessautomation für das CoSMic Modell zeigt, dass dieser Schritt zum einen Wissen um die Funktionsweisen der im HPC-Zentrum verfügbaren Rechen- und Speichersysteme sowie den zwischen diesen verfügbaren Datentransfermechanismen benötigt, zum anderen aber auch die Implementierung von organisatorischen Vorgehensweisen erfordert, die in der benötigten Form in einem HPC-Zentrum zum aktuellen Zeitpunkt nicht vorausgesetzt werden können. Hier ist zum Beispiel die Realisierung von automatischen Datentransfers aus externen Quellen auf die direkt an die HPC-Systeme angebundenen Speichersysteme zu nennen. So stellt dies zwar technisch kein wesentliches Problem der Realisierung dar, um dies jedoch stabil und auch aus Sicht der IT-Security technisch korrekt zu lösen, war die Einführung eines Data-Mover Service notwendig. Gleiches gilt für die Ergebnispublikation. So müssen zwischen der nutzenden Behörde und dem HPC-Zentrum der Prozess der Datenveröffentlichung abgestimmt werden, sodass der teaminterne Review-Prozess zu den abgestimmten Zeitpunkten zuverlässig ablaufen kann.

5. **Effizienzsteigerung und Produktion**
   Je nachdem wie zeitkritisch die Lösung der Aufgabenstellung ist, kann es wie im Falle des CoSMic Modells notwendig sein die Produktion auch mit einem ineffizienten aber dafür validierten Code aufzunehmen wobei eingesparte Entwicklungszeit durch den erhöhten Einsatz von HPC-Ressourcen erkauft wird. In jedem Fall ist es notwendig die Effizienzsteigerung des Lösungsansatzes iterativ und wiederum begleitet von einem kontinuierlichen Review-Prozess unter Beteiligung der Nutzer durchzuführen, um das Vertrauen der Nutzer in die Gültigkeit der Implementierung zu erhalten.

Falls die Umsetzung der Produktion nicht zeitkritisch ist, sollten unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten die Effizienzsteigerung und Validierung auf jeden Fall vor der Aufnahme der Produktion erfolgen.

1.2.2.2 Überflutungssimulation

Die Aufgabenstellung im High-Level Szenario *Urgent Computing* lautet, einen Simulationsservice aufzubauen, der innerhalb weniger Stunden unter Einbeziehung aktueller Basisdaten ein für den Anwender verwertbares Ergebnis liefert. Im umgesetzten Anwendungsfall der Deichbruchsimulation im Stadtgebiet Duisburg bedeutet dies, dass auf Grundlage aktuelle Basisdaten zur Hochwasserlage, der Geländegeometrie sowie einer, durch den Servicenutzer zu spezifizierender Lokation eines Deichbruches, Simulationsergebnisse erzeugt werden, die Planungen bezüglich der folgenden vier Fragestellungen zulassen:

1. Zu evakuierende Gebiete
2. Sichere Aufstell- und Rückzugsflächen für Einsatzfahrzuge und Hilfskräfte
3. Zeitlicher Verlauf der Überflutung
4. Wirksamkeit von Sperrmaßnahmen an Unterführungen zur Hemmung des Überflutungsfortschritts

Zur Demonstration der Vorgehensweisen und Entwicklung der Proof-of-Concept Implementierung wurde in Abstimmung mit der Feuerwehr Duisburg folgendes Szenario aufgebaut:

- Es wird ein virtueller Bruch eines Hochwasserbauwerks im Bereich Laar/Beeckerwert simuliert.
- Wasserstand und Durchflusswerte des Rheins werden den am 31.01.1995 gemessenen Werten angepasst, d.h einem Pegelstand von 11,66 m und einem Durchfluss von 11600 m^3/s am Pegel Ruhrort.
- Das Modell wird auf Basis des digitalen Geländemodells NRW mit einer Gitterweite von 1m (DGM1) sowie dem 3D Gebäudemodell NRW (LoD2) und dem Rhein Tiefenatlas aufgebaut. Als weitere Referenz wird das normalisierte Digitale Oberflächenmodell NW (nDOM1) mit einer Gitterweite von 1m herangezogen.

Im Projektzeitraum wurde eine Machbarkeitsstudie abgeschlossen, welche die notwendigen Voraussetzungen ermittelte, die zur Beantwortung der oben genannten Fragestellungen notwendig sind und es wurde eine Proof-of-Concept Implementierung auf Basis des Simulationsprogrammpaketes SERGHEI[1] erstellt.

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie wurden am oben erwähnten CIRCE-Workshop sowie am 11. Stuttgarter Runden Tisch „Forschung im Bevölkerungsschutz“[2] (12. November 2024) vorgestellt und durchgehend positiv aufgenommen. Mit dem Land Brandenburg wurde bezüglich der Implementierung von Überflutungsprognosen auf Basis der in Duisburg angewandten Vorgehensweise im Bereich der Elbe und der Oder diskutiert. Mit dem Regierungspräsidium Stuttgart wurde auf Basis der gewonnen Erkenntnisse ein Folgeprojekt zur schnellen Berechnung von Hochwassergefahrenkarten aufgesetzt, welches in das High-Level Szenario *HPC-Portierung* zu verorten ist. Der wesentliche nächste Schritt wäre die Untersuchung wie die Übertragung der erzielten Ergebnisse in vor Ort verwendbare Datenrepräsentationen, beispielsweise innerhalb eines WebGIS Systems geschehen kann, welche Übertragungswege zu wählen sind und wie die Kommunikation der Prognosequalitäten an die Prognoseempfänger im Vorfeld organisiert werden kann.

[1] https://gitlab.com/serghei-model

[2] https://www.muse.iao.fraunhofer.de/de/projekte/stuttgarter-runder-tisch-forschung-im-bevoelkerungsschutz.html

2. Vergleich des Vorhabenstands mit der ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung

Folgendes Ereignisse ergab Veränderungen in der Planung:

- Durch die deutlich verspäteten Stellenbesetzungen entstanden Minderausgaben an Personalkosten.
  Es wurden im Projektzeitraum entgegen der avisierten Erstellung von bis zu drei prototypischen Implementationen, nur zwei vollständig realisiert. Das prototypische Szenario „Blutspendendynamik“ wurde zugunsten des deutlich weiterentwickelten und auf breiter Basis nachgefragten Szenarios Überflutungssimulation zurückgestellt.
- Weggang einer Mitarbeiterin zum 31. Oktober 2024. Es konnte keine Nachbesetzung stattfinden, da das Projekt sechs Monate später endete.

3. Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Berichtszeitraums

Aus Sicht des HLRS sind alle Ziele des Vorhabens erreicht.

4. Relevante Ergebnisse von dritter Seite

Aktuell sind keine relevanten Ergebnisse von dritter Seite bekannt, die den Projektfahrplan maßgeblich beeinflussten.

5. Vorgesehene Änderungen in der Zielsetzung des Vorhabens

Es sind keine Änderungen erkenntlich und erforderlich gewesen.

Referenzen

[1] https://gitlab.com/serghei-model
[2] https://www.muse.iao.fraunhofer.de/de/projekte/stuttgarter-runder-tisch-forschung-im-bevoelkerungsschutz.html