

Zusammenfassung der Forschungsarbeiten

Josef Ressel Zentrum für angewandtes wissenschaftliches Rechnen in Energie, Finanzwirtschaft und Logistik

27. Januar 2020

FH Vorarlberg, 6850 Dornbirn, Austria

Zentrumsleiter:

Dr. Jörg Petrasch

Dr.-Ing. Steffen Finck

Industrie Partner:

Gebrüder Weiss

Hypo Vorarlberg Bank AG

infeo GmbH

myPEX

Vorarlberger Kraftwerke AG

Vorarlberger Landesversicherung

1 Einleitung

Das Josef Ressel Zentrum für angewandtes wissenschaftliches Rechnen in Energie, Finanzwirtschaft und Logistik forscht an der Entwicklung von Methoden zur Simulation und Optimierung komplexer Problemstellungen aus den drei Anwendungsbereichen. Dabei werden zwei Bereiche schwerpunktmäßig betrachtet: (1) Lösungen aus dem akademischen Bereich sind häufig flexibel und vielfältig, müssen aber für den Einsatz in realen Problemen häufig hoch-skaliert und in entsprechende IT Umgebungen integriert werden. (2) Lösungen aus dem industriellen Bereich sind oft sehr spezialisiert und benötigen daher Zugang zu alternativen Methoden um zusätzliche Lösungsmöglichkeiten zu integrieren. Um diese Ziele zu erreichen entwickeln die Forscher des Josef Ressel Zentrums eine IT Umgebung, das Distributed Execution Framework (DEF), für paralleles und verteiltes Rechnen. Das DEF bietet Zugang zu unterschiedlichen Verfahren der Optimierung und Simulation für die drei Anwendungsbereiche.

Während die Entwicklung des DEF eine themenübergreifende Rolle einnimmt, sind die Arbeiten in den Anwendungsbereichen spezialisiert und erfolgen in Kooperation mit verschiedenen Industriepartnern. Die Industriepartner im Josef Ressel Zentrum für angewandtes wissenschaftliches Rechnen sind:

- Gebrüder Weiss,
- Hypo Vorarlberg Bank AG,
- infeo,
- myPEX,
- Vorarlberger Kraftwerke AG und
- Vorarlberger Landesversicherung.

Um entsprechende Experten aus den unterschiedlichen Anwendungsgebieten zusammenzubringen, arbeiten im Josef Ressel Zentrum Forscher aus den Forschungszentren Energie und Prozess- und Produkt-Engineering der Fachhochschule Vorarlberg zusammen. Diese Zusammenarbeit soll zusätzlich den Austausch der Forscher untereinander und mit den Industriepartnern fördern.

Im folgenden werden die Ziele und die Ergebnisse der fünfjährigen Laufzeit (2015 bis 2019) über die einzelnen Bereiche des Josef Ressel Zentrums vorgestellt. In Abschnitt 2 wird das DEF mit seinen unterliegenden Konzepten näher beschrieben. Anschließend werden in Abschnitt 3 die Schwerpunktthemen im Finanzbereich vorgestellt und in Abschnitt 4 werden Ansätze für autonomes Demand Side Management untersucht. Abschließend werden im Abschnitt 5 Algorithmen und Modellierungsansätze für die Themen Abfallentsorgung und Zustellung von Waren betrachtet.

2 Distributed Execution Framework

Die zentrale Aufgabe des Josef Ressel Zentrums ist es, effiziente Bibliotheksroutinen für Auswertungen aus unterschiedlichen Domänen (Energie, Finanz, Logistik) anwendungsübergreifend zur Verfügung zu stellen. Das DEF (Distributed Execution Framework) [4] stellt genau diese Funktionalität bereit. Es erlaubt den Entwicklern von Bibliotheksroutinen, die von ihnen implementierten Verfahren anderen Nutzern des DEF zur Verfügung zu stellen. Die Routinen können anschließend von den Nutzern in ihre Anwendungen eingebunden und auf dem DEF ausgeführt werden. Um den Nutzern zu ermöglichen, für eine bestimmte Problemstellung geeignete Routinen aus der Bibliothek zu finden, stellt das DEF eine Taxonomie über die Eigenschaften der den Routinen zugrunde liegenden Algorithmen zur Verfügung.

Ein wesentlicher Punkt, der für die Akzeptanz des DEF bei Nutzern und Routinenentwicklern wichtig ist, ist die Unabhängigkeit von der Programmiersprache und der Computer-Plattform. Die Routinenentwickler können ihre Routinen in einer beliebigen Programmiersprache implementieren und die DEF-Nutzer können ihre Anwendungen ebenfalls in einer beliebigen, von den darin verwendeten Bibliotheksroutinen unabhängigen Programmiersprache schreiben. Die DEF-Nutzer müssen nicht einmal wissen, in welcher Programmiersprache die von ihnen in ihren Anwendungen aufgerufenen Bibliotheksroutinen entwickelt worden sind. Die Aufrufe der Routinen erfolgt aus der Applikation heraus über eine für das DEF entwickelte API und das DEF, das über eine Webservice- Schnittstelle an die Client-Applikation angebunden ist, kümmert sich um die Abarbeitung der Bibliotheksroutinenaufrufe.

Die zweite wichtige Eigenschaft des DEF ist die Unterstützung einer parallelisierten Abarbeitung der DEF-Anwendungen. Dies erfolgt über einfache Anweisungen im Anwendungsprogramm des Nutzers, wodurch z.B. die Daten bereitgestellt werden können und Tasks für eine parallelisierte Verarbeitung definiert werden können. Das DEF erlaubt das Erzeugen von Clustern mit einer beliebigen Anzahl an Worker-Knoten. Dazu setzt das DEF auf Cloud-Technologien, die es ermöglichen, die Cluster sowohl innerhalb als auch außerhalb einer Institution zu betreiben. Zur Laufzeit schließlich verteilt das DEF die Ausführung der Bibliotheksroutinen aus der Anwendung auf die in einem Cluster bereitgestellten Worker-Instanzen. Der Zugriff auf die Ergebnisse der Anwendung kann aus der Anwendung heraus oder über ein Web-Frontend erfolgen.

Im Dezember 2019 wurde das DEF als Open Source Software veröffentlicht [1, 3].

3 Anwendungsbereich Finanzwirtschaft

Ein zentrales Thema in vielen Anwendungen aus dem Bereich Finanzwirtschaft beschäftigt sich mit der Bestimmung des Risiko. Zur Bestimmung des Risikos, bzw. entsprechender Kennzahlen (Risikomaße), werden „Szenarien“ simuliert und anschließend unter Anwendung statistischer Methoden die relevanten Risikomaße bestimmt. Diese Methodik lässt sich sowohl für

die Bewertung eines Portfolios von verschiedenen Finanzinstrumenten als auch für Stresstests von Finanzinstituten (Banken und Versicherungen) anwenden.

Im Josef Ressel Zentrum haben die Forscher diese Methodik für drei verschiedene Anwendungsfälle angewendet und entsprechend adaptiert. Neben der Berechnung der Risiko- maße, wurde auch die Bestimmung der Szenarien untersucht. Szenarien sind zum einen Abschätzungen über zukünftige Entwicklungen, d.h. sie beinhalten eine gewisse Modellun- sicherheit, welche wiederum ein Einfluss auf nachfolgende Ergebnisse hat [2]. Zum anderen können Szenarien auf unterschiedliche Arten generiert werden.

In Zusammenarbeit mit der Hypo Vorarlberg Bank AG war eine zentrale Fragestellung, wie man untersuchen kann, ob die Bank in den nächsten Jahren wirtschaftlich stabil operie- ren kann. Eine robuste Risikosteuerung, unter der Unsicherheit über den Zustand oder das Verhalten der Umgebung, stellt Banken vor eine große Herausforderung. Zusätzlich steigen die Anforderungen an das Risikocontrolling durch fortlaufende Erweiterungen der regulatori- schen Anforderungen. In einem ersten Schritt wurde dabei ein umfassendes Modell der Bank entwickelt. Dabei werden unter Planungsannahmen die Bilanz, die GuV und die wichtigsten Kennzahlen der Bank simuliert. Damit war es möglich verschiedene Krisen und entsprechen- de Gegenmaßnahmen, abgebildet als Expertenszenarien, über 5 Jahre zu simulieren. Diese Simulation ist schon seit mehreren Jahren als Stresstestechner in der Hypo Vorarlberg im Einsatz.

Für die Identifizierung von wesentlichen Risikofaktoren wurde eine Weiterentwicklung durchgeführt, um stochastische Stressszenarien simulieren zu können mit einer anschließenden Worst-Case-Suche. Die Szenarien können lokal generiert werden und die Lösung bietet ap- plikatorisch hohe Flexibilität hinsichtlich Input und Verarbeitung der Zeitreihen. Als Zeitrei- henmodell kommt ein Vektorautoregressives Modell (VAR-Modell) zum Einsatz, welches aus historischen Werten der Risikoparameter gelernt wird. Die Worst-Case-Suche, d.h. das Be- stimmen des Szenarios, welches zu einer besonders kritischen Situation für die Bank führt, wurde über eine Optimierung mit einer Evolutionsstrategie realisiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Optimierung zu deutlich verbesserten Ergebnissen kommt als eine Auswertung von zufällig simulierten Szenarien. Eine entsprechende Studie ist in [5] veröffentlicht. Um die ho- hen Anforderungen an die Rechenleistungen erfüllen zu können, wurde in der Hypo Vorarlberg Umgebung das DEF installiert zur Verkürzung der Laufzeit des Stresstestrechners.

Eine ähnliche Fragestellung für einen anderen Anwendungsfall wurde mit myPEX bearbei- tet. Anstatt einer Bank steht hier ein Portfolio von unterschiedlichen Finanzprodukten (Anla- gen, Anleihen, Aktien, Barmittel, etc.) im Mittelpunkt. Die Größe eines Portfolios kann dabei mehrere Tausende Einzelpositionen mit unterschiedlichen Fälligkeiten haben. Das Ziel ist die Bestimmung verschiedener Kennzahlen welche eine Bewertung des Risikos des Portfolios er- lauben. Eine Herausforderung ist dabei die richtige Wahl und Kombination der Bewertungs- funktionen (analytischen Funktionen, Monte-Carlo-Simulationen, Binominal-Bäume, etc.) für

die einzelnen Finanzprodukte. Des Weiteren wurden Verfahren für Stresstests einzelner Risikoparameter implementiert und ein Optimierungsverfahren (Worst-Case-Finder) entwickelt. Ziel der Optimierung ist die Bestimmung des plausiblen Szenarios, welches zum schlechtesten Ergebnis für ein Portfolio führt. Die entwickelte Software, bestehend aus den Verfahren und entsprechenden Schnittstellen, ist bei myPEX implementiert und wird dort eingesetzt.

Der dritte Schwerpunkt der Arbeiten im Finanzbereich konzentrierte sich auf das Risiko im Versicherungsgeschäft, im Speziellen wie sichergestellt werden kann, dass zukünftige Verbindlichkeiten der Versicherung an die Versicherungsnehmer durch heutige Anlagen abgesichert werden können. In Zusammenarbeit mit der Vorarlberger Landesversicherung wurde dafür eine Methodik für das Asset-Liability Management entwickelt. Ziel ist hierbei das Wechselspiel von Anlagen und Verbindlichkeiten für die nächsten 20 Jahre zu simulieren und entsprechende Risikomaße zu untersuchen. Eine Herausforderung war dabei die zukünftige Bewertung des Immobilienportfolios der Versicherung. Hier wurden verschiedene Ansätze untersucht und verglichen mit dem Ergebnis das ein Modell basierend auf den Dynamiken des Immobilienpreises und des Mietpreises umgesetzt wurde. Ebenso konnte ein Optimierungsansatz mittels eines Genetischen Algorithmus für die Bestimmung des optimalen Portfolios in das Asset-Liability Management integriert werden. Der erstellte Prototyp wird derzeit bei der Vorarlberger Landesversicherung getestet.

4 Anwendungsbereich Energie

Die elektrische Energieversorgung und -wirtschaft befindet sich im Wandel: Die Digitalisierung auf der einen Seite, sowie die Liberalisierung der Energiemärkte und der voranschreitende Ausbau regenerativer Energieerzeugung in Europa auf der anderen Seite, fördern und bedingen dabei die Entwicklung neuer Technologien und Geschäftsmodelle. Im Zuge dieser Entwicklung findet Demand Side Management (DSM) seit den 2010er Jahren ein stark wachsendes Interesse. Schon in den 1970er Jahren wurde erstmals die Problemstellung der Adaption des Verbrauchs an die Erzeugung formuliert. Die Fülle der möglichen Konzepte als Antwort auf diese werden unter dem Begriff DSM zusammengefasst. DSM beinhaltet eine Vielzahl technischer und ökonomischer Steuerungsmechanismen, von den permanenten Energieeffizienzmaßnahmen wie Gerätetausch, über zeitvariable Energietarife, bis hin zu Steuer- und Regelungskonzepten für Energiespeichersysteme.

Die Forscher im Bereich Energie haben sich vorwiegend mit der Entwicklung von autonomen Algorithmen für dezentrale Energiespeichersysteme befasst. Der dabei verfolgte Ansatz wird als autonomes DSM (ADSM) bezeichnet. Dabei wird basierend auf einer Anreizfunktion die Speicherbewirtschaftung autonom optimiert. Daraus ergibt sich eine Vielzahl ergiebiger wissenschaftlicher Themenfelder und Fragestellungen, die im Rahmen der fünfjährigen Laufzeit des Josef Ressel Zentrums behandelt wurden, die im Folgenden kurz zusammengefasst

werden sollen.

Elektrische Warmwasserspeicher weisen eine Jahrzehnte-lange Geschichte als verschiebbare Last auf. Durch den klassischen Nacht-Betrieb hat sich das Kapazität-zu-Leistungsverhältnis dahingehend entwickelt, dass diese sich sehr gut für die Lastverschiebung über den Tag hinweg eignen. Sie boten die Blaupause zur Entwicklung der Methode, die später auch auf elektrochemische Speicher übertragen wurde. Im Rahmen des Ressel Zentrums wurde eine Dissertation [9] zu ADSM mit elektrisch betriebenen Warmwasserspeichern abgeschlossen. Diese geht im Besonderen auf die Möglichkeit ein, mittels möglichst reduzierter Messtechnik und Rechenkapazitäten den aktuellen Systemzustand zu schätzen. Dadurch wird es möglich, den Speicher auch im Retrofit für die optimale Einsatzplanung mittels ADSM zu ertüchtigen.

Stationäre Batteriespeicher stellen durch ihre rasant zunehmende Verwendung (auch aufgrund der Elektromobilität) ein großes zukünftiges Potenzial für DSM dar. Im Rahmen einer Dissertation [6] wurde ADSM stationärer Batteriespeicher als 2nd use case für ausgemusterte Batterien aus Elektrofahrzeugen untersucht. Algorithmen zur autonomen Einsatzoptimierung anhand Echtzeit-Marktpreisen wurde entwickelt und gemeinsam mit der Vorarlberger Kraftwerke AG (VKW) auf einem realen Testsystem umgesetzt.

Um die Auswirkungen der autonomen Algorithmen auf die elektrischen Niederspannungsnetze zu untersuchen, wurde im Rahmen einer Masterarbeit [12] eine Software zur Netzsimulation entwickelt. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Parallelisierbarkeit über das DEF gerichtet. Die Netzsimulation lies es zu, ADSM stationärer Speichersysteme im Netz hinsichtlich ihrer Netzdienlichkeit zu untersuchen [7]. Die Ergebnisse konnten die enormen Nachteile von autonomen Systemen bei ungünstiger Wahl von Anreizfunktionen aufzeigen. So konnten beispielsweise überregionale Preise als nachteilig für die Netzinfrastruktur identifiziert werden. Diese Erkenntnis bestätigte sich ebenso für den konkreten Fall von Ladelastmanagement von Elektrofahrzeugen via ADSM [8]. Sie führte zur Forschungsfrage nach besser geeigneten Anreizfunktionen zur Inzentivierung des Betriebs autonomer Energiespeichersysteme.

Als mögliche Alternative zur Kostenoptimierung wurde fortan die Möglichkeit untersucht, einem vorgegebenem Leistungssignal unter Ausnutzung der Speicherflexibilität möglichst optimal zu folgen. Der Vorteil gegenüber der Kostenoptimierung liegt dabei in der vollen Ausschöpfung der zur Verfügung stehenden Flexibilität [11]. Trotz der verbesserten Steuerbarkeit der autonomen Lasten, bleibt das dezentral zu lösende Optimierungsproblem linear und damit mit geringen Kapazitäten vor Ort techno-ökonomisch umsetzbar.

Insgesamt haben die Arbeiten gezeigt, dass ADSM als Konzept eine mittelfristige Lösung zur Einbindung von dezentralen Energiespeichern zur Verbraucherflexibilisierung auf dem Weg zum Smart Grid bieten kann. In einem wissenschaftlichen Überblicksartikel wurden die entstandenen Arbeiten zusammengefasst [10].

Neben den bisher aufgeführten Arbeiten, wurden in Zusammenarbeit mit der VKW auf aktuelle und praxisrelevante Fragestellungen des Lastmanagements eingegangen. Hier sei die

Implementierung einer dynamischen I(U) Regelung von Elektrofahrzeugen in der Netzsimulation genannt. Diese wird derzeit intensiv von Verteilnetzbetreibern als Alternative zu aufwändigeren Regelkonzepten der Ladeleistung diskutiert und kann damit auf realen Netzabschnitten des lokalen Netzbetreibers Vorarlberger Energienetze GmbH getestet werden. Ebenso im Bereich der Elektromobilität wurde das Lastmanagement kleiner Flotten von Elektrofahrzeugen untersucht und prädiktive und einfache Regelmechanismen in Simulationsstudien verglichen. Die entwickelten Algorithmen werden derzeit für ein Pilotprojekt der VKW in einem Wohnbau vorbereitet, das sich bereits in der Umsetzung befinden. Ziel ist es hierbei als Betreiber der Ladesäulen, einer PV Anlage und einer stationären Batterie eine möglichst ökonomische Bereitstellung der Energie für die Ladung der Elektrofahrzeuge zur Verfügung zu stellen.

5 Anwendungsbereich Logistik

In der ersten Hälfte des Josef Ressel Zentrums haben wir in Zusammenarbeit mit infeo und Gebrüder Weiss verschiedene Problemstellungen aus dem Logistikbereich untersucht. Die entsprechenden Problemstellungen sind dabei spezielle Erweiterungen des klassischen Rundreiseproblems, einem kombinatorischen Optimierungsproblems. Die Herausforderungen waren dabei: (1) Modellierung des realen Anwendungsproblems und (2) Entwicklung bzw. Anpassung von Algorithmen zur Lösung. Dabei soll bei (1) eine möglichst große Anzahl verschiedener Problemstellungen mit einem einheitlichen Ansatz modellierbar sein. Entsprechende Algorithmen für (2) arbeiten nach einem ähnlichen Prinzip: Ausgehend von einer zulässigen Lösung (modelliert als ein Graph) wird ein Teil der Lösung entfernt (z.B. zufällig ausgewählte Kanten oder Knoten des Graphen) und an neuen Stellen eingefügt. Die Laufzeit der Algorithmen hängt dabei stark von der Überprüfung, ob eine neue Lösung (nach entfernen und neu einfügen von Knoten/Kanten) zulässig ist, ab. Von daher ist ein Schwerpunkt der Algorithmenentwicklung die Steigerung der Effizienz dieser Überprüfung.

In Zusammenarbeit mit infeo wurde eine Routenoptimierung für die Hausmüllabfuhr entwickelt. Als Erweiterung zu existierenden Ansätzen wurden die Kapazitäten der entsprechenden Fahrzeuge und optionale Fahrten zur Entleerung der Fahrzeuge mitberücksichtigt. Des Weiteren wurde ein Modellierungsprozess erstellt, der aus einer Spezifizierung der Kanten (z.B. ein Strassenzug) ein Optimierungsproblem für die Knoten (z.B. eine Strassenkreuzung) des Graphen erzeugt. Eine Auswertung eines ersten Prototypen zeigte, daß weitere Verbesserungen durch effizientere Berechnungen und die Berücksichtigung der unsicheren Abholmengen möglich sind.

Das Anwendungsproblem von Gebrüder Weiss unterscheidet sich von der Hausmüllabfuhr in folgenden Punkten: (1) Anstatt von Straßenzügen (Kanten eines Graphen) sind jetzt Adressen (Knoten eines Graphen) spezifiziert, (2) es können sowohl Lieferungen als auch Abholungen

durchgeführt werden und (3) es existieren mehrere Zeitfenster um eine Lieferung termingerecht zu erledigen. Um diese Problemstellung zu modellieren, wurde das Domänenmodell, welche bereits für die Problemstellung von infoe entwickelt wurde, entsprechend erweitert. Das Ergebnis war ein flexibles Domänenmodell, welches eine Vielzahl verschiedener Routenprobleme mit entsprechenden Nebenbedingungen modellieren kann. Um verschiedene Algorithmen zur Routenoptimierung einsetzen zu können, wurde eine generische Schnittstelle zum Aufruf eines Algorithmus unter Einbeziehung des Domänenmodells entworfen. Zum Testen wurden anschließend reale Daten von Gebrüder Weiss benutzt.

Aufgrund der Fülle an Varianten des Rundreiseproblems und an Algorithmen, wurde eine Benchmarkumgebung zum Vergleichen der Algorithmen konzipiert. Die Benchmarkumgebung führt die entsprechenden Experimente teilweise automatisch durch und generiert einen Bericht in menschlich-interpretierbarer Form. Unter Einbeziehung des DEF, oder auch anderer ähnlicher Umgebungen, kann die Berechnung des Benchmarks mit signifikant verkürzten Laufzeiten durchgeführt werden.

Literatur

- [1] Open Source Code Distributed Execution Framework. URL <https://github.com/DistributedExecutionFramework>. aufgerufen am 20.01.2020.
- [2] I. Csiszar and T. Breuer. Expected Value Minimization in Information Theoretic Multiple Priors Models. *IEEE Transactions on Information Theory*, 64(6):3957–3974, 2018. doi:10.1109/TIT.2018.2827364.
- [3] DEF Team. Dokumentation zum Distributed Execution Framework. URL <https://def-documentation.readthedocs.io/index.html>. aufgerufen am 20.01.2020.
- [4] T. Feilhauer and M. Sobotka. DEF-a programming language agnostic framework and execution environment for the parallel execution of library routines. *Journal of Cloud Computing*, 5(1):20, 2016. doi:10.1186/s13677-016-0070-z.
- [5] S. Finck. Worst case search over a set of forecasting scenarios applied to financial stress-testing. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion, GECCO '19*, pages 1722–1730, New York, NY, USA, 2019. ACM. ISBN 978-1-4503-6748-6. doi:10.1145/3319619.3326835.
- [6] B. Fäßler. *Autonomous Optimization of Repurposed Electric Vehicle Batteries for Grid Balancing*. PhD thesis, University of Agder, Agder, Norway, 2018.
- [7] B. Fäßler, M. Schuler, M. Preißinger, and P. Kepplinger. Battery Storage Systems as Grid-Balancing Measure in Low-Voltage Distribution Grids with Distributed Generation. *Energies*, 10(12):2161, Dec. 2017. ISSN 1996-1073.

- [8] M. Ireshika, M. Preißinger, and P. Kepplinger. Autonomous Demand Side Management of Electric Vehicles in a Distribution Grid. In *IYCE19*, Bled, Slovenia, 2019. IEEE.
- [9] P. Kepplinger. *Autonomous Demand Side Management of Domestic Hot Water Heaters*. Dissertation, University of Innsbruck, Innsbruck, Austria, 2019.
- [10] P. Kepplinger, B. Fäßler, G. Huber, M. Ireshika, K. Rheinberger, and M. Preißinger. Autonomes demand side management verteilter energiespeicher. *Elektrotechnik und Informationstechnik (e&I)*, 2019. doi:[10.1007/s00502-019-00782-9](https://doi.org/10.1007/s00502-019-00782-9).
- [11] K. Rheinberger, M. Preißinger, and P. Kepplinger. Flexibility control in demand response by optimal power tracking. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2019. submitted.
- [12] M. Schuler, B. Fäßler, M. Preißinger, and P. Kepplinger. A Method for Grid Simulation Assessing Demand Side Management Strategies. In *FFH 2018*, page 11, 2018.