

## Zusammenfassung

Das Studium und die Analyse partieller Differentialgleichungen bildet eine der Grundlagen für das Verständnis von Naturphänomenen, wissenschaftlicher Verfahren und deren Anwendung im industriellen Umfeld. Die numerische Behandlung solcher auf partiellen Differentialgleichungen basierender Anwendungen in zwei- und drei Raumdimensionen stellt auch heutzutage eine der größten Problemstellungen für die mathematische Berechnung und Simulation dar. Um eine aussagekräftige Lösung erhalten zu können, werden die Approximationen der Problemstellungen mit einer hohen Anzahl von Unbekannten berechnet. Dadurch ergibt sich eine sehr große Datenmenge und Komplexität für die Lösungsverfahren, so dass nur noch (massiv) parallele Rechensysteme in annehmbarer Zeit solche Problemstellungen berechnen können.

Eines der Hauptprobleme numerischer Simulationssoftware, die auf Parallelrechnern arbeitet, ist die Skalierbarkeit und die effiziente Ressourcennutzung dieser Systeme. In dieser Arbeit wird daher ein verteiltes Daten- und Objektmodell vorgestellt, welches explizit für den massiv parallelen Einsatz entworfen wurde. Die wichtigste Entwurfscharakteristik dieses Daten- und Objektmodells stellt dabei der konsequente Einsatz von lokalen Namensräumen für alle Diskretisierungselemente innerhalb jeder Partition eines verteilt vorliegenden Netzes dar. Netzkonsistenz an Partitionsrändern wird hierbei durch das verteilte Objektmodell automatisch sichergestellt.

Das Objekt- und Datenmodell eines verteilten Netzes ist die Schlüsselkomponente einer Simulationsumgebung, da es die drei Kernmodule einer parallel arbeitenden Simulationssoftware miteinander verbindet, nämlich die Module für numerische Mathematik, für (geometrische) Adaption und das Modul zur Lastverteilung und Migration. Alle diese Module arbeiten in ihrem eigenen Datenmodell. Daher ist eine effiziente Technik zur Konvertierung zwischen diesen Datenmodellen notwendig. Das in dieser Arbeit entwickelte verteilte Objekt- und Datenmodell stellt einen effizienten und skalierenden Ansatz für diese wichtige Anforderung von parallelen Simulationsanwendungen zur Verfügung. Die Verwendung dieses Ansatzes für alle drei Module wird hierbei ausführlich gezeigt.

Netzmodifizierende Module wie das Adaptionsmodul oder das Modul zur Datenmigration stellen einen Engpass für die Effizienz und Skalierbarkeit der Datenstrukturen im Objektmodell dar. Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit Algorithmen aus diesen Modulen vorgestellt, die auf dem verteilten Objekt- und Datenmodell effizient arbeiten und speziell für den massiv parallelen Einsatz entworfen wurden. Der Algorithmus zur geometrischen Adaption basiert auf der irregulären Verfeinerung und wird mit einem zusätzlichen Regelsatz zur Qualitätserhaltung der Elementform erweitert. Der entwickelte Algorithmus zur Migration arbeitet auf sehr großen, verteilten Netzstrukturen und verfügt über ein automatisches und skalierendes Rekonstruktionsverfahren für Partitionsränder, welches die lokale Namensraumkonsistenz aufrecht erhält.

Für Evaluierungszwecke des Objektmodells und den darauf arbeitenden Algorithmen wurde eine praktische Umsetzung in das Framework *padfem*<sup>2</sup> integriert. Verschiedene

---

Benchmarks wurden zur Analyse für die drei Hauptmodule entworfen und angewendet. Deren Ergebnisse werden in dieser Arbeit präsentiert. Abschließend wird eine Langzeitrechnung einer typischen Simulationsanwendung aus der Strömungsmechanik mit *padfem*<sup>2</sup> vorgestellt, um die Effizienz des Frameworks mit dem verteilten Objekt- und Datenmodell sowie den Datenstrukturen und Algorithmen zu zeigen.