

Modellierung eines Pumpenanlaufs zur Lebensdaueroptimierung mit der völlig neuen N-Körper-Methode

Modellierung des Anlaufverhaltens eines Pumpensystems mit der gegenüber den herkömmlichen Methoden der Finiten-Elemente (FEM), Finiten-Volumen (FVM) und Finiten-Differenzen (FDM) schnelleren und genaueren N-Körper-Methode zur Optimierung von Fahrweise, Lebensdauer und IH-Kosten.

Modeling of a Pump Start-up for Optimization of Its Economic Life-time by Means of the Radically New N-Body-Method

Modeling of the start-up behavior of a pump-system with the N-Body-method that is faster and more accurate than ordinary methods such as finite elements (FEM), finite volume (FVM) or finite differences (FDM) for optimization of operation mode, economic life-time and maintenance cost.

Dr. **Patrick Bangert**, algorithmica technologies GmbH, Bremen

Dipl.-Ing. **Markus Ahorner**, algorithmica technologies GmbH, Ratingen

Kurzfassung

Pumpensysteme verursachen einen hohen Teil der Instandhaltungskosten in der Industrie. Durch die Simulation von strömungsdynamischen Problemstellungen kann bereits im Vorfeld geprüft werden, ob das System und seine Komponenten für die Lebensdaueroptimierung ausgelegt sind. Die herkömmlichen Methoden Finite Elemente, Finite Volumen oder Finite Differenzen erfordern einen sehr hohen rechnerischen Aufwand und können Strömungssituationen nur statisch abbilden. Die von uns eingesetzte N-Körper-Methode erreicht bei gleicher Rechnerkapazität ein Vielfaches der Genauigkeit und kann darüber hinaus dynamisch Anfahrzustände simulieren. Wir zeigen auf, wie modernste

mathematische Methoden eingesetzt werden können, um Erkenntnisse für den Betrieb zu gewinnen und Instandhaltungskosten zu reduzieren.

Abstract (optional)

Pump systems are responsible for a large part of industrial maintenance costs. Via simulation of the fluid dynamical behavior, we can optimize the lifetime of the system and its components before it is built. The ordinary methods of finite elements (FEM), finite volume (FVM) or finite differences (FDM) require a large amount of computer resources and time. They are able to provide only an equilibrium snapshot of the fluid dynamics. Our method, the N-Body-Method, is capable of producing results of greater accuracy with the same computer resources and can provide a dynamic evolution of the fluid dynamics. We illustrate how state-of-the-art mathematical methods can be used to obtain practical insights for the pump user and to reduce maintenance costs.

1 Der Nutzen in der Anlagenwirtschaft durch den Einsatz von mathematischen Methoden

Unserer Erfahrung nach lassen sich eine Vielzahl von modernen mathematischen Methoden in der Produktion mit hohem praktischen Nutzen einsetzen. Unser Unternehmen *algorithmica technologies GmbH* aus Bremen hat es sich daher zur Aufgabe gemacht, den dafür notwendigen Wissenstransfer zwischen Forschung und Industrie zu organisieren.

algorithmica technologies ist spezialisiert auf die Optimierung von technischen und kaufmännischen Geschäftsprozessen mit Hilfe mathematischer Methoden. Es handelt sich um innovative, aber erprobte Vorgehensweisen (während manche Methoden in der Mathematik bereits über 30 Jahre bekannt sind, sind die neuesten Übertragungen direkt aus der Forschung erst seit zwei Jahren bekannt), deren erfolgreiche Funktionsweise aus wissenschaftlich-technischer Sicht vollkommen außer Frage steht. Wir sprechen also nicht von „Laborversuchen“ mit unausgereiften Ideen, sondern von pragmatischer Nutzung brachliegender Forschungsergebnisse.

Typische Methoden, die algorithmica technologies in der Anlagenwirtschaft erfolgreich einsetzen, sind Data Mining und Selbstlernende Systeme. Mit allen diesen Vorgehensweisen konnten wir in der Vergangenheit vorher nicht bekannte Zusammenhänge zwischen Kosten und Leistungen in der Instandhaltung aufzeigen, Störungen in Produktionsanlagen auf mehrere Monate in die Zukunft prognostizieren oder vorher nicht sichtbare Optimierungspotenziale der Organisation der Anlagenwirtschaft erkennen und umsetzen.

Im Folgenden wollen wir als eine weitere dieser Methoden die N-Körper-Methode näher vorstellen.

2 Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Ein großer deutscher Hersteller von Pumpen und Pumpensystemen hatte die Aufgabe, das Anlaufverhalten in einem Kläranlagenbecken von ovaler Geometrie zu optimieren. Das Anlaufverhalten der fünf involvierten Pumpen war insofern von Bedeutung, als dass sowohl fehlerhaftes An- oder Abfahren zu Schädigungen führen konnten als auch dass von Anfang an ein möglichst optimaler Transport von Flüssigkeit durch die Pumpe gewährleistet werden sollte. Diese Pumpenoptimierungen waren immer von demjenigen Standpunkt aus zu betrachten, dass die Funktionstüchtigkeit des Beckens (garantierte Mindestfließgeschwindigkeit an allen Raumpunkten) gewährleistet sein musste. In beiden Fällen wird die Lebensdauer der Pumpe beeinflusst, sodass aus einer möglichst exakten Simulation des Fahrverhaltens wichtige Rückschlüsse auf die späteren Betriebssituationen gezogen werden können.

3 Die Lösung der Aufgabe mit der N-Körper-Methode

Warum können mit Hilfe der N-Körper-Methode fluiddynamische Berechnungen von Ein- oder Mehrphasensystemen und die Simulation von Teilchenbewegungen viel schneller bzw. genauer durchgeführt werden als mit den heute herkömmlich verwendeten Methoden der Finiten Elemente (FEM), der Finite Volumen (FVM) oder der Finiten Differenzen (FDM)?

- Die Methoden FEM, FVM, FDM arbeiten zur Beschreibung von Strömungen mit komplexen, dreidimensionalen Gittern. Besonders nicht-stationäre Zustände (wie ein Anfahren) sind schwierig zu berechnen und können daher meist nur Stop-motion-Aufnahmen (also „Einzelbilder“) eines Prozesses liefern. Eine Verdoppelung der Genauigkeit macht eine achtfache Rechnerkapazität erforderlich, da die zu lösenden Differenzialgleichungen in allen drei Gitterachsen verdoppelt werden. Außerdem erfordern diese Methoden einen hohen Anteil iterativen Vorgehens, der zusätzliche Rechenzeit benötigt.

- Die N-Körper-Methode arbeitet auf einem völlig neuen und radikal anderen Ansatz: Das Fluid wird in diskrete Ansammlungen von Teilchen zerlegt. Die Simulation der Strömung geschieht auf Basis der Wechselwirkungen dieser Teilchen. Die verwendete Rechenmethode ist ein $O(N)$ -Algorithmus, der sich hinsichtlich der Rechenzeit linear mit der Anzahl verhält. Eine Verdoppelung der Genauigkeit entspricht also einer Verdoppelung der Teilchen und damit der Rechenzeit. Da die Methode vollständig gitterfrei arbeitet, ist das Werkzeug flexibler und vielseitiger als die herkömmlichen FEM/FVM/FDM-Berechnungen.

- Da die N-Körper Methode gitterfrei arbeitet, ist die Methode frei von jeglichen Gitterproblemen. Praktisch bedeutet dies, dass die Geometrie der Konstruktion genau aus den CAD Modell übernommen werden kann. Oft ist es bei FEM/FVM/FDM so, dass die Geometrie leicht geändert werden muss, um in das Gitterschema zu passen. Mit der N-Körper Methode simuliert man genau die Geometrie, die auch gebaut wird, und erzielt dadurch sehr viel sinnvollere Ergebnisse.

- Auf diese Weise werden genauere Vorhersagen möglich, oder alternativ eine bessere Nutzung vorhandener Rechnerkapazität durch geringere Rechenzeiten bei gleich bleibender Genauigkeit. Apparate und Maschinen können vorab simuliert werden, um die Auslegung zu optimieren. An- und Abfahrvorgänge können problemlos abgebildet werden. Aufwändige Versuche in Labor oder Technikum werden vermieden, sondern Debottlenecking-Untersuchungen und

Sensitivitätsstudien können „trocken“ durchgeführt werden.. Scale-up und Rapid-Prototyping werden so beschleunigt und in ihrem Risiko minimiert.

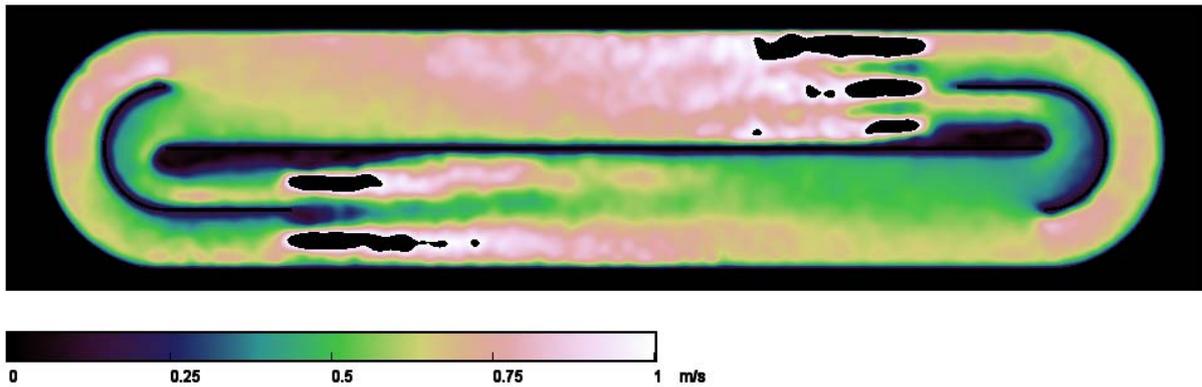


Abb. 1: Fließgeschwindigkeitsverteilung am Boden eines Kläranlagebeckens.

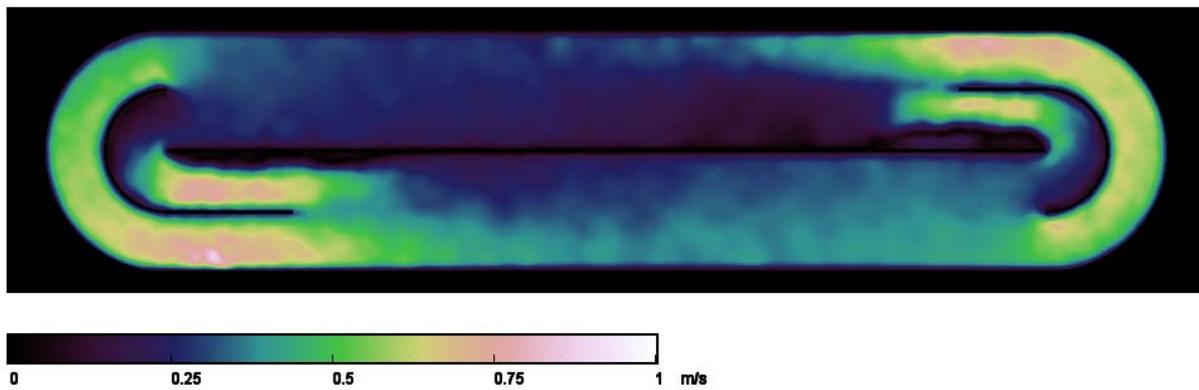


Abb. 2: Fließgeschwindigkeitsverteilung an der Oberfläche eines Kläranlagebeckens.

4 Durchführung

Zunächst werden das Fluid und sein Container definiert. Materialeigenschaften und Identität verschiedener Stoffe werden herangezogen. Diese Daten ergeben die relative Verteilung der Teilchen. Ein Teilchen ist eine kugelförmige kernfunktionsgewichtete Integralrepräsentation der lokalen Fluidfunktionen, wie z. B. Druck und Dichte. Von den Navier-Stokes-Gleichungen können nun Wechselwirkungskräfte zwischen den Teilchen des Fluides und den Teilchen der Wände bestimmt werden. Durch hierarchische geometrische Gruppenbildung lässt sich die die Kraft, die auf jedes Teilchen wirkt, in einer Rechenzeit quantifizieren, die linear mit der Anzahl der Teilchen wächst. Nun kann von jedem beliebigen Anfangszustand, in kleinen Zeitschritten, der zukünftige Zustand des Fluides berechnet werden – auch bei sich bewegenden Wänden, wie bei einer sich im Betrieb befindenden Pumpe. Man erhält so einen „Video“ des Ablaufs, ohne bei jedem Zeitschritt neu beginnen zu müssen, wie es bei einem Gitterverfahren der Fall sein würde.

In der Abbildung [1] sieht man oben die Geschwindigkeitsverteilung in dem simulierten Becken auf dem Boden. Dort sieht man die fünf Pumpen. In der Abbildung [2] unten sieht man die Geschwindigkeitsverteilung an der Oberfläche. So lässt sich auf einen Blick sehen, dass die Funktionsweise des Beckens gewährleistet ist und dass die Pumpen in einem zulässigen Bereich betrieben werden.

Wichtige Parameter des Systems können in jedem Zeitschritt natürlich ausgeschrieben werden und für eine automatische Systemoptimierung genutzt werden, etwa um die optimale Auslegung des Pumpensystems zu bestimmen (Anzahl der Pumpen, Anbringungsort der Pumpen, Leistung und Größe der Pumpen, usw.).

5 Erzielte Ergebnisse und Ausblick

- Das Anlaufverhalten des Systems wurde vollständig simuliert. Die Ergebnisse wurden mit dem realen System und mit den Ergebnissen einer FEM-Simulation zur Kontrolle verglichen. Die Simulation mit der N-Körper-Methode lieferte deckungsgleiche Aussagen.
- Die Rechenzeit für das System ist deutlich geringer als bei der FEM-Simulation. In diesem Fall, benötigte die N-Körper Methode ca. 10% der Rechenzeit der FEM Software (bei ansonsten gleichen Einstellungen).
- Gleichzeitig liefert die N-Körper-Simulation eine Darstellung des gesamten Anfahrprozesses, während die bisher eingesetzten Methoden nur Momentaufnahmen lieferten. Das gesamte Systemverhalten kann also mit der N-Körper-Methode beobachtet werden. Dies ermöglicht weitergehende Simulationen, Szenarienrechnungen und Optimierungen ohne den Einsatz realer Systeme oder Laborversuche.
- Auf diese Weise kann ein für die Pumpe selbst schonender Anfahr- und Betriebsprozess entwickelt werden, um die gesamte Lebensdauer der Pumpe zu optimieren. Die Methode ist übertragbar auf viele Aufgabenstellungen, die sich bei der Lebensdaueroptimierung von fluiden Systemen stellen, wie etwa Abrasionsprobleme, Vermischungsaufgaben, Standzeiten von Rührern oder Zyklonen et cetera. Die N-Körper-Methode ist dabei sowohl auf einphasige Strömungen als auch auf Mehrphasenströmungen anwendbar. Neben fluidisierten Schichten kann natürlich auch das Transportverhalten von Teilchen an sich dargestellt werden.
- Verbunden mit der ebenfalls von algorithmica technologies entwickelten Methode der Störungsprognose durch Selbstlernende Systeme ergeben sich enorme Potenziale zur Lebensdaueroptimierung durch Auslegung,

Überwachung und Wiederherstellung des Zustands von Equipment in fluiden Systemen.