

SIMULATIONSMODELLE FÜR DEN EINSATZ IN LEHRE UND FORSCHUNG

Dipl.-Ing. Markus König, Dipl.-Ing. Frank Sellerhoff
Institut für Bauinformatik, Universität Hannover

Kurzfassung: Simulationsmodelle dienen der Beurteilung des Verhaltens von Systemen oder Prozessen. Auf der Grundlage allgemeiner Modellierungstechniken können solche Systeme und Prozesse abstrahiert werden, um sie dann rechnergerecht abzubilden und zu implementieren. Ein Kanalnetz zur Stadtentwässerung kann als ein solches System aufgefasst werden. Für den Einsatz im Rahmen einer Lehrveranstaltung wird der Betrieb eines Entwässerungssystems in Abhängigkeit unterschiedlicher Siedlungsstrukturen untersucht. Aufgabe der Kanalnetz bemessung ist es, Rohrquerschnitte oder zusätzliche Einbauten (Regenrückhaltebecken etc.) so zu wählen, daß auch kritische Abflüsse schadlos abgeführt werden können. Die vorgestellte Implementierung dient der Aufarbeitung des Lehrstoffes, eignet sich jedoch auch zum Aufbau eines Simulationssystems für den Einsatz in der Forschung.

1 Grundlagen

Um das Verhalten von realen Systemen untersuchen zu können, werden Modelle gebildet, um anschließend Simulationen mit ihnen durchführen zu können. Die Formulierung eines Modells kann mit Hilfe einer Analogie, einem Satz mathematischer Formeln oder einer Folge von Anweisungen vorgenommen werden. Zum Analysieren von Systemen und zur Gestaltung eines entsprechenden Modells existieren allgemeine Grundlagen und Vorgehensweisen. Sie werden in [1] und [2] ausführlich behandelt.

1.1 Systeme

Systeme sind natürliche oder technische Konstruktionen, die einen bestimmten Zustand und ein bestimmtes Verhalten beschreiben. Im allgemeinen besitzen sie folgende Merkmale:

Ein System

- erfüllt eine bestimmte Aufgabe, die den Systemzweck definiert,
- besteht aus einer Menge von Elementen und deren Beziehungen und
- ist nicht teilbar.

Ein System wird immer im Zusammenhang mit seiner Umgebung betrachtet. Zwischen System und Umgebung befindet sich eine Grenze. Die Umgebung kann mit Hilfe von sogenannten äußeren Einwirkungen Einfluß auf das System nehmen. Auf der anderen Seite gibt das System Auswirkungen an seine Umgebung weiter. Dieser Vorgang wird als Verhalten des Systems bezeichnet. Das Verhalten wird durch den Zustand des Systems beeinflusst. Hierzu werden Zustandsgrößen (Speichergrößen) im System definiert.

Der Zustand eines Systems kann durch äußere Einwirkungen und Veränderungen im System selbst verändert werden. Wenn alle Einwirkungen, Verhaltensgrößen, Zustandsgrößen

Ben und Verbindungen zwischen diesen Größen bestimmt wurden, kann eine Systemstruktur für dieses System gefunden werden, die das Verhalten des Systems beschreibt.

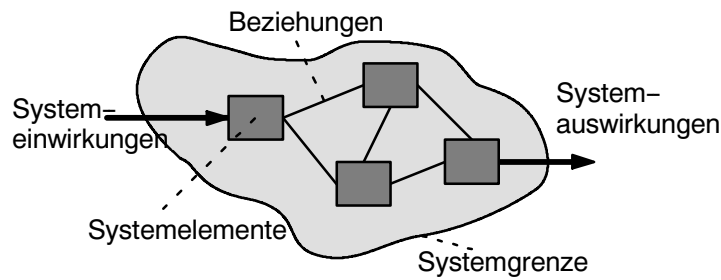


Bild 1.1: Struktur eines Systems

Bei genauer Betrachtung können komplexe Systeme sehr oft in eigenständige Teilsysteme aufgespalten werden. Jedes Teilsystem besitzt dann wieder eigene Eigenschaften, Grenzen und Einwirkungen, die untersucht und modelliert werden können. Ist die Systemstruktur bekannt und ihr Verhalten bestimmbar, so kann das Verhalten des Gesamtsystems als Zusammenspiel der Teilsysteme verstanden werden.

1.2 Modelle

Wenn ein System analysiert wurde und nun ein entsprechendes Modell für dieses formuliert werden soll, muß die Problemstellung, für die das Modell eine Antwort liefern soll, eindeutig definiert sein. Ein allgemein gültiges Modell ist nur mit hohem Aufwand erstellbar. Aus dem Antwortbereich wird der Modellzweck bestimmt. Der Modellzweck ist die wichtigste Vorgabe der Modellentwicklung. Eine effiziente und knappe Abbildung des Systems wird erst durch eine Fokussierung ermöglicht, die vom Modellzweck erzwungen wird. Zu beachten ist, daß im Modell vorgenommene Vereinfachungen gegenüber dem realen System die Gültigkeit des Modells nicht nachteilig beeinflussen.

Im nächsten Schritt erfolgt die Nachbildung der Systemstruktur. Das Verhalten eines Systems kann aus der Untersuchung seiner Komponenten, den Verbindungen untereinander und aus der Beschreibung der Struktur abgeleitet werden. Die vereinfachte Struktur wird dann für diesen Modellzweck überprüft. In der Regel läßt sich die Korrektheit eines Modells nicht beweisen. Daher wird auch nicht von der Richtigkeit eines Modells gesprochen, sondern lediglich von der Gültigkeit für den Modellzweck.

1.3 Modellbildung

Um von einem System zu einem Modell zu kommen, werden in der Regel folgende Schritte durchlaufen:

Definition der Problemstellung und des Modellzwecks: Die Aufgabenstellung wird klar umrissen. Sie dient als Grundlage für die Definition des Modellzwecks.

Definition der Systemgrenzen: Dem Modellzweck entsprechend wird eine Zuordnung zu System und Systemumgebung vorgenommen.

Systemkonzept: Entsprechend der Systemabgrenzung wird das Konzept des Systems entwickelt und in einem Wortmodell festgehalten.

Entwicklung der Systemstruktur: Die Systemelemente und ihre Wirkungsbeziehungen werden herausgearbeitet und dargestellt.

Erstellung der Systemelemente: Die einzelnen Systemelemente werden mit Hilfe von Anweisungen formal beschrieben. Aus Systemelementen können auch Teilsysteme gebildet werden, die unabhängig vom System zu untersuchen sind.

Zusammenbau der Systemelemente: Die Systemelemente werden mit Hilfe der Wirkungsbeziehungen formal verbunden.

2 Analyse eines Kanalnetzes

Um die Vorgehensweise der Modellbildung zu verdeutlichen, wird das in Bild 2.1 dargestellte Kanalnetz untersucht. Hierfür werden die unter 1.3 aufgestellte Vorgehensweisen verwendet.

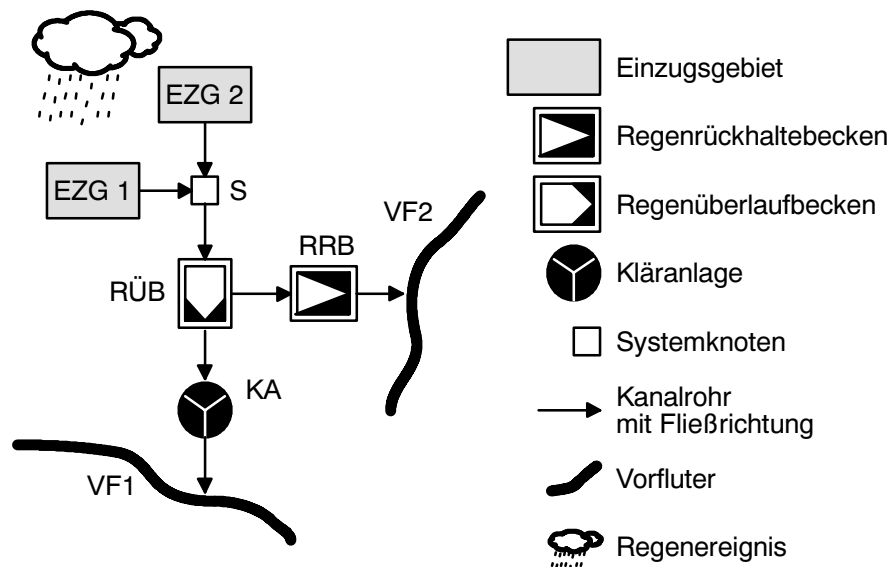


Bild 2.1: Schematischer Aufbau eines Kanalnetzes

2.1 Definition der Problemstellung und des Modellzwecks

Ein Kanalnetz führt anfallendes Abwasser aus unterschiedlichen Einzugsgebieten zu einer Kläranlage. Die Abwassermenge setzt sich aus dem Trockenwetterabfluß und einem Oberflächenabfluß infolge eines Regenereignisses zusammen, wobei letzterer das fünfzigfache Volumen des Trockenwetterabflusses annehmen kann. Durch den Einbau von Regenrückhaltebecken und Regenüberlaufbecken soll auch bei starken Regenfällen eine konstante Wasserzufuhr zur Kläranlage gewährleistet werden. Ist die Speicherkapazität eines Regenüberlaufbeckens erschöpft, so wird das überschüssige Wasser ungeklärt in den Vorfluter abgegeben. Dieser unerwünschte Eingriff in die Natur ist zu minimieren.

Das zu entwickelnde Modell soll mit einer möglichst geringen Zahl von Größen quantitative Aussagen über die Wassermengen liefern, die an die Kläranlage und über den Überlauf an den Vorfluter abgegeben werden. Anhand von veränderlichen Abwasserzuflüssen aus den Einzugsgebieten soll untersucht werden, ob ein schadloser Transport des Abwassers

möglich ist. Es werden nur einfache Bewegungsabläufe des Abwassers berücksichtigt (keine Reibung, keine wellenförmige Ausbildung).

2.1.1 Systemabgrenzung

Die Systemgrenze wird an den Zuflußrohren der Einzugsgebiete in das Kanalnetz und an dem Abflußrohr zur Kläranlage und dem Vorfluter gezogen. Die Einwirkungen der Umgebung sind die Zuflüsse aus den Einzugsgebieten. Die Abflüsse werden als Auswirkungen des Systems an die Kläranlage und an den Vorfluter weitergegeben. Die Einwirkungen liegen in Form von Zuflußganglinien vor.

2.1.2 Formulierung des Systemkonzepts

Das hier betrachtete Kanalnetz besteht aus zwei Einzugsgebieten, einem Regenüberlaufbecken, einem Regenrückhaltebecken, einem Systemknoten und sechs Kanalverbindungen. Die Eigenschaften dieser Elemente sind vorgegeben. Regenrückhaltebecken und Regenüberlaufbecken besitzen definierte Speicherkapazitäten und Abflußraten. Der Abfluß durch die Kanalverbindungen ist gekennzeichnet durch den maximal möglichen Abfluß und der mittleren Verweilzeit der Wasserteilchen im Kanalabschnitt.

2.1.3 Entwicklung der Systemstruktur

Die Systemelemente werden mit Hilfe des Bildes 2.1 zusammengefügt. Jedes Element besitzt eine bestimmte Anzahl von Eingängen und Ausgängen. So haben Rohre und Regenrückhaltebecken prinzipiell einen Eingang und einen Ausgang. Systemknoten können beliebig viele Eingänge aber nur einen Ausgang besitzen. Hingegen haben Regenüberlaufbecken einen Eingang und zwei Ausgänge. Systemknoten, Regenrückhaltebecken und Regenüberlaufbecken werden durch ein oder mehrere Rohre verbunden. Ein Rohr besitzt immer eine bestimmte Fließrichtung (Wirkungsrichtung), die in Abbildung 2.2 mit Hilfe der Pfeilspitze gekennzeichnet wird. Die eigentliche Kopplung erfolgt durch Übergabe von Wassermengen zwischen den einzelnen Elementen. Die Rohre R1 und R2 erhalten ihre Eingänge aus der Umgebung. Die Rohre R4 und R6 geben ihre Ausgänge an die Umgebung ab. Es ergibt sich die Systemstruktur wie in Bild 2.2 dargestellt.

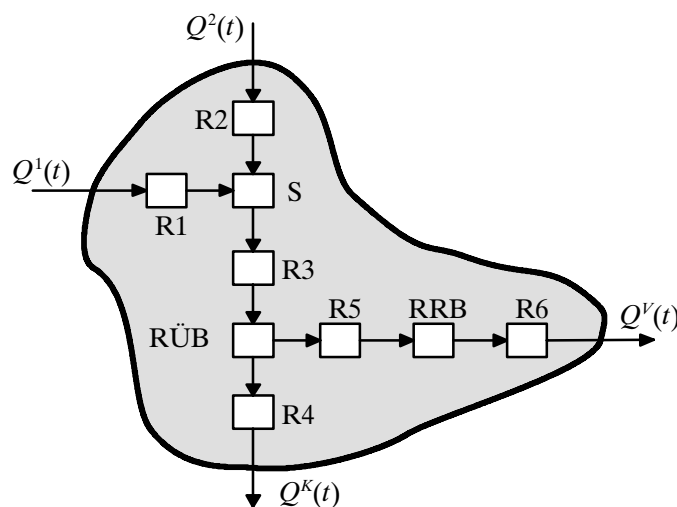


Bild 2.2: Systemstruktur des Kanalnetzes

2.1.4 Erstellung der Systemelemente

Das Kanalsystem wird in neun Teilsysteme aufgeteilt. Dabei entspricht jedes Systemelement einem Teilsystem. Einige Teilsysteme besitzen aufgrund gleicher Attributierung gleiches Verhalten. Daher werden die Gruppen Rohr, Systemknoten, Regenüberlaufbecken und Regenrückhaltebecken gebildet. Aus einer solchen Gruppenbildung werden Klassen definiert, die als Klassenmodell (Bild 2.3) abgebildet werden können. Die Teilsysteme werden im nächsten Schritt analysiert und als entsprechende Teilmodelle formuliert.

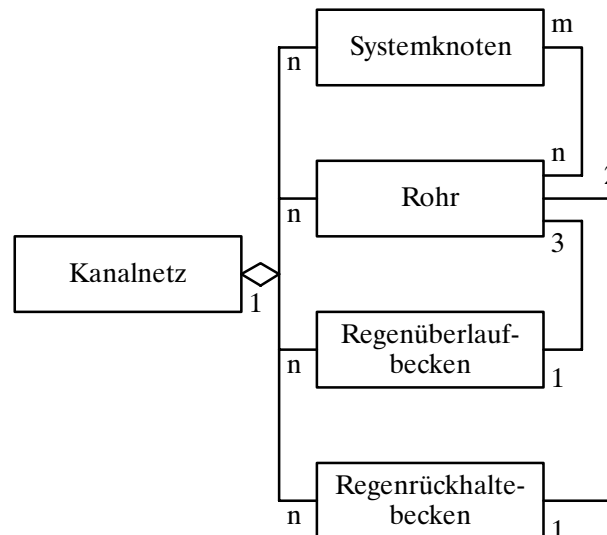


Bild 2.3: Klassenmodell des Kanalnetzes

3 Teilmodell Regenüberlaufbecken

Die Analyse eines Teilsystems und die Entwicklung des zugehörigen Teilmodells erfolgt nach dem gleichen Ablauf wie beim Gesamtsystem. Die Vorgehensweise wird anhand eines Regenüberlaufbeckens beispielhaft vorgeführt.

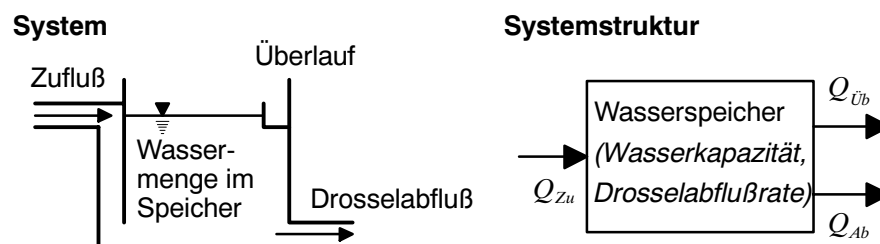


Bild 3.1: System und Systemstruktur eines Regenüberlaufbeckens

Regenüberlaufbecken speichern die bei starken Regenfällen plötzlich anfallenden großen Wassermassen und geben sie langsam und gedrosselt wieder ab. Die Abflußrate ist dabei konstant. Wenn ein Regenüberlaufbecken komplett gefüllt ist, wird dessen Überlauf aktiv. Dieser führt dann die überschüssige Wassermenge unkontrolliert ab.

Das Modell soll für eine vorgegebene Zuflußmenge, die Wassermenge eines Zeitschritts liefern, die über den Drossel- und Überlaufabfluß abgegeben wird. Reibungsverluste und Verzögerungen werden nicht berücksichtigt. Das Regenüberlaufbecken erhält die Zufluß-

menge als Einwirkung aus der Umgebung und gibt den Drossel- und Überlaufabfluß als Verhalten an die Umgebung ab. Als Systemelement wird ein Wasserspeicher mit einer bestimmten Kapazität definiert. Das Volumen des Speichers und die Drosselabflußrate sind Parameter und können variiert werden.

3.1 Modellentwicklung

Bei der formalen Beschreibung des Regenüberlaufbeckens muß beachtet werden, daß die Wassermenge im Becken keine negativen Werte annehmen kann. Der Zustand und sein zugehöriges Verhalten zum Zeitpunkt $t + \Delta t$ kann mit Hilfe der folgenden Anweisungen bestimmt werden.

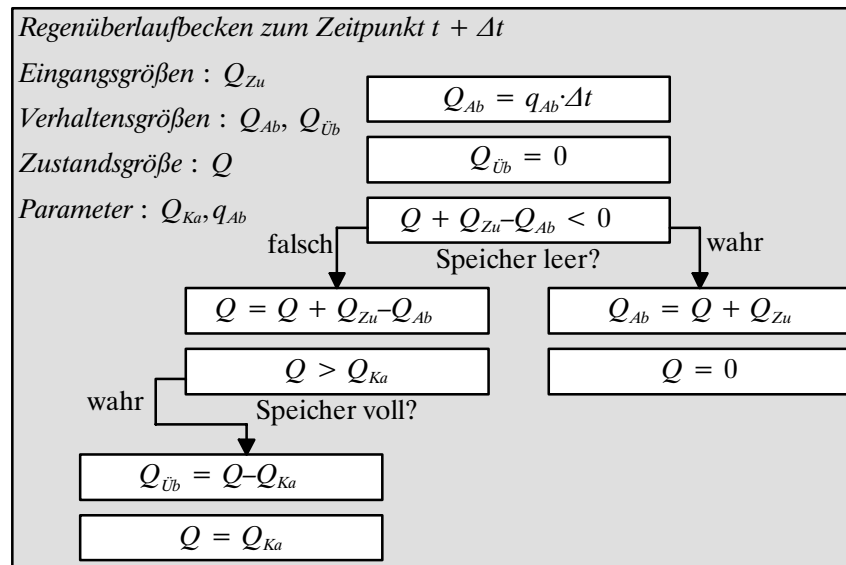


Bild 3.2: Ermittlung der Zustands- und Verhaltensgrößen des Regenüberlaufbeckens

Mit Hilfe der formulierten Anweisungen kann das Verhalten eines Regenüberlaufbeckens implementiert werden. Bei der Erstellung der entsprechenden Klasse wurde die Spezifikation von JavaBeans berücksichtigt, die eine Vorgehensweise zur Erstellung von Komponenten in Java beschreibt. Hierzu gehört die Definition von set- und get-Methoden zum Setzen von Klassenattributen und die Kommunikation zwischen Komponenten mit Hilfe von Nachrichten.

3.2 Nachrichtenkonzept

In der Programmiersprache Java besteht die Möglichkeit, mit Hilfe eines Event-Modells Nachrichten zwischen Objekten auszutauschen. Es handelt sich hierbei um eine einseitige Partnerschaft, bei der jedem observierbarem Objekt (Source) ein oder mehrere Beobachter (Listener) zugeordnet werden. Ändert sich der Zustand eines beobachteten Objektes, so kann es eine Nachricht (Event) an alle bei ihm eingetragenen Beobachter schicken. Die Beobachter empfangen diese Nachricht und können sich der Nachricht entsprechend verhalten. Diese Reaktion kann eine Veränderung des Beobachters oder aber ein Ablehnen (veto) der Nachricht zur Folge haben. Im letzteren Fall werden auch alle anderen Beobachter über das Ablehnen der Nachricht unterrichtet und in ihren ursprünglichen Zustand zurückversetzt.

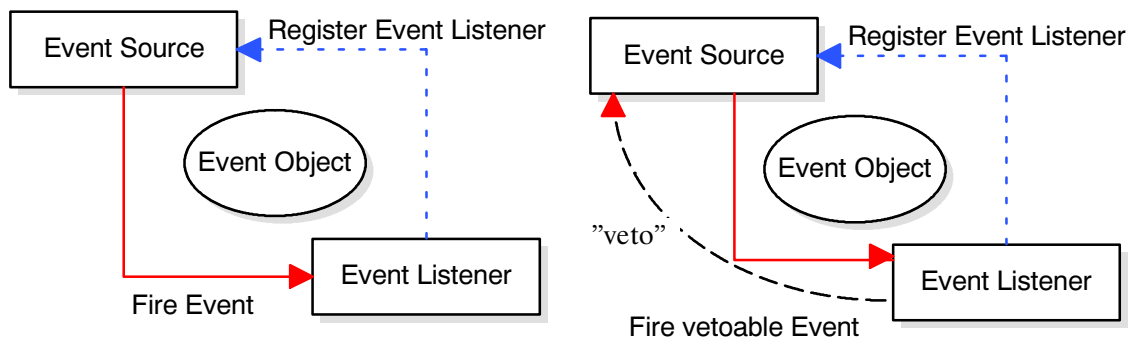


Bild 3.3: Nachrichtenkonzept von Java (Quelle: Developing Java Beans [3])

4 Zusammenbau

Aus den zuvor definierten Klassen werden im folgenden Schritt die im Kanalnetz auftretenden Objekte erzeugt. Die Parameter dieser Objekte werden entsprechend der realen Gegebenheiten gesetzt. Die Verknüpfungen der Objekte untereinander werden gemäß der Topologie des Kanalnetzes vorgenommen. Dies geschieht, indem ein Objekt bei allen mit ihm verknüpften Objekten in Fließrichtung als observierbar eingetragen wird. So ist sichergestellt, daß seine Auswirkungen modellgemäß weitergeleitet werden. Beispielhaft wird die Kopplung von Rohr 3, Rohr 4, Rohr 5 und dem Regenüberlaufbecken in Bild 4.1 dargestellt.

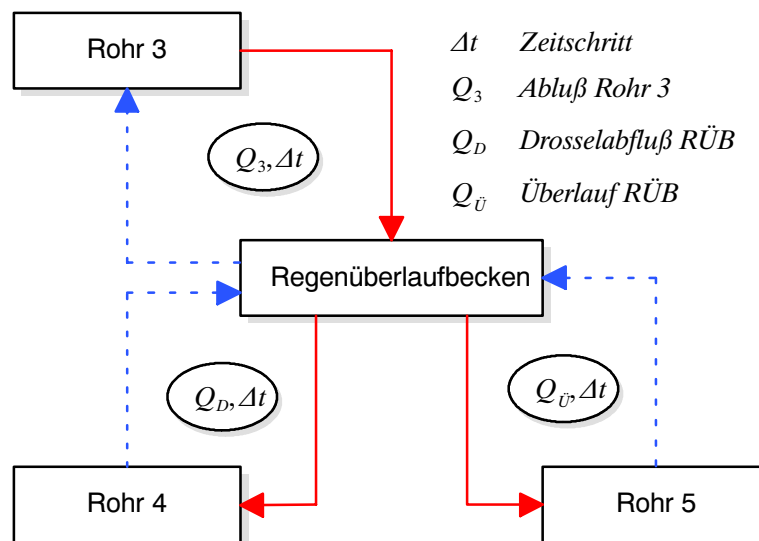


Bild 4.1: Verknüpfung des Regenüberlaufbeckens mit den entsprechenden Rohren

5 Simulation des Verhaltens

Für jede nachfolgende Simulation ist ein Satz von Anfangswerten und zeitabhängigen Randwerten festzulegen. Anfangswerte spezifizieren im Beispiel des Kanalnetzes den

Füllgrad der Becken und Kanalverbindungen. Randwerte liegen in Form von Ganglinien für alle Einwirkgrößen vor. Der zu simulierende Zeitraum sowie die zeitliche Diskretisierung in Zeitschritte Δt ist sinnvoll zu wählen. Die zeitliche Diskretisierung erlaubt es, für jeden Zeitschritt eine eindeutige Aussage über das Verhalten des Systems zu geben. Sie müssen in entsprechender Form dokumentiert werden. Diese Form der Simulation erlaubt es, die Einwirkung sowie die Parameter des Systems zu verändern, um damit günstige Kombinationen herauszuarbeiten.

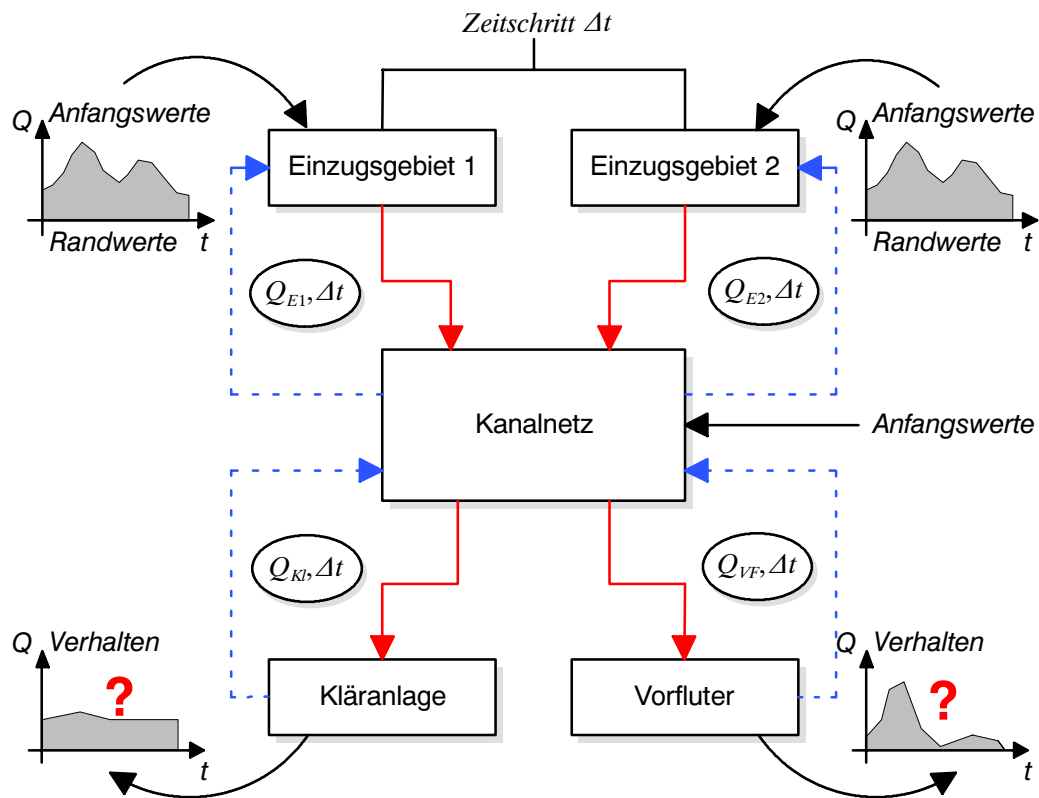


Bild 5.1: Ablaufschema zur Durchführung einer Simulation

Literatur

- [1] Bossel, H.: Simulation dynamischer Systeme. Braunschweig: Vieweg, 1992
- [2] Bossel, H.: Modellbildung und Simulation. Braunschweig: Vieweg, 1994
- [3] Englander, R.: Developing Java Beans. Sebastopol: O'Reilly, 1997
- [4] Bretschneider, H.; Lecher, K.; Schmidt, M.: Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Hamburg: Paul Parey, 1993
- [5] König, M.: Weiterbildungskurs *Simulationsmodelle in Java*. Hannover: Fachhochschule Nordostniedersachsen / Universität Hannover, 1998