

# Simulation von Abflusszeitreihen im Elbe-Einzugsgebiet

Martin Helms, Jürgen Ihringer

Zahlreiche sozio-ökonomisch und ökologisch relevante Aspekte im Raum entlang der Elbe werden durch deren *Abflussprozess* maßgeblich beeinflusst. Entsprechende Bedeutung hat die modellhafte Beschreibung dieses Prozesses durch stochastische Simulation: Reihen werden beliebig verlängerbar, womit die Auftretenshäufigkeit interessierender Abflussereignisse besser eingeschätzt werden kann. Die auf physikalische Fundierung zielende Weiterentwicklung von Modellansätzen soll ferner zum besseren Verständnis hydrologischer Prozesse im Einzugsgebiet führen und damit zur Koppelung zwischen Klimamodellen und hydrologischen Modellen beitragen. Diese ist notwendig zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungsszenarien für den Abflussprozess und seine Wirkungen.

Hinsichtlich großer Unsicherheiten bei der Ableitung von (effektiven) Gebietsniederschlägen ist das *stochastische Modell nach Treiber* (1975) zur Simulation von Reihen mittlerer täglicher Abflüsse geeignet. Hier werden gemessene Abflüsse als Ausgänge eines zeitvarianten Systems aufgefasst, dessen Eingänge fiktive Impulse sind. Diese werden allein aus der Abflussganglinie abgeleitet und sind Grundlage für Generierungsmodelle. Mit einer variablen Systemfunktion werden sie zum Systemausgang gefaltet (s. Abb. 1). Nach Kron (1996) erlaubt der Ansatz eine räumliche Differenzierung durch eine Simultangenerierung nach einem Konzept bedingter Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Impulsen eines Pegels, abhängig von Impulsen eines zweiten – unabhängigen – Pegels.

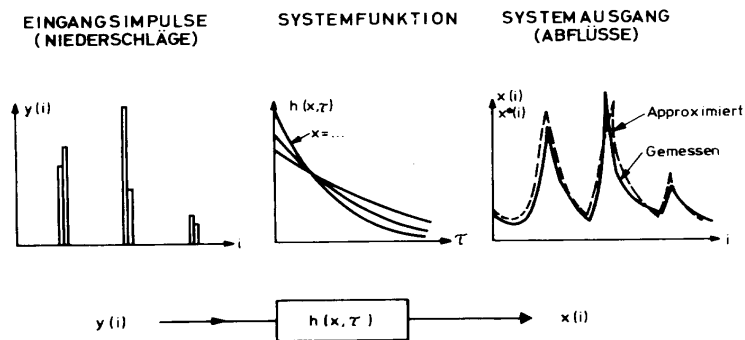


Abb. 1. Struktur des stochastischen Modells nach Treiber

Für eine geeignete *Gliederung des Einzugsgebiets* wurde ein Routing von Ganglinien der Elbe vorgenommen und am jeweils unteren Pegel die Differenzganglinie zwischen gemessener Ganglinie und Routing-Ganglinie berechnet und dem Zwischengebiet der beteiligten Pegel zugeordnet. Die Differenzganglinie konnte dann bei Annahme vollständiger Mischung mit dem Gesamtabfluss erneut geroutet werden, so dass Korrelationsanalysen für die Zwischengebiets- bzw. Differenzganglinien an gemeinsamen Bezugspunkten (Pegeln) durchgeführt werden konnten. Höhere Korrelationen ( $R > 0.7$ ) fanden sich erst bei den aggregierten Gebieten „oberhalb Dresden“, „Dresden-Aken“ und „Aken-Barby“, offenbar auf Grund der gedämpften hydrologischen Reaktion: großräumigere und damit räumlich homogenere Niederschlagsereignisse prägen die Ganglinie. Die Anwendung der Modelle auf diese Gebiete ist sinnvoll.

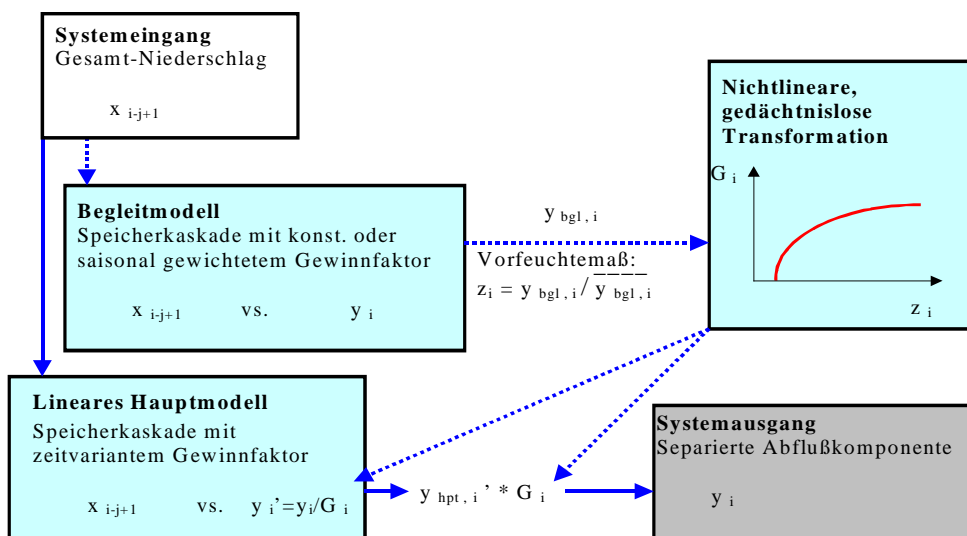
Für die Reihen 1964-1995 dieser Gebiete wurde das Modell angepasst. Es wurden je 20 Reihen gleicher Länge generiert. Eine *sehr gute Modellanpassung* (Effizienzkriterium nach Nash-Sutcliffe: 0.9 oder höher) bestätigte sich durch eine umfassendere statistische Diagnose für generierte gegenüber gemessenen Reihen. Letzteres gilt auch für Simulationen abhängiger Reihen nach Kron. Für das Elbe-Einzugsgebiet ist das Treiber/Kron-Modell somit bei grober räumlicher Differenzierung ein geeignetes Instrument zur Simulation von Abflussreihen entsprechend der historischen Situation. Für Stellen innerhalb der Zwischengebiete sind Routing und überlagernde Zufallsglieder mögliche weitere Instrumente.

Allerdings ergab die Diagnose der Ausgänge des Treiber-Modells trotz seiner bereits sehr guten statistischen Eigenschaften Aspekte, unter denen in physikalisch begründbarer Weise Modellverbesserungen möglich sind. Zudem zeigten Kreuzkorrelationsanalysen der unabhängigen Impulsreihen der verschiedenen Gebiete lediglich unscharfe Beziehungen. Die für die Simultangenerierung genutzten statistischen Beziehungen können damit physikalisch nicht hinreichend begründet werden, um räumlich differenzierte Simulationen in Szenarien unter veränderten Bedingungen zu erlauben. Zu diesem Zweck wird eine Weiterentwicklung der Simulationsmethodik erforderlich, die sich an einer *physikalischen Fundierung* orientieren muss.

Der erste wesentliche Schritt in diese Richtung ist die *Differenzierung von Abflusskomponenten*. Bei der Überprüfung der Eignung möglicher Modellbausteine wurde eine langfristig persistente Komponente zunächst durch einen autoregressiven Ansatz realisiert, der sich aus einem Speicherkonzept herleiten lässt. Nach der Separation dieser Komponente waren für den verbleibenden Anteil nach einer Analyse von Rezessionskurven Parameterbereiche des Modells des nichtlinearen Speichers nach Wittenberg und Sivapalan (1999) herleitbar. Dieses Modell wurde zur Separation der zweiten Komponente genutzt. Für die verbleibende Restkomponente wurde anschließend das Treiber-Modell angepasst. Die Modellanpassungen und die statistischen Eigenschaften der generierten Reihen gegenüber den „gemessenen“ Reihen der schnellen Komponente wurden gegenüber der Anwendung des Treiber-Modells auf den Gesamtabfluss noch einmal deutlich verbessert. Somit bestätigte sich die Notwendigkeit und Eignung der Modellbausteine für den Basisabflussprozess.

In einem weiteren Schritt sind *tägliche Gebietsniederschlagsreihen* als Modelleingangsgröße zu ermitteln. Durch den Einsatz von GIS und DBMS soll dies bei geeigneter Teilgebietsgliederung über ein modifiziertes Thiessen-Polygon-Verfahren mit einer von Geländehöhen und Großwetterlagen abhängigen, zeitvarianten Polygongewichtung erfolgen. Datengrundlage sind v.a. tägliche Niederschlagsreihen ab 1961 an insgesamt 1425 Messstationen im Elbe-Einzugsgebiet. Auch die Niederschlagsform soll in Anbetracht der bedeutenden nivalen Komponente im Elbe-Einzugsgebiet berücksichtigt werden.

Bei Einbeziehung von Gebietsniederschlägen müssen diese die Eingänge der Systeme der Abflusskomponenten bilden. Dies erfordert *nichtlineare Transformationen*. Es wird ein Konzept verfolgt, bei dem - ähnlich wie bei Ahsan und O'Connor (1994) - im Rahmen des Prinzips der fortschreitenden Modifizierung zunächst mit einem einfachen Begleitmodell der Ausgang (Abfluss) geschätzt wird. Als Abflussschätzung noch nicht ausreichend liefert diese Schätzung jedoch ein zeitvariantes Maß für den Systemzustand (Vorfeuchte). Durch nichtlineare Transformation wird dieses in einen zeitvarianten Gewinnfaktor umgerechnet, der in einem Hauptmodell zustandsabhängig und zeitvariant die Systemausgänge verstärkt. Eine Modellskizze ist exemplarisch für die schnelle Abflusskomponente in Abb. 2 gegeben. Für die komponentendifferenzierte Gesamtstruktur des Modells sind parallel weitere nichtlineare Transformationen und Speicherstrukturen vorgesehen.



**Abb. 2.** Skizze eines nichtlinearen Modells (Ausschnitt für die schnelle Abflusskomponente)

Dieses Modell soll nach seiner Entwicklung in Ergänzung zu der unter dem Gesichtspunkt der statistischen Äquivalenz bereits sehr guten Simulation mit dem Treiber-Modell eingesetzt werden, um im Sinne der anfangs genannten Ziele die hydrologischen Rahmenbedingungen besser zu erfassen. Weitere Angaben zu diesen Arbeiten finden sich in Helms et al. (1999).

## **Literatur**

- Ahsan, M., O'Connor, K. (1994) A simple non-linear rainfall-runoff model with a variable gain factor; in: Journal of Hydrology, Vol. 155, S. 151-183
- Helms, M., Belz, S., Ihringer, J. (1999) Analyse und Simulation von Abflußzeitreihen der Elbe. In: „Fachtagung Elbe – Dynamik und Interaktion von Fluß und Aue“, Wittenberge, 4.-7.5.99, Universität Karlsruhe, S. 24-39
- Kron, W. (1996) Stochastische Simulation des Geschiebetransports am Zusammenfluß zweier Gewässer. Mitteilungen des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe (TH), Heft 59
- Treiber, B. (1975) Ein stochastisches Modell zur Simulation von Tagesabflüssen. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau III der Universität Karlsruhe (TH), Heft 5
- Wittenberg, H., Sivapalan, M. (1999) Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and baseflow separation; in: Journal of Hydrology, Vol. 219, S. 20-33