



Kurzfassung Dissertation

Theiner Dieter (04/2005):

Rainfall-Runoff modelling in small and medium-sized alpine catchments

Development of components for an operational runoff forecasting model

Begutachter: Univ.-Prof. DI Dr. techn. Peter Rutschmann

Im Vordergrund dieser Arbeit steht die Entwicklung von Komponenten für ein operationelles Abflussvorhersagemodell. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden daher in einem kleinen alpinen Einzugsgebiet zwei Wege zur Abflusssimulation beschritten:

- Zum einen wurde eine Niederschlags-Abflusssimulation mit dem rasterbasierten Wasserhaushaltsmodell WaSiM-ETH unter Verwendung des konzeptionellen TOPMODEL-Ansatzes durchgeführt, dessen Parameter mit Hilfe der inversen Modellierung festgelegt wurden.
- Zum anderen wurde die Eignung künstlicher neuronaler Netze für eine kurzfristige Abflussprognose untersucht.

Alle Untersuchungen fanden anhand des Einzugsgebiets des Zieplbachs (Gemeinde Westendorf in Tirol) statt. Von diesem etwa 1 km² großen Einzugsgebiet liegen Pegel- und Niederschlagsmessungen für den Zeitraum von Juli 2000 bis Juli 2003 vor.

1) Niederschlags- Abflusssimulation mit inverser Modellierung kalibrierbarer Modellparameter:

Es wurde ein Programm entwickelt, welches mit Hilfe von nichtlinearen Optimierungsalgorithmen eine automatische Kalibrierung des Wasserhaushaltsmodells WaSiM-ETH anhand von Abflussmessungen vornimmt.

Aus den vorliegenden Abflusszeitreihen wurden 10 Hochwasserereignisse mit einer Dauer von 72 Stunden entnommen. Anhand dieser Ereignisse wurden die Parameter des Bodenmodells von WaSiM-ETH mit Hilfe der inversen Modellierung kalibriert. Es wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt:

- Separate Kalibrierung der 10 Einzelereignisse
- Gemeinsame Kalibrierung der 10 Einzelereignisse

Insgesamt 8 Parameter bzw. Anfangsbedingungen des Modells erwiesen sich für die gegebene Datengrundlage und Modellkonfiguration als sensitiv und wurden aufgrund gegenseitiger Abhängigkeiten gemeinsam kalibriert. Um die Güte der Modellierungen einschätzen zu können, wurden verschiedene Gütekriterien wie die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers RMSE, die prozentuale Differenz der größten Abflussspitzen PEAK_DIFF, das Abflussvolumen im betrachteten Zeitraum VOL_DIFF und dem Nash-Sutcliffe-Kriterium R² berechnet.

Bei der separaten Kalibrierung zeigen sich größtenteils sehr gute Anpassungen an die gemessenen Abflussganglinien. Generell neigt das Modell allerdings dazu, die Abflussspitzen zu unterschätzen. Weiters zeigte sich, dass sich die optimalen Parametersets für die einzelnen Kalibrierereignisse wesentlich unterscheiden. Es konnte mit dieser Methode keine Parameterkombination gefunden werden, die alle Ereignisse befriedigend beschreibt. Die in beiden Versuchsreihen ermittelten Parameter wurden verwendet, um fünf Testereignisse zu simulieren. Mit den Parametersets aus der gemeinsamen Kalibrierung wurden größtenteils annehmbare Gütekriterien erreicht. Wurden Parametersets aus den Einzelanpassungen herangezogen, waren zum Teil weit bessere Anpassungen möglich. Allerdings wurden dafür andere Versuchsreihen nur sehr schlecht wiedergegeben.

2) Abflussvorhersage mit Hilfe eines künstlichen neuronalen Netzes (KNN)

Wie durch eine Literaturstudie ermittelt werden konnte, beschränken sich Studien zur Anwendung neuronaler Netze in der Hydrologie hauptsächlich auf große Einzugsgebiete.

In dieser Arbeit sollte daher Erfahrung mit der Verwendung neuronaler Netze in alpinen Kleinzugsgebieten gewonnen werden.

Für die Abflussprognose mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze wurden mit Hilfe des Programms SNNS mehrschichtige Feedforward Netze generiert, die eine Kurzfristprognose für das Abflussverhalten des Zieplbachs liefern sollen. Die erstellten Modelle wurden für eine Kontinuumsimulation ausgelegt.

Zur Modellentwicklung wurden drei verschiedene Ansätze verglichen: Der systematische Netzaufbau, eine Netzreduktion mit Hilfe von Pruning- Algorithmen sowie die automatische Netzgenerierung mit Hilfe des Kaskadenkorrelations- Algorithmus. Es wurden insgesamt 108 Versuchsreihen mit unterschiedlichen Eingabedaten und unterschiedlichen Netzarchitekturen durchgeführt.

Es hat sich gezeigt, dass das Abflusskontinuum und die Hochwasserspitzen infolge von Landregenereignissen zum Teil sehr gut wiedergegeben werden. Kleinere Hochwasserspitzen infolge kurzfristiger, intensiver Regenereignisse werden zum Teil stark überschätzt. Die Qualität der Simulationen wurde in Hinblick auf die gewählten Netzarchitekturen und die gewählten Trainingszeiträume verglichen.

Die Erstellung von Netzen mit Hilfe des Kaskadenkorrelations- Algorithmus erwies sich als eine wenig rechenintensive Methode. Diese Netze weisen allerdings Schwierigkeiten bei der Simulation des Retentionsverhaltens auf. Die Minimierung großer neuronaler Netze mit Hilfe von Pruning-Algorithmen führte zu Modellen, welche die Gebietsretention sehr gut berücksichtigen. Dagegen wurden Abflussspitzen von diesen Modellen zeitlich versetzt wiedergegeben. Die besten Ergebnisse lieferten systematisch ausgewertete Feedforward-Netze mit einer versteckten Schicht von Neuronen, die mit Hilfe des Backpropagation-Algorithmus trainiert worden waren. Allerdings haben die Versuche gezeigt, dass die Simulationsergebnisse in den meisten Fällen eher von den gewählten Trainingsdaten als von der gewählten Netzstruktur abhängig waren.

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit lassen sich folgende Schlüsse ableiten:

Im Falle des Untersuchungsgebietes Zieplbachs erlaubte die Datensituation keine sinnvolle Kontinuumsimulation. Daher waren mit dem Modell WaSiM-ETH nur ereignisbasierte Simulationen möglich. Außerdem bestanden erhebliche Unsicherheiten bezüglich der genauen Größe des Einzugsgebiets.

Mit Hilfe der inversen Modellierung konnten die Parameter des Modells WaSiM-ETH für das Testgebiet Zieplbach in einem automatisierten Suchprozess festgelegt werden. Es hat sich gezeigt, dass sich das Abflussverhalten des Testgebiets nur dann befriedigend beschreiben lässt, wenn der Parametersatz durch eine Kalibrierung anhand mehrerer unterschiedlicher Abflussereignisse ermittelt worden ist.

Die Verwendung eines einfachen heuristischen Verfahrens verminderte die Wahrscheinlichkeit, dass der Suchalgorithmus in einem lokalen Minimum der Fehleroberfläche konvergiert. Für die Arbeit des Hydrologen bedeutet die Verwendung einer automatischen Modellkalibrierung eine wesentliche Entlastung. Außerdem ist durch die Methode der inversen Modellierung eine objektive Festlegung der Modellparameter garantiert. Die Kalibrierung hoch parametrisierter Modelle erfordert allerdings einen sehr hohen Rechenaufwand, der mit Einzelplatzrechnern kaum mehr zu bewältigen ist. In Kooperation mit dem Institut für Informatik der Universität Innsbruck wurde eine AUSTRIAN GRID- Parallelversion des Optimierungsalgorithmus entwickelt.

Das Finden einer geeigneten Netzstruktur für neuronale Netze hat sich als ein zeitaufwendiges Unterfangen erwiesen, da die optimale Netzstruktur nicht a priori bestimmt werden kann. Es wurden daher unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung der Netzstruktur verwendet. Die automatisierten Verfahren wie Pruning oder Kaskadenkorrelation waren in den untersuchten Fällen den „händisch“ ausgewählten Netzstrukturen meist unterlegen.

Insgesamt gelang es den Modellen auf Basis neuronaler Netze sehr gut, das Abflussverhalten des Zieplbachs auch auf einer Kontinuumsbasis wiederzugeben. Aufgrund Ihrer geringen Rechenzeit erscheinen neuronale Netze auch für Prognosesysteme geeignet, da sie die Auswirkungen einer ganzen Palette möglicher meteorologischer Ereignisse in kurzer Zeit berechnen können. Die Auswahl der Trainingsdatensätze beeinflusst das Verhalten dieser Modelle allerdings stark.