



Die automatische Kalibrierung von zwei Niederschlag-Abfluss-Modellen



Zusammenfassung der Diplomarbeit “Systematischer Vergleich von zwei hydrologischen Simulationsmodellen“

Herr Dipl.-Ing. Manuel Simon
August 2009

Inhaltsverzeichnis

<u>1.</u>	<u>VERANLASSUNG</u>	<u>3</u>
<u>2.</u>	<u>SOFTWARE</u>	<u>4</u>
2.1	KALYPSO	4
2.2	NASIM	4
2.3	KALIMOD	5
<u>3.</u>	<u>VERGLEICH DER PRO- GRAMME</u>	<u>6</u>
<u>4.</u>	<u>VERGLEICH DER KALIBRIER- ERGEBNISSE</u>	<u>7</u>
4.1	KALIBRIERSTRATEGIE	7
4.2	ERGEBNISSE	7
4.2.1	LANGZEITSIMULATION	7
4.2.2	EREIGNISSIMULATION	8
<u>5.</u>	<u>VERGLEICH DER AUTOMATISCHEN MIT EINER MANUELLEN EXPERTENKALIBRIERUNG</u>	<u>8</u>
<u>6.</u>	<u>FAZIT</u>	<u>9</u>

1. Veranlassung

Niederschlag-Abfluss-Modelle (NA-Modelle) werden für zahlreiche fachspezifische Aufgaben in der wasserwirtschaftlichen Planung eingesetzt. Sie unterstützen den Anwender bei z.B. der Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten, der Dimensionierung von Bauwerken oder in der Wasserhaushaltsbilanzierung. Die Arbeitsschritte bei der Niederschlag-Abfluss-Modellierung gliedern sich in die Modellerstellung, die -kalibrierung und die -verifizierung. Zur Bearbeitung dieser wasserwirtschaftlichen Planungsaufgaben gibt es eine Vielzahl von Programmen.

Für eine realitätsnahe Abbildung der Niederschlags-Abfluss-Prozesse müssen die aufgestellten Modelle anhand von Pegelaufzeichnungen kalibriert werden. Dieser Kalibrierungsprozess ist zeitaufwendig und das Ergebnis ist stark von den persönlichen Fähigkeiten des Anwenders abhängig.

Im Rahmen der Diplomarbeit wurden die hydrologischen Simulationsprogramme NASIM und KALYPSO Hydrology miteinander verglichen sowie eine automatische Kalibrierung mit der an der Fachhochschule Münster entwickelten Software KALIMOD durchgeführt und mit einer manuellen Expertenkalibrierung verglichen.

2. Software

2.1 KALYPSO

Das in dieser Arbeit verwendete Niederschlag-Abfluss-Modell Kalypso Hydrology ist ein Open Source Modell, das von Björnsen Beratende Ingenieure GmbH und dem Institut für Wasserbau der TU Hamburg Harburg entwickelt wird. Kalypso Hydrology ist ein Modul im Softwareprojekt Kalypso, das eine Reihe von wasserwirtschaftlichen Simulationsmodellen zusammenfasst. Der vollständige, landgebundene Teil der globalen Wasserbilanz kann mit dem NA-Modell simuliert werden. Bei der Berechnung werden die einzelnen Teilprozesse Schneespeicherung, Evapotranspiration (Summe aus Transpiration und Evaporation), Bodenwasserspeicherung, Grundwasserneubildung, Oberflächenabfluss, Interflow (Bodenzwischenabfluss), Grundwasserabfluss und Wellentransport im Gerinne berücksichtigt. Bei Kalypso handelt es sich um ein konzeptionelles, deterministisches, nicht lineares, detailliert hydrologisches Modell (TU Hamburg Harburg - Institut für Wasserbau [2008]).

Die Anwendungsgebiete des NA-Modells liegen in der Prozessanalyse, der Hochwasservorhersage im operativen Einsatz und der Berechnung von Planungszuständen, wie z.B. Renaturierungen oder die Integration von Hochwasserschutzanlagen.

2.2 NASIM

Die Entwicklung des konzeptionellen Niederschlag-Abfluss-Modell NASIM begann Anfang der 80er Jahre an der RWTH Aachen. Die Weiterentwicklung und der Vertrieb erfolgt durch die Ingenieurgesellschaft Hydrotec GmbH. NASIM bietet die Möglichkeit zur Simulation von Abflüssen aus natürlichen, sowie aus urbanen Einzugsgebieten. Alle wesentlichen physikalischen Prozesse der Speicherung und Wasserbewegung werden abgebildet. Die vollständige Wasserbilanz kann über unterschiedlich lange Zeiträume simuliert werden. Bei der Simulation von Abflüssen aus urbanen Einzugsgebieten finden alle Elemente eines Kanalnetzes, wie z.B. Kanäle, Regenüberläufe oder Rückhaltebauwerke Berücksichtigung. Als Eingangsdaten dienen allgemein verfügbare Flächennutzungs- und Bodendaten. Anwendungsbeispiele sind die Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten, die Ermittlung von Grundwasserneubildungsraten, die Untersuchung der Wirkung von abflussreduzierenden Maßnahmen in Siedlungsgebieten oder die Echtzeitsteuerung von Hochwasserschutzsystemen (Hydrotec, [2008]).

2.3 KALIMOD

KALIMOD¹ ist eine im Labor für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Fachhochschule Münster entwickelte Software, die den Modellanwender bei dem gesamten Prozess der automatisierten Kalibrierung von hydrologischen Modellen unterstützt. Bisher kann das System mit den Niederschlagsabflussmodellen NASIM und Kalypso, dem stathydrologischen Modell ERWIN und dem Schmutzfrachtmodell MOMENT verwendet werden. Es besteht die Möglichkeit klassische und globale Sensitivitätsanalysen vor der Kalibrierung durchzuführen, um Parameter und Parameterwertebereiche zu identifizieren.

Die durchgeführten Sensitivitätsanalysen können graphisch ausgewertet werden. Dabei können Scatterplots und Wahrscheinlichkeitsverteilungen angezeigt werden mit denen die Ergebnisse interpretiert werden können.

Des Weiteren steuert KALIMOD die Kommunikation mit der Optimierungssoftware PEST² die die Optimierungsalgorithmen bereitstellt.

KALIMOD bietet die Möglichkeit den Optimierungsprozess jederzeit zu überwachen, da die berechneten Abweichungsmaße mit den ermittelten Parametern gespeichert werden und jederzeit eingesehen werden können. Nach der Optimierung werden sämtliche ermittelten Informationen bereitgestellt, wie z.B. die berechneten Abweichungsmaße und die kalibrierten Parameter. Ein

Grafikprogramm zur Auswertung der Abflussganglinien steht ebenfalls zur Verfügung. Die nachfolgende Abbildung beschreibt den Ablauf einer automatischen Kalibrierung mit KALIMOD.

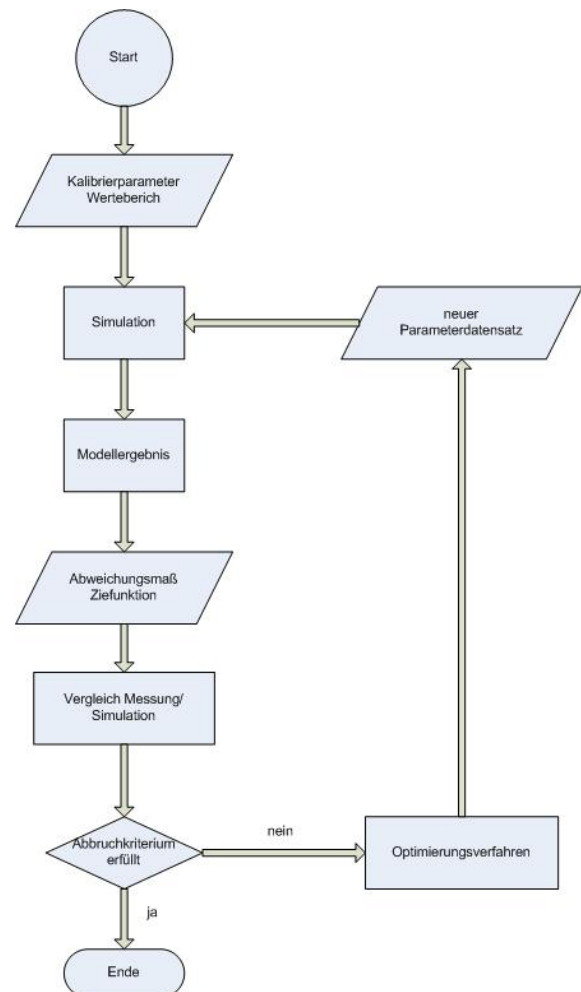


Abbildung 1: Ablauf einer automatischen Kalibrierung nach (Leutnant [2008])

¹ www.kalimod.de

² www.sspa.com/pest

3. Vergleich der Programme

In der praktischen Modellanwendung hat Kalypso eine Reihe von Nachteilen gegenüber NASIM. Durch die Simulation einzelner Teilgebiete für einen gesamten Simulationsblock lassen sich Rückkopplungen in einem System sehr schlecht abbilden. Die Elemente zur Modellierung der untersuchten Simulationsstudie (Speicher, Verzweigungen u.a.) sind zwar in Kalypso vorhanden, können aber aufgrund der genannten Einschränkung nicht für den vorliegenden Fall angewandt werden. Ein weiterer entscheidender Nachteil ist die Limitierung auf maximal 2880 Zeitschritte (= 10 Tage), die maximal bei einer Kurzzeitsimulation (5 min) berechnet werden können. Die Modellerstellung ist in NASIM aufgrund der Schnittstellen mit ArcGIS zeitsparender als in Kalypso. Die Erstellung von weiteren Varianten (Prognose-, Sanierungsvarianten) ist mit NASIM wesentlich schneller möglich. Im bestehenden Modell können beliebige Veränderungen vorgenommen werden wie z.B. das Einfügen von Rückhaltebauwerken, Abzweigungen zur Abbildung von Regenüberläufen oder anderen Elementen zur Überprüfung der Auswirkungen dieser Elemente. Kalypso hält diese Möglichkeit nicht bereit. Zur Erstellung von Planungsvarianten muss für jede Variante ein neues Modell erstellt werden. Vor dem Modellaufbau müssen die zusätzlichen, respektive nicht mehr vorhandenen Elemente in einem GIS digitalisiert werden. Des Weiteren stehen dem Anwender in NASIM deutlich mehr Simulationsoptionen und Berechnungsmöglichkeiten zur Verfügung. Das macht

NASIM vielseitiger einsetzbar. Abbildung 2 fasst noch mal entscheidende Merkmale der beiden Programme zusammen.

	NASIM	Kalypso
Schnittstelle zu GIS	ja	nein
Modellerstellung	Weniger Zeitintensiv	Zeitaufwändiger
Einzugsgebietsgröße	Mikro-, Meso-, Makroskalig	Mikro-, Meso-, Makroskalig
Einzugsgebietstyp	Urban geprägt, komplexe stadt-hydrologische Modelle, natürlich Einzugsgebiete	Natürliche Einzugsgebiete, stadthydrologische Modelle mit Einschränkungen
Kosten	13.000 – 20.000 €	kostenlos

Abbildung 2: Vergleich NASIM-Kalypso

4. Vergleich der Kalibrierergebnisse

4.1 Kalibrierstrategie

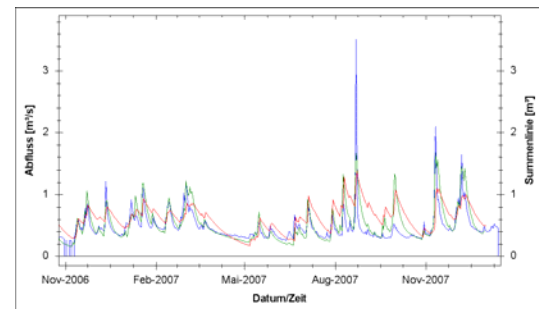
Die Vorgehensweise bei der Kalibrierung der beiden Modelle ergibt sich aus den in 3. genannten Limitierungen in Kalypso. Die Modelle werden erst in Tageswertschritten, zur Anpassung der langfristigen Wasserbilanz kalibriert. Mit dem kalibrierten Langzeitmodell werden Anfangswerte für eine anschließende Ereignissimulation aufzeichnet. Die Verifikation der Modelle erfolgt mit dem Spilt-Sample Test, bei dem ein Zeitraum zur Kalibrierung genutzt wird und ein anderer Zeitraum der Verifikation dient. Dadurch wird die Unabhängigkeit des Kalibrierergebnisses von dem Kalibrierzeitraum gewährleistet. Um insensitive Parameter und optimale Parameterwertebereiche zu identifizieren wurden vor der Kalibrierung Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Langzeitsimulation

Bei der Langzeitsimulation sind die Ergebnisse aus dem Kalypso-Modell besser zu bewerten.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Abflussganglinien aus den beiden Modellen und die gemessene Ganglinie.



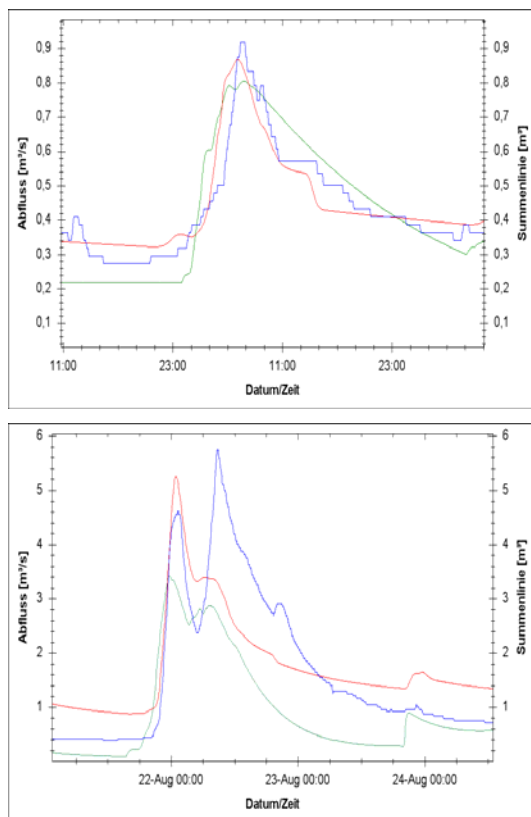
— Pegel — NASIM — Kalypso

Abbildung 3: Vergleich der kalibrierten Modelle/Langzeitsimulation

Sowohl die Anpassung der Spitzenabflüsse, des Basisabflusses, als auch die Form der Ganglinien mit ansteigenden und abfallenden Ästen sind im Kalypso Modell besser zu beurteilen.

4.2.2 Ereignissimulation

Beim NASIM-Modell konnten alle untersuchten Hochwasserereignisse zufrieden stellend abgebildet werden. Die Ganglinienanpassung und die Abweichung vom Maximalwert sind mit gut bzw. sehr gut zu bewerten. Im Kalypso-Modell weist die Ereigniskalibrierung in 5min-Schritten schlechtere Ergebnisse auf. Ein Grund dafür kann in der nicht so detaillierten Abbildung des städtischen Einzugsgebietes liegen. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen vergleichend die Abflussganglinien von zwei ausgewählten Hochwasserereignissen.



— Pegel — NASIM — Kalypso

Abbildung 4: Vergleich der kalibrierten Modelle/Ereignissimulation

5. Vergleich der automatischen mit einer manuellen Expertenkalibrierung

Die automatische Kalibrierung des NA-Modells zeigt für alle betrachteten Abweichungsmaße bessere Ergebnisse als die manuelle Expertenkalibrierung. In allen untersuchten Zeiträumen werden sowohl die Ganglinienform als auch die Spitzenabflüsse besser abgebildet. Dasselbe gilt für die Anpassung des Basisabflusses. Beim Vergleich von vorhandenen Entlastungshäufigkeiten von zwei Regenüberlaufbecken und einem Staukanal mit den simulierten Überläufen aus dem Modell, schneidet die automatische Kalibrierung ebenfalls besser ab.

6. Fazit

Für die wasserwirtschaftlichen Planungsaufgaben im Ingenieurbüro Reinhard Beck ist das NA-Modell Kalypso Hydrology nicht einsetzbar. Die komplexen stadthydrologischen Einzugsgebiete können mit KALYPSO Hydrology nicht so realitätsnah abgebildet werden, dass es für die zu bearbeitenden Aufgaben verwendet werden kann.

Die guten Ergebnisse bei der Langzeitsimulation des Kalypso Modells zeigen aber, dass das Programm nicht grundlegend schlechter ist. Bei der Modellierung von natürlichen Einzugsgebieten ist Kalypso als planarisches Werkzeug genauso einsetzbar wie NASIM. Der erhöhte Zeitaufwand bei der Modellerstellung muss dann mit den Anschaffungskosten von NASIM in Relation gesetzt werden. Nachfolgend werden die beiden Modelle zusammenfassend miteinander verglichen.

	NASIM	Kalypso
Modellerstellung	+	-
Modellanwendung	+	o
Abbildung stadthydrologischer Einzugsgebiete	+	-
Abbildung natürlicher Einzugsgebiete	+	+
Kosten	-	+

+ positiv zu bewerten
 0 = neutral
 - = negativ zu bewerten

Abbildung 5: Vergleich NASIM/Kalypso

Das Softwaretool Kalimod hat sich als große Unterstützung bei der Kalibrierung der hydrologischen Modelle heraus gestellt. Die besseren Ergebnisse und die Zeitersparnis bei der automatischen Kalibrierung sind im Besonderen hervorzuheben. Einige spezielle Erkenntnisse bei der Bearbeitung hätten bei einer manuellen Kalibrierung nicht, oder nur unter sehr großem Zeitaufwand

und wahrscheinlich einer hohen Erfahrung des Anwenders heraus gefunden werden können.

Literaturverzeichnis

Hydrotec (2008): Niederschlag-Abfluss-Modell NASIM – Programmdokumentation, Version 3.6.4.

TU Hamburg Harburg – Institut für Wasserbau (2003): Modelltheorie Niederschlag-Abfluss-Modell KALYPSO.

TU Hamburg Harburg – Institut für Wasserbau (2008): Kalypso Hydrology – Anwenderhandbuch.

Leutnant, D (2008): Erstellung einer Handlungsanleitung für die automatische Kalibrierung des Niederschlag-Abfluss-Modells NASIM. FH Münster, Labor für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Diplomarbeit.

- INFO 10** **Neuere Erkenntnisse zur Dimensionierung und Konstruktion von Bodenfiltern** November 1995
- INFO 11** **Kanalnetzcontrolling - Eine Maßnahme des Gewässerschutzes und der Kostendämpfung** März 1998
- INFO 12** **Regenwasserbewirtschaftung und -behandlung** Juni 1999
- INFO 13** **Erste praktische Erfahrungen mit dem BWK-Merkblatt 3**
Oktober 2001
- INFO 14** **Brasilien – Informationen zur Abwasserwirtschaft und zum Beruf des Architekten und des Ingenieurs** Juni 2002
- INFO 15** **„Siehste, geht doch nicht ...“ Probleme und ihre Lösungen bei der Inbetriebnahme von Retentionsbodenfiltern und bewachsenen Versickerungsmulden**
Mai 2003
- INFO 16** **Von einem der auszog das Dichten zu lernen. Inspektion, Sanierung und Instandhaltung von Grundstücksentwässerungsanlagen**
Juli 2004
- Info 17** **Fremdwasser, Bachwasser, Reinwasser, Drainwasser..... ableiten darf auch Spaß machen**
Wiederherstellung Leyerbach
März 2006
- Info 18** **Fünf Jahre Betrieb eines hochbelasteten Retentionsbodenfilters**
August 2006
- Info 19** **„Durchführbarkeitsstudie zur Abwasserbeseitigung in der ländlichen Region Galați“ (Rumänien)**
März 2008
- Info 20** **Wasserwirtschaftliches Denken und Handeln unter dem Einfluss des Klimawandels**
Mai 2009

Fax-Antwort:

Fax-Nr.: 0202 246 78-44

Firma: _____

Name: _____

Straße: _____

PLZ/Ort: _____

Email: _____

Bitte schicken Sie mir noch folgende Infos zu

Info 10

Info 11

Info 12

Info 13

Info 14

Info 15

Info 16

Info 17

Info 18

Info 19

Info 20