

Online-gestützte Hochwasservorhersage

Harald WEGNER

(Dr.-Ing. Harald Wegner, D-49565 Bramsche, dr.h.wegner@t-online.de)

1 ZUSAMMENFASSUNG

Für hydrologische Simulationen als Grundlage für Hochwasservorhersagen können durch die Integration interoperabler Dienste wesentlich bessere Anwendungsbedingungen geschaffen werden. Dies ist z. B. durch die heterogene Struktur der Eingangsdaten bedingt. So werden Geodatendienste benötigt, um die unterschiedlichen Gebietscharakteristika abzubilden (z. B. Boden, Geologie, Gewässernetz, Höhenmodell). Dazu liefern unterschiedliche Sensordienste verschiedene hydrologische und meteorologische Eingangsgrößen (z. B. Niederschläge, Abflüsse). Die Ergebnisse der Modellrechnungen sind in unterschiedlicher zeitlicher und räumlicher Auflösung an die verschiedenen Nutzer zu verteilen. Es bietet sich daher an, Hochwasservorhersagemodelle als geeignete Anwendungsfälle für eine kombinierte Nutzung der interoperablen Dienste des Open GIS Consortiums (OGC) und der High Level Architecture für Simulationsdienste (HLA) zu betrachten. Im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes der Ruhr-Universität Bochum (Fakultät für Bauingenieurwesen, Lehrstuhl Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik) mit dem Institut für Geoinformatik der Wilhelms-Universität Münster (IfGI) und dem Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -Automatisierung in Magdeburg erfolgt die Bearbeitung anhand eines Beispiels aus dem Einzugsgebiet der Oberen Lippe in Nordrhein-Westfalen. Es soll eine standardisierte Servicearchitektur auf Basis der vorgenannten interoperablen Dienste des OGC und der HLA in Hinblick auf eine Anwendung im Rahmen der Hochwasservorhersage entwickelt werden, um eine online-gestützte Hochwassersimulation zu ermöglichen. Dabei wird mit dem Wasserverband Obere Lippe (WOL) kooperiert, der für dieses Einzugsgebiet zuständig ist.

2 HOCHWASSERVORHERSAGE

Es können verschiedene Arten von Hochwasser unterschieden werden, wobei es in diesem Projekt um Hochwässer geht, die in Einzugsgebieten von Fließgewässern entstehen. Sie können als Sturzfluten, Überschwemmungen aus Starkniederschlägen oder Flussüberschwemmungen auftreten. Dabei treten Sturzfluten und Überschwemmungen aus Starkniederschlägen eher in kleinen Einzugsgebieten auf, da der herabfallende Niederschlag unmittelbar abflusswirksam wird. Flussüberschwemmungen hingegen sind im Normalfall in bestimmten Abständen wiederkehrende Hochwasserereignisse, deren Auftreten im Normalfall nicht überraschend ist, allenfalls ihr Ausmaß. Der Verlauf von Hochwasserereignissen hängt im Wesentlichen von der Größe und der Charakteristik des Einzugsgebietes des Fließgewässers ab. Letztere wird beispielsweise durch Form des Einzugsgebietes, Gefälleverhältnisse, Bodenaufbau, Bodennutzungen und zur Verfügung stehenden Überschwemmungsflächen bestimmt (vgl. Patt01, S. 6 u. 7).

Eine sinnvolle und vernünftige Hochwasservorhersage ist dann gegeben, wenn eine zeitige und ausreichend genaue Vorhersage des zu erwartenden Abflusses an einem bestimmten Pegel erfolgt. Im Normalfall können entsprechende Warnungen und Schutzmaßnahmen durchgeführt werden, wenn die Vorwarnzeit weniger als 12 Stunden beträgt (vgl. Patt01, S. 8). Bei kleineren Einzugsgebieten ist dieser Zeitraum allerdings viel zu lang, da bei einem sehr kurzfristigen und starken Anstieg des Abflusspegels durch ein Niederschlagsereignis der Pegelstand des Gewässers innerhalb von ein bis zwei Stunden um ein Vielfaches des normalen Abflusses ansteigen kann. Als Beispiel kann ein am 10.05.2002 gemessenes Hochwasserereignis am Pegel Brenken (Obere Lippe, Nordrhein-Westfalen) dienen. Der Wasserstand hat sich seinerzeit aufgrund eines Niederschlagsereignisses innerhalb einer Stunde fast verdoppelt und nach drei weiteren Stunden fast verdreifacht. Aufgrund solcher Ereignisse wird deutlich, dass die Vorhersage von Hochwässern in bestimmten Einzugsgebieten sehr kurzfristig erfolgen muss.

3 HYDROLOGISCHE SIMULATIONEN

Hydrologische Simulationen basieren auf einer Charakterisierung des betrachteten Einzugsgebietes durch Geodaten (z. B. Boden, Landnutzung, Gefälle, Exposition, Einzugsgebietsgrenzen). Als Antriebe für die hydrologischen Simulationsmodelle werden Niederschlagswerte sowie Zuflüsse von oberliegenden Gebieten verwendet. Die Berechnungsgrößen sind in erster Linie die Abflusswerte in ihrer zeitlichen Abfolge an ausgewählten Punkten des Gewässernetzes, die dann in Wasserstandsvorhersagen umgesetzt werden und so die Grundlage für Steuerungsentscheidungen für wasserwirtschaftliche Systeme (Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken) bilden, aber auch als Grundlage für die Maßnahmen zur Katastrophenabwehr oder für Planungszwecke dienen können. Grundlage hydrologischer Simulationen sind hydrologische mathematische Modelle (vgl. Dyck95, S. 46 ff.).

3.1 Niederschlags-Abfluss-Modelle

Für die Vorhersage von Hochwasserereignissen werden Niederschlags-Abfluss-Modelle (N-A-Modelle) verwendet. Sie zählen ebenfalls zu den hydrologischen Simulationen. Das heißt, Hochwasserabflüsse werden aus gefallenen Niederschlägen abgeleitet bzw. berechnet. Betrachtet man das Einzugsgebiet eines Fließgewässers als System, so stellt der nach einem Niederschlagsereignis auf das Einzugsgebiet produzierte Abfluss die Antwort des Systems dar. Mit Hilfe eigens dafür programmierter oder angepasster (kalibrierter) Anwendungen kann diese Niederschlags-Abfluss-Beziehung dargestellt werden (vgl. Patt01, S. 30). Der Gesamtprozess, der zur Entstehung des Abflusses in einem Einzugsgebiet führt, lässt sich in folgende Teilprozesse unterteilen: Abflussbildung, Abflusskonzentration und Abflussverlauf. Mit der Abflussbildung ist der Prozess gemeint, der abbildet, wie viel des auf ein Einzugsgebiet niedergehenden Niederschlags abflusswirksam wird (Effektiv-Niederschlag). Der Prozess der Abflusskonzentration beschreibt den zeitlichen Verlauf des Abflusses an einem bestimmten Punkt einer Gewässerstrecke für ein Einzugsgebiet. Der Prozess des Abflussverlaufs beschreibt die Entwicklung des Abflusses bezogen auf eine bestimmte Gewässerstrecke bzw. auf den Zusammenfluss der Abflüsse mehrerer Gewässerstrecken eines Einzugsgebietes (vgl. Patt01, S. 33 ff. und Man92, S. 263 ff.).

Das Einzugsgebiet selbst wird räumlich in Teileinzugsgebiete unterteilt, deren Abflüsse an bestimmten Gewässerquerschnitten berechnet werden. Zusätzlich zu den Teileinzugsgebieten werden Gewässerstrecken und vorhandene Speicher- bzw. Hochwasserrückhaltebecken (HRB), aber auch Talsperren, als Systemelemente verwendet. Somit kann hier von Teilmodellen gesprochen werden, aus denen sich das gesamte N-A-Modell zusammensetzt. Bei der Abgrenzung der Teilmodelle ist von Bedeutung, welche naturräumlichen Gegebenheiten in den Teileinzugsgebieten vorgefunden werden bzw. welche Eigenschaften die Gewässerstrecken und die HRB der Teileinzugsgebiete besitzen. Anschließend wird ein N-A-Modell anhand ausgewählter Hochwasserereignisse mit Hilfe verfügbarer hydrologischer Modellparameter auf der Grundlage der Charakteristika der Teileinzugsgebiete kalibriert und anschließend validiert. So ist es möglich, mit Hilfe der Niederschlagsdaten, die als Input in das Modell gegeben werden, den Abfluss an bestimmten Punkten der Gewässerstrecken als Output zu berechnen (vgl. Fun98, S. 11 ff.).

3.2 Integration von OGC-Spezifikationen

Die im Rahmen der OGC-Spezifikationen erarbeiteten Dienste des Sensor Web Enablement (SWE) wurden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für die Implementation des o. g. N-A-Modells bzw. seiner Teilmodelle untersucht. Es geht dabei um die Verarbeitung der Messdaten, die als Input-Daten für das N-A-Modell bzw. für die Teilmodelle benötigt werden. Hier sind im wesentlichen die Daten der Pegelstationen (Abflussdaten), der Niederschlagsmessstellen (Niederschlagsdaten), der meteorologischen Stationen (Klimadaten) und der HRB (Speicherdaten) zu berücksichtigen. Die SWE-Spezifikationen dienen dazu, die Bereitstellung, den Abruf und die Übertragung der entsprechenden Daten zu definieren. Für die unter den SWE zu subsumierenden Dienste können folgende Zuordnungen vorgenommen werden (vgl. Bern02, 167 ff.):

- Sensor Collecting Service (SCS)
- Sensor Planning Service (SPS)
- Web Notification Service (WNS)

Mit dem Sensor Collecting Service (SCS) ist eine Web-Schnittstelle gemeint, die physikalische Sensordaten für andere Dienste zur Verfügung stellt. Dabei können die Daten sowohl direkt vom Sensor als auch über eine Datenbank bezogen werden. Es kann somit bestimmt werden, über welche Zugriffsdienste die Sensordaten abgefragt werden. Diese Web-Schnittstelle wird bei der Hochwassersimulation für die Sensordaten der Pegel- und Niederschlags- und Klimastationen sowie für die HRB definiert.

Mit Hilfe des Sensor Planning Service (SPS) wird das Abfragen von Sensordaten bzw. der Start von Simulationen angestoßen. Kern ist dabei der Start einer Abfrage bzw. Simulation durch einen Akteur. Das kann entweder ein Benutzer sein oder ein System, das die Überschreitung eines kritischen Wertes registriert. Im Fall des Anwendungsfalls „Hochwassersimulation“ ist die Interaktion von Benutzern über den SPS gemeint, aber auch die Registrierung erhöhter Messwerte über einen Sensor (z. B. erhöhte Niederschlagswerte), die den Start einer Simulation auslösen kann. Im weiteren wird definiert, welche Systeme bei einer Hochwassersimulation welche Sensordaten abfragen bzw. welche Simulationsdienste starten können.

Der Web Notification Service (WNS) dient dazu, die Akteure, die bestimmte Dienste (z. B. Abfrage von Sensordaten oder der Start einer Simulation) angestoßen haben, über den Status dieser Dienste zu informieren. Somit erhält der Akteur einen Zustandsbericht über die aktuelle Situation der verfügbaren Sensordaten bzw. Simulationsläufe. Für den Anwendungsfall „Hochwassersimulation“ bedeutet dies, dass der Akteur abfragen kann, wann welche Sensordaten bzw. Simulationsergebnisse vorliegen bzw. ob er überhaupt Daten bzw. Ergebnisse erwarten kann. Bei einer Hochwassersimulation wird festgelegt, welche Zustände über bestimmte Sensordaten bzw. Simulationsdienste abgerufen werden können.

3.3 Integration von HLA-Spezifikationen

Die HLA bietet derzeit Möglichkeiten, verteilte Simulationen (Federations) zu implementieren. Den Teilnehmern (Federates) an einer Simulation steht über die HLA eine Schnittstelle zur Verfügung, mit Hilfe derer sie zur Laufzeit der Simulation miteinander kommunizieren können. Allerdings bietet die HLA keinen Managementservice, der das kontrollierte Starten und Beenden von Federates unterstützt.

Für die Hochwassersimulation soll daher ein Konzept entwickelt werden, welches unter Nutzung der vorhandenen HLA-Spezifikationen das externe Anstoßen von Federations sowie das kontrollierte Starten und Beenden von Federates ermöglicht. Des Weiteren müssen die Ergebnisse der Simulationen wiederum externen Teilnehmern außerhalb der HLA-Schnittstelle verfügbar gemacht werden, um die Praxistauglichkeit des zu entwickelnden Systems zu gewährleisten (vgl. Stra98, S. 1ff.).

4 HOCHWASSERSIMULATION ALS ANWENDUNGSFALL (USE CASE)

In der einschlägigen Literatur bezeichnet man einen Anwendungsfall als Use Case. Ein wichtiges Arbeitspaket im Rahmen des Projektes ist die Definition des Use Case „Hochwassersimulation“. Vor allem im Bereich der Modellierung von Geschäftsprozessen wurden Use Cases bzw. ihre Beschreibung und Abgrenzung erstmalig eingesetzt.

4.1 Grundsätzliches über Use Cases

Ein Use Case wird immer von einem oder mehreren Akteuren angestoßen bzw. initiiert. Der Akteur (actor) tritt jedoch nicht als Person in Erscheinung, sondern schlüpft in eine so genannte „Rolle“ (vgl. Erl01, S. 61 ff.). Ein Akteur muss nicht zwingend eine Person sein. Auch ein externes System, das Informationen von einem betrachteten System benötigt, kann als Akteur bezeichnet werden (vgl. Fow00, S. 38). Die Antwort auf die folgende Fragestellung beschreibt die Rolle eines Akteurs sehr zutreffend: *Wer tut was, wann, warum und mit welchem Ergebnis?*

Der Use Case gliedert sich in einzelne Aktivitäten. Dabei produziert jeder Use Case ein Ergebnis, einen so genannten Output. Use Cases können sowohl verbal als auch in grafischer Form mit Hilfe der Unified Modeling Language (UML) dargestellt bzw. beschrieben werden. Use Cases haben untereinander folgende Beziehungen:

- Vererbung
- Verwendung („include“) => „verwendet“
- Erweiterung („extend“) => „erweitert“

Use Cases und ihre Beziehungen zueinander können mit Hilfe so genannter Use Case - Diagramme dargestellt werden. Sie dienen dazu, die Anforderungen an ein zu entwickelndes System zu definieren. Sie sollten nicht dazu verwendet werden, Programmabläufe innerhalb eines Systems darzustellen. Dafür sind sie nicht geeignet (vgl. Oest98, S. 1 ff.). Neben der Darstellung in Diagrammform können Anwendungsfälle auch verbal beschrieben werden. Folgende Gliederung kann dabei angewendet werden (vgl. Oest98, S. 2):

- Nummer und Name des Anwendungsfalls
- Kurzbeschreibung
- Auslöser bzw. Vorbedingungen
- Ergebnisse bzw. Nachbedingungen
- nicht-funktionale Anforderungen
- Ablaufbeschreibung (untergliedert in einzelne Schritte, die wiederum durch eine Kurzbeschreibung repräsentiert werden)
- Ausnahmen, Varianten
- offene Punkte, Fragen
- Dokumente, Referenzen

Es stellt sich die Frage, inwieweit zwischen Anwendungsfällen auf der einen und Interaktionen bzw. Aktivitäten auf der anderen Seite unterschieden werden muss. Dem entsprechend kann man mit Hilfe der UML Verhaltensdiagramme entwickeln, worunter die folgenden Diagrammart zu subsumieren sind:

- Interaktionsdiagramme
- Zustandsdiagramme
- Aktivitätsdiagramme

Davon sind die Aktivitätsdiagramme als wesentlich zu bezeichnen, da sie als eine besondere Form des Zustandsdiagramms die Zustände mit den entsprechenden Verarbeitungen verknüpfen können. In Aktivitätsdiagrammen werden neben den Zuständen der Objekte auch die Veränderungsmöglichkeiten dieser Zustände dargestellt. Die Zustände als solche können in Unterzustände untergliedert werden, die sequentiell oder partiell verschachtelt sein können (vgl. Erl01, S. 136).

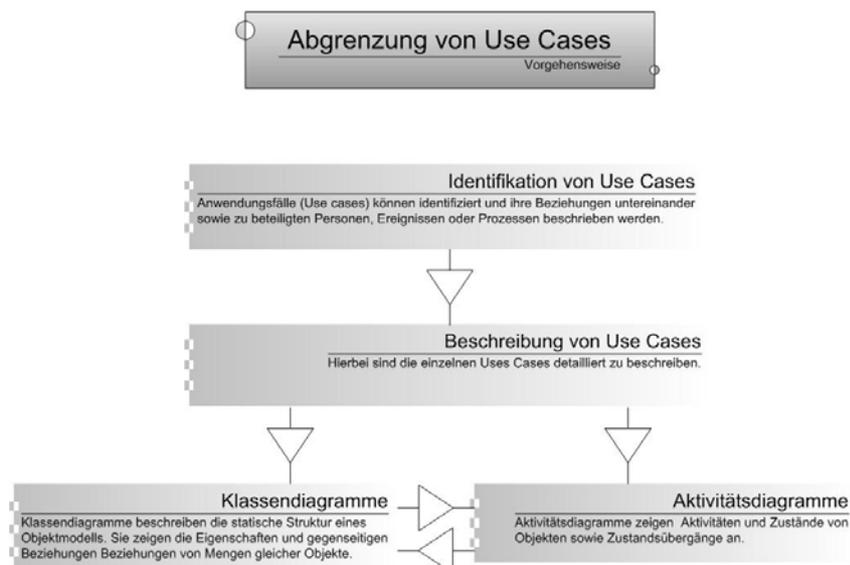


Abb. 1: Vorgehensweise bei der Abgrenzung von Use Cases (Quelle: eigene Darstellung)

Des Weiteren sind Klassendiagramme wichtig. Sie beschreiben die statische Struktur des Objektmodells, welches die Grundlage für die spätere Struktur und Entwicklung des Systems bzw. der Anwendung bildet. Ferner zeigen die Klassendiagramme Eigenschaften und gegenseitige Beziehungen von Mengen gleicher Objekte (vgl. Erl01, S. 69). Man kann allerdings nicht davon ausgehen, dass sich Zusammenhänge zwischen den Anwendungsfällen und den Klassen eines Systems ergeben (vgl. Fow00, S. 42). Für das weitere Vorgehen im Projekt zur Definition des Use Case Hochwassersimulation wird die Abgrenzung von Use Cases entsprechend der Abb. 1 vorgenommen.

Der Übersichtlichkeit wegen ist es ratsam, die Use Cases eindeutig zu benennen bzw. von der Hierarchie her zu unterscheiden. Das heißt, es sollten zuerst die wichtigsten Use Cases oben in der Hierarchie dargestellt werden, die weniger wichtigen entsprechend tiefer angesiedelt sein. Die einzelnen Anwendungsfallbeziehungen können ebenfalls in Beziehung zueinander gesetzt werden, wobei die Darstellung mit der UML hilfreich ist. Die Abb. 2 gibt einen Überblick über die Beziehungen zwischen den im Rahmen des Projekts auftretenden Use Cases.

4.3 Beschreibung der Use Cases

Use Cases sollten detailliert beschrieben werden, da sie sich aus einzelnen Schritten zusammensetzen. Diese einzelnen Schritte bilden dann die Grundlage für die Erarbeitung von Aktivitätsdiagrammen (vgl. Oest98, S. 3). Zentrale Ausgangsposition bei der Betrachtung eines Use Case ist der beteiligte Akteur bzw. sind die beteiligten Akteure. Als Akteur ist in diesem Zusammenhang nicht nur eine handelnde Person zu betrachten (z. B. der Mitarbeiter eines Wasserverbandes). Auch ein beteiligtes System, welches bestimmte Aktivitäten durchführt (z. B. das Regelungssystem eines Hochwasserrückhaltebeckens), wird als Akteur bezeichnet (vgl. Oest98, S. 3). Daraus kann eine akteurspezifische Anwendungsfallbeschreibung abgeleitet werden.

Die akteurspezifische Beschreibung der Use Cases bietet sich als zweckmäßige Art des weiteren Vorgehens an, da sie von der Sichtweise der handelnden bzw. beteiligten Akteure ausgeht und deren Sicht auf die Problemstellung in den Mittelpunkt rückt. Diese Beschreibung erfolgt in tabellarischer und verbaler Form (vgl. Oest98, S. 3).

5 ONLINE-GESTÜTZTE SIMULATION VON HOCHWASSERENTSTEHUNG ALS PROTOTYPISCHE ANWENDUNG

Als Untersuchungsgebiet wurde das Flussgebiet der Oberen Lippe bis zum Pegel Bentfeld gewählt. Die Abb. 3 zeigt den Untersuchungsraum mit der Gewässerstruktur und Teilgebietsgrenzen. Das Gebiet der Oberen Lippe wurde ausgewählt, da sich in diesem Raum eine Reihe von HRB befinden, die im Hochwasserfall eine beträchtliche Menge des Abflusses zurückhalten. Damit ergibt sich sowohl eine wasserwirtschaftliche Notwendigkeit für die Hochwasservorhersage, als auch die Möglichkeit, verschiedene Anwendungsfälle in die Servicearchitektur zu integrieren. Dazu zählen neben der Hochwasservorhersage auch Aussagen hinsichtlich der Steuerung der HRB. Die relativ große Zahl von HRB (insgesamt neun) erfordert eine Vorhersage sowohl der Hochwasserentstehung, als auch der Auswirkungen von Beckensteuerungen. Damit bietet dieses Untersuchungsgebiet hervorragende Möglichkeiten, ein komplexes Hochwassermodell auf der Grundlage verschiedener Sensoren (Niederschlag, Abfluss, Betriebszustände der HRB) zu konzipieren, in seiner Funktionalität validieren und auf seine Anwendbarkeit bei der Unterstützung echtzeitbasierter Hochwassersteuerungen zu überprüfen.

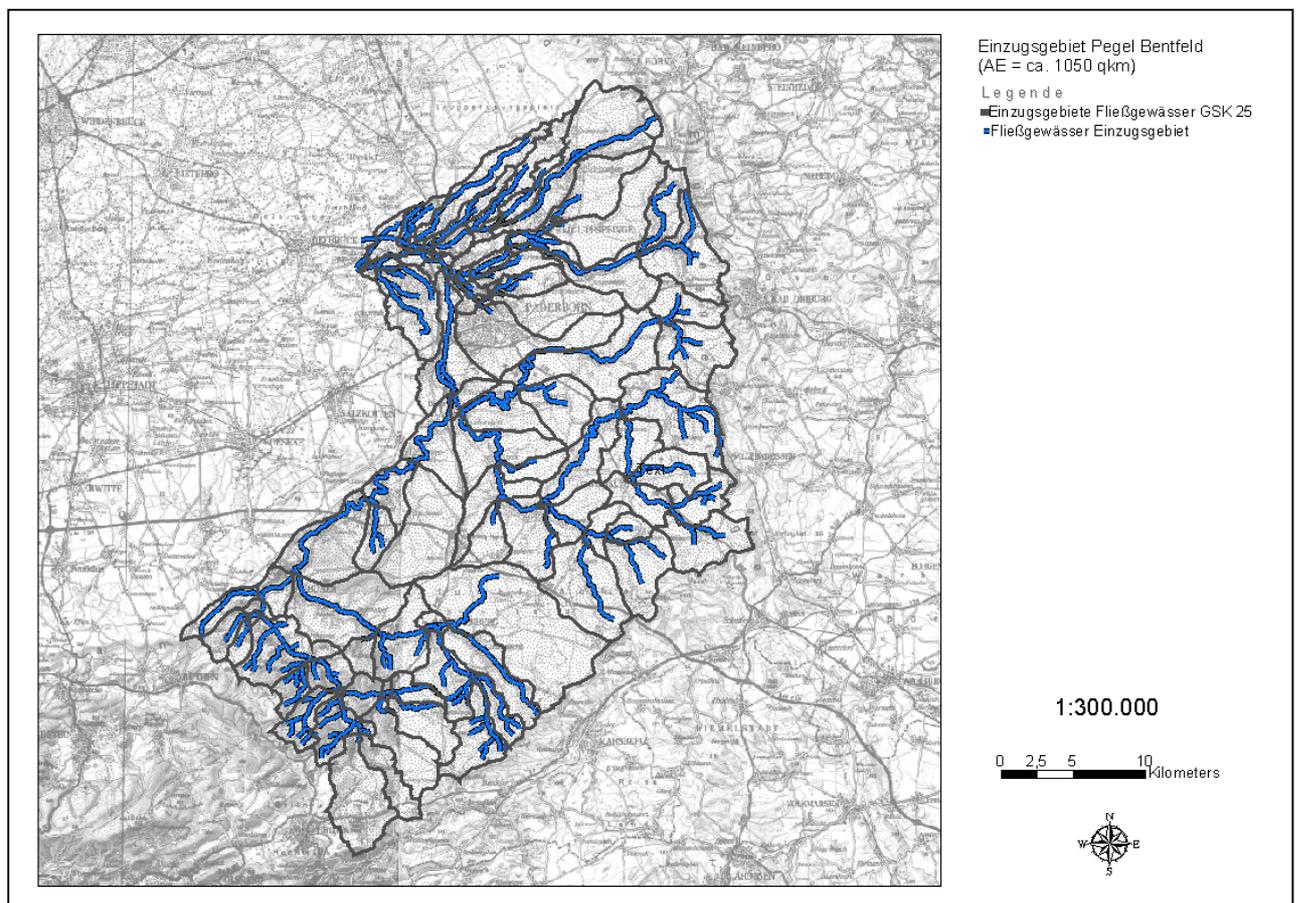


Abb. 3: Darstellung des Beispielraumes mit Gewässerstrecken und Einzugsgebietsgrenzen (Quelle: LUA Nordrhein-Westfalen, eigene Darstellung)

5.1 Beschaffung und Aufbereitung von Geo- und Messdaten für den Beispielraum

Es wurden folgende Geodaten, hydrometeorologische Zeitreihen bzw. Speicherbetriebsdaten (für die HRB und Talsperren) beschafft:

Geodaten

- Bodenübersichtskarte 1:1000000 (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
- Landnutzungsdaten / Corinne 1:100000 (Statistisches Bundesamt)
- Bodenkarte 1:50000 (Geologischer Landesdienst NRW)
- Gewässerstationierungskarte 1:25000 (Landesumweltamt NRW)
- Fließgewässernetz (Landesumweltamt NRW)
- Digitales Höhenmodell 50 (Landesvermessungsamt NRW)
- Topografische Karte 1:100000 (Landesvermessungsamt NRW)
- Amtliches Topografisch-Kartografisches Informationssystem / ATKIS (Landesvermessungsamt NRW)

Messdaten

- Abflussdaten (WOL, Staatliches Umweltamt Bielefeld)
- Niederschlagsdaten (WOL, Staatliches Umweltamt Bielefeld)
- Klimadaten (Staatliches Umweltamt Bielefeld)
- Speicherdaten (WOL, Verband Aabach-Talsperre)

Speicherbetriebsdaten

- Kennlinien Zufluss- / Abflusspegel
- Zufluss- / Abflusskurven
- Stauflächen- / Stauinhaltslinien
- Leistungskurven Drosselklappen

Die o. g. Geo- und Messdaten wurden für den Beispielraum mit Hilfe verschiedener Programme (u. a. ArcGIS) aufbereitet und in Form einer Geodatenbasis zusammengeführt. Des Weiteren werden sie auf der Grundlage des internationalen Standards für Metadaten ISO/DIS 19115 mit Hilfe des ArcCatalog-Moduls von ArcGIS dokumentiert.

5.2 Entwicklung des Niederschlag-Abfluss-Modells

Für den Beispielraum wird ein Niederschlags-Abfluss-Modell entwickelt, das sowohl Niederschläge als auch Abflüsse sowie Betriebsdaten der HRB für die Hochwasservorhersage in Echtzeit verwendet. Der Beispielraum wird hierzu in Teileinzugsgebiete unterteilt, deren Abflüsse an bestimmten Gewässerquerschnitten berechnet werden. Neben den Teileinzugsgebieten werden Gewässerstrecken und Hochwasserrückhaltebecken als Systemelemente verwendet.

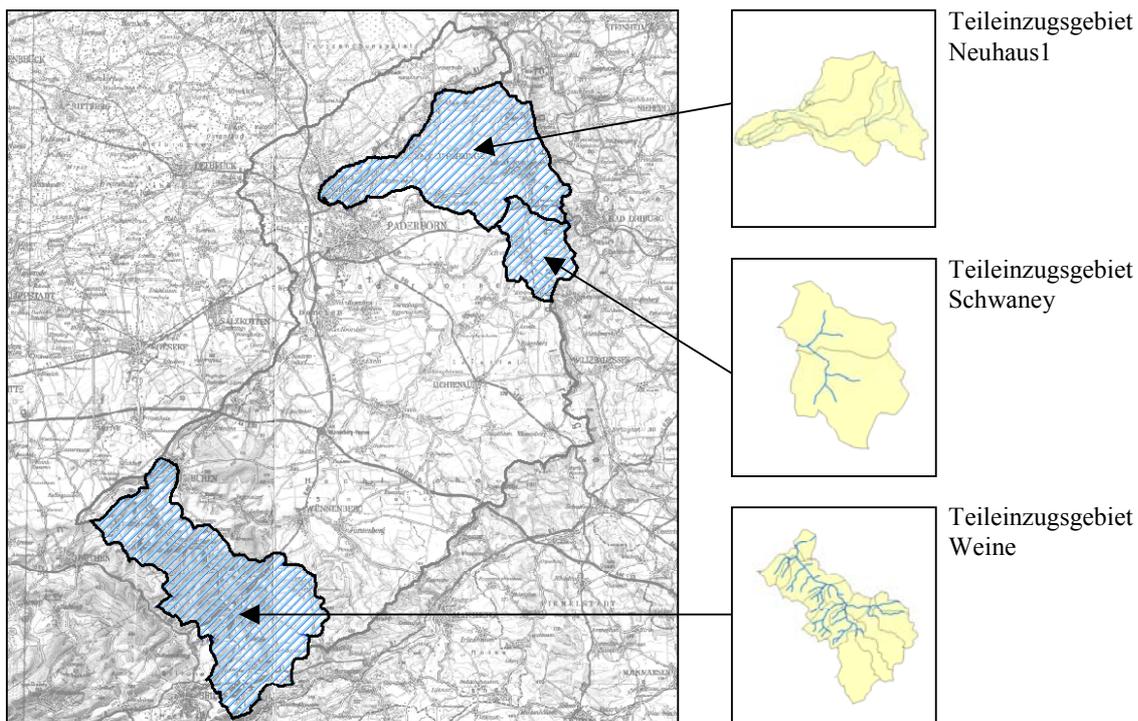


Abb. 4: Übersicht der Teileinzugsgebietsflächen Neuhaus I, Schwaney und Weine (Quelle: LUA Nordrhein-Westfalen, eigene Darstellung)

Damit setzt sich das Niederschlags-Abfluss-Modell aus mehreren Teilmodellen zusammen, die drei unterschiedlichen Kategorien angehören. Da der Beispielraum eine geologisch heterogene Struktur aufweist, muss die Segmentierung in Teilgebiete und Teilstrecken die spezifischen naturräumlichen Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes berücksichtigen. Die Entwicklung der Teilmodelle wird sowohl auf der Basis empirisch-konzeptioneller Ansätze als auch auf physikalisch basierten Ansätzen der N-A-Modellierung erfolgen. Endgültige Aussagen hierzu können jedoch erst getroffen werden, wenn der Beispielraum hinsichtlich seiner naturräumlichen Struktur abschließend untersucht wurde.

In einem ersten Schritt wurden in dem Beispielraum drei Teileinzugsgebiete ausgewählt (s. Abb. 4), anhand derer ein erstes prototypisches N-A-Modell bzw. räumlich differenzierte Teilmodelle entwickelt werden. Es handelt sich hierbei um die Einzugsgebiete der Pegelstationen Neuhausl (ca. 107 km²), Schwaney (ca. 30 km²) und Weine (ca. 143 km²). Für diese Teileinzugsgebiete stehen umfangreiche Messdaten (Niederschläge und Abflüsse) vom Staatlichen Umweltamt Bielefeld und vom WOL zur Verfügung und dienen als Kalibrierungs- und Validierungsdaten. Die Teilmodelle werden objektorientiert mit der Programmiersprache C++ implementiert.

Für die Berechnung der Abflussbildung wurde in dem Modell die sogenannte SCS-Curve-Number Methode des U. S. Soil Conservation Service (SCS) verwendet (vgl. Ding94, S. 389 ff.). Da dieses Verfahren einen sehr einfachen Modellansatz zur Abflussentstehung darstellt, der ursprünglich nicht für die Vorhersage von Hochwasser entwickelt wurde, dient es zunächst nur für die vorläufige Implementierung des Prototyps. Im weiteren Verlauf des Projekts werden anspruchsvollere Modelle (z. B. Green-Ampt-Ansatz) verwendet, welche die Prozesse der Abflussentstehung wesentlich differenzierter und genauer darstellen können. Für den ersten prototypischen Einsatz bei sehr kleinen, relativ homogenen Einzugsgebieten, reicht das SCS-Verfahren jedoch aus.

Für die Berechnung der Abflußkonzentration wurde ein Fließzeit-Ansatz gewählt, welcher die Entstehung von Abfluss aus einem Einzugsgebiet über den Zuwachs der Flächenanteile ableitet, die von Linien gleicher Fließzeiten umschlossen werden (vgl. Patt01, S. 34 ff.). Auch dieser Modellansatz wurde gewählt, da er aufgrund seiner einfachen Funktionsweise relativ einfach zu implementieren ist. Im weiteren Verlauf des Projektes werden allerdings auch bei der Abflusskonzentration detailliertere Modellansätze (z. B. Nash-Kaskade) verwendet, die aber auch entsprechend komplexer aufgebaut sind.

Für die prototypische Anwendung wurden allerdings noch keine Sensordaten (Niederschlagsdaten) online direkt von einer Messstation abgerufen. Mit dem Abrufen der Daten wurde von einem Server quasi der Online-Betrieb simuliert. Des Weiteren wurden zur Vereinfachung nur die Daten einer Niederschlagsstation als Eingangsdaten genutzt.

Mit den oben genannten Schritten konnte für das Teileinzugsgebiet Schwaney beispielhaft ein prototypisches System zur Hochwassersimulation implementiert werden. Es basiert auf den vorläufigen OGC-Spezifikationen für die Dienste des Sensor Web Enablement (SWE) und nutzt die Spezifikationen der HLA für Simulationsdienste. Die Nutzung dieser Spezifikationen ist notwendig, um im ersten Schritt eine standardisierte Servicearchitektur für das System zu realisieren, die anschließend ausgebaut werden kann, wenn komplexere Modellansätze zur Anwendung kommen. Es wurde allerdings deutlich, dass aufgrund der hohen Ungenauigkeit dieser Ansatz lediglich die Funktionstüchtigkeit der Prototyps in technischer Hinsicht zeigt. Er kann jedoch auf keinen Fall für eine genaue Hochwasservorhersage genutzt werden und dient lediglich zur ersten Einschätzung der Lauffähigkeit des Prototyps.

6 WEITERES VORGEHEN

In den nächsten Arbeitsschritten des Projektes werden zunächst die Modellansätze zur Abflussentstehung und Abflusskonzentration verfeinert (s. Kap. 5.2). Ebenso werden die Messdaten mehrerer Niederschlagsstationen für die jeweiligen Teileinzugsgebiete berücksichtigt. Somit müssen auch Interpolationsverfahren (z. B. Kriging) mit in die Simulation einbezogen werden, um die räumliche und zeitliche Verteilung des Niederschlags besser berücksichtigen zu können. Anschließend wird das N-A-Modell anhand der drei ausgewählten Teilgebiete weiter kalibriert bzw. validiert. Danach muß geprüft werden, inwieweit das Modell auf die anderen Teileinzugsgebiete des Beispielraumes anwendbar ist.

7 LITERATUR

- [Bern02] Lars Bernard / Ulrich Streit / Andreas Wytzisk, Eine Servicearchitektur zur Integration interoperabler Simulationskomponenten, in: Andreas Schumann (Hrsg.), Proceedings Workshop HydroGIS NRW 2002 am 23.05.2002 an der Ruhr Universität Bochum, Schriftenreihe Hydrologie / Wasserwirtschaft der Ruhr-Universität Bochum, Bochum, 2002, S. 167-177
- [Ding94] S. Lawrence Dingman, Physical Hydrology, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1994
- [Dyck95] Siegfried Dyck / Gerd Peschke, Grundlagen der Hydrologie, 3. Auflage, Berlin, 1995
- [Erl01] Thomas Erl, Das Einsteigerseminar UML, Stuttgart, 2001
- [Fow00] Martin Fowler / Kendall Scott, UML konzentriert, 2. Auflage, München, 2000
- [Fun98] Roland Funke, Regionale Parametrisierung eines hydrologischen Niederschlags-Abfluss-Modells für Mittelgebirgsverhältnisse, 1998, http://www.ruhr-uni-bochum.de/hydrology/D/Projekt/Funke/pro_funke.htm, Zugriff am 28.10.2002
- [Man92] Ulrich Maniak, Hydrologie und Wasserwirtschaft, 1. Auflage, Berlin, 1992.
- [Oest98] Bernd Oestereich, Advanced Use Case Modeling, 1998, <http://www.oose.de/publikationen/artikel>, Zugriff am 04.10.2002
- [Patt01] Heinz Patt, Hochwasser-Handbuch, Berlin, 2001
- [Stra98] Steffen Straßenburger / Ulrich Klein, Integration des Simulators SLX in die High level Architecture, 1998, <http://www.cs.uni-magdeburg.de/~strassbu/publications/maerz98/slxpaper.html>, Zugriff am 22.10.2002

