

4 Länderbericht Deutschland

H.-B. Kleeberg, R. Mück

4.1 Einleitung

Der vorliegende Länderbericht Deutschland basiert auf schriftlichen Umfragen, mit dem Ziel festzustellen, welche der folgenden drei Methoden:

1. Empirische und regional gültige Formeln,
2. Statistische Verfahren,
3. Deterministische Niederschlag-Abfluss-Modelle

bei der Abschätzung von seltenen und extremen Hochwasserabflüssen eingesetzt werden. Dabei stehen zunächst die Hochwasserscheitelabflüsse als Bemessungsabflüsse für Massnahmen des Hochwasserschutzes und der Anlagensicherheit sowie für Risikobetrachtungen im Vordergrund. Niederschlag-Abfluss-Modelle sind für andere Zwecke entwickelt worden. Sie haben den Vorzug, Ganglinien zu generieren, die bei Retentionsberechnungen für Speicher und für instationäre Abflussberechnungen in Gewässernetzen und Talauen benötigt werden. Gleichwohl wird mit jeder Ganglinie auch ein Scheitelabfluss ermittelt, so dass diese Modelle auch für die Ableitung dieser Art von Bemessungsabflüssen einsetzbar sind.

Jede der drei Methoden, die im Kapitel 4.3 noch einmal etwas ausführlicher beschrieben sind, beinhaltet eine beliebige Anzahl unterschiedlicher Verfahren (Ansätze, Vorgehensweisen, Modelle), die alle zielführend sein können.

Der Fragebogen ist in einem ersten Schritt an die für Festlegung von Bemessungsabflüssen zuständigen Behörden der deutschen Bundesländer, d.h. an die Wasserwirtschaftsverwaltungen der Bundesländer verschickt worden. Später konnten auch noch die Ingenieurbüros, Wasserverbände und Hochschulinstitute befragt werden. Diese werden in Deutschland häufig von den für die wasserwirtschaftliche Planung zuständigen Ämtern und Verwaltungen mit der Abschätzung von Hochwasserabflüssen für konkrete Projekte beauftragt. Weil aber nicht bekannt ist, welche Büros und Institute sich mit der Abschätzung von Hochwasserabflüssen befassen, wurden diese zunächst in einem einseitigen Fragebogen nur nach ihren Aktivitäten in dieser Hinsicht und nach der Anwendung einiger inzwischen überregional eingesetzter Verfahren gefragt. Erst nach einer positiven Antwort wurden sie gebeten, den ausführlichen Fragebogen zu beantworten, sofern die von ihnen eingesetzten Verfahren nicht schon bekannt waren.

Mit den ausführlichen Fragebögen wurde zu den einzelnen Verfahren folgendes erhoben:

- Namen des Verfahrens oder der Software, Quellen (Literatur),
- Details zum Verfahren und Datenbedarf, Datenverfügbarkeit,
- Erfahrungen zur Anwendbarkeit, zu den notwendigen Eingabedaten, zum Aufwand und zur Güte der Resultate.

Zusätzlich wurden je nach Methode spezifische Fragen nach speziellen Algorithmen gestellt.

4.2 Ergebnisse

Der Fragebogen ist – unterstützt durch die LAWA-AG Daten – von fast allen 16 Bundesländern, bei denen die Abschätzung von Bemessungshochwasser bedeutsam ist (das sind alle Flächenländer), beantwortet worden. Von den 80 befragten Ingenieurbüros, Verbänden und Universitäten haben 42 geantwortet. Es war einerseits nicht von vorne herein bekannt, welche der angefragten Institutionen sich überhaupt mit der Abschätzung von Hochwasserabflüssen befassen, und andererseits war vermutlich die Bereitschaft, sich der Beantwortung eines Fragebogens (auch wenn er nur eine Seite umfasst) zu widmen, der vermeintlich mangelnden Produktivität wegen nicht sehr gross. Leider wurden manchmal auch die Fragebögen nur unzureichend beantwortet.

In der Übersicht Anlage 2 sind die Institutionen aufgelistet, die angeschrieben worden sind. Der Liste ist zu entnehmen, ob es überhaupt im Aufgabenbereich liegt, Hochwasserabflüsse abzuschätzen. Zusätzlich ist angegeben, welche Methoden angewandt werden und innerhalb welcher Methoden weitere Informationen zu den Verfahren gegeben worden sind.

Aus den Antworten ist erkennbar, dass alle drei wesentlichen Methoden (Empirische und regional gültige Formeln, Statistische Verfahren, Deterministische Modelle) eingesetzt werden, mit einem Schwergewicht bei den statistischen Methoden und ihren Verfahren.

Oft beruhen die eingesetzten Verfahren auf Algorithmen und Modellen, deren Allgemeingültigkeit und regionale Übertragbarkeit oder sogar ein bundesweiter Konsens behauptet wird, aber nicht bewiesen ist. Vielfach sind es spezielle Entwicklungen für eine Verwaltung oder eine andere Institution, für eine Region oder gar nur für ein Flussgebiet. Häufig sind sie in der Literatur nicht zu finden oder nicht näher erläutert und dann nur mit erheblichen Aufwand und Rückfragen nachzuziehen. Erstaunlich ist, wie stark immer noch subjektive Erfahrungen und Einschätzungen - ohne quantitative Nachweise der Qualität eines Verfahrens - die Anwendung und vermeintliche Tauglichkeit prägen.

Bei der folgenden Zusammenstellung der angewandten Verfahren zur Abschätzung seltener und extremer Hochwasserabflüsse in Deutschland wurde daher auf folgende Gesichtspunkte verstärkt geachtet:

1. Ausreichende Dokumentation des Verfahrens in der Literatur, in Empfehlungen oder in Programmbeschreibungen sowie in Erfahrungsberichten,
2. Erhöhte Verbreitung und Akzeptanz des Verfahrens in der Wasserwirtschaftsverwaltung, in Ingenieurbüros, Verbänden und Hochschulinstituten (insbesondere zur Beurteilung der Erfahrungen, die mit dem Verfahren in unterschiedlichen Regionen gemacht worden sind),
3. Leichte Anwendbarkeit bzw. Übertragbarkeit auf andere Regionen (z.B. Unterstützung durch bestehende Software).

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte ergibt sich, dass in Deutschland bei Projekten der wasserwirtschaftlichen Praxis folgende Methoden und Verfahren eingesetzt werden (vgl. auch Anlage 3):

Empirische und regional gültige Formeln

- Hüllkurve nach Wundt
- Rationale Methode

Statistische Verfahren auf der Basis von Abflussdaten

- Lokale Ansätze
- HQ-EX
- EXTREM
- IsHoT+W
- KLUDON
- HVERT

- Regionalhydrologische Ansätze
- HQ-Längsschnitt
- HQ-REGIO
- Verfahren des LfU Baden-Württemberg
- Reg-Ex
- IsHoT+W

Deterministische Modelle (Niederschlag-Abfluss-Modelle)

- Blockmodelle
- EGLSYN

- Flächendetaillierte Modelle
- FGM
- NASIM
- LARSIM / FGMOD
- HYBNAT
- ARC/EGMO
- ASGi

Im vorliegenden Bericht werden diese Verfahren in den Kapiteln 4.4 bis 4.8 dem Kriterienkatalog entsprechend vorgestellt. Sie werden heute in der bei der Festlegung von Bemessungsabflüssen durch die Aufsichtsbehörden, aber auch in der Bemessungspraxis der Verwaltung, der Ingenieurbüros, der Verbände und auch von Hochschulinstituten verbreitet akzeptiert und angewendet. Die hier getroffenen Feststellungen über Erfahrungen, Güte der Resultate und Aufwand bei der Anwendung der einzelnen Verfahren stammen aus den beantworteten Fragebögen. Um die Verfahren und Modelle jeweils kurz zu beschreiben, wird soweit wie möglich die verfügbare Originalliteratur herangezogen. Abschliessend werden zu jedem angewendeten Verfahren die Literaturangaben aus den Fragebögen übernommen und durch eigene Recherchen ergänzt.

Folgende Verfahren, die im Zuge der Umfrage zwar genannt, aber nicht erläutert worden sind, werden nicht weiter beschrieben und bewertet:

Empirische und regional gültige Formeln

- Empirische Ansätze zur Berechnung von Hochwassern, z.B. nach Lauterbach-Glos
- Wasserwirtschaftsverwaltungen Thüringen, Sachsen-Anhalt und Sachsen

Statistische Verfahren auf der Basis von Abflussdaten

- Hwsaar
- Wasserwirtschaftsverwaltung Saarland

Deterministische Modelle

- NAMLFW
- Wasserwirtschaftsverwaltung Rheinland-Pfalz
- HEC-1, HEC-2
- Wasserwirtschaftsverwaltung Sachsen-Anhalt und Ingenieurbüro
- Hochwasservorhersagemodell Bode
- Wasserwirtschaftsverwaltung Sachsen-Anhalt
- PIRAY
- Ingenieurbüro
- BCENA
- Ingenieurbüro
- NAXOS
- Universitätsinstitut
- CURE
- Ingenieurbüro
- Fluss
- Ingenieurbüro

Die Qualität dieser Verfahren sei damit nicht angezweifelt. Sie entziehen sich z.T. mangels Spezifikation oder Dokumentation der Bewertung. Manchmal sind nur Namen von grundlegenden Verfahren oder von Softwareprodukten genannt. Die Programme HEC-1 und HEC-2 sind vom Hydrologic Engineering Center des US Army Corps of Engineers bereits in den 70-er Jahren entwickelt und danach laufend verbessert worden. Sie sind international eingeführt und werden weltweit

angewandt. Leider sind Erfahrungen bei der Anwendung durch deutsche Institutionen nicht mitgeteilt worden.

Es wird empfohlen, eingesetzte Verfahren umfassend zu dokumentieren und damit bewertbar zu machen. Langfristig sollten Modellvergleiche („Ringversuche“) durchgeführt werden.

Bei den Niederschlag-Abfluss-Modellen zeigt sich aber auch, dass die Vielfältigkeit der eingesetzten Modelle mit weniger als 20 weitaus geringer ist, als es die Zusammenstellung des vom BMU (1997) veröffentlichten Statusbericht über Stand und Einsatz mathematisch-numerischer Modelle in der Wasserwirtschaft mit 64 verschiedenen Niederschlag-Abfluss-Modellen vermuten lässt.

Das dürfte allerdings weniger eine Frage der Qualität eines Modells sein. Vielmehr hängt die Verbreitung und der praktische Einsatz ab von:

- der Möglichkeit, die Anwendbarkeit eines Modells unter Beweis zu stellen,
- dem Zeit- und Personalaufwand,
- der Verfügbarkeit von Personal, das mit der Anwendung vertraut ist.

Viele Modellentwicklungen, die vor allen Dingen an Universitätsinstituten und anderen Forschungsinstitutionen betrieben worden sind, sind nicht in die Praxis umgesetzt worden, sondern allein für Forschungszwecke genutzt worden. Damit ist meistens verbunden zu dokumentieren, dass bestimmte Weiterentwicklungen und neue Ansätze zielführend sind. Die Umsetzung in die Praxis bleibt danach oft „auf der Strecke“. Sie ist aufwendig, denn aus einem EDV-Programm muss ein Softwareprodukt mit benutzerfreundlicher Oberfläche sowie zweckmässigem Pre- und Postprozessing gemacht werden. Dafür fehlt im Forschungsbereich das Geld. Erst ingenieurmässige Anwendungen oder gar die Übernahme durch eine Wasserwirtschaftsverwaltung, einen Wasserverband oder ein Ingenieurbüro können zu der wünschenswerten Anwendung führen.

Die Auflistung wird nicht ganz vollständig sein, weil es wahrscheinlich ist, dass unbeabsichtigt einige Institutionen nicht befragt worden sind. Da aber davon ausgegangen werden kann, dass 80 % bis 90 % der praktischen eingesetzten Verfahren erfasst worden sind, kann von einer repräsentativen Erhebung ausgegangen werden.

4.3 Mögliche Methoden und Verfahren

4.3.1 Allgemeines

Wesentliches Kriterium für die Anwendung eines bestimmten Verfahrens ist die Aufgabenstellung und die vorhandene Datenbasis. Bei den Aufgaben ist zu unterscheiden, ob Bemessungsabflüsse als Scheitelabflüsse oder Hochwasserganglinien für Retentionsberechnungen benötigt werden. Gegenstand dieses Statusberichtes ist es, die Verfahren darzustellen und zu bewerten, die für die Ableitung von Bemessungsabflüssen als Scheitelabflüsse eingesetzt werden. Die genannten Niederschlag-Abfluss-Modelle sind aber selbstverständlich auch geeignet, Hochwasserganglinien zu ermitteln.

Je nachdem, ob beobachtete Abflüsse oder Niederschläge vorliegen und wie lang die Zeitreihen sind, ergeben sich im Prinzip folgende unterschiedliche Vorgehensweisen:

Keine Abflussbeobachtungen vorhanden, keine Niederschlagsbeobachtungen vorhanden	empirische Verfahren (Hüllkurven)
Keine Abflussbeobachtungen vorhanden, aber Niederschlagsbeobachtungen vorhanden	empirische Verfahren (z.B. Rational Formula)
Keine Abflussbeobachtungen vorhanden, aber Abflussbeobachtungen (lange Reihen) in der Umgebung vorhanden	Statistische Verfahren regionale Analyse
Abflussbeobachtungen (lange Reihen) vorhanden, aber keine Niederschlagsbeobachtungen vorhanden	Statistische Verfahren lokale Analyse
Abflussbeobachtungen (kurze Reihen) vorhanden, und Niederschlagsbeobachtungen (lange Reihen) vorhanden	N-A-Modelle

(N-A-Modelle sind ursprünglich für die Ableitung von Hochwasserganglinien entwickelt worden. Sie ermöglichen es dabei auch, Bemessungs-Scheitelabflüssen zu schätzen.)

Ein weiteres Kriterium für die Anwendung ist der Aufwand für die Datenbeschaffung und die Berechnungen. Selbstverständlich kann für die Ableitung des Bemessungsabflusses eines einfachen Strassendurchlasses nicht der gleiche Aufwand getrieben werden wie für den Nachweis der Anlagensicherheit einer Talsperre oder für die Bemessung einer Hochwasserentlastungsanlage. Gleichwohl ist festzustellen, dass insbesondere beim Hochwasserschutz entlang der Flüsse mehr und mehr der Aufwand für die hydraulischen Berechnungen der Überschwemmungsgefährdung gesteigert wird, während sich der Aufwand für die Abflussberechnung nicht in gleichem Masse erhöht. Die Genauigkeit der hydrologischen Grundlagendaten steht mehr und mehr im Widerspruch zur Genauigkeit der damit durchgeführten hydraulischen Berechnungen. Der Aufwand für die Abschätzung der Bemessungsabflüsse sollte deshalb erheblich gesteigert werden.

Berechnete Bemessungsabflüsse werden ausserdem plausibilisiert, d.h. vom Sachbearbeiter oder der Aufsichtsbehörde aufgrund von Kenntnissen über regionale Ausprägungen, von Vergleichen mit Nachbarpegeln oder Längsschnitten sowie von Einschätzungen der Qualität der verwendeten Daten subjektiv verändert, ehe sie beispielsweise als sogenannte amtliche Bemessungsabflüsse für weitere Untersuchungen und Planungen verwendet werden. Dieser amtlichen Festlegung kommt in der Praxis eine erhebliche Bedeutung zu. Sie ist unabhängig vom eingesetzten Berechnungsverfahren und gilt auch für die Ergebnisse von Niederschlag-Abfluss-Berechnungen. Dabei wird u.U. einem Auftragnehmer, der dazu erforderliche Unterlagen erarbeitet, durchaus vorgegeben, wie die Bemessungsabflüsse zu berechnen sind. Die abschliessende Festlegung bleibt der Behörde oder den zuständigen Fachstellen vorbehalten.

Die möglichen Verfahren lassen sich im wesentlichen den drei unterschiedlichen Methoden empirische und regional gültige Formeln, statistische Verfahren auf der Basis beobachteter Abflüsse

mit lokalen Ansätzen einerseits und regionalhydrologischen Ansätzen andererseits sowie den deterministischen Niederschlag-Abfluss-Modellen zuordnen.

Die Güte der Resultate des einen oder anderen Verfahrens spielt bei der Auswahl, welches Verfahren angewandt werden soll, kaum eine Rolle. Dies ist wenig verwunderlich, denn die entsprechenden Angaben fehlen sowohl in der Literatur als auch bei den Anwendern selbst. Nur sehr selten gibt es vergleichende Untersuchungen.

4.3.2 Methode: Empirische und regional gültige Formeln

Zu den älteren, aber noch nicht veralteten Verfahren zur Ermittlung von Hochwasserabflüssen an unbeobachteten Gewässerquerschnitten, zählen die Hüllkurven. Um sie aufzustellen, müssen viele Messwerte über Scheitelabflüsse in den betreffenden Regionen vorliegen. Meist werden in einem doppeltlogarithmischen Massstab die Abflussspenden gegen die Grösse des Einzugsgebietes aufgetragen und die Umhüllende für diese Punkte wird als obere Grenze für die maximalen Hochwasserabflussspenden H_{qmax} dieser Region angesehen. Um nicht nur die extremsten Hochwasserabflüsse einer Region zu ermitteln, wird, z.B. auch die 90 %-Umhüllende, die 90 % aller beobachteten Extremabflüsse einschliesst, herangezogen.

Ein weiteres Verfahren der empirischen und regional gültigen Formeln ist die Rationale Formel, von der verschiedene Modifikationen und Vereinfachungen existieren. Gemeinsam ist diesen Varianten (ob mit Wahrscheinlichkeitsaussage (Wiederkehrintervall) oder ohne), dass messbare topographische Kenngrössen des Einzugsgebietes eingehen und der Scheitelabfluss dem Produkt von Regenspende, Einzugsgebietsgrösse und Abflussbeiwert proportional ist. Je nach Detaillierungsgrad dieser empirischen Formeln fliessen auch andere einzugsgebietsbezogene Grössen ein, z.B. der abflusswirksame Niederschlag oder die Niederschlagsspende.

Tab. 4.1 Wichtige Abhängigkeiten bei empirischen und regional gültigen Formeln.
 $HQ_T = f(A_{Eo}, T, a, b, c, N)$

Variable	Grösse des Einzugsgebietes	Wiederkehrintervall	Gebietskenngrössen	Niederschlag
Verfahren				
Hüllkurven für H_{qmax}	X			
Beliebige Formeln für HQ_T	X	X	X	
Rationale Formel für HQ_T	X	X	X	X

4.3.3 Methode: Statistische Verfahren auf der Basis von Abflussdaten

4.3.3.1 Lokale Ansätze

Es hat sich in der wasserwirtschaftlichen Praxis als zweckmässig erwiesen, Bemessungsabflüsse nach ihrer Unter- oder Überschreitungswahrscheinlichkeit und – mit Zeitbezug – nach ihrer Jährlichkeit festzulegen. Damit werden aufwendige Kosten-Nutzen-Betrachtungen umgangen. Es ist allerdings notwendig, Häufigkeitsverteilungen zu ermitteln und möglichst an analytischen Wahrscheinlichkeitsverteilungen anzupassen. Ist an einem Pegel eine ausreichend lange Beobachtungsreihe von Hochwasserscheitelabflüssen vorhanden, so ist diese Anpassung möglich. Es können Jahresreihen oder partielle Serien der Hochwasserabflüsse verwendet werden. Die angepasste Verteilungsfunktion wird bis zu demjenigen seltenen Hochwasserereignis extrapoliert, das interessiert. Diese Extrapolation ist jedoch grundsätzlich problematisch, da bei der pegelbezogenen Analyse die Verteilungsfunktion am Beginn des Extrapolationsbereiches meist durch sehr wenige grosse Messwerte gestützt ist und die Qualität der Extrapolation nicht nachprüfbar ist (DVWK-Schrift 124, 1999).

In Deutschland hat ein in den siebziger Jahren gebildeter Fachausschuss des DVWK die DVWK-Regel 101 mit dem Titel „Empfehlung zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit“ erarbeitet. Zwischenzeitlich haben sich die Leistungsfähigkeit der Rechner und Programme sowie der Anspruch an die Erläuterung des mathematisch-statistischen Hintergrundes geändert. Diese geänderten Rahmenbedingungen verlangten nach einer Neubearbeitung der Regel 101. In der Reihe der DVWK-Merkblätter erschien daher im Heft 251 (1999) mit dem Titel „Statistische Analysen von Hochwasserabflüssen“ eine Empfehlung zur Gewinnung von Stichproben hydrologischer Daten und deren Prüfung sowie statistischen Auswertung.

Es wird in diesem Merkblatt darauf hingewiesen, dass Hochwasserstatistik kein „richtiges“ Berechnungsverfahren mit einer einzigen, eindeutigen Lösung darstellt, sondern eine grössere Zahl gleichwertiger Verfahren mit einem Lösungsspektrum beinhaltet, aus dem der gesuchte Bemessungswert letztendlich festzulegen ist.

Statistische Verfahren unterscheiden sich insbesondere durch die Wahl der analytischen Verteilungsfunktion und der Parameterschätzverfahren. Aber selbst bei der Wahl der gleichen Verteilungsfunktion und des gleichen Parameterschätzverfahren können unterschiedliche Ergebnisse auftreten, die durch verschiedene Lösungsalgorithmen für die Parameterbestimmung verursacht sind. Die häufig angewendeten Verteilungsfunktionen führen in der Regel zu ähnlichen Ergebnissen bezüglich der Wiederholungszeitspannen, wenn diese innerhalb des Umfangs der beobachteten Datenreihen liegen. Ist die Extrapolationsspanne jedoch deutlich grösser als die doppelte Länge der Beobachtungsreihe, werden die Abweichungen unter den einzelnen Verteilungsfunktionen beträchtlich. Allen Schätzungen ist gemein, dass bereits bei einem hundertjährigen Hochwasser allein aus statistischen Gründen der Vertrauensbereich um $\pm 20\%$ bis 30% schwankt und bei noch kleineren Überschreitungswahrscheinlichkeiten weiter erheblich zunimmt. Die Schwankungen aufgrund der Datenunsicherheiten kommen noch zusätzlich hinzu. Eine in der wasserwirtschaftlichen Praxis häufig geäusserte Meinung, es dürfe bis zum dreifachen der Länge der Beobachtungsreihe extrapoliert werden, ist nicht belegt (DVWK-Schrift 124, 1999).

Bei der Erarbeitung des DVWK-Merkblattes 251 standen dem dazu tätigen Fachausschuss grundlegende Arbeiten von Kluge (1996) zur Verfügung, der viele hydrologisch relevante Verteilungsfunktionen, Parameterschätz- und Testverfahren sammelte und testete. Im Merkblatt werden eine grössere Anzahl von Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Methoden zur Berechnung von Hochwasserabflüssen vorgeschlagen, woraus eine gewisse Spannbreite von Ergebnissen berechnet werden kann. Zur Auswahl der Bemessungsabflüsse, ausgedrückt durch ein Wiederkehrintervall oder qualifiziert als PMF, werden keine Hinweise gegeben. Zudem sind die Ausführungen zu den eigentlichen Methodiken trotz des relativ breiten Umfangs des Merkblattes derartig kurz gefasst, dass für den Praktiker auf dieser Grundlage eine Anwendung der genannten Verteilungsfunktionen und Parameterschätzungen äusserst schwierig sein dürfte (Schultz 1998).

Ausserdem darf nicht verkannt werden, dass es mehrere Möglichkeiten für die Schätzung der Parameter von Verteilungsfunktionen gibt und selbst beim gleichen Schätzverfahren die von Kluge (1996) ausgewählten statistischen Lösungsansätze sich von denjenigen, die Plate (1993) vorschlägt, unterscheiden, was zu unterschiedlichen Schätzungen der Hochwasserabflüsse bestimmter Wiederkehrintervalle führt. Für den Praktiker ist das zweifelsohne unbefriedigend. Dem kann jedoch nur begegnet werden, wenn Konventionen über die zu verwendenden Lösungsalgorithmen oder Softwareprodukte getroffen werden. Dies würde aber eine ungerechtfertigte Einschränkung der Planungsvielfalt und Produktauswahl bedeuten und ist deshalb nicht gerechtfertigt.

4.3.3.2 Regionalhydrologische Ansätze

Sind Bemessungsabflüsse für Gewässerquerschnitte gefragt, für die keine oder nur ungenügende Beobachtungsdaten vorhanden sind, müssen die pegelbezogenen Informationen auf diese Gewässerquerschnitte übertragen werden. Diese räumliche Interpolation oder Extrapolation bezeichnet man als Regionalisierung. Der Begriff steht in den Geowissenschaften und in der Hydrologie ursprünglich für die Ausweisung räumlich zusammenhängender, in bezug auf eine Zielgrösse möglichst homogener Raumeinheiten mit der zusätzlichen Bedingung der Kontingenz (Weingartner

1999). Diese enge Definition ist aber inzwischen einer weitergehenden gewichen, bei der jede Art der Übertragung von Informationen unter Nutzung von mehr oder weniger aufwendigen Modellvorstellungen vom Punkt auf die Fläche, von der Fläche auf Punkte sowie von Punkt zu Punkt eingeschlossen ist. Es wird dann von regionalhydrologischen Ansätzen gesprochen.

Prinzipiell lassen sich die für die Abschätzung von Hochwasserabflüssen einzusetzenden Regionalisierungsverfahren in zwei Hauptgruppen einteilen, zum einen die Quantifizierung der Komponenten der hydrologischen Prozesse auf einer regionalen Skala und zum anderen die Ermittlung der Beziehung hydrologischer Variablen zu den physio-geographischen und klimatischen Charakteristiken einer Region. Die erstgenannte Hauptgruppe umfasst die Methode der deterministischen Niederschlags-Abfluss-Modelle, die aufgrund ihrer Vielzahl in einem gesonderten Unterpunkt besprochen werden. Dagegen stützt sich die letztgenannte Hauptgruppe von Regionalisierungsverfahren in der Hydrologie im wesentlichen auf die Erstellung von Regressionsbeziehungen zwischen messbaren varianten und invarianten Gebietsmerkmalen und hydrologischen Kenngrößen (HQ_T, MHQ).

Eine Erweiterung der klassischen Regressionsbeziehungen stellt das sogenannte Bezugs-HQ-Verfahren (engl. index-flood procedure) dar (Dalrymple, 1960; Haupt et al., 1999). Bei diesem wird eine regional gültige Verteilungsfunktion, mit einer ortsabhängigen Unbekannten – dem Bezugs-HQ – als Skalenfaktor, bestimmt. Das vom betrachteten Gewässerquerschnitt abhängige Bezugs-HQ kann in einem separaten Schritt über Regressionsbeziehungen geschätzt werden. Damit diese Vorgehensweise anwendbar ist, müssen die Variationskoeffizienten der Hochwasserabflüsse aller Gewässerquerschnitte einer Region ähnlich sein (Gupta, 1994), was manchmal nicht beachtet wird und dann zu schlechten Ergebnissen führt.

Aus den Methoden der regionalen Übertragung zur Ermittlung von Hochwasserabflüssen lässt sich noch eine weiterführende Variante, denen eine klassische Regionenbildung nach hydrologischen Gesichtspunkten vorausgeht, abgrenzen. Hydrologische Raumeinheiten werden dabei mit Hilfe von Gebietsmerkmalen oder Kennwerten der Abflusszeitreihen gebildet.

Den regionalhydrologischen Ansätzen sind auch Hochwasserlängsschnitte zuzuordnen. Mit Hilfe von Hochwasserspendendiagrammen und der Einzugsgebietsgröße können hier für jeden Gewässerquerschnitt Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit ermittelt werden. Der Aufstellung von Hochwasserspendendiagrammen, in denen die Einzugsgebietsfläche gegen Hochwasserspenden bestimmter Jährlichkeiten aufgetragen werden, gehen lokale statistische Analysen der Abflussreihen von Pegeln im betrachteten oder benachbarten Flusseinzugsgebiet voraus.

Tab. 4.2 Wichtige Abhängigkeiten bei statistischen Verfahren.
 $HQ_T = f(Q_1, Q_2, \dots, Q_n, a, b, c)$

Variable	Messwerte an Pegeln	Wiederkehrintervall	Grösse des Einzugsgebietes	Gebietskenngrößen
Verfahren				
Lokale Ansätze für $1 < T < 200$ Jahre und für $T > 200$ Jahre	X	X		
Regionale Ansätze für $1 < T < 200$ Jahre und für $T > 200$ Jahre	X	X	X	X
Längsschnitte für $1 < T < 200$ Jahre	X	X	Optional	Optional

4.3.4 Methode: Deterministische Niederschlag-Abfluss-Modelle

4.3.4.1 Allgemeines

Mit Niederschlag-Abfluss-Modellen wird versucht, die Abflussbildung aus dem Niederschlag, die Abflusskonzentration in den Teilgebieten und die Abflussveränderung in den Gewässern unter den vorliegenden Gebietseigenschaften (Randbedingungen) nachzuvollziehen. Aus hochwasserbürtigen Niederschlägen folgen Hochwasserabflüsse. Während die vorgenannten Methoden und Verfahren nur geeignet sind, Hochwasserscheitelabflüsse zu ermitteln, werden mit Niederschlag-Abfluss-Modellen die gesamten Ganglinien berechnet, deren Scheitelwerte dann als Bemessungsabflüsse verfügbar sind. N-A-Modelle sind allerdings primär entwickelt worden, um Hochwasserganglinien oder die Ganglinien der Wasserhaushaltskomponenten zu berechnen.

Es existieren eine Vielzahl von Modelltypen und -varianten. Grundsätzlich unterscheiden sich diese durch ihren räumlichen Detaillierungsgrad und der Nähe zur Physik bei der mathematischen Abbildung der hydrologischen Teilprozesse. Der Datenbedarf wird umso grösser, je geringer der Abstraktionsgrad ist, d.h. je flächendetaillierter modelliert wird, je mehr Teilprozesse in Algorithmen gefasst werden und je mehr physikalische Ansätze verwendet werden. Ob damit die Aussagegenauigkeit gesteigert wird, ist z.Z. noch unbekannt.

In der wasserwirtschaftlichen Praxis ist es deshalb nach wie vor gerechtfertigt, mit einfachen Niederschlag-Abfluss-Modellen, die mit wenigen Modellparametern auskommen, zu arbeiten. Der Datenbedarf und der Arbeitsaufwand sind geringer. Die Abhängigkeit der Modellparameter von Gebiets- oder Ereignismerkmalen lässt sich bei den einfacheren Modellen mit wachsender Erfahrung, d.h. nach einer Vielzahl von Anwendungen, brauchbar abschätzen.

Unabhängig vom Modelltyp und der Modellvariante ist noch zu unterscheiden, ob einzelne Bemessungsereignisse mit Hilfe von „Bemessungsniederschlägen“ (Niederschlagsereignisse mit Wahrscheinlichkeitsaussage) ermittelt werden oder ob zunächst mit sehr langen Reihen von Niederschlägen eine Langzeit- oder Seriensimulation des Abflusskontinuums einschl. aller Hochwasserereignisse durchgeführt wird, um dann eine statistische Analyse der berechneten Hochwasserscheitelabflüsse anzuschliessen.

Neben den flussgebietsbezogenen N-A-Modellen werden in der wasserwirtschaftlichen Praxis auch stadthydrologische Untersuchungen mit Hilfe von N-A-Modellen durchgeführt. Trotz der gleichen Aufgabenstellung (Simulation des Abflussgeschehens) ist die Modellentwicklung für Kanalnetze und Flussgebiete unterschiedlich, da bei der Kanalnetzrechnung hydraulische Berechnungen des Entwässerungssystems im Mittelpunkt der Überlegungen stehen (DVWK-Schriften 1999). Der vorliegende Bericht beschränkt sich deshalb auf N-A-Modelle, die zur Ermittlung von Hochwasserabflüssen in mesoskaligen Flussgebieten eingesetzt werden.

Nach einer Zusammenstellung des Arbeitskreises „Mathematische Flussgebietsmodelle“ (BMU 1997) lassen sich als häufigste N-A-Modelle folgende Typen unterscheiden.

4.3.4.2 Blockmodelle

Blockmodelle sind Konzeptmodelle, bei denen das Einzugsgebiet räumlich nicht unterteilt wird. Bei der mathematischen Abbildung der hydrologischen Teilprozesse wird die Physik nicht im einzelnen nachvollzogen. Diese Modellgruppe bestimmt das Abflussverhalten eines Einzugsgebietes auf einen auslösenden Niederschlag integral (als Block) über empirische Ansätze, deren Parameter anhand von beobachteten Niederschlag-Abfluss-Ereignissen oder regionalen Erfahrungen abgeleitet werden. Blockmodelle werden zur Simulation von Einzelereignissen aus Bemessungsniederschlägen an einem vorgegebenen Gewässerquerschnitt verwendet. Aufgrund der integralen Sichtweise dieser Modelle sind sie für kleinere, hinsichtlich Morphologie und Geologie verhältnismässig homogene Einzugsgebiete zur Ermittlung von Scheitelabflüssen und Bemessungsganglinien sowie zum Nachweis örtlicher Wirkungen geeignet. Kombiniert mit Ansätzen zur Vorgeschichte (Jahreszeit, Vorre-

gen) können Blockmodelle auch zur Langzeit- und Seriensimulation eingesetzt werden (DVWK-Schriften 1999).

4.3.4.3 Flächendetaillierte Modelle

Bei grösseren Einzugsgebieten oder bei Einzugsgebieten mit grossen Höhenunterschieden nimmt die hydrometeorologische Variabilität in einem Masse zu, dass diese nicht mehr durch einfache Blockmodelle erfasst wird. Gleichermassen verhält es sich bei erhöhter räumlicher Heterogenität der pedologischen und geologischen Verhältnisse sowie der Landnutzung im Einzugsgebiet. Darüber hinaus müssen flächendetaillierte Modelle eingesetzt werden, sollen überörtliche Wirkungen von wasserwirtschaftlichen Massnahmen nachgewiesen werden.

Die verwendbaren physikalischen Ansätze sind meistens Ansätze, die Punktprozesse (z.B. an Bodensäulen) oder Prozesse in kleinen Hangflächen beschreiben können. Sie müssen für grössere Räume parameterisiert werden oder die zu verwendenden Parameter, z.B. hydraulische Leitfähigkeit oder Gefälle, geben, da sie letztlich über Raumeinheiten gemittelt oder integriert werden müssen, keine wahren Werte, sondern nur noch einen Index wieder. Man spricht dann von effektiven Parametern.

Der Aufspaltung in viele Teilprozesse liegt meistens eine gedankliche Vorstellung zugrunde, die zwar plausibel ist, aber keineswegs der Realität entsprechen muss. Dies gilt vor allem für sogenannte Bodenspeichermodelle, die das Infiltrationsverhalten des Bodens und die Wasserbewegung im Boden unter Berücksichtigung der zeitlichen Veränderung der Bodenfeuchte zu simulieren in der Lage sein sollen. Dabei ist der Umgang mit der unbekannt Heterogenität der Böden ein grosses Problem.

Der räumliche Detaillierungsgrad kann nicht beliebig weit getrieben werden, weil dann die Beschaffung der Parameterwerte nicht mehr möglich ist und rechentechnische Schwierigkeiten eintreten.

In jedem Fall ist auch bei Modellen mit geringem Abstraktionsgrad eine Kalibrierung erforderlich, die sehr flexibel ist, wenn viele Parameter festzulegen sind. Diese Flexibilität wird aber mit Regellosigkeit erkauft, die eine ungefähre Zuordnung von Parametergrössen zu Ereignis- oder Gebietsmerkmalen unmöglich macht. Deshalb wird dann nur eine Auswahl von Parametern (z.B. 10) kalibriert und die Fehler der verbleibenden anderen Parameter werden in der Kalibrierung der ausgewählten Parameter mit versteckt.

Über die Genauigkeit der Ergebnisse im Vergleich zu denen der detaillierten Modellen lässt sich z.Z. nichts aussagen.

Prinzipiell gilt, dass mit wachsender Komplexität des N-A-Modells auch die Anforderungen an die verfügbaren Daten und der Aufwand für ihre Erhebung und Aufbereitung zunimmt. Gleichermassen steigt auch die Zahl der Modellparameter, mit denen die Modellanpassung vorgenommen werden muss. Darüber hinaus ist die Qualität der Ergebnisse einer N-A-Simulation nicht nur vom verwendeten Modell abhängig, sondern unterliegt auch der Erfahrung des Bearbeiters mit dem verwendeten Modell. Daher kann die allgemeine Verbreitung des Einsatzes eines Modells und die dadurch erworbene Erfahrung im Umgang mit sensiblen Modellparametern die Anwendbarkeit und die Qualität der Ergebnisse eines Modells deutlich verbessern.

Tab. 4.3 Wichtige Abhängigkeiten bei Niederschlag-Abfluss-Modellen.
 $HQ(t) = f(N(\text{Höhe, Dauer, zeitl. Verteilung, räuml. Verteilung}), a, b, c, \dots, n)$

Abflussbildung (vertikale Wasserflüsse)

	Gebietseinteilung		Niederschlag						Gebietskenngrößen				
	ungegliedert	gegliedert	Höhe	Dauer	Gebietsniederschlag	Blockregen	räumlich verteilt	Zeitlich verteilt	Abflussbeiwert Konstant	Abflussbeiwert $f(t)$ o.ä., z.B. CN	Landnutzung	Boden	Gefälle
Blockmodell	X		X	X	X	X	X	X	X	X			
Detailmodell		X	X	X			X	X			X	X	X

Abflusskonzentration (laterale Wasserflüsse)

	Gebietseinteilung		Gebietskenngrößen						
	ungegliedert	gegliedert	UH	linearer Speicher	Speicher-kaskaden	Zeit-Flächen-Diagramm	Topograph. Index	Transmissivitäten	Gerinne-kenngrößen
Blockmodell	X		X	X	X	X			
Detailmodell		X				X	X	X	X

4.4 Angewandte empirische und regional gültige Formeln

4.4.1 Hüllkurve nach Wundt

Beschreibung des Modells

Die Aufstellung von Hüllkurven für grösste beobachtete Hochwasserabflüsse erfordert grundsätzlich eine Vielzahl von Messwerten über die Scheitelabflüsse in der betreffenden Region. Meist werden in einem doppeltlogarithmischen Massstab die Scheitelabflüsse gegen die Grösse des Einzugsgebietes aufgetragen.

Wundt (1949, 1965) trägt zur Ermittlung der Höchstwerte der Abflussspenden für Europa die logarithmierte Einzugsgebietsfläche gegen die logarithmierten höchsten gemessenen Abflussspenden auf. Er geht dabei von folgender Beziehung aus:

$$HHq = a * A_{Ez}^b$$

Zusätzlich zur Umhüllungskurve für die höchsten Abflussspenden trägt Wundt (1965) eine zweite Umhüllungskurve ein, mit der er das obere Zehntel der Spitzenwerte nicht mehr einschliesst, was bedeutet, dass 90 % aller Spitzenabflussspenden unterhalb dieser Kurve liegen. Er bezeichnet diese Umhüllende als 90 %-Kurve. Neben der graphischen Darstellung seiner Umhüllungskurven gibt Wundt (1949) für die Konstanten a und b aus obiger Gleichung für verschiedene Fälle folgende Werte an.

Tab. 4.4 Konstanten der math. Darstellung der Umhüllenden nach Wundt (aus Wundt 1949).

	Bergland und kontinentale Lage		Ebene und ozeanische Lage		Spitzenwerte
Umhüllende	50 %	90 %	50 %	90 %	100 %
a	2'050	13'800	109	502	500'000
b	-0,286	-0,405	-0,031	-0,118	-0,632

Zusätzlich gibt Wundt (1965) nach einer Arbeit von Kreps (1963) die Koeffizienten für die 90 %-Kurve an, so dass die Beziehung folgende Form erhält:

$$Hq_{90\%} = 13,8 * A_{Ez}^{-0,6}$$

Für diese Formel gilt jedoch die Einschränkung, dass für Einzugsgebietsflächen kleiner 100 km² geringere Werte anzusetzen sind.

Gleichzeitig weist Wundt (1965) darauf hin, dass für bestimmte Regionen, z.B. Teile der Alpen, gesonderte Formeln aufgestellt werden müssen, da diese die dortigen Abflussverhältnisse und damit die Beobachtungen besser wiedergeben.

Die Hüllkurven nach Wundt (1965) sind nach 1965 nicht mehr aktualisiert worden.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Mit den Hüllkurven nach Wundt wird beim Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft sowie bei zwei Ingenieurbüros, einem Wasserverband und zwei Hochschulinstituten gearbeitet.

Jährlichkeit des Ereignisses

Die 90 %-Hüllkurve nach Wundt wird zur groben Abschätzung der Hochwasserabflüsse im Vorfeld genauerer Untersuchungen und der Hochwassersituation für weniger schützenswerte Objekte herangezogen. Aber auch für die Bemessung von Hochwasserscheitelabflüssen der Jährlichkeit 100 wird die 90 %-Hüllkurve verwendet.

Einzugsgebietsfläche

Die betrachteten Wildbacheinzugsgebiete in Bayern erreichen Flächen von ca. 150 km² und beschränken sich auf Hochgebirgsregionen. Für Einzugsgebiete die eine kleinere Fläche als 100 km² aufweisen, wird die 90 %-Umhüllende zur Abschätzung des HQ₁₀₀ entsprechend der Hinweise von Wundt (1965) abgemindert.

Die Einschränkung der Anwendung der Hüllkurve nach Wundt für bayerische Wildbacheinzugsgebiete in Hochgebirgsregionen mit Flächen bis ca. 150 km² gilt nicht prinzipiell.

Erfahrungen

Die Datenverfügbarkeit wird als sehr gut bewertet. Das hydrologische Expertenwissen des Bearbeiters hat im Hinblick auf die Güte der Abschätzung ein hohes Gewicht.

Notwendige Inputdaten

Als Eingangswert in dieses Verfahren sind lediglich die Einzugsgebietsgrößen, die aus Topographischen Karten oder Geographischen Informationssystemen ermittelt werden können, der betrachteten Querschnitte notwendig.

Aufwand (zeitlich)

Der Arbeitsaufwand für die Durchführung der Abschätzung inklusive der Ermittlung der Einzugsgebietsgröße wird mit etwas weniger als einem viertel Tag angegeben.

Aufwand (finanziell)

Kein Aufwand ausser dem manuellen Bearbeitungsaufwand.

Güte der Resultate

Die Güte der Resultate wird nicht beurteilt. Die Beurteilung würde es erfordern, zusätzlich die Hochwasserabflüsse nach statistischer Methode oder mit N-A-Modellen zu schätzen. Gerade dieser Aufwand ist bei der praktischen Anwendung für kleinere Projektes nicht gerechtfertigt.

Literatur

Kreps, H. (1963): Eine kritische Betrachtung von Hochwasserformeln. In: Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Nr. 36.

Wundt W. (1949/1950): Die grössten Abflusspenden in Abhängigkeit von der Fläche. In: Die Wasserwirtschaft, Heft 2, Jahrgang 40:59-64.

Wundt W. (1965): Grenzwerte der Hochwasserspende und der mittleren Abflusspende in Abhängigkeit von der Fläche. In: Die Wasserwirtschaft, Heft 1, 55. Jahrgang.

4.4.2 Rationale Methode

Beschreibung des Modells

Die Rational Formula hat sich als Flutplanverfahren (Laufzeitverfahren) zur Berechnung städtischer Kanalnetze bewährt. Den vielen Varianten des Verfahrens ist die Vorstellung von der sogenannten Konzentrations- und Anlaufzeit gemeinsam. Sie basiert auf der Annahme, dass der Hochwasserabfluss – bei konstanter Regenintensität – dann maximal ist, wenn das gesamte Einzugsgebiet oder dessen hochwasserrelevanten Teilgebiete zum Abfluss beitragen (Weingartner 1999).

Eine leicht abgewandelte Form der „Rational Formula“ wird im Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft verwendet, um in kleinen Einzugsgebieten den Scheitelabfluss verschiedener Jährlichkeiten zwischen HQ_1 bis HQ_{100} zu ermitteln. Die Scheitelabflüsse werden nach folgender Formel berechnet. Sie basiert auf dem Ansatz, dass das Volumen des effektiven Niederschlags (als Produkt des Niederschlags und des Abflussbeiwertes) identisch mit dem Volumen der Abflussganglinie ist (BLfW 1999).

$$HQ_T = \frac{h_N * A_{Eo} * \psi_m}{(0,5 * (t_{An} + t_{Ab}) * 0,06)}$$

mit:

HQ_T	Hochwasserscheitelabfluss [m ³ /s]
h_N	Niederschlagshöhe (Blockregen) [mm]
A_{Eo}	Einzugsgebietsfläche [km ²]
ψ_m	Abflussbeiwert [-]
t_{An}	Anlaufzeit der Hochwasserwelle [min]
t_{Ab}	Ablaufzeit der Hochwasserwelle [min]

Für die Berechnung mit Hilfe dieser Formel werden folgende Annahmen getroffen (vgl. Abb. 4.1):

1. Das Einzugsgebiet wird gleichmässig überregnet,
2. Der Niederschlag wird als Blockregen angenommen, d.h. die Niederschlagsintensität ändert sich nicht mit der Zeit,
3. Ein Regenereignis bestimmter Jährlichkeit ergibt ein Hochwasserereignis gleicher Jährlichkeit,
4. Die Typganglinie hat eine Dreiecksform. Die Niederschlagsdauer t_N ist gleich der Anlaufzeit t_{An} der Hochwasserwelle. Unter dieser Annahme stellt sich mit Ende des Niederschlags der maximale Abfluss HQ_T ein,
5. Anlaufzeit t_{An} und Ablaufzeit t_{Ab} verändert sich bei verschiedenen Regenereignissen nicht. Sie bestimmen sich ausschliesslich aus den morphologischen Eigenschaften des Einzugsgebietes und des Gewässers,
6. Der Basisabfluss wird vernachlässigt.

Für die erforderlichen Niederschlagshöhen h_N können Bemessungsniederschläge dem KOSTRA-Atlas des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 1997) entnommen werden. Dabei ist die gewünschte Jährlichkeit des Ereignisses und die Niederschlagsdauer zu berücksichtigen. Die Niederschlagsdauer muss der über Gebietskenngrössen ermittelten Anlaufzeit t_{An} entsprechen: $t_N = t_{An}$. Aus der KOSTRA-Tabelle ist zunächst diejenige Dauerstufe auszuwählen, die der berechneten Anlaufzeit am nächsten kommt. Der Wert für t_{An} ist anschliessend auf den gewählten Wert zu setzen.

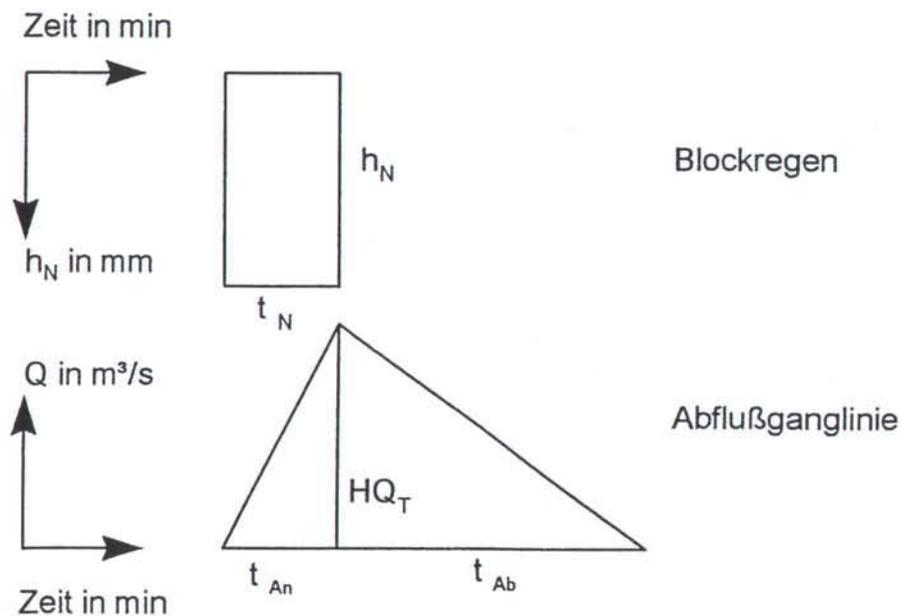


Abb. 4.1 Schematische Darstellung der Dreiecksganglinie mit An- und Ablaufzeit (aus BLfW 1998).

Der Abflussbeiwert des Einzugsgebietes, d.h. der Quotient aus der Abflusshöhe des Direktabflusses (effektiver Niederschlag) und der tatsächlichen Niederschlagshöhe des dazu gehörigen Niederschlagsereignisses, muss geschätzt werden. Im Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft werden hierzu Erfahrungswerte, die in Bayern gelten, herangezogen. Für seltene Hochwasserereignisse (HQ_{100}) sind dies:

Südlich der Donau und im Bayerischen Wald:	0,4 bis 0,6
Nördlich der Donau:	0,5 bis 0,7

Der niedrige Abflussbeiwert wird bei einer höheren Rückhaltefähigkeit des Einzugsgebietes (z.B. bei Mooregebieten) vergeben. Die niedrigen Werte sind auch bei häufigeren Hochwasserereignissen (HQ_1 bis HQ_{10}) zu wählen. Darüber hinaus können Abflussbeiwerte vielfach für bestimmte Regionen und Landschaftsformen der Literatur entnommen werden.

Zur Ermittlung der Anlaufzeit sind bestimmte Kennwerte des Einzugsgebietes notwendig:

- L Maximale Fließweglänge [km], dies ist die maximale Länge des Fließweges vom Untersuchungsquerschnitt bis zum Schnittpunkt zwischen der Wasserscheide und dem bis dort hin verlängerten Hauptgewässer
- Δh Höhendifferenz im Einzugsgebiet [m], dies ist die Differenz zwischen dem höchsten Punkt am Ende des verlängerten Hauptgewässers und der Geländehöhe am gesuchten Gewässerquerschnitt
- A_{E0} oberirdisches Einzugsgebiet [km²]

Nach diesen Gebietskennwerten kann die Anlaufzeit t_{An} der Hochwasserwelle nach folgender Bestimmungsgleichung (Basis der Bestimmungsgleichung: Kirpich-Formel, vom BLfW (1999) für die gewählten Dreieckstypganglinien modifiziert) ermittelt werden:

$$t_{An} = 227 * \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$$

Zu beachten ist, dass die Anlaufzeit t_{An} sinnvoll mit den Dauerstufen der Bemessungsniederschläge, z.B. aus dem KOSTRA-Atlas, festzulegen ist (DWD 1997). Die Ablaufzeit hängt von den

Retentionseigenschaften des Einzugsgebietes ab und kann als Mehrfaches der Anlaufzeit durch einen Faktor F geschätzt werden (vgl. Tab. 4.5):

$$t_{Ab} = F * t_{An}$$

Der Scheitelabfluss HQ_T verkleinert sich mit grösser werdendem Faktor F und somit wachsen der Ablaufzeit t_{An} . F richtet sich nach der Landnutzung und nach der sogenannten hydraulischen Charakteristik im Einzugsgebiet und kann für verschiedene Landnutzungen der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tab. 4.5 Faktor F für verschiedene Landnutzungsarten (nach BLfW 1998).

Landnutzung im Einzugsgebiet	Hydraulische Charakteristik	Faktor F
Siedlungsgebiet	Überwiegend befestigte, hydraulisch glatte Flächen	1
Aufgelockerte Bebauung mit Gärten, landwirtschaftliche Nutzflächen	Nur teilweise befestigte Flächen	1,25
Mischung von Waldanteilen sowie Acker- und Wiesenflächen, Bebauung untergeordnet	Normalfall	1,5
Hohe Anteile von Wald, Moorflächen, vielfach anmoorige Böden	Hohe Retention, raue Verhältnisse	2

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Die Rationale Formel wird am Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft sowohl für grobe Abschätzungen im Vorfeld genauerer Untersuchungen und im Zusammenhang weniger schützenswerter Objekte eingesetzt. Darüber hinaus lassen sich mit diesem Verfahren Hochwasserabflüsse für Bemessungsaufgaben und Überschwemmungszonen abschätzen. Ebenfalls arbeiten das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie, das Staatliche Umweltamt Minden sowie drei Ingenieurbüros mit der Rationalen Formel, allerdings nicht immer mit dem oben beschriebenen Ansatz, sondern mit ähnlichen Verfahren.

Jährlichkeit des Ereignisses

Die Anwendung der Rationalen Formel beschränkt sich auf Hochwasserereignisse mit Jährlichkeiten zwischen 10 und 100 Jahren.

Einzugsgebietsfläche

Das Spektrum der untersuchten Einzugsgebietsgrößen reicht von 1 bis 10 km².

Naturräumliche Zuordnung

Hinsichtlich des naturräumlichen Gültigkeitsbereiches wird das oben beschriebene Verfahren im Mittelgebirge und Flachland eingesetzt. Eine allgemeine Beschränkung des Verfahrens auf diese beiden Naturräume ist jedoch nicht bekannt.

Erfahrungen

Bei der Anwendung dieses Verfahrens wird dem hydrologischen Expertenwissen ein hohes Gewicht zugesprochen. Die allgemeine Datenverfügbarkeit wird als gut eingeschätzt.

Notwendige Inputdaten

- Der regionale Einsatz des hier beschriebene Verfahrens erfordert Informationen über
- die Gesamtfläche,
 - das Gefälle,
 - den Anteil an Wald und
 - bebauter Fläche im Einzugsgebiet.

Diese Größen werden aus topographischen Karten ermittelt. Zusätzlich sind statistische Niederschlagshöhen bereitzustellen, die beispielsweise dem KOSTRA-Atlas zu entnehmen sind. Abflussbeiwerte sowie An- und Ablaufzeiten werden nach o.g. Ansätzen geschätzt und vom Sachbearbeiter modifiziert. Dabei erfolgt ein Vergleich mit genaueren Untersuchungen an zahlreichen bayerischen Pegeln.

Aufwand (zeitlich)

Die Datenbeschaffung und -aufbereitung eingeschlossen, beträgt der zeitliche Aufwand dieses Verfahrens zwei Tage.

Aufwand (finanziell)

Kein Aufwand ausser dem manuellen Bearbeitungsaufwand.

Güte der Resultate

Eine Fehlerbetrachtung der Modellresultate erfolgt nicht. Sie würde erfordern, zusätzlich die Hochwasserabflüsse nach statistischer Methode oder mit N-A-Modellen zu schätzen. Gerade dieser Aufwand ist bei der praktischen Anwendung für kleinere Projekte nicht gerechtfertigt.

Literatur

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, BLfW (Hrsg.) (1998): Hydrologische Planungsgrundlagen, Hochwasser, Loseblattsammlung des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft.

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, BLfW (Hrsg.) (1999): Hydrologische Planungsgrundlagen, Hochwasserlängsschnitt, Loseblattsammlung des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft.

4.5 Angewandte statistische Verfahren – Lokale Ansätze

4.5.1 HQ-EX: Wahrscheinlichkeitsanalyse von Hochwasserabflüssen

Beschreibung des Modells

Zur Durchführung der statistischen Hochwasseranalysen nach dem DVWK-Merkblatt 251 (1999) wurde von der Firma WASY das Softwareprodukt HQ-EX entwickelt (WASY 1997). Die Entwicklung von HQ-EX und die Erarbeitung des Merkblattes gingen Hand in Hand; dadurch sind die in Kapitel 4.3.3.1 genannten Defizite ausgeglichen worden. Das hat zu einer weiten Verbreitung von HQ-EX geführt. Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass dem Programm HQ-EX die in Kapitel 4.3.3.1 erwähnten Arbeiten von Kluge (1996) zugrunde liegen und es auch andere weit verbreitete Lösungsansätze statistischer Verfahren gibt (Plate, 1993). Aus unterschiedlichen Lösungsansätzen bei der Berechnung der Parameter nach gleichen Methoden und aus unterschiedlichen Bewertungsansätzen bei der Auswahl der besten Verteilung resultieren von einander abweichende Ergebnisse trotz gleicher Verteilungsfunktionen und gleicher Methoden der Parameterschätzung.

Das Programmpaket hat einen Leistungsumfang, der mit den im DVWK-Merkblatt 251 (1999) gegebenen Empfehlungen weitestgehend übereinstimmt.

Es besteht die Möglichkeit, mit HQ-EX Stichproben von Jahreshöchstabflüssen an Pegeln zu analysieren. Hierfür können die zugehörigen empirischen Verteilungsfunktionen durch 7 verschiedene analytische Verteilungsfunktionen in der Regel mit drei unterschiedlichen Schätzmethode für die Verteilungsparameter approximiert werden. Tabelle 4.6 zeigt die verschiedenen analytischen Verteilungsfunktionen. Ihre Auswahl erfolgte nach ihrer Bewährung in der hydrologischen Bemessungspraxis sowie für einzelne besondere Anwendungsfälle.

Tab. 4.6 Analytische Verteilungsfunktionen des Programm HQ-EX (nach WASY 1997).

Verteilungsfunktion	Anzahl der Parameter
Extremwertverteilung Typ 1 (E1)	2
Allgemeine Extremwertverteilung (AE)	3
Gemischte Extremwertverteilung (ME)	4
Logarithmische Normalverteilung (LN3)	3
Pearson-Typ 3-Verteilung (P3)	3
Logarithmische Pearson-Typ 3-Verteilung (LP3)	3
Weibull-Verteilung (WB3)	3

Die erzielte Güte der Anpassung kann über drei unterschiedliche Anpassungsmasse beurteilt werden, die zur Auswahl der besten Verteilung alle drei addiert werden, obwohl sie unterschiedliche Skalen haben. Alle Ergebnisse können in Form von Tabellen und Grafiken dargestellt werden. Als Beispiel für eine Grafik ist in Abbildung 4.2 das Ergebnis einer Anpassung für verschiedene analytische Verteilungen dargestellt.

Die Ermittlung eines Bemessungshochwassers erfolgt im Programm in drei Stufen:

1. Zuerst werden alle Stichprobenmomente, die für die Parameterschätzung und die Berechnung von Konfidenzintervallen benötigt werden, berechnet.
2. Anschliessend werden für alle sieben analytischen Verteilungsfunktionen die Parameterwerte geschätzt. Die Parameterschätzung erfolgt abgesehen von Ausnahmen bei der ME und LP3 für alle Verteilungsfunktionen nach der
 - Momentenmethode,
 - Maximum-Likelihood-Methode,
 - Methode der wahrscheinlichkeitsgewichteten Momente.

3. In einem letzten Schritt werden für alle analytischen Verteilungsfunktionen und Schätzmethoden die drei folgenden Anpassungsmasse berechnet:
- Anpassungsmass D nach Kolmogorov,
 - $n\omega^2$ -Anpassungsmass,
 - Quantil-Korrelation r_p .

Alle Ergebnisse können in Tabellen und Grafiken ausgegeben werden (vgl. Abb. 4.2).

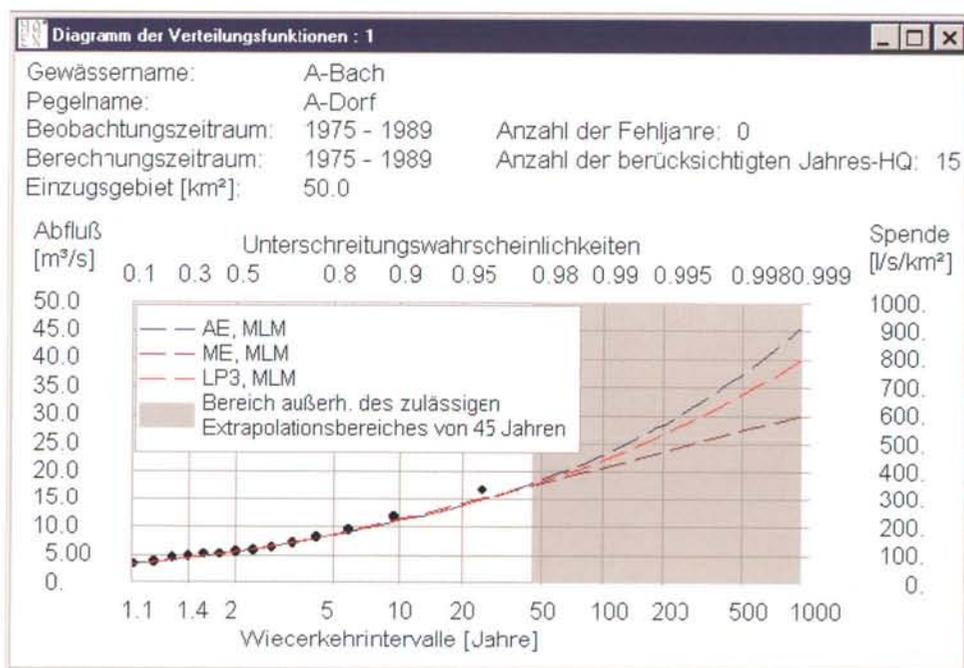


Abb. 4.2 Beispiel für eine Ergebnisdarstellung in HQ-EX (aus WASY 1997).

Für die Darstellung der empirischen Verteilung der Stichprobe wird ausschliesslich die Eintrittswahrscheinlichkeit nach Cunnane verwendet:

$$P_i = \frac{(i - 0,4)}{(n + 0,2)}$$

Zusätzlich zu den Verteilungsfunktionen können die Konfidenzgrenzen (Vertrauensbereich) für unterschiedliche Signifikanzniveaus α unter der Annahme, dass die Abweichungen von dem berechneten Wert $x(P)$ normalverteilt sind, dargestellt werden (WASY 1997). Zur Prüfung der verwendeten Stichprobe kann darüber hinaus eine Trendanalyse durchgeführt werden.

Neben der Möglichkeit, mit Hilfe des Programmpaketes HQ-EX statistische Hochwasseranalysen durchzuführen, gibt das DVWK-Merkblatt 251 (1999) verschiedene Hinweise zur Datengewinnung und -prüfung, nämlich zu:

- Trendanalyse und Trendbereinigung,
- Ausreisserbehandlung,
- Prüfung auf Homogenität und Repräsentanz der Stichprobe,
- Einbindung historischer Hochwasserereignisse,
- Verwendung von partiellen Serien.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Mit den deutschen Bundesländern Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Niedersachsen findet das Programmpaket HQ-EX und damit die Empfehlungen des DVWK zur statistischen Hochwasseranalyse eine breite Akzeptanz und Verbreitung. Darüber hinaus wird es häufig in Ingenieurbüros und bei Verbänden eingesetzt. Entsprechende Erfahrungen liegen vor und werden im folgenden zusammengefasst dargestellt.

Jährlichkeit des Ereignisses

Das Spektrum der Jährlichkeiten der zu ermittelnden Hochwasserscheitelabflüsse reicht in der Regel von einem bis zweihundert Jahre. Allerdings wird in Sachsen und in Thüringen sowie bei Ingenieurbüros und Verbänden mit HQ-EX auch bis zu Hochwasserabflüssen mit Überschreitungswahrscheinlichkeiten von $1/10^4$ pro Jahr, also extremen Abflüssen, extrapoliert. In den meisten Fällen werden Bemessungsscheitelabflüsse abgeleitet. In einigen Fällen dienen die Ergebnisse auch der Festlegung von Überschwemmungszonen oder der Ermittlung des Hochwasserrisikos während der Bauzeit von Objekten, der Nachweise zur Anlagensicherheit von Talsperren, Rückhaltebecken und besonderen technischen Anlagen (z.B. Kernkraftwerken) sowie der Analyse des Restrisikos bei technischen Anlagen.

Einzugsgebietsfläche

Die untersuchten Einzugsgebiete weisen meist eine Fläche zwischen 10 bis 5^4 km² auf. Es werden damit aber auch die Hochwasserdaten von Pegeln grosser Einzugsgebiete, z.B. Weser, Rhein, Donau, Elbe, statistisch analysiert. Eine Beschränkung hinsichtlich der Einzugsgebietsgrösse besteht nicht. Die Abschätzung extremer Abflüsse erfolgt allerdings nur für Einzugsgebiete bis zu 150 km² Grösse.

Naturräumliche Zuordnung

Der naturräumliche Gültigkeitsbereich des vorgestellten Verfahrens richtet sich mehr nach den in den einzelnen Bundesländern vorkommenden Landschaftsformen. Eine naturräumliche Einschränkung besteht daher nicht.

Erfahrungen

Mit der Verfügbarkeit eines Softwarepaketes wird die statistische Hochwasseranalyse relativ einfach. Die Datenverfügbarkeit wird, je nach Jährlichkeit des zu ermittelnden Hochwassers, als gut bis sehr gut beurteilt. Trotz dieser Vorteile wird für die Beurteilung der Güte der Resultate dem hydrologischen Expertenwissen ein hohes Gewicht beigemessen.

Notwendige Inputdaten

Als Eingabedaten werden Jahresserien des Hochwasserscheitelabflusses benötigt. Die Serien sind vor einer statistischen Analyse in HQ-EX im Hinblick auf

- Homogenität,
- Trends und
- Ausreisser zu prüfen.

Ausreisser werden mit Hilfe eines Tests extrahiert und gegebenenfalls nach Prüfung ihrer Plausibilität eliminiert (DVWK-Merkblätter 1999).

Bei nicht homogenen Serien wird versucht, die Ursache zu finden, um die Serie korrigieren und verwenden zu können. In den meisten oben genannten Bundesländern werden Trendanalysen mit linearen Regressionen durchgeführt. Wenn ein Trend vorliegt, wird die Jahresserie der Hochwasserabflüsse nicht weiter verwendet.

Aufwand (zeitlich)

Der von den meisten Anwendern angegebene Zeitaufwand für die Abschätzung eines Hochwasserabflusses ist mit ca. einem Tag und weniger relativ gering und einheitlich. Bei den Angaben zur Datenaufbereitung differieren die angegebenen Zeiten wesentlich stärker, was sich im Aufwand

für die Prüfung der Zeitreihen auf Homogenität, Trends und Ausreisser begründen lässt. Diese hat auf die Qualität der Resultate einen wesentlichen Einfluss.

Aufwand (finanziell)

Abgesehen vom Erwerb des Softwarepaketes HQ-EX sind keine weiteren Kosten zu erwarten.

Güte der Resultate

Zur Güte der Resultate werden keine Angaben gemacht, sie lässt sich in der Regel auch nicht quantitativ angeben, da im Extrapolationsbereich Vergleichsdaten fehlen. Das Programm HQ-EX bietet jedoch die Möglichkeit an, für jede angepasste analytische Verteilungsfunktion Konfidenzintervalle entsprechenden Signifikanzniveaus darzustellen. Das sind allerdings nur die statistischen Abweichungen ohne Berücksichtigung der Ungenauigkeiten aus den Daten selbst.

Literatur

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK (Hrsg.) (1999): Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. In: DVWK-Merkblätter 251, 42 Seiten, Bonn.

Kluge C. (1996): Wahrscheinlichkeitsanalysen von Hochwasserdurchflüssen. In: Dresdner Berichte 7, 122 Seiten, Dresden.

Schultz, G., A. (1998): Kritische Überlegungen zur Bestimmung des Bemessungshochwasserabflusses. In: Bericht 82 der Versuchsanstalt Oberrach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München: 118-129.

WASY (1997): HQ-EX, Version 2.0, Benutzerhandbuch. WASY: Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH, 24 Seiten, Berlin

4.5.2 EXTREM (IHW/IWK-Paket: Hochwasseranalyse)

Beschreibung des Modells

Am Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe wurde von Ihringer und Kron (1993) ein EDV-Programm zur statistischen Hochwasseranalyse erstellt. Dieses wurde weiterentwickelt und ist inzwischen als Programm EXTREM Bestandteil des sogenannten IHW/IWK-Paketes, einem Softwareprodukt des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (vgl. auch Abschnitt 4.8.1).

Neben der Aufbereitung und Prüfung der Zeitreihen sowie der Ableitung von jährlichen und partiellen Serien umfasst das Programm die Prüfung vieler unterschiedlicher statistischer Verteilungsfunktionen auf ihre Anpassung sowie viele dem Extremverhalten zugeordnete Teiluntersuchungen wie Tests auf Homogenität, Trend und Sprünge.

Im Programm EXTREM, das die statistische Hochwasseranalyse auf der Basis von jährlichen und partiellen Serien ermöglicht, können 15 verschiedene analytische Verteilungsfunktionen angepasst werden. Die Schätzung der Parameter erfolgt zunächst über die Momenten-Methode (MM) und wahlweise auch über die Maximum-Likelihood-Methode (MLM). Von letzterer Schätzmethode sind die Normal- und Log-Normal, die Exponential- und WAKBY-Verteilung ausgenommen. Folgende Verteilungen sind implementiert (Ihringer und Kron 1993):

Tab. 4.7 Analytische Verteilungsfunktionen in EXTREM (nach Ihringer und Kron 1993).

Analytische Verteilungsfunktion		Anzahl der Parameter	Kurzbezeichnung	Schätzverfahren
Familie	Name			
Normal	Normalverteilung	2	NORMAL	MM
	Log-Normalverteilung	2	LOG-NORMAL-2	MM
		3	LOG-NORMAL-3	MM, MLM
Extremal-I	Gumbelverteilung	2	GUMBEL	MM, MLM
	Log-Gumbelverteilung	2	LOG-GUMBEL	MM, MLM
Gamma	Gammaverteilung	2	GAMMA	MM, MLM
	Log-Gammaverteilung	2	LOG-GAMMA	MM, MLM
	Pearson-III-Verteilung	3	PEARSON-3	MM, MLM
	Log-Pearson-III-Verteilung	3	LOG-PEARSON-3	MM, MLM
Weibull	Weibull-II-Verteilung	2	WEIBULL-2	MM, MLM
	Log-Weibull-II-Verteilung	2	LOG-WEIBULL-2	MM, MLM
	Weibull-III-Verteilung	3	WEIBULL-3	MM, MLM
	Log-Weibull-III-Verteilung	3	LOG-WEIBULL-3	MM, MLM
	Exponentialverteilung	1	EXPONENT-1	MM
		2	EXPONENT-2	MM
Wakey	WAKEBY-Verteilung	5	WAKEBY	MM

Für den Test der Anpassungsgüte stehen sowohl der $n\omega^2$ - als auch der Kolmogorov-Smirnow-Wert zur Verfügung. Darüber hinaus können alle angepassten Wahrscheinlichkeitsverteilungen graphisch dargestellt und deshalb miteinander visuell verglichen werden. Als dazu notwendige empirischen Eintragungswahrscheinlichkeiten kann zwischen der Plotting Position nach Weibull, Hazen, Tschschodajew, Blom und Gringerton gewählt werden. Zusätzlich können Konfidenzbereiche vorgegebener Signifikanz zur Darstellung der Streubereiche der Extremwerte in eine Graphik eingetragen werden (Ihringer und Kron 1993).

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Das Programmpaket Extrem wird in den Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Saarland, Thüringen, bei verschiedenen Wasserverbänden und in mehreren Ingenieurbüros insbesondere für die Abschätzung von Hochwasserabflüssen bestimmter Jährlichkeiten verwendet. Hinzu kommt die Ausweisung bzw. Abschätzung von Überschwemmungszonen.

Jährlichkeit des Ereignisses

Die Harzwasserwerke in Niedersachsen ermitteln zudem mit dem oben beschriebenen Verfahren die Sicherheit besonders schützenswerter Anlagen und berechnen daher auch extreme Abflüsse mit Wiederholungszeitspannen von 1'000 Jahren. Zusätzlich wird versucht, den vermutlich grössten Hochwasserabfluss zu bestimmen. Im Allgemeinen wird jedoch das Programm EXTREM eingesetzt, um Hochwasserabflüsse mit Jährlichkeiten zwischen 1 und 200 Jahren zu berechnen.

Einzugsgebietsfläche

Die Grösse der betrachteten Einzugsgebietes richtet sich stark nach den Bundesländern und nach den vorkommenden Einzugsgebietsflächen. Sie liegen im Bereich zwischen 10 und 10'000 km². Dies bedeutet jedoch nicht, dass es für dieses Verfahren eine Beschränkung der Einzugsgebietsgrösse gibt.

Naturräumliche Zuordnung

Im Hinblick auf die naturräumliche und regionale Gültigkeit des Verfahrens bestehen keine Einschränkungen.

Erfahrungen

Die Anwendung des beschriebenen Verfahrens erfordert ein hohes bis sehr hohes Mass an hydrologischen Expertenwissen. Die Datenverfügbarkeit richtet sich nach der Jährlichkeit des betrachteten Bemessungshochwassers und damit nach der erforderlichen Länge der Zeitreihen. Da die meisten Zeitreihen in ausreichender Länge bei den zuständigen Behörden vorliegen, wird die Verfügbarkeit der Daten als gut bis sehr gut eingestuft.

Notwendige Inputdaten

Als Eingabedaten für das Programm EXTREM werden homogene Serien von Hochwasserabflüssen benötigt. Dies können sowohl partielle als auch jährliche Serien sein. Mit der Voraussetzung der Homogenität wird eine eingehende Prüfung der Datenreihen erforderlich. Die Zeitreihen sollten daher hinsichtlich Ausreissern, Trends und Sprüngen analysiert werden. Serien mit Trends sollten nicht verwendet werden. Dagegen muss bei Feststellung von Ausreissern individuell entschieden werden, ob diese in der Serie verbleiben oder eliminiert werden. Insgesamt werden in den meisten Fällen inhomogene Reihen nicht verworfen, sondern die Ursachen gesucht und ggf. eine Begrenzung oder Auswahl der Zeitreihe vorgenommen. Neben den Zeitreihen von Hochwasserabflüssen werden keine Daten benötigt.

Aufwand (zeitlich)

Der Zeitaufwand für die Bereitstellung der Daten wird von den Verwaltungen mit wenigen Stunden angegeben, da die Daten meist routinemässig erfasst werden und den zuständigen Behörden schon vorliegen. Der Aufwand kann für andere Institutionen erheblich sein. Zeitaufwendiger stellt sich die Prüfung der Daten hinsichtlich ihrer Homogenität und die Durchführung der Abschätzung des gewünschten Hochwassers dar. Angegeben wurden hier Zeiträume von wenigen Stunden bis zu zwei Tagen.

Aufwand (finanziell)

Neben den Kosten für die Beschaffung des Programmpaketes des IHW/IWK Karlsruhe und der Daten ist mit keinen weiteren Kosten zu rechnen. Die genauen Beschaffungskosten für das Programmpaket sind mit dem IHW/IWK zu klären.

Güte der Resultate

Das Programmpaket EXTREM bietet die Möglichkeit an, Konfidenzbänder für verschiedene Signifikanzniveaus graphisch mit den entsprechenden angepassten analytischen Verteilungsfunktionen darzustellen. Quantitative Angaben über die erfahrungsmässige Schwankungsbreite wurden nicht gemacht. Diese ist jedoch stark vom Stichprobenumfang und der Qualität der Daten abhängig.

Literatur

Ihringer, J., Kron, W. (1993): Softwarepaket für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Anwenderhandbuch, Band 1: Hochwasseranalyse. Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe.

4.5.3 IsHoT+W (Informationssystem Hochwasser – Trends und Wahrscheinlichkeiten)

Das im Rahmen des Informationssystems Hochwasser vom Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik / Ottobrunn entwickelte Softwareprodukt IsHoT+W lässt ebenfalls die Schätzung von Hochwasserabflüssen bestimmter Überschreitungswahrscheinlichkeiten zu. Da es darüber hinaus auch Ansätze zur Regionalisierung, d.h. zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen an Gewässerquerschnitten, an denen keine Beobachtungen vorliegen, enthält, wird es im Kapitel 4.6 Angewandte statistische Verfahren – Regionalhydrologische Ansätze beschrieben. Prinzipiell kann es ebenso wie HQ-EX eingesetzt werden. Es enthält allerdings wesentlich mehr Verteilungsfunktionen und weitere Parameterschätzmethoden. Ausserdem können damit umfangreiche Test auf Homogenität und Sprünge sowie Trendanalysen nach verschiedenen Verfahren, z.B. auch mit sogenannten robusten Verfahren durchgeführt werden.

IsHoT+W wird von den Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder Bayern, Niedersachsen, Thüringen sowie dem entwickelnden Ingenieurbüro eingesetzt.

4.5.4 KLUDON

KLUDON ist ein im Softwareprodukt NASIM (vgl. Kapitel 4.8.2) integriertes Programm für die Anpassung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen an beobachtete und von NASIM berechnete Jahreshöchstabflüsse. Die Auswahl der Typen von Verteilungen ist beschränkt. Die Parameterbestimmung erfolgt nach der Momentenmethode.

Die Ergebnisdarstellung wird graphisch durch die Software TimeView unterstützt.

KLUDON wird von den Nutzern des Programms NASIM, d.h. den Ländern Nordrhein-Westfalen, Sachsen sowie einigen Ingenieurbüros und Verbänden eingesetzt.

4.5.5 HVERT

HVERT ist ein EDV-Programm, das im Zuge umfangreicher Programmentwicklungen für die Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung Anfang der 70-er Jahre am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover entwickelt und später am Institut für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München sowie vom Ingenieurbüro Blasy und Mader / Eching weiterentwickelt worden ist. Es dient der statistischen Analyse von Zeitreihen der Hochwasserscheitelabflüsse und lässt beliebige Extrapolationen zu. Die Anzahl Verteilungsfunktionen ist beschränkt. Die Parameterschätzung erfolgt nach der Momentenmethode.

HVERT wird zur Zeit nur von dem o.g. Ingenieurbüro eingesetzt.

4.5.6 Ableitung von Hochwasserabflüssen der Überschreitungswahrscheinlichkeit 10^{-4} an Binnengewässern

Beschreibung des Verfahrens

Das folgende Verfahren ist zur Anwendung beim Nachweis der Hochwassersicherheit kern-technischer Anlagen vorgeschlagen worden. Dabei wird von einem Hochwasserscheitelabfluss der Überschreitungswahrscheinlichkeit 10^{-2} pro Jahr auf einen Hochwasserscheitelabfluss der Überschreitungswahrscheinlichkeit 10^{-4} pro Jahr geschlossen. Es wird davon ausgegangen, dass der Hochwasserscheitelabfluss der Überschreitungswahrscheinlichkeit 10^{-2} nach den üblichen statistischen Verfahren (DVWK, 2000) abgeleitet wird.

Dem Verfahren liegt folgende grundsätzliche Überlegung zugrunde: Es ist inzwischen kaum mehr strittig, dass Extrapolationen zu Überschreitungswahrscheinlichkeiten kleiner als 10^{-2} pro Jahr bei der verfügbaren Datenbasis nicht möglich sind. Auch wenn längere Beobachtungsreihen vorhanden wären, könnten diese der Inhomogenitäten, Trends und Sprünge wegen nicht verwendet werden. Insofern ist auch die Einbeziehung sogenannter historische Hochwasser höchst problematisch. Werden dennoch Extrapolationen in diese extremen Bereiche hinein erforderlich, so dürften sie mit allen Verteilungsfunktionen und Parameterschätzverfahren gleich falsch sein. Und es gibt keine Möglichkeit, daraus eine beste Schätzung auszuwählen. Es wird deshalb eine einheitliche Vorgehensweise (als Konsens) vorgeschlagen, die von einer maximierten Schiefe der Verteilungsfunktion ausgeht. Der maximierte Wert der Schiefe von $c = 4$ ist an mehr als tausend Reihen von Hochwasserscheitelabflüssen deutscher Pegel abgeleitet worden.

Für eine über die Überschreitungswahrscheinlichkeiten von kleiner als 10^{-2} pro Jahr hinausgehende Extrapolation – und nur für diese – wird die Pearson-III-Wahrscheinlichkeitsverteilung zugrunde gelegt. Auf ihrer Basis werden benötigte Häufigkeitsfaktoren bestimmt und die Schiefe auf $c = 4$ maximiert. Es ist nicht erforderlich, für die Extrapolation andere Häufigkeitsverteilungen zu verwenden, weil nicht nachweisbar ist, dass sie bessere Ergebnisse liefern.

Es ist die standardisierte Verteilungsfunktion in der Form zu verwendenden:

$$HQ_{(10^{-4})} = MHQ + s_{HQ} \cdot k_{(10^{-4})}$$

mit

$HQ_{(10^{-4})}$	Hochwasserscheitelabfluss mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} pro Jahr [m^3/s]
MHQ	Mittlerer Hochwasserscheitelabfluss einer längeren Zeitreihe [m^3/s]
s_{HQ}	Standardabw. der Hochwasserscheitelabflüsse einer längeren Zeitreihe [m^3/s]
$k_{(10^{-4})}$	Häufigkeitsfaktor für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} pro Jahr

Die statistischen Parameter MHQ und s_{HQ} sowie die tatsächliche Schiefe c werden aus den Beobachtungsdaten eines repräsentativen Pegels berechnet.

Der Häufigkeitsfaktor $k_{(10^{-4})}$ wird als Produkt des Häufigkeitsfaktors k und eines Quotienten f berechnet:

$$k_{(10^{-4})} = k \cdot f$$

Der Häufigkeitsfaktor k wird für die Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-2} pro Jahr und die tatsächliche Schiefe c der Beobachtungsdaten aus Tabelle 4.8 entnommen.

Der Quotienten f wird aus dem Häufigkeitsfaktor $k_{(10^{-4})_{\max}}$ für eine maximierte Schiefe von $c = 4$ und dem Häufigkeitsfaktor $k_{(10^{-2})_{\max}}$, ebenfalls für die maximierte Schiefe $c = 4$ berechnet. Beide Häufigkeitsfaktoren sind unabhängig von ortsspezifischen Daten. Damit ist f eine Konstante:

$$f = k_{(10^{-4})_{\max}} / k_{(10^{-2})_{\max}} = 12,36 / 4,37 = 2,8$$

4.6 Angewandte statistische Verfahren – Regionalhydrologische Ansätze

4.6.1 HQ-Längsschnitt: Hochwasserabfluss- und Hochwasserabflusspendenlängsschnitte

Beschreibung des Modells

Um die aus Pegelbeobachtungen gewonnenen Informationen auf Flussabschnitte ohne Beobachtung zu übertragen, werden für zahlreiche Flussgebiete in verschiedenen Bundesländern Deutschlands Hochwasserlängsschnitte und Hochwasserspendendiagramme erarbeitet. Grundlage ist die Berechnung der Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit HQ_T unter Heranziehen von Jahresreihen der Hochwasserscheitelwerte und mathematischen Verteilungsfunktionen. Vor der Berechnung werden die vorhandenen Jahresreihen auf Konsistenz und Homogenität geprüft. Zur Prüfung auf Konsistenz wird die Abflussermittlung (Abflusskurve, Pegelchronik, Nullpunktänderung) genauer betrachtet. Bei Inkonsistenzen werden die Datenreihen korrigiert und weiterführend bearbeitet (BLfW 1999).

Auf Basis dieser Reihen werden für jeden Pegel analytische Verteilungsfunktionen angepasst. Die Wahl der geeigneten Verteilungsfunktion erfolgt über statistische Testverfahren, wobei nach Möglichkeit eine gemeinsame Verteilungsfunktion für ein Flussgebiet gewählt wird. Für 1- und 2-jährliche Hochwasserabflüsse (HQ_1 und HQ_2) werden partielle Serien zugrunde gelegt (BLfW 1999).

Im Hochwasserlängsschnitt werden die mittleren Hochwasserabflüsse MHQ und die Hochwasser unterschiedlicher Jährlichkeit HQ_T (Ordinate) über dem Flusslauf (Flusskilometer, Abszisse) eingetragen. Hierüber können Hochwasserabflüsse an beliebigen Querschnitten zwischen den Pegeln ermittelt werden (vgl. Abb. 4.3).

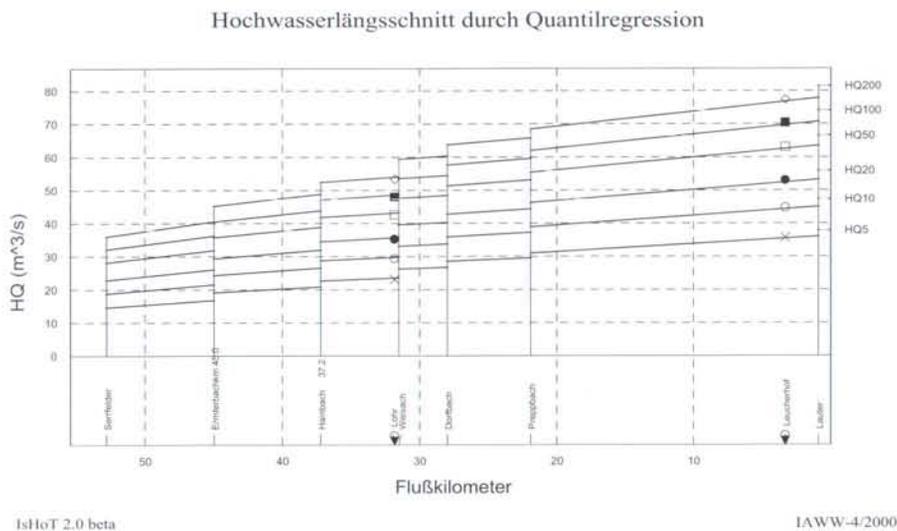


Abb. 4.3 Hochwasserlängsschnitt, erstellt mit dem Programmpaket IsHoT+W (aus Kleeberg und Willems 2000).

Im Hochwasserspendendiagramm werden die mittleren Hochwasserabflusspenden MHQ und die Hochwasserabflusspenden verschiedener Jährlichkeiten Hq_T auf einer doppeltlogarithmischen Skala gegen die Einzugsgebietsgröße aufgetragen. Dabei ist die Einzugsgebietsgröße einer der wichtigsten Kennwerte für den Hochwasserabfluss aus einem Gebiet. Die Hochwasserabflusspenden wachsen mit kleiner werdendem Einzugsgebiet. Für Hochwasserabflusspenden kann näherungsweise folgende Potenzfunktion angesetzt werden:

$$Hq_T = c_1 * A_{Eo}^{-c_2}$$

Werden die Hochwasserabflusssspenden z.B. MH_Q oder Hq_T in doppeltlogarithmischen Papier gegen die Einzugsgebietsfläche aufgetragen, so ergibt obige Gleichung im Idealfall eine Gerade. Entsprechend wird versucht, die Hochwasserabflusssspenden entlang des Flusslaufes durch eine Gerade zu approximieren. Auf diese Weise können auch Hochwasserabflüsse für Teilgebiete der Zuflüsse und Hochwasserlängsschnitte über die Spendendiagramme ermittelt werden (BLfW 1999).

Das grösste Problem ist die Ermittlung der Höhe der Sprünge an den Stellen, an denen Zuflüsse vorhanden sind. Deshalb werden für alle Zuflüsse Angaben über den Flusskilometer sowie die Einzugsgebietsfläche vor und nach der Mündung benötigt (Kleeberg und Willems 2000).

Hochwasserlängsschnitte und Hochwasserspendendiagramme werden in der Regel für seltene Hochwasserabflüsse mit Jährlichkeiten zwischen einem und hundert Jahren erstellt. Grössere Abweichungen von der Geraden deuten auf unterschiedliche hydrologische Verhältnisse hin, soweit Konsistenz und Homogenität der Reihen erfüllt sind.

Für die Erstellung von Hochwasserabflüssen steht ein Softwarepaket mit dem Namen Is-HoT+W zur Verfügung, das vom Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik / Ottobrunn zusammen mit den Wasserwirtschaftsverwaltungen von Bayern, Niedersachsen und Thüringen erarbeitet wurde (Kleeberg und Willems 2000) und weiterentwickelt wird.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Hochwasserlängsschnitte werden erstellt, um grobe Abschätzungen für Hochwasserabflüsse im Vorfeld genauerer Untersuchungen vornehmen zu können. Ausserdem dienen Hochwasserlängsschnitte für die Festlegung oder Abschätzung von Überschwemmungszonen und die grobe Abschätzung der Hochwassersituation für weniger schützenswerte Objekte. Im wesentlichen sind auf diesem Gebiet die Länder Bayern, Niedersachsen und Thüringen aktiv. Zwei Ingenieurbüros, ein Verband und ein Hochschulinstitut haben mitgeteilt, dass sie Hochwasserlängsschnitte aufstellen.

Jährlichkeit des Ereignisses

Das Verfahren wird üblicherweise eingesetzt um Hochwasserscheitelabflüsse mit Jährlichkeiten bis zu 100 Jahren abzuleiten. In Bayern werden sowohl seltene als auch extreme Hochwasserabflüsse über Längsschnitte ermittelt. Dies schliesst auch maximale Hochwasserabflüsse ein.

Einzugsgebietsfläche

Hochwasserlängsschnitte können prinzipiell für Einzugsgebietsgrössen zwischen 10 bis 100'000 km² erstellt werden.

Naturräumliche Zuordnung

Im Hinblick auf die naturräumlichen Gültigkeitsbereich werden Hochwasserlängsschnitte in Hochgebirgen und Mittelgebirgen genauso wie im Flachland angewendet. Die regionale Zuordnung entspricht dabei jeweils den administrativen Grenzen der zuständigen Wasserbehörde (Bundesland).

Erfahrungen

Im allgemeinen wird die Datenverfügbarkeit für dieses Verfahren als mittel bis gut eingestuft. Das Gewicht des erforderlichen Expertenwissens bei der Ermittlung von Längsschnitten erweist sich als mittel bis hoch.

Notwendige Inputdaten

Für den Hochwasserlängsschnitt, den Hochwasserspendenlängsschnitt oder die entsprechenden Diagramme werden Informationen über die Einzugsgebietsfläche und die Flusskilometrierung der Pegel und Einmündungen sowie ausreichende Zeitreihen beobachteter Hochwasserabflüsse HQ an Pegeln, die eine repräsentative statistische Hochwasseranalyse erlauben, benötigt.

Aufwand (zeitlich)

Die Beschaffung und spezifische Aufbereitung der Pegel­daten und Informationen über das Flussgebiet nimmt bei Gebieten bis ca. 5'000 km² ca. fünf Tage in Anspruch, wenn alle Daten bereits zuvor geprüft und für tauglich angesehen worden sind. Zur Durchführung der Abschätzung selbst sind ca. sechs weitere Arbeitstage einzuplanen. Der genaue Arbeitsaufwand richtet sich nicht nur nach der Grösse des Flussgebietes für den der Längsschnitt erstellt werden soll, sondern auch nach der Anzahl der Pegel, von denen Daten verarbeitet werden müssen.

Nach Fertigstellung des Hochwasserlängsschnittes für ein Flussgebiet ist das Ablesen von Hochwasserabflüssen für bestimmte Querschnitte nur noch ein Aufwand von Minuten.

Aufwand (finanziell)

Neben der Beschaffung der notwendigen Inputdaten entstehen keine weiteren Kosten, ausser man entscheidet sich für ein kommerzielles Programmpaket zur Unterstützung. Längsschnitte können jedoch prinzipiell mit jedem Tabellenkalkulationsprogramm erstellt werden, wenn die statistische Hochwasseranalyse bereits erfolgt ist und das Problem der Höhe der Abflüsse aus den Zuflüssen gelöst ist.

Güte der Resultate

Die vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft angegebenen Schwankungsbreiten der HQ_T liegen im Bereich zwischen 10-25 %. Da jedoch meistens die Schätzungen der Hochwasser­scheitelabflüsse an den Pegeln bereits grössere statistische Schwankungen aufweisen, dürfte diese Angabe eher nach oben zu korrigieren sein.

Literatur

- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.) (1999):** Hydrologische Planungsgrundlagen, Hochwasserlängsschnitt, Loseblattsammlung des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft.
- Kleeberg, H.-B., Willems, W. (2000):** Informationssystem Hochwassertrends / Hochwasserwahrscheinlichkeiten, IsHoT / IsHoW, Benutzerhandbuch. Institut für Angewandte Wasserwirtschaft, München.

4.6.2 HQ-REGIO

Beschreibung des Modells

Als Erweiterung des Programmsystems HQ-EX (WASY 1997), das zur statistischen Hochwasseranalyse dient, wurde im Zeitraum 1987 bis 1989 von Fügner et al. (1990) ein Regionalisierungsverfahren entwickelt, das es ermöglichen sollte, an unbeobachteten Flussquerschnitten in Einzugsgebieten des Mittelgebirges und Hügellandes in den ehemaligen Bezirken Dresden und Chemnitz Hochwasserabflüsse zu ermitteln. Dieses Regionalisierungsverfahren wird in einem Softwarepaket mit dem Namen HQ-REGIO bereitgestellt.

Auf der Basis von 53 Pegeln aus dem Bezirk Dresden und 38 Pegeln aus dem Bezirk Chemnitz wurde mit Hilfe von praktischen und leicht ermittelbaren Gebietskennwerte eine Mehrfachregression auf die Quantile der Jahreshöchstabflussspenden Hq_T entwickelt. Zur Ermittlung der geeigneten Variablen und zur Festlegung eines optimalen Regressionsmodells wurden Kreuz- und Regressionsanalysen durchgeführt sowie Fehlerbetrachtungen angeschlossen. Die Auswahl von homogenen Regionen erfolgte durch Variation der Pegelgruppen und nach hydrologischen Gesichtspunkten. Es ergaben sich zwei Regionen: Die Pegel der Flussgebiete Mulde/Weisse Elster (Bezirk Chemnitz) und die Pegel der Flussgebiete und Nebenflüsse Elbe/Schwarze und Elster/Spree/Nebenflüsse Neiße (Bezirk Dresden).

Kreuzkorrelationen zwischen den Quantilen der Hochwasserspenden unterschiedlicher Jährlichkeiten und den Gebietskennwerten sowie die gezielte Variation der Geofaktoren bei verschiedenen Mehrfachregressionen führten zu sechs unabhängigen Variablen. Folgende Gebietskennwerte bildeten demnach die beste Kombination:

P	Mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag [mm/a]
A_{E_0}	Einzugsgebietsgröße [km ²]
$\alpha = R/P$	Abflussverhältnis [%], mit $R = MQ$
W	Waldanteil [%]
f_{ET}	Formfaktor [-], $f_{ET} = L * L / A_{E_0}$, mit $L =$ Einzugsgebietslänge
I_G	mittleres Gefälle [‰]

Um die Voraussetzung der Normalverteilung für eine Mehrfachregression zu wahren, wurden statistische Tests und gegebenenfalls Transformationen der Variablen durchgeführt. Es ergab sich eine Regressionsgleichung mit unterschiedlichen Sätzen von Koeffizienten in Abhängigkeit von T:

$$\sqrt{Hq_T} = a_0 + a_1 * P + a_2 * \ln(A_{E_0} + 0,5) + a_3 * \ln(R/P) + a_4 * \sqrt{W} + a_5 * \sqrt{f_{ET}} + a_6 * \sqrt{I_G}$$

mit a_0 bis a_6 von T abhängige Koeffizienten.

Diese Mehrfachregression gilt für Jährlichkeiten zwischen 2 bis 50 Jahren. Für Quantile der Abflussspende mit höheren Jährlichkeiten (100-1000a) wird als abhängige Variable statt der Wurzel der Abflussspende der Logarithmus gewählt, der Rest der Regressionsbeziehung bleibt bestehen.

$$\ln(Hq_T) = a_0 + a_1 * P + a_2 * \ln(A_{E_0} + 0,5) + a_3 * \ln(R/P) + a_4 * \sqrt{W} + a_5 * \sqrt{f_{ET}} + a_6 * \sqrt{I_G}$$

mit a_0 bis a_6 von T abhängige Koeffizienten.

Fügner et al. (1990) machen mit ihrem Regionalisierungsverfahren Aussagen für Hochwasserscheitelabflüsse mit Jährlichkeiten zwischen 2 und 1'000 Jahren. Die Ergebnisse wurden an 110 Pegeln mit Einzugsgebietsflächen zwischen 1,8 km² und 2'982 km² mit statistischen Hochwasseranalysen verglichen. Daraus ergibt sich folgendes Bild: Für das Modell der 53 untersuchten Pegel des Bezirks Dresden betragen die Abweichungen 20-32 %. Das Modell der 38 untersuchten Pegel im Bezirk Chemnitz wies Abweichungen zu den statistischen Hochwasseranalysen von 11-14 % auf.

Diese Variante von HQ-REGIO wird in Sachsen angewendet. Um das Programmpaket HQ-REGIO zu nutzen, müssen 10 Regressionsbeziehungen für 10 Wiederkehrintervalle in das Pro-

grammsystem integriert werden. Damit können für unbeobachtete Querschnitte mit den dafür zu bestimmenden Geofaktoren wahrscheinlichkeitsbehaftete Hochwasserabflüsse berechnet werden.

HQ-REGIO wurde von Haupt et al. (1999) weiterentwickelt, geändert und für neue Regionen in Mecklenburg-Vorpommern anhand von 58 Pegelstationen angepasst, wobei eine Objektivierung der Regionenbildung vorgenommen wird. Haupt et al. (1999) verwenden

- das Kriterium der Saisonalität der Hochwasserabflüsse,
- den Dalrymple-Test auf die Homogenität der Hochwasserquantile für T = 10 Jahre,
- für eine homogene Region im Sinne des Abflussregimes grundsätzlich die gleiche Form der statistischen Verteilung der Hochwasserabflüsse und damit die gleiche analytische Verteilungsfunktion, die an die empirische Verteilung angepasst wird.

Für Mecklenburg-Vorpommern erweisen sich alle Pegel, an deren Hochwasserabflüsse die dreiparametrische Weibullverteilung zufriedenstellend approximiert werden kann, als zu einer Region zugehörig.

Für die anschließende Mehrfachregression auf die Scheitelabflussspenden Hq_T werden folgende unabhängige Gebietskenngrößen verwendet:

A_{Eo}	Einzugsgebietsgröße [km]
GF	Kennwert zur Gebietsform [-]
I_G	mittleres Geländegefälle [%o]
UD	Kennwert zu Boden/Geologie [-]
SR	Kennwert zum Seeneinfluss [-]
P	mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag [mm/a]

Für eine nähere Erläuterung der Gebietskennwerte sei hier auf die Veröffentlichung Haupt et al. (1999) verwiesen. Daraus ergab sich nach Prüfung der Variablen auf Normalverteilung und etwaiger Transformation folgendes Regressionsmodell:

$$\ln(Hq_{100}) = -1,5 - 0,15 * \ln(A_{Eo}) + 0,366 * GF^2 + 0,097 * \ln(I_G) + 0,447 * e^{UD} - 0,557 * \ln(SR) + 2,88 * \ln\left(\frac{P}{100}\right)$$

Mit dieser Auswahl von Geofaktoren erreichen Haupt et al. (1999) einen multiplen Korrelationskoeffizienten 0,91 bei Abflussspenden der Jährlichkeit T = 100.

Zusätzlich zu dieser Mehrfachregression berechnen Haupt et al. (1999) eine reduzierte Version für Geofaktoren, die sehr einfach bereitzustellen sind. Diese Geofaktoren sind:

A_{Eo}	Einzugsgebietsgröße [km]
SR	Kennwert zum Seeneinfluss [-]
P	mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag [mm/a]

Es ergibt sich folgender Ansatz:

$$\ln(Hq_{100}) = 2,528 - 0,234 * \ln(A_{Eo}) - 0,553 * \ln(SR) + 1,573 * \ln\left(\frac{P}{100}\right)$$

Die Vollversion der Mehrfachregression führt zu Abweichungen von 18 % zwischen statistischen HQ_T und regionalisierten HQ_T für Jährlichkeiten zwischen 2 und 100 Jahren. Bei der reduzierten Version sind grössere Abweichungen von ca. 24 % in Kauf zu nehmen (Haupt et al. 1999).

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Die oben beschriebenen Regionalisierungsverfahren werden in den Bundesländern Sachsen, Sachsen-Anhalt, Rheinland-Pfalz und Thüringen sowie vom entwickelnden Ingenieurbüro angewendet.

Jährlichkeit des Ereignisses

Die Jährlichkeiten der seltenen Hochwasserscheitelabflüsse, die ermittelt werden sollen, liegen zwischen 1 und 100 Jahren. Prinzipiell wird darauf hingewiesen, dass auch extreme Hochwasserscheitelabflüsse abgeschätzt werden können, ohne dass dies belegt wird oder belegt werden kann. Ob die meist kurzen Zeitreihen (ca. 30 Jahre) eine weitgehende Extrapolation für $T > 200$ Jahre erlauben, ist unbewiesen. Die Resultate der Regionalisierung dienen dem gesamten Spektrum an Bemessungsaufgaben.

Einzugsgebietsfläche

Eingesetzt werden die genannten Regionalisierungsverfahren in Einzugsgebieten mit Flächengrößen zwischen 10 und 5'000 km².

Naturräumliche Zuordnung

Bisher wurde das Verfahren in Flachland- und Mittelgebirgsregion angewendet. Die regionale Gültigkeit ist dabei auf die homogenen Regionen beschränkt, deren Pegelraten zur Aufstellung des Modells verwendet wurden.

Erfahrungen

Im Hinblick bei den Erfahrungen im Einsatz der hier beschriebenen Regionalisierungsverfahren wird die Datenverfügbarkeit als mittel bis gut bewertet. Die Bewertung der Ergebnisse erfordert ein hohes Mass an hydrologischem Expertenwissen.

Notwendige Inputdaten

Neben einer ausreichenden Zahl an repräsentativen Pegelmessstellen mit langen Zeitreihen werden eine Vielzahl an Gebietsparametern benötigt (siehe oben). Diese Gebietsparameter können:

- mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems,
- aus digitalen Höhenmodellen,
- Bodenkarten und
- geologischen Karten

abgeleitet oder aus entsprechenden analogen Karten ermittelt werden. Zusätzlich sind klimatologische Messreihen auszuwerten oder meteorologische Jahrbücher heranzuziehen.

Aufwand (zeitlich)

Der zeitliche Aufwand für die Durchführung der Abschätzung wird allgemein als sehr gering (unter einem halben Tag) angegeben, da hierfür ein Programmpaket zur Verfügung steht. Diese Zeitangaben setzen ein gültiges angepasstes Regionalisierungsmodell voraus (übernimmt ggf. die Fa. WASY). Der Aufwand für die Bereitstellung der Geofaktoren richtet sich stark nach der Verfügbarkeit eines Geographischen Informationssystems und kann daher als hoch eingestuft werden.

Aufwand (finanziell)

Das Softwarepaket HQ-REGIO kann über die Firma WASY bezogen werden. Mit der Möglichkeit die oben beschriebenen Regionalisierungsansätze durch die Fa. WASY durchführen zu lassen, erhöht sich der finanzielle Aufwand neben dem Einsatz eines Geographischen Informationssystems, der zu empfehlen ist, entsprechend. Genauere Kosten für die Bereitstellung des Regionalisierungsverfahrens HQ-REGIO für eine bestimmte Region sind mit der Fa. WASY zu klären.

Güte der Resultate

Die Schwankungsbreite der erzielten Ergebnisse werden mit durchschnittlich 20 % angegeben. Als Referenzwerte werden statistische Hochwasseranalysen an beobachteten Querschnitten herangezogen.

Literatur

- Fügner, D., Schramm, M., Peter, A., Schiek, P. (1990):** Neue Methoden zur Berechnung von Hochwasserscheiteldurchflüssen mit Wahrscheinlichkeitsaussage. In: Wasserwirtschaft – Wassertechnik, Heft 5:112-114, Berlin.
- Haupt, R., Miegel, K., Schramm, M., Walther, J. (1999):** Saisonalität und Regionalisierung von Hochwasserscheitelabflüssen in Mecklenburg-Vorpommern. In: Wasserwirtschaft, 89, 7-8:388-394.
- WASY (1997):** HQ-EX, Version 2.0, Benutzerhandbuch. WASY: Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH, 24 Seiten, Berlin.
- WASY (2000):** Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH, Internet-Homepage, www.wasy.de.

4.6.3 Verfahren des LfU in Baden-Württemberg

Beschreibung des Modells

Bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1999) kommt ein von Dr.-Ing. Ihringer am Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe entwickeltes Regressionsverfahren zur Regionalisierung von Hochwasserquantilwerten zum Einsatz. Das Modell wurde anhand von Zeitreihen der Jahreshöchstabflüsse von 335 Pegeln in Baden-Württemberg entwickelt und getestet.

Zur Bestimmung der Regressionskoeffizienten wurden an alle zur Verfügung stehenden Zeitreihen 12 analytische Verteilungsfunktionen anhand der Maximum-Likelihood- und der Momentenmethode angepasst. Mit Hilfe der Verteilungsfunktion, die die beste Anpassung an die Messdaten im Extrembereich liefert, wurden im nächsten Schritt der mittlere Hochwasserabfluss MHQ und die Hochwasserquantilwerte HQ_T für $T = 2, 5, 10, 20, 50, 100$ und 200 Jahre berechnet. Ausgehend von diesen Daten wurde folgende Regressionsbeziehung aufgestellt:

$$\ln(Y) = C_0 + C_1 * \ln(A_{Eo}) + C_2 * \ln(S + 1) + C_3 * \ln(W + 1) + C_4 * \ln(I_g) + C_5 * \ln(L) + C_6 * \ln(L_c) + C_7 * \ln(P) + C_8 * \ln(LF)$$

mit

$Y = MHQ$ bei Regionalisierung der MHQ-Werte

oder

$$Y = \frac{Hq_T}{MHQ} \text{ für } T = 2, 5, 10, 20, 50, 100 \text{ oder } 200 \text{ Jahre zur Regionalisierung der } HQ_T\text{-Werte}$$

Y	abhängige Variable
MHQ	Spinde des mittleren jährlichen Höchstabflusses [$m^3/(s * km^2)$]
Hq_T	Spinde des T-jährlichen Höchstabflusses [$m^3/(s * km^2)$]
C_0 - C_8	von T abhängige Koeffizienten [-]
A_{Eo}	Fläche des Einzugsgebietes [km^2]
S	Bebauungsanteil [%]
W	Waldanteil [%]
I_g	gewogenes Gefälle [%]
L	Fliesslänge des Hauptgewässers von der Wasserscheide bis zum gewünschten Querschnitt [km]
L_c	Fliesslänge entlang des Hauptgewässers vom Gebietsschwerpunkt bis zum gewünschten Querschnitt [km]
P	mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag [mm]
LF	Landschaftsfaktor [-]

Der Landschaftsfaktor ist ein dimensionsloser Wert, der eingeführt worden ist, um die Residuen der Regression weiter zu reduzieren. Er repräsentiert nach Angaben des LfU die hydrogeologisch-bodenkundlich-landschaftsräumlichen Verhältnisse und er konnte flächendeckend für Baden-Württemberg kalibriert und regionalisiert werden.

Die Umrechnung des Wertes Y_T in das zugehörige HQ_T erfolgt über die Gleichung:

$$HQ_T = Y_T * MHQ * A_{Eo} = Y_T * MHQ$$

Es wurde bei diesem Regionalisierungsansatz versucht, die unabhängigen Grössen unter dem Gesichtspunkt der theoretischen Begründung auszuwählen.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Das oben erläuterte Regionalisierungsverfahren wurde für das Bundesland Baden-Württemberg flächendeckend ausgearbeitet und dient der wasserwirtschaftlichen Vollzugspraxis. Hierfür wurden

57 Hochwasserlängsschnitte für alle wichtigen Flussläufe erstellt. Zusätzlich wurden Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit an 411 Pegeln und an ca. 2'000 Knoten des „Gewässerkundlichen Flächenverzeichnis Baden-Württemberg“ berechnet sowie für diese 2'000 Knoten die Gebietskennwerte ermittelt. Sie werden in einem Geographischen Informationssystem (ARC/VIEW) bereitgehalten. Der Anwender kann somit für Gewässerknoten, die nicht in der Nähe eines Pegels liegen und nicht in einem Hochwasser-Längsschnitt enthalten sind, die Hochwasserkennwerte über das Regionalisierungsmodell berechnen. Darüber hinaus wird dem Anwender ein Berechnungsmodul bereitgestellt, mit dem er für Einzugsgebiete, die nicht im Gewässerkundlichen Flächenverzeichnis enthalten sind, eigene Berechnungen zur Ermittlung der Hochwasserabflusskennwerte MHQ und HQ_T durchführen kann. Die erforderlichen Gebietskenngrößen müssen jedoch selbst abgeleitet werden.

Jährlichkeit des Ereignisses

Für die Bemessungsaufgaben werden HQ_T mit Jährlichkeiten zwischen 1 und 100 Jahren ermittelt. Die Berechnung extremer Hochwasserabflüsse mit einer Wiederholungszeitspanne von 1'000 Jahren erfolgt nach der Beziehung $HQ_{1000} = 1,6 * HQ_{100}$, auch wenn dieser Zusammenhang nach der allgemeinen Häufigkeitsverteilung so nicht zulässig ist.

Einzugsgebietsfläche

Die untersuchten Einzugsgebietsgrößen liegen zwischen 10 bis 13'000 km².

Naturräumliche Zuordnung

Bisher wurde das Verfahren in Flachland- und Mittelgebirgsregion angewendet. Die regionale Gültigkeit ist dabei auf die homogenen Regionen beschränkt, deren Pegeldata zur Aufstellung des Modells verwendet wurden.

Erfahrungen

Die allgemeine Datenverfügbarkeit wird als gut eingestuft. Das hydrologische Expertenwissen hat vor allem bei der Interpretation der erzielten Ergebnisse ein hohes Gewicht.

Notwendige Inputdaten

Neben den erforderlichen Pegeldata werden für das Regionalisierungsmodell eine Reihe von Gebietskenngrößen benötigt (siehe oben). Diese können anhand von

- digitalen Höhenmodellen, (Einzugsgebietsfläche, gewogenes Gefälle, Fließlänge L, Fließlänge L_C)
- Satellitenaufnahmen (Bebauungs-, Waldanteil) und
- digitalisierten Einzugsgebietsgrenzen (Fließlänge L, Fließlänge L_C) ermittelt werden.

Der Einsatz eines Geographischen Informationssystems ist daher zweckmässig.

Als abgeleitete Größen wird zudem der mittlere jährliche Gebietsniederschlag benötigt. Er kann anhand der mittleren jährlichen Niederschlagshöhe ermittelt werden.

Aufwand (zeitlich)

Da das Regionalisierungsmodell für Baden-Württemberg bereits flächendeckend erarbeitet worden ist, wird der Zeitaufwand zur Abschätzung eines Hochwasserscheitelabflusses an einem bestimmten Querschnitt als sehr gering bewertet. Andere Angaben, z.B. zum Zeitaufwand bei der Ableitung von Gebietsparametern, wurden nicht gemacht.

Aufwand (finanziell)

Neben den Kosten für die Beschaffung der Eingangsdaten, muss das Geographische Informationssystem ARC/VIEW bereitgestellt werden. Zusätzlich muss ein Softwarepaket zur Bildverarbeitung zur Verfügung stehen, sollen die Gebietskennwerte Bebauungsanteil und Waldanteil aus Satellitendaten abgeleitet werden.

Güte der Resultate

Die Fehlerbetrachtung der Ergebnisse erfolgte anhand der Gegenüberstellung von Quantilen des Hochwasserabflusses, die einerseits über das Regionalisierungsmodell und andererseits durch statistische Analysen an den Pegeln ermittelt wurden (vgl. Abb. 4.4). Nach Erfahrungen des LfU in Baden-Württemberg liegen bei 85 % der Pegel die Abweichungen bei $\pm 12,5\%$, und bei 40 % der Pegel sind die Abweichungen kleiner als 2,5 %.

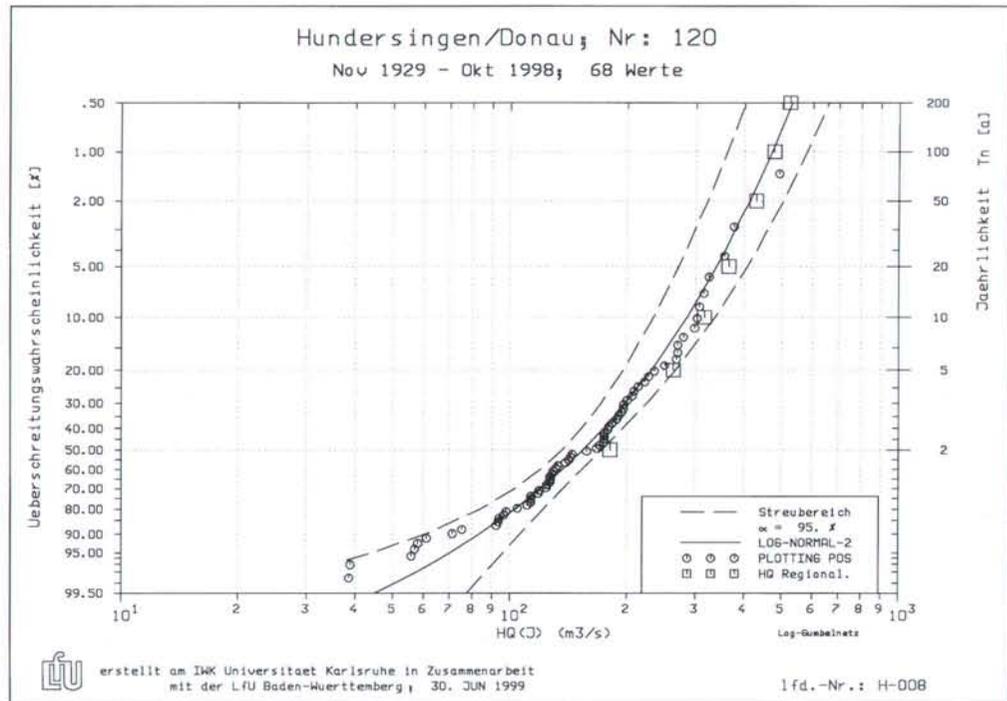


Abb. 4.4 Vergleich der Hochwasserabflusskennwerte aus der Pegelstatistik und aus der Regionalisierung für den Pegel Hundersingen/Donau (aus LfU 1999)

Literatur

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (1999): Hochwasser-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg, Selbstverlag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 1. Auflage.

4.6.4 Reg-Ex

Beschreibung des Modells

Für das Staatliche Amt für Umweltschutz in Magdeburg wurde von Schumann und Pfützner (1999) ein Verfahren zur Regionalisierung von Parametern einer Verteilungsfunktion auf der Basis einer multiplen log-linearen Regression für Pegel im Regierungsbezirk Magdeburg entwickelt. Bei der Untersuchung wurden mit Hilfe der L-Momentenmethode (siehe Hosking und Wallis 1997) verschiedene Verteilungsfunktionen an Zeitreihen der Jahreshöchstabflüsse von 17 Pegeln mit einer maximalen Einzugsgebietsgrösse von 300 km² angepasst. Die Länge der Beobachtungsreihe lag bei einem Pegel unter 20 Jahren, bei sechs zwischen 20 und 30 Jahren und bei den übrigen Pegeln über 30 Jahren.

Anhand einer Quantilkorrelationsanalyse und der Auswertung von L-Momentendiagrammen wurde festgestellt, dass die Allgemeine Extremwertverteilung die besten Anpassungsergebnisse an die zur Verfügung stehenden Daten liefert. Zur Berücksichtigung lokaler Unterschiede wurden zwei homogene Regionen gebildet und die Pegel diesen zugeordnet. Die Abgrenzung der Regionen erfolgte anhand der mittleren Hochwasserabflusspenden MH_q und der Einzugsgebietsfläche A_{E_0} . Die genaue Vorgehensweise bei der Klassifizierung wird in dem zitierten Bericht nicht deutlich. Zur Beschreibung der Heterogenität der Abflüsse in den beiden Regionen wurden getrennt multiple Regressionsgleichungen bestimmt, die die Grösse der drei Parameter der Verteilung anhand von Einzugsgebietskennwerten beschreiben.

Als Einzugsgebietskennwerte wurden folgende Parameter näher untersucht:

- Einzugsgebietsfläche
- mittlere Abflusspende
- Anteil der Sommer-Hochwasser an den Jahres-HQ-Werten
- mittlere topographische Höhe
- Flächenanteil mit Durchlässigkeitswerten < 30 cm/Tag
- Flächenanteil mit Stauwasser
- Grundwassernaher Flächenanteil
- Flächenanteil mit geringer Bodenmächtigkeit
- Ackerflächenanteil
- bebauter Flächenanteil
- Summe der Flächenanteile Wald, Gehölz und krautiger Vegetation
- Gesamtlänge des Gewässernetzes
- Flussdichte
- mittleres Gefälle
- KOSTRA-Niederschlagswerte der Dauer $D=15$ min, 30 min, 60 min, 90 min, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h, 48 h, 72 h für Wiederkehrintervalle T von 1 Jahr oder 100 Jahren (siehe DWD (1997)).

Durch nicht näher erläuterte Untersuchungen konnten folgende Gebietskennwerte als für die Regressionsbeziehung als massgeblich ermittelt werden:

- Region 1: Flächenanteil mit geringer Bodenmächtigkeit, KOSTRA-Niederschlagswert der Dauer 24 h mit Wiederkehrintervall 100 Jahre, KOSTRA-Niederschlagswert der Dauer 15 min mit Wiederkehrintervall 100 Jahre, Einzugsgebietsgrösse, Verhältnis der natürlichen Logarithmen der KOSTRA-Niederschläge der Dauer 72 h mit Wiederkehrintervall 1 Jahr und 100 Jahre
- Region 2: Summe der Flächenanteile Wald, Gehölz und krautiger Vegetation, Flussdichte, Flächenanteil mit geringer Bodenmächtigkeit, KOSTRA-Niederschlagswert der Dauer 48 h mit Wiederkehrintervall 100 Jahre, Einzugsgebietsgrösse

Dieses Verfahren zur Regionalisierung ist eindeutig von praktischen Überlegungen geleitet. So weist die Liste der untersuchten Einzugsgebietskennwerte nur Kenngrössen auf, die in der betrachteten Region leicht zu erheben sind. Theoretische Überlegungen bezüglich der Grössen spielten bei der Entwicklung des Verfahrens eine untergeordnete Rolle. Auch die schliesslich in die Regressi-

ongleichungen eingehenden Kenngrößen (z.B. die Verwendung des Quotienten der natürlichen Logarithmen der KOSTRA-Niederschläge der Dauer 72 h mit Wiederkehrintervall 1 und 100 Jahre als unabhängige Variable der Regressionsgleichung) machen die praktische Zielsetzung dieser Arbeit deutlich.

Das vorgestellte Verfahren ist aus den genannten Gründen (Wahl der Einzugsgebietskenngrößen ohne nähere theoretische Betrachtungen, Regionalisierung von Parametern einer Verteilungsfunktion) nicht ohne weiteres auf andere Gebiete übertragbar.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Das Verfahren wird im Regierungsbezirk Magdeburg eingesetzt.

Jährlichkeit der Ereignisse

Das Regionalisierungsverfahren wird für die Abschätzung von seltenen Hochwasserereignissen mit Jährlichkeiten bis über 100 Jahren durchgeführt.

Einzugsgebietsfläche

Angaben für die maximale Größe der Einzugsgebiete die betrachtet worden sind, wurden nicht gemacht. Ihre Mindestgröße betrug 10 km².

Naturräumliche Zuordnung

Entsprechend der naturräumlichen Gegebenheiten des Regierungsbezirks Magdeburg ist das Modell bisher auf Mittelgebirgs- und Flachlandräume angewendet worden. Einschränkungen in der räumlichen Übertragbarkeit des Modellansatzes sind nicht bekannt.

Erfahrungen

Nach Erfahrungen im Regierungsbezirk Magdeburg ist für die Anwendung des Regionalisierungsverfahrens ein hohes Mass an hydrologischem Expertenwissen notwendig. Die Verfügbarkeit der notwendigen Eingangsdaten wird als gut bewertet.

Notwendige Inputdaten

Die notwendigen Eingabedaten und Gebietskenngrößen werden aus behördlichen Datenbanken mit Einzugsgebietsinformationen, ATKIS-Daten und digitalen Höhenmodellen (Landesvermessungsamt) abgeleitet. Zusätzlich werden Bodeninformationen und geologische Informationen benötigt, die anhand der Bodenübersichtskarte 1 : 200'000 und der Geologischen Übersichtskarte 1 : 400'000 ermittelt werden können. Beide Kartenwerke sind am Geologischen Landesamt in Sachsen-Anhalt erhältlich.

Weiterhin sind Angaben aus dem KOSTRA-Atlas notwendig. Darüber hinaus sind Informationen über die Landnutzung erforderlich. Diese werden aus Luftbildbefliegungen extrahiert (CIR-Filme, Colour InfraRed).

Aufwand (zeitlich)

Mit der Verfügbarkeit eines Regionalisierungsmodells ist lediglich mit der Datenbereitstellung und -aufbereitung ein Zeitaufwand verbunden. Dieser wird mit einem zehntel bis zwanzigstel Arbeitstag angegeben.

Aufwand (finanziell)

Abgesehen vom Erwerb (keine Angaben) des Modells Reg-Ex und der Eingangsdaten sowie der Notwendigkeit über ein Geographisches Informationssystem zu verfügen, entstehen bei der Anwendung dieses Verfahrens keine weiteren Kosten.

Güte der Resultate

Eine Fehlerbetrachtung wird durchgeführt. Erfahrungswerte wurden jedoch nicht genannt.

Literatur

Deutscher Wetterdienst, DWD (Hrsg.) (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.

Hosking, J.R.M. Wallis, J.R. (1997): Regional Frequency Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Melbourne.

Schumann, A.H. & Pfütznner, B. (1999): Regionalisierung einer hochwasserstatistischen Verteilungsfunktion unter Anwendung eines Geographischen Informationssystems. In: "Bemessungsabflüsse für kleine Einzugsgebiete" Tagungsband zum Kolloquium vom 4./5. März 1999 an der Universität Kaiserslautern, Berichte des Fachgebietes Wasserbau und Wasserwirtschaft der Universität Kaiserslautern, Heft 9.

4.6.5 IsHoT+W

Beschreibung des Modells

Das Informationssystem Hochwasser mit dem Softwareprodukt IsHoT+W wurde am Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik / Ottobrunn entwickelt und dient einerseits der Prüfung von Zeitreihen der Hochwasserabflüsse auf Homogenität, Trends und Sprünge (IsHoT) und andererseits der Abschätzung von Hochwasserabflüssen und -spenden bestimmter Wahrscheinlichkeiten (IsHoW) an beobachteten wie auch unbeobachteten Querschnitten eines Einzugsgebietes (Kleeberg und Willems 2000). Als wesentliche Eigenschaften der Funktionalitäten des Informationssystems ist die Möglichkeit der lokalen und regionalen Analyse von Hochwasserabflüssen hervorzuheben. Im Gegensatz zu anderen Programmsystemen zur statistischen Analyse von geophysikalischen Daten bietet IsHoT+W eine Vielzahl von Funktionen zur Datenprüfung. Die verwendeten jährlichen oder partiellen Serien können hinsichtlich Homogenität, Trends und Sprünge mit klassischen und modernen robusten Ansätzen überprüft werden.

Was die Unterscheidung in lokale und regionale Analyse angeht, so lassen sich bei der lokalen Analyse statistische Untersuchungen von einzelnen Pegelreihen durchführen. Für regionale Analyse hingegen werden auf der Basis von mehreren Pegeln, die einer homogenen Region zugeordnet werden, statistische Analysen durchgeführt. Die Regionen werden dabei durch objektivierte Verfahren, wie der Cluster- und Diskriminanzanalyse, gebildet. Als Sinn und Zweck der Regionenbildung können zwei Gesichtspunkte angeführt werden: Zum einen können innerhalb homogener Regionen auch an unbeobachteten Querschnitten Aussagen über die Hochwasserwahrscheinlichkeit getroffen werden, zum anderen lassen sich lokale Schätzungen von Trends oder Hochwasserquantilen durch die regionale Betrachtung stabilisieren.

Für die Regionalisierung ist die bekannte Quantilschätzung durch Regression und das Index-Flood-Verfahren in IsHoT+W realisiert.

Bei der lokalen Analyse können neben den bekannten primärstatistischen Kennwerten verschiedene Homogenitätsanalysen durchgeführt werden. Hierzu stehen in IsHoT+W verschiedene univariate (z.T. parametrisch und nichtparametrisch) und bivariate (sog. relative) statistische Verfahren zur Verfügung. Im Fall der bivariaten Verfahren wird ein Vergleich mit einer als homogen bekannten Referenzreihe durchgeführt. Darüber hinaus sind im Informationssystem Trendanalysen implementiert, die auf klassischen und robusten Ansätzen basieren (siehe Kleeberg und Willems 2000). In einer Sprunganalyse nach Bernier können zudem Bruchpunkte in der Zeitreihe dedektiert werden. Eine automatische Trendbereinigung wird nicht angeboten.

Die lokale Analyse beinhaltet auch die Wahrscheinlichkeitsbetrachtung der Hochwasserserien. Um eine der 23 verschiedenen analytischen Verteilungsfunktionen anzupassen, können die folgenden drei Parameterschätzverfahren genutzt werden:

- Momentenmethode,
- L-Momentenmethode,
- Lineare und nichtlineare Regression.

Wobei nur in sechs Fällen zwei Parameterschätzmethoden angewendet werden, für den Rest nur eine.

Den Parameterschätzverfahren Regression und L-Momente liegen sogenannte Plotting Positionen (empirische Überschreitungswahrscheinlichkeiten) zugrunde. In IsHoT+W können alle gängigen Plotting Positionen (PP) ausgewählt werden. Die PP nach Hosking und Wallis eignet sich für das L-Momenten-Verfahren am besten und ist deshalb auch Standard in IsHoT+W.

Für die Beurteilung der Anpassungsgüte ist der $n\sigma^2$ -Test implementiert. Gleichzeitig dient der $n\sigma^2$ -Wert auch dazu, ein Ranking der angepassten analytischen Verteilungsfunktionen durchzuführen. Zusätzlich wird als Gütemass das nichtlineare Bestimmtheitsmass als Quotient zwischen der durch das Modell erklärten zur Gesamtvarianz der empirischen Wahrscheinlichkeiten sowie das nichtlineare Bestimmtheitsmass als Quotient zwischen der erklärten zur Gesamtvarianz der empiri-

schen Jährlichkeiten berechnet. Das letzt genannte Mass ist insbesondere gegenüber Abweichungen im Bereich hoher Jährlichkeiten sensitiv.

Ein prinzipieller Gedanke der regionalen Analyse ist, dass es homogene Regionen gibt, für die sich die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der innerhalb liegenden Pegel nur durch einen pegelspezifischen Skalierungsfaktor, dem sog. flood index, unterscheiden. Die dimensionslose Wahrscheinlichkeitsverteilung, die aus normierten Reihendaten sämtlicher Pegel einer Region ermittelt wurde, heisst regionale Wachstumskurve (engl. regional growth curve). Der Skalierungsfaktor kann z.B. das MHQ einer Pegelreihe sein. Geschätzt werden die Parameter der regionalen Wachstumskurve über das L-Momenten-Verfahren.

Die notwendigen Arbeitsschritte einer regionalen Analyse beinhalten folgende Punkte:

- Zuerst werden homogene Regionen mit Hilfe einer Clusteranalyse und einer nachgeschalteten Diskriminanzanalyse gebildet.
- Danach werden die Regionen im Hinblick auf ihrer Homogenität nach einem speziellen Gütemass überprüft und ggf. modifiziert.
- Im letzten Schritt schätzt man die regional gültigen Parameter, um für beliebige, auch unbeobachtete Gewässerquerschnitte innerhalb einer Region Hochwasserquantile zu bestimmen. Hierzu ist es notwendig, den Skalenfaktor überall zu kennen. Er kann ebenfalls, wie bei der Quantilschätzung, über eine Regression oder aus kürzeren Zeitreihen ermittelt werden.

Wie bereits erläutert, wird zur Bildung von homogenen Regionen versucht, diese über objektive Kriterien abzugrenzen. Die angewandte Clusteranalyse kann dabei flexibel auf verschiedene Pegelmerkmale ausgerichtet werden. Zum einen lässt sich ein Pegel durch gebietsspezifische Merkmale, wie:

- Einzugsgebietsgrösse [km²]
- Rechtswert [m]
- Hochwert [m]
- Pegelnullpunkt [m ü. NN]

charakterisieren. Zum anderen können auch abflussspezifische Merkmale (z.B. MHQ, Standardabweichung, Schiefe usw.) für eine Clusterung herangezogen werden. Auch eine Kombination aus gebiets- und abflussspezifischen Merkmalen ist für die Regionalisierung möglich. Die nachgeschaltete Diskriminanzanalyse führt zu objektiven Kriterien über die Zuordnung von beliebigen Punkten im Raum zu einer Region. Verwendet werden in IsHoT+W ausschliesslich Gebietsmerkmale für die Diskriminanzanalyse. Durch die Trennung der Variablenauswahl für Cluster- und Diskriminanzanalyse wird gewährleistet, dass Pegel zu einer Region zusammengefasst werden, die nicht nur hinsichtlich ihrer Gebiets-, sondern auch im Hinblick ihrer Abflussmerkmale möglichst ähnlich sind.

Neben der „objektiven“ Regionenbildung können Pegel in IsHoT+W auch interaktiv unterschiedlichen Regionen zugeordnet werden.

Für die ausgewählten homogenen Regionen können zudem Trendanalysen gemeinsame durchgeführt werden. Dazu sind die einer Region angehörenden Messreihen durch ihren MHQ-Wert zu normieren. Die nachgeordnete Prüfung der Homogenität der Reihendaten erfolgt nach einem von Hosking und Wallis (1997) vorgeschlagenen Diskordanz-Mass, das auf einem Vergleich der L-Momenten-Verhältnisswerte an einzelnen Pegeln mit dem regional gültigen Verhältniswert beruht. Zusätzlich werden die Regionen auf Homogenität geprüft. Zu diesem Zweck wird die beobachtete Unterschiedlichkeit der Reihenmerkmale mit der erwarteten Unterschiedlichkeit einer homogenen Region verglichen.

Sind homogene Regionen bestimmt, so muss lediglich der Skalenparameter (z.B. MHQ) an allen Querschnitten bekannt sein, um für alle Punkte innerhalb einer Region Hochwasserquantile ermitteln zu können.

Darüber hinaus bietet IsHoT+W auch die Möglichkeit an, eine klassische Quantilregression auf die Einzugsgebietsgrösse für die Regionalisierung von Hochwasserdurchflüssen durchzuführen. Als Spezialfall solcher Quantilregressionen lassen sich Hochwasserlängsschnitte erstellen.

Was die Ausgabemöglichkeiten bei der Ergebnisdarstellung angeht, so bietet IsHoT+W eine Vielzahl von anschaulichen und übersichtlichen Plots z.B. mit Eintrag der Konfidenzintervalle bei Wahrscheinlichkeitsanalysen an einzelnen Pegeln oder Trendgraphiken und Kombination verschiedener analytischer Verteilungsfunktionen (vgl. Abb. 4.5).

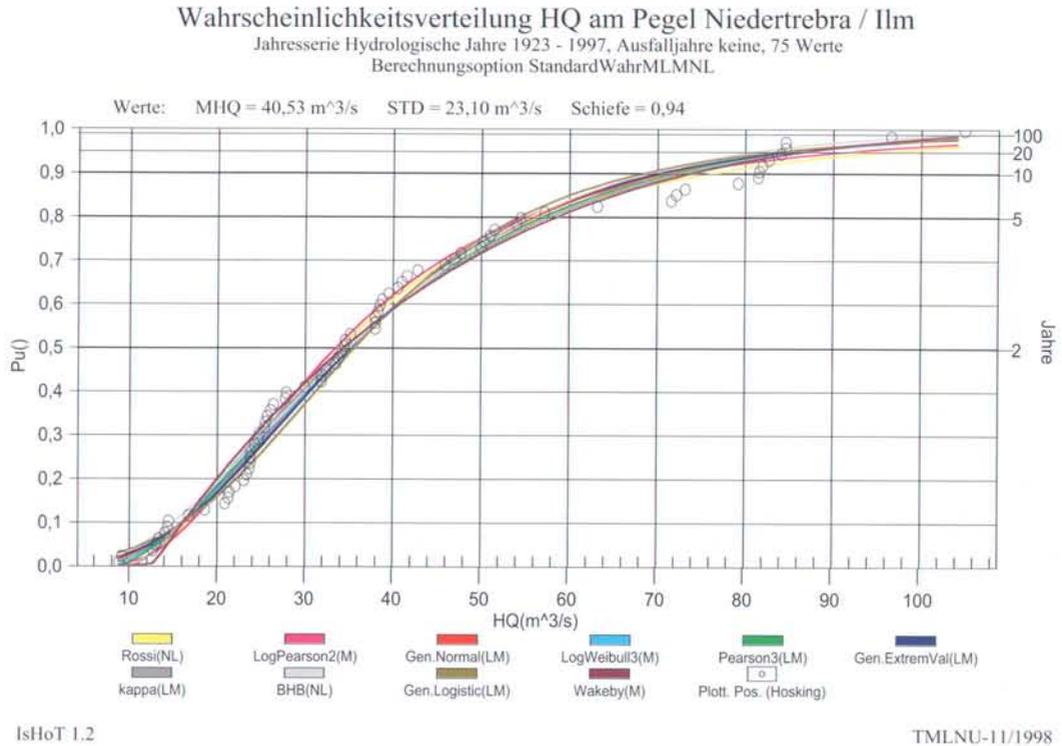
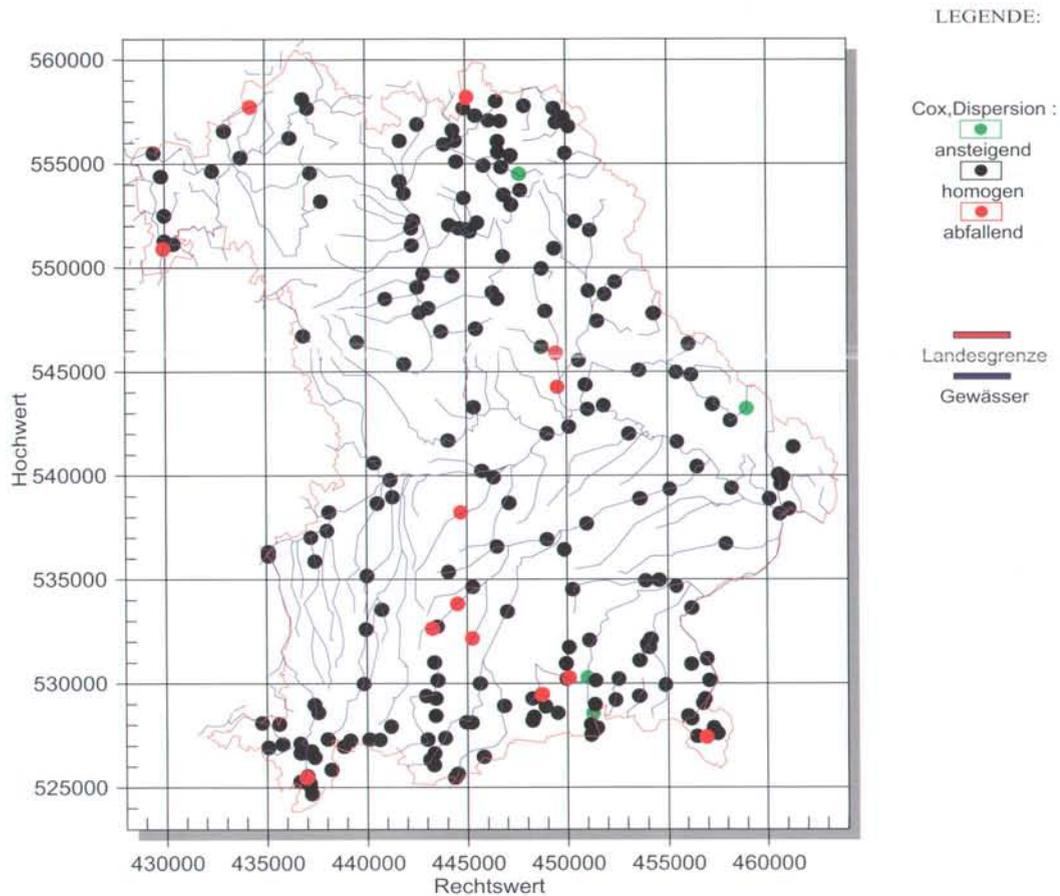


Abb. 4.5 Beispiel für die graphische Darstellung angepasster Verteilungsfunktionen in IsHoT+W (aus Kleeberg und Willems 2000).

Besonders hervorzuheben ist jedoch die Möglichkeit, Ergebniskarten zu erstellen, in denen sich zwei Variablen gleichzeitig visualisieren lassen. Über die Grösse und Farbe von Kreisen (Bubble-Graphik) kann die räumliche Verteilung von Ergebnissen abgelesen werden (Kleeberg und Willems 2000). Man erhält somit z.B. eine einprägsame Übersicht über die regionale Verteilung der Richtung von Trends (vgl. Abb. 4.6).

Ergebniskarte Bayern, Berechnungsoption StandardHomTrendSprung

Kreisfarbe: Cox.Dispersion, Kreisradius: keine Variable



IsHoT 1.2

BLfW-SG23-11/1998

Abb. 4.6 Beispiel der Darstellung der räumlichen Verteilung von Variablen mit IsHoT+W (aus Kleeberg und Willems 2000)

Insgesamt liefert die räumliche Darstellbarkeit eine erhöhte Unterstützung bei der Beurteilung von Berechnungsergebnissen.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Das Programm IsHoT+W wird bei den Landesämtern in Bayern, Niedersachsen und Thüringen eingesetzt.

Jährlichkeit des Ereignisses

Es werden Hochwasserabflüsse geschätzt, deren Wiederholungszeitspannen bis zu 200 Jahren betragen. Für Analysen des Restrisikos bei technischen Anlagen (Rückhaltebecken, Talsperren) werden extreme Hochwasserabflüsse mit Jährlichkeiten bis zu 10'000 Jahren und maximale Hochwasserabflüsse bestimmt.

Einzugsgebietsfläche

Die betrachteten Einzugsgebiete weisen Flächen zwischen 10 und 100'000 km² auf.

Naturräumliche Zuordnung

Eine naturräumliche Einschränkung für die Anwendung des oben beschriebenen Verfahrens besteht nicht. Eine ausreichende Datenlage vorausgesetzt, kann es weltweit eingesetzt werden.

Erfahrungen

Die Datenlage für eine Anwendung des Verfahrens wird als sehr gut bewertet. Nach Einschätzung des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft hängt die Güte der Abschätzung mit diesem Verfahren stark vom hydrologischen Expertenwissen des Bearbeiters ab.

Notwendige Inputdaten

Die notwendigen Eingangsgrößen sind neben ausreichend langen Zeitreihen von Abflussdaten folgende Informationen:

- Grösse des Einzugsgebietes
- Lage der Pegel (Koordinaten und Höhe ü. NN)
- Flusskilometrierung (Lagepläne)

Aufwand (zeitlich)

Liegen die Jahresserien der Pegel vor, wird ein Zeitraum von einem halben Tag für die Datenerstellung und -prüfung veranschlagt. Die Durchführung der Abschätzung des gewünschten Hochwassers benötigt einen weiteren halben Tag.

Aufwand (finanziell)

Über die Kosten für IsHoT+W sind keine Angaben gemacht worden.

Güte der Resultate

Nach Erfahrungen des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft liegen die Schwankungsbreiten der erzielten Ergebnisse zwischen 10 und 25 %.

Literatur

Kleeberg, H.-B., Willems, W. (2000): Informationssystem Hochwassertrends / Hochwasserwahrscheinlichkeiten, IsHoT / IsHoW, Benutzerhandbuch. Institut für Angewandte Wasserwirtschaft, München.

4.7 Angewandte deterministische Modelle (N-A-Modelle) – Blockmodelle

4.7.1 EGLSYN (synthetische Einheitsganglinien)

Beschreibung des Modells

Das Verfahren der synthetischen Einheitsganglinien gehört zu den Black-Box-Modellen, bei denen das betrachtete Einzugsgebiet als einheitliches System angesehen wird, auf welches als Eingabe der abflusswirksame Niederschlag in seiner zeitlichen Abfolge wirkt. Als Ausgabe wird die resultierende Abflusswelle des direkten Abflusses Q_D erzeugt. Die Umwandlung erfolgt in einer für das jeweilige Einzugsgebiet charakteristischen Form. Sie wird durch eine Übertragungsfunktion (Unit Hydrograph, UH) beschrieben (vgl. Abb. 4.7).

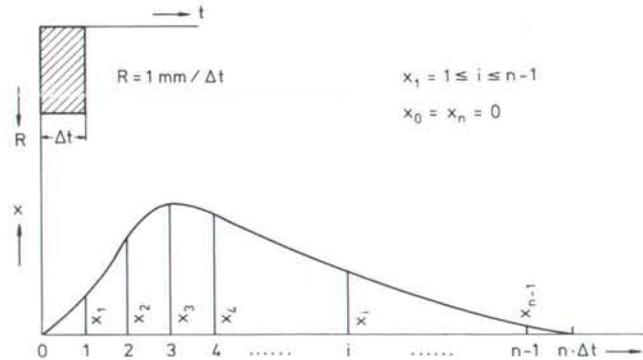


Abb. 4.7 Schematische Darstellung einer Standardeinheitsganglinie (aus BLfW 1999).

Wird der verursachende abflusswirksame Niederschlag (r_w) als Folge von Einzelimpulsen betrachtet, so ergibt sich der Direktabfluss Q_D aus der Superposition von Einzelwellen, die sich aus dem Produkt von der UH-Ordinate und der Größe des abflusswirksamen Niederschlags des entsprechenden Zeitintervalls ergeben. Die einzelnen so erzeugten Teilwellen überlagern sich entsprechend der Aufeinanderfolge der r_w . Zur Berechnung der i -ten Ordinate des Direktabflusses ergibt sich folgende Formel (BLfW 1999):

$$Q = dt * \sum_{j=1}^m (u_{i-j+1} * r_w(t))$$

für $0 < i - j + 1 < n$

Q_D	Ordinate des Direktabflusses [m/s]
u	Ordinate des Unit Hydrographen [m/s*mm]
r_w	abflusswirksamer Niederschlag [mm/h]
dt	Zeitschritt [h]
m	Anzahl Niederschlagsintervalle ($j = 1, 2, \dots, m$)
n	Anzahl Ordinaten des Unit Hydrographen
i	Laufindex des Direktabflusses

Im Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft wird für dieses Modell ein Programm mit dem Namen EGLSYN verwendet. Es dient dazu, Abflussganglinien sowie die zugehörigen Scheitelabflüsse und Abflussfüllen in Einzugsgebieten von einigen Hektar bis ca. 150 km Fläche zu berechnen. Es werden dabei synthetische, d.h. aus Gebietskenngrößen abgeleitete Einheitsganglinien oder direkt als Funktion vorgegebene Einheitsganglinien angewandt.

Zusätzlich werden als Eingabegröße Niederschläge bestimmter Dauer und Häufigkeit oder Niederschlagszeitreihen und Angaben über den Abflussbeiwert bzw. die nicht zum Abfluss gelangenden Niederschlagsanteile benötigt. Letztere Angaben werden gebraucht, um den abflusswirksa-

men Niederschlag zu berechnen. Für den Fall, dass Niederschlagszeitreihen vorliegen, kann das Programm die gewünschten Bemessungsniederschläge ermitteln.

Für die Ableitung einer synthetischen Einheitsganglinie existieren eine Reihe von Ansätzen. Welche Gebietsgrößen und zusätzlichen Angaben die verschiedenen Ansätze zur Bestimmung der Einheitsganglinie notwendig sind, kann nachfolgender Tabelle entnommen werden (aus BLfW 1999).

Program EGLSYN										
Eingabegrößen für die Berechnung synthetischer Einheitsganglinien										
Name des Einzugsgebietes:										
Gebietspezifische Parameter	Dimension	Wert	Verfahren							
			①	②	③	④	⑤	①	②	
			Braun/Seeger	DWK Südbayern	Lutz Südbayern	Thiele	Lutz/Caspary	Eingabe der EGL-Ordinaten	Dreiecks-EGL	EGL am Pegel (Loseblattsammlung)
Dauer des Zeitintervalls	ΔT	h oder min	●	●	●	●	●	●	●	
Fläche (oberirdisches Einzugsgebiet)	A_{Eo}	km ²	●	●	●	●	●	●	●	
Vorfluterlänge	L	km	○	●	●	●	●	○	○	
Vorfluterlänge bis Schwerpunkt	L_c	km			●		●			
Absolutes mittleres Gefälle des Vorfluters $\Delta H / L$	I_{abs}	%				●				
Gewogenes mittleres Gefälle des Vorfluters (Ermittlung siehe Anlage)	I_{mit}	%		●	●		●			
Maximale Geländehöhe (des Einzugsgebietes)	H_{max}	m ü. NN	●							
Bebauter Flächenanteil	ϵ_b	%			●		●			
Bewaldeter Flächenanteil	ϵ_w	%			●		●			
Gebietsparameter	P1	-					□			
Rauhigkeitsbeiwert des Vorfluters (Strickler)	k_{St}	m ^{1/3} /s					□			
Einzelordinaten der EGL		-						●		
Anlaufzeit der EGL (z.B. $[(0,868 \cdot L^2 / \Delta H)^{0,385}] \cdot 1,5$)	T_p	h (oder min)							●	
Abfallzeit der EGL (z.B. $2,0 \cdot T_p$)	T_R	h (oder min)							●	
Meßstellenummer										●
Rechtswert		km								
Mittelpunkts-Koordinaten im Gauß-Krüger-System		km								
Hochwert		km								
Mittelpunkts-Koordinaten im Gauß-Krüger-System										
Gesamtabflußbeiwert		-								
Basisabfluß	Q_B	m ³ /s								
Steigung des Basisabflusses pro Stunde		m ³ /s/h								
Schwellwerte für Füllenberechnung		m ³ /s								

- notwendige Eingaben
- mögliche Eingaben
- alternative Eingaben

Die Eingabe einer Abflussganglinie als Einheitsganglinie ist dann zweckmässig, wenn historische N-A-Ereignisse verwendet werden sollen, um z.B. den Abflussbeiwert eines Einzugsgebietes zu kalibrieren. In diesem Fall müssen die Ordinaten der Niederschlagsganglinie im gleichen Zeitintervall vorliegen wie es für die Einheitsganglinie vorgegeben wurde.

In den meisten Fällen empfiehlt es sich, für die Bemessung die Niederschlags-Dauer-Häufigkeitstabellen nach KOSTRA zu verwenden. Darüber hinaus können auch Ganglinien des Niederschlags angegeben werden. Für den statistischen Niederschlag des KOSTRA-Atlas können darüber hinaus Angaben über die zeitlichen Verlauf der Niederschlagsintensitäten gemacht werden:

- Blockregen,
- Anfangsbetont,
- Mittenbetont,
- Endbetont.

Prinzipiell haben alle zeitlichen Niederschlagsverteilungen eine ähnliche Eintrittswahrscheinlichkeit, sie erzeugen aber unterschiedliche Abflussmaxima. Dies sollte bei der Auswahl beachtet werden. In der Regel ist ein mittenbetonter Niederschlag zu empfehlen. Bei kleinen Einzugsgebieten mit kurzen Laufzeiten und damit auch kurzen massgebenden Niederschlagsdauern (> 1 h) sollten Blockregen herangezogen werden.

Für die Ermittlung des effektiven oder abflusswirksamen Niederschlags, der letztlich in die Übertragungsfunktion eingeht, stehen sieben Möglichkeiten zur Verfügung:

- Einfachste Möglichkeit ist die Vorgabe oder Schätzung eines Abflussbeiwertes. Der effektive Niederschlag ergibt sich bei diesem Verfahren in jedem Zeitintervall durch Multiplikation des gefallenen Niederschlags mit dem Abflussbeiwert (BLfW 1999).
- Bei der zweiten Möglichkeit wird das gesamte nicht abflusswirksame Niederschlagsvolumen (errechnet aus dem gewählten Abflussbeiwert) als konstante Versickerungsrate in jedem Zeitintervall von der jeweiligen Niederschlagssumme abgezogen.
- Als dritte Möglichkeit kann eine konstante Verlustrate vorgegeben werden.
- Abflussbeiwert nach Koehler, Abflussbeiwertverfahren mit variablem Abflussbeiwert. Der Abflussbeiwert ist in jedem Berechnungsintervall abhängig vom Anfangsverlust und der Niederschlagsintensität.
- Verlustrate nach Horton, Verlustratenverfahren mit variabler Verlustrate. Die Grösse der Verlustrate ist in jedem Berechnungsintervall abhängig von der aktuellen Bodenfeuchte.
- CN-Methode, Abflussbeiwertverfahren mit konstantem Abflussbeiwert. Der Abflussbeiwert wird nach dem SCS-Verfahren mit der Modifikation nach Øverland bestimmt.
- Asymptotischer Abflussbeiwert, Abflussbeiwertverfahren mit variablen Abflussbeiwert. Der Abflussbeiwertverlauf wird als Funktionsverlauf vorgegeben.

Bei der Abflussberechnung kann neben dem Direktabfluss durch Hinzufügen eines Basisabflusses, der entweder konstant oder als linear steigend angenommen wird, der gesuchte Hochwasserabfluss ermittelt werden. Darüber hinaus kann die Abflussfülle der Hochwasserereignisse oberhalb vorzugebender Schwellenwerte berechnet werden.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Mit Hilfe der synthetischen Einheitsganglinien werden in Bayern seltene Hochwasserabflüsse zum einen grob abgeschätzt, zum anderen für die Prognose von Scheitelabflüssen für Bemessungsaufgaben angewendet. In seltenen Fällen werden auch extreme Hochwasserabflüsse bestimmt, um die Anlagensicherheit von Talsperren, Rückhaltebecken oder besonderer technischer Einrichtungen (z.B. Kernkraftwerke) zu prüfen. Die zahlreichen Anwendungen in Bayern sind möglich, weil dort für sehr viele kleine Einzugsgebiete die Einheitsganglinien und alle zugehörigen Parameter und Kenngrössen bestimmt und in einem umfangreichen Katalog bereitgestellt worden sind.

Jährlichkeit des Ereignisses

Das Spektrum der betrachteten Hochwasserabflüsse erstreckt sich über Wiederholungszeitspannen von 100 bis zu 1'000 Jahren. Extreme Hochwasserabflüsse noch grösserer Wiederholungszeitspannen können zwar auch über die synthetischen Einheitsganglinien bestimmt werden – dies wird jedoch nicht empfohlen.

Einzugsgebietsfläche

Angewendet wird das Verfahren auf Einzugsgebiete zwischen ca. 0,1 und 150 km².

Naturräumliche Zuordnung

Das Verfahren hat keine naturräumliche oder regionale Gültigkeitsbeschränkung.

Erfahrungen

Im allgemeinen wird die Datenverfügbarkeit als durchschnittlich bewertet. Vom Bearbeiter wird ein hohes Mass an hydrologischem Expertenwissen verlangt.

Notwendige Inputdaten

Wenn die Form der Einheitsganglinie bekannt ist, so stellt der Niederschlag die wichtigste Eingangsgrösse dar. Es können sowohl statistisch festgelegte Niederschläge als auch beobachtete Niederschläge als Modellbelastung verwendet werden. Statistische Niederschlagshöhen oder -intensitäten können dem KOSTRA-Atlas des Deutschen Wetterdienstes entnommen werden. Die Annahmen für den zeitlichen Intensitätsverlauf dieser Niederschläge reicht dabei von linear über anfangs- und mittenbetont bis hin zu endbetonten Niederschlägen. Beobachtete Niederschläge werden nach historischen Niederschlagsereignissen ausgewählt. Zusätzlich zu den Niederschlägen erfolgt eine Berücksichtigung der Wasserabgabe aus der aktuellen Schneedecke indem ein Niederschlagsäquivalent vorgegeben wird. Die Vorgabewerte werden statistisch ermittelt.

Für die Ermittlung der abflussbildenden und abflusskonzentrierenden Parameter sind verschiedene Angaben über topographische Gebietskenngrössen, Böden, Geologie und die Landnutzung notwendig. Dazu gehören:

- Einzugsgebietsgrösse,
- Lauflängen des Hauptvorfluters,
- Lauflänge aller Gewässer,
- Gefälle-Angaben,
- Schwerpunktangaben,
- Geologie,
- Bodenart,
- Rauigkeitsbeiwert (Schätzung oder Kalibrierung),
- Waldanteil,
- Siedlungsanteil,
- Brache,
- Wasserfläche.

All diese Angaben können aus topographischen, geologischen oder pedologischen Karten abgeleitet werden. Informationen über das Gefälle können zudem aus digitalen Höhenmodellen ermittelt werden. Darüber hinaus müssen für eine Kalibrierung der nicht mess- oder ableitbaren Parameter beobachtete Niederschlag-Abfluss-Ereignisse betrachtet werden. Hierzu werden neben den beobachteten Niederschlagsereignissen entsprechende Abflussganglinien benötigt.

Aufwand (zeitlich)

Der erforderliche zeitliche Aufwand richtet sich stark nach dem ausgewählten Verfahren. Er liegt für die Datenbereitstellung und -aufbereitung bei einem halben bis fünf Tagen. Dies schliesst die Parameterermittlung ein. Da in Bayern umfangreiche Untersuchungen zu Einheitsganglinien durchgeführt worden sind, kann hier auf zahlreiche Ergebnisse zurückgegriffen werden. Die Durchführung der Abschätzung des gewünschten Hochwasserabflusses selbst dauert ca. einen halben Tag.

Aufwand (finanziell)

Bei dem Programm EGLSYN handelt es sich um ein selbst entwickeltes, nicht kommerziell vertriebenes Softwareprodukt. Sowohl die Verfügbarkeit als auch die dabei möglicherweise entstehenden Kosten sind unbekannt.

Güte der Resultate

Eine Fehlerbetrachtung wird in Bayern nicht durchgeführt, weshalb auch keine Erfahrungswerte für die Schwankungsbreiten der Resultate angegeben werden können.

Literatur

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, BLfW (Hrsg.) (1999): Hydrologische Planungsgrundlagen, Hochwasserlängsschnitt, Loseblattsammlung des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft.

4.8 Angewandte deterministische Modelle (N-A-Modelle) – Flächendetaillierte Modelle

4.8.1 FGM (Flussgebietsmodell, IHW/IWK-Paket: Hochwasseranalyse)

Beschreibung des Modells

Das Flussgebietsmodell FGM ist Bestandteil des IHW/IWK-Paketes, eines Softwareproduktes des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe. FGM ist ein Konzeptmodell mit räumlicher Gliederung in Teileinzugsgebiete und Gewässerknoten. Letztere sind dabei Gebietsauslässe, Pegel, Zusammenflüsse, Engstellen und andere Querschnitte, für die eine Simulation der Abflussganglinie durchgeführt wird. Welche Berechnungen an jedem Gewässerknoten erfolgen, zeigt Abbildung 4.8.

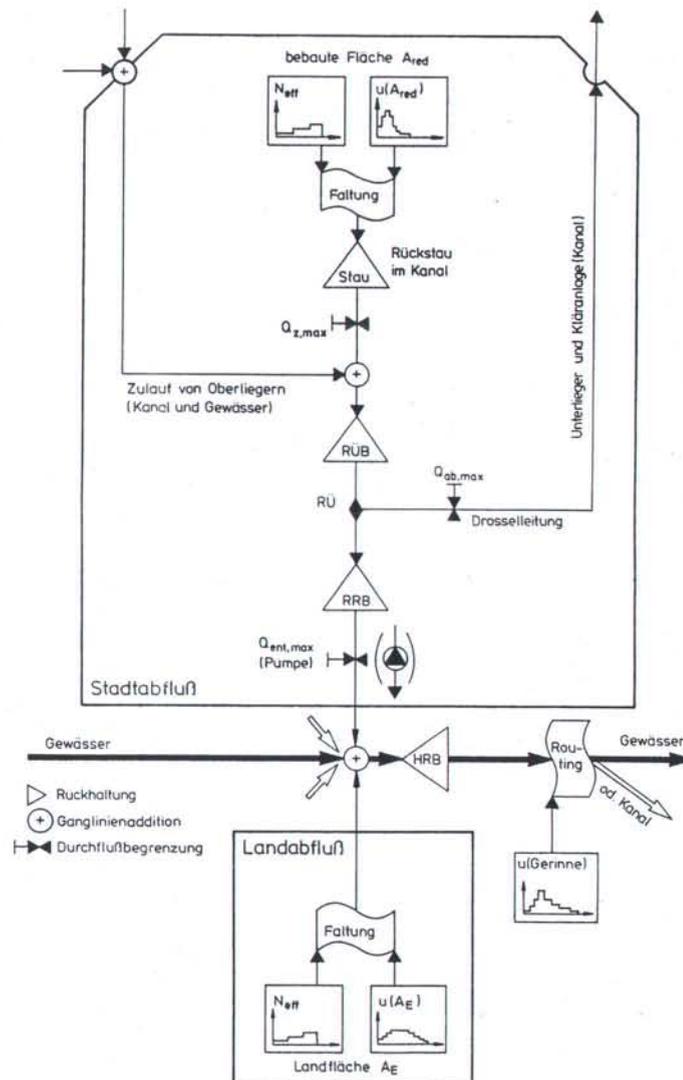


Abb. 4.8 Modellfunktionen an einem Gewässerknoten (aus Ihringer und Kron 1993).

Zwischen zwei Gewässerknoten befinden sich jeweils Gewässerstrecken, auf denen die abflussbeeinflussenden Gegebenheiten entlang des Gewässerlaufs (z.B. Wellenablauf und Hochwasserrückhaltung) nachgebildet werden (Ihringer und Kron 1993). In Abbildung 4.9 ist beispielhaft die Darstellung eines Einzugsgebietes in Graphenform mit Gewässerknoten, Hochwasserrückhaltebecken, Stadtabfluss und Überleitungen skizziert.

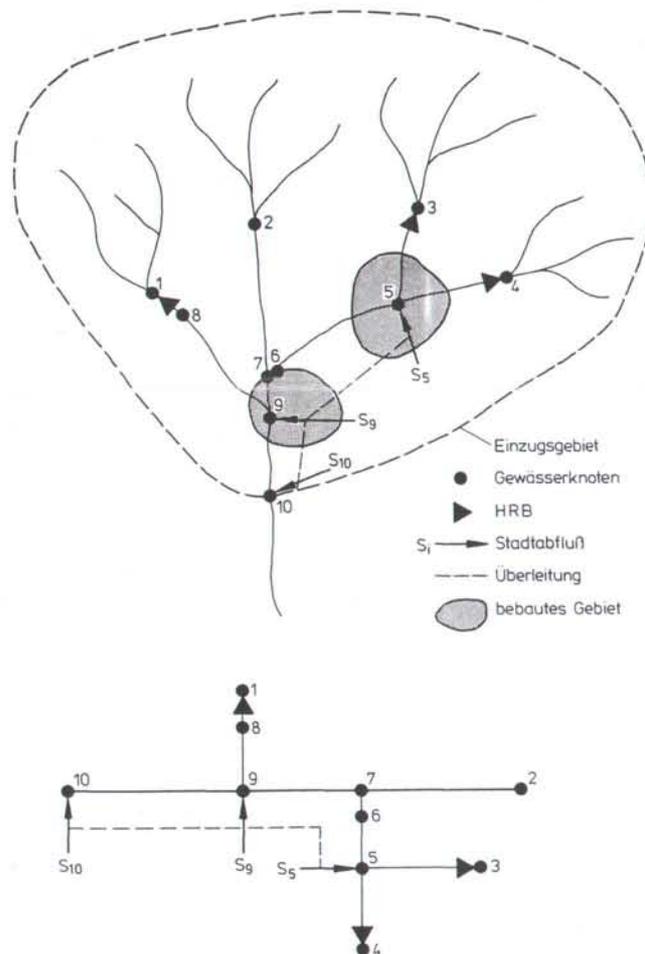


Abb. 4.9 Skizze eines Einzugsgebietes mit der Darstellung der Gewässerknoten in Graphenform (aus Ihringer und Kron 1993).

Das Modell muss für das jeweilige Einzugsgebiet kalibriert werden. Es wird zwischen Stadt- und Landabfluss unterschieden. Die Ermittlung von Bemessungsabflüssen aus statistischen Niederschlagsbelastungen ausgewählter Jährlichkeiten ist möglich.

Für die Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlags über den Abflussbeiwert stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Zunächst ist zu unterscheiden, ob der Abflussbeiwert direkt aus Messdaten ermittelt werden kann oder ob hierzu eine Übertragung (Regionalisierung) des Abflussbeiwertes aus einem über- bzw. untergeordneten Einzugsgebiet oder einem Nachbargebiet erforderlich ist. Wenn ausreichend viele Messwerte vorliegen, kann das Koaxialdiagramm, das eine nichtlineare Regressionsbeziehung zwischen Gebietsrückhalt und ereignisspezifischen Parametern darstellt, angewendet werden. Liegen keine Messwerte vor, kann der Abflussbeiwert über eine Regionalisierung aus anderen Einzugsgebieten übertragen werden. Hierfür existieren zwei Verfahren:

- SCS-Verfahren,
- Regionalisierungsansatz nach Lutz für Abflussbeiwerte.

Die Abflusskonzentration kann optional im Modell ebenfalls auf unterschiedliche Weise berechnet werden. Zu nennen sei hier zur Berechnung der Einheitsganglinie:

- Einheitsganglinie über Einzelordinaten,
- Lineare Speicherkaskaden,
- Lineare Doppelspeicherkaskaden,
- Dreifache Speicherkaskaden.

Darüber hinaus kann die Einheitsganglinie mit Hilfe des Regionalisierungsverfahrens nach Lutz auch über gebiets- und ereignisspezifische Kenngrößen ermittelt werden. Ereignisspezifische Kenngrößen sind dabei die mittlere Niederschlagsintensität, Wochenzahl des Ereignisses sowie der mittlere Abflussbeiwert.

Für den Stadtabfluss stehen die Berechnungsmethoden Einzelordinaten und lineare Speicherkaskaden zur Verfügung.

Der Gerinneabfluss zwischen den Gewässerknoten kann ebenfalls auf unterschiedliche Weise berechnet werden. Für die Wellenverformung sind hier prinzipiell zwei Arten der Veränderung einer Abflussganglinie entlang einer Gewässerstrecke zusammengefasst:

- Verformung einer Ganglinie durch den Betrieb eines Hochwasserrückhaltebeckens,
- Verformung einer Ganglinie entlang der Gewässerstrecke infolge Translation und Retention.

Rückhaltebecken können für folgende Steuerungsarten simuliert werden:

- Rückhaltebecken mit konstantem Regelabfluss,
- Rückhaltebecken mit ungesteuerter Abgabe,
- Rückhaltebecken mit allgemeiner Abgabe als Funktion der Zeit,
- Rückhaltebecken mit allgemeiner Abgabe als Funktion des aktuellen Beckeninhalts.

Die Simulation der Wellenverformung im Gerinne kann über folgende Verfahren erfolgen:

- Translation: Verschiebung der Abflussganglinie ohne Verformung um die Fliesszeit.
- Kalinin-Miljukov-Verfahren: Die Wellenverformung wird über eine lineare Speicherkaskade beschrieben, wobei die Parameter der Speicherkaskade zuvor z.B. aus Querprofilen der Gewässers über das Kalinin-Miljukov-Verfahren abgeleitet wurden.
- Kalinin-Miljukov-Verfahren mit Vorländern, Berücksichtigung des Retentionsverhaltens der Vorländer in unterschiedlichen Speicherkonstanten der Linearspeicher. Mit diesem Verfahren kann die Retentionswirkung von Überschwemmungsgebieten berücksichtigt werden.
- Doppelspeicherkaskaden: Die Wellenverformung wird über eine lineare Doppelspeicherkaskade beschrieben, wobei eine Kaskade das Abflussverhalten des Gewässerbettes und die andere Kaskade das Abflussverhalten des Vorlandes beschreibt. Die Parameter müssen zuvor mit geeigneten Verfahren ermittelt werden.
- Muskingum-Verfahren: Das Muskingum-Verfahren ist ein hydrologisches Verfahren deren Parameter aus gemessenen Abflussganglinien bestimmt werden.

Für die Ermittlung von Bemessungsganglinien einer vorgegebenen Jährlichkeit werden von Ihringer und Kron (1993) darüber hinaus noch Handlungsempfehlungen gegeben. Es wird davon ausgegangen, dass die Eingangsgröße Niederschlag einer bestimmten Jährlichkeit in Verbindung mit geeigneten Abflussbeiwerten und Einheitsganglinien zu einem Abfluss führen, dem die gleiche Jährlichkeit zugeordnet werden kann.

Die Abflussganglinie ergibt sich dann aus folgender Gleichung:

$$Q_j = Q_{Bj} + \frac{A_{Eo}}{3,6 * \Delta t} * \sum_{i=1}^j N_{eff,i} * u_{j-i+1}$$

mit:

Q_j	Abfluss im Zeitintervall $j * \Delta t$ [m^3/s]
Q_{Bj}	Basisabfluss im Zeitintervall $j * \Delta t$ [m^3/s]
A_{Eo}	Einzugsgebietsfläche [km^2]
Δt	Zeitschritt [h]
$N_{eff,i}$	effektive Niederschlagshöhe im Zeitintervall $j * \Delta t$ [m^3/s]; Entspricht der Niederschlagsintensität $I_{eff,i}$ [$mm/\Delta t$]
u_i	diskretisierte Systemfunktion (Einheitsganglinie)
mit:	$u_i = 1,0$

Für die Berechnung der effektiven Niederschlagshöhe werden unter anderem Niederschläge mit Wahrscheinlichkeitsaussage benötigt. Hierzu können beispielsweise extremwertstatistische Aus-

wertungen des DWD, die im KOSTRA-Atlas flächendeckend für Deutschland dargestellt sind, herangezogen werden. Zu beachten ist dabei, dass es sich um Extremwerte von Punktniederschlägen handelt, die für eine Betrachtung grösserer Einzugsgebiete abgemindert werden müssen. Die Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Bemessungsniederschläge erfolgt über eine vorgegebene normierte Niederschlagsverteilung. Beispiele dafür sind der mittenbetonte, endbetonte oder die Niederschlagsverteilung nach der DVWK-Empfehlung (DVWK 1984).

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Nach Angaben der Autoren und Vertreter des Modells ist es in allen deutschen Bundesländern vorhanden und wird auch angewandt; in Österreich wurde es landesweit vom Ministerium eingeführt. Die diesem Bericht zugrunde liegenden Befragungen haben ergeben, dass es in Baden-Württemberg und Hessen angewendet wird. Darüber hinaus wird es bei sieben Ingenieurbüros und einem Wasserverband eingesetzt (vgl. Anlage 3).

Jährlichkeit des Ereignisses

In den beiden Bundesländern und bei den Ingenieurbüros werden mit dem Modell Hochwasserscheitelabflüsse mit Jährlichkeiten zwischen 1 und 100 Jahren berechnet. Darüber hinaus werden Hochwasserganglinien ermittelt, um die Bemessung von Hochwasserrückhaltebecken und Polder zu ermöglichen. In vier Fällen werden damit auch extreme Hochwasserabflüsse mit Jährlichkeiten > 500 Jahren abgeschätzt.

Einzugsgebietsfläche

Das Modell wird für Einzugsgebieten verwendet, die Flächen zwischen einem und ca. 5'000 km² aufweisen.

Naturräumliche Zuordnung

Einsatzgebiet des Modells sind Einzugsgebiete mit vorwiegend Mittelgebirgscharakter. Prinzipiell bestehen jedoch hinsichtlich des naturräumlichen Gültigkeitsbereiches keine Einschränkungen.

Erfahrungen

Im allgemeinen wird die Datenverfügbarkeit für dieses Verfahren als gut eingestuft. Dem erforderlichen Expertenwissen bei der Anwendung des Modells wird im Hinblick auf die Güte der Resultate ein hohes Gewicht beigemessen.

Notwendige Inputdaten

Als räumlich verteilte Informationen werden folgende Daten benötigt:

- Einzugsgebietsgrösse,
- Landnutzung,
- Versiegelungsanteil,
- Waldanteil,
- Flussmorphografische Kennwerte wie:
 - Fliesslänge,
 - Gesamtgefälle,
 - Gewogenes Gefälle,
 - Schwerpunktlauflänge,
 - Bodenarten.

Alle Daten können anhand von topographischen, thematischen Karten und Satellitenauswertungen abgeleitet werden. Zusätzlich werden Informationen über das Gerinneprofil benötigt.

Zur Bestimmung von Modellparametern für die Berechnung der Abflussbildung (10 Parameter) und -konzentration (5 Parameter) müssen beobachtete Hochwasserereignisse herangezogen werden. Hierzu werden Abfluss- als auch Niederschlagszeitreihen (z.B. stündliche und viertelstündliche Zeitschrittweiten) benötigt. Für die Ermittlung von Hochwasserabflüssen bestimmter Wiederholungszeitspannen werden zudem Niederschläge benötigt, denen Jährlichkeiten zugeordnet werden

können. Hierzu werden sowohl Werte dem KOSTRA-Atlas entnommen als auch eigene statistische Auswertungen von Niederschlagszeitreihen vorgenommen. Beobachtete Niederschlagsereignisse werden ebenfalls genutzt. Diese werden vor allem für die Kalibrierung von Modellparametern benötigt.

Aufwand (zeitlich)

Der zeitliche Aufwand für die Datenbereitstellung und -prüfung wird nicht genauer spezifiziert. Er hängt stark vom Einzugsgebiet und dem Detaillierungsgrad des Modells ab. Für die Durchführung der Abschätzung eines Hochwasserabflusses bestimmter Jährlichkeit wird ein Zeitaufwand von ca. 2 Tagen pro Teileinzugsgebiet kalkuliert.

Aufwand (finanziell)

Neben den Kosten für Beschaffung und Bereitstellung der erforderlichen Eingabedaten muss das Softwarepaket zur Hochwasseranalyse des IHW/IWK-Karlsruhe erworben werden. Dieses wird nicht kommerziell durch eine Firma vertrieben, sondern von der Universität Karlsruhe gegen eine Gebühr weitergegeben.

Güte der Resultate

Die Schwankungsbreite der Resultate liegt nach Erfahrungen von Baden-Württemberg bei $\pm 30\%$. Die Autoren geben an, dass die Schwankungsbreite derjenigen von Pegelstatistiken entspricht.

Es sei angemerkt, dass die Anwendung des Modells zur Berechnung von extremen Abflüssen mit Überschreitungswahrscheinlichkeiten kleiner $2 \cdot 10^{-2}$ pro Jahr problematisch ist, weil das Modell dafür nicht kalibriert werden kann.

Literatur

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK (Hrsg.) (1984): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten. Teil II: Synthese. 34 Seiten, Hamburg, Berlin.

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK (Hrsg.) (1999): Einsatz von Niederschlag-Abfluss-Modellen zur Ermittlung von Hochwasserabflüssen, DVWK-Schriften, Heft 24, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, Bonn, 1999.

Ihringer, J., Kron, W. (1993): Softwarepaket für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Anwenderhandbuch, Band 1: Hochwasseranalyse. Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe.

4.8.2 NASIM (Niederschlag-Abfluss-SIMulation)

Beschreibung des Modells

Das Modell NASIM wurde am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen von Ostrowski (1982) zur Langfristsimulation von Abflussganglinien entworfen. Es wird von der Firma Hydrotec, Aachen seit 1985 weiterentwickelt und vertrieben. Das Softwareprodukt hat Anbindungen an GIS, Visualisierungstools sowie ein Programm zur statistischen Hochwasseranalyse und ein Modell zur Berechnung des Gebietsniederschlages.

Insgesamt bietet es folgende Möglichkeiten:

- Kontinuierliche Simulation der Wasserbilanz,
- Abbildung physikalischer Prozesse der Speicherung und Wasserbewegung (Schnee, Bodenfeuchte, Grundwasser, Oberirdische Gewässer),
- Simulation urbaner Abflüsse (Kanalnetzberechnung).

Die Teilprozesse werden nach der klassischen Vorstellung eingeteilt:

- Abflussbildung (simuliert unter Verwendung physikalischer Parameter der Flächennutzung und des Bodens bei Beschränkung auf verfügbare Daten),
- Abflusskonzentration (simuliert mit linearen Speichern und Isochronenverfahren),
- Abflussveränderung (Wellenverformung, simuliert mit nichtlinearen Speicherkaskaden).

Besonderer Vorteil des Modells ist die Möglichkeit, die Zeitschritte der Berechnung variabel zu gestalten, z.B. auch in 10-Minuten-Schritten.

Bei dem als Regen fallendem Niederschlag wird zwischen dem in der Vegetationsdecke des Bodens gespeicherten, dem verdunstenden und dem den Boden erreichenden Wasser unterschieden. Im Rahmen der Abflussbildung wird die Wasserabgabe aus Schnee mit Hilfe des Snow-Compaction-Verfahrens (Knauf (1974)) beschrieben. Dieses wird soweit vereinfacht, dass zur Ermittlung der Schmelzrate nur die Temperatur und die Globalstrahlung bekannt sein müssen. Die Interzeption durch die Vegetationsdecke wird mit Hilfe eines einzelnen Speichers auf Basis eines Schwellenwertprinzips modelliert. Die Grösse des Speichers ist abhängig vom Bewuchs, der Vegetationsdichte, Jahreszeit und Alter des Bestands. Der verbleibende Anteil des Niederschlages und die Wasserabgabe aus Schnee werden in rasch transportierten (Oberflächenabfluss), kurzfristig (Interflow) und langfristig gespeicherten (Infiltration, Perkolation) Niederschlag durch Lösung physikalisch begründeter Differentialgleichungen in Abhängigkeit der Bodenart, der aktuellen Bodenfeuchte und der Vegetation aufgeteilt. Elementarflächen und Bodenschichten können bei Bedarf berücksichtigt werden. Die Interaktion zwischen Grundwasser, Boden und oberirdischem Gewässer kann genauso betrachtet werden wie die Überflutung von Aueflächen, die Versickerung, der Grundwassertausch und der Kapillaraufstieg.

Die Abflusskonzentration wird für die drei Arten Grundwasserabfluss, Interflow und Oberflächenabfluss unterschiedlich modelliert. Während die beiden erstgenannten mit Hilfe linearer Speicher nachgebildet werden, kommt bei den Abflussprozessen an der Oberfläche ein vereinfachtes Isochronenverfahren zur Anwendung. Die Ermittlung der Isochronen (Linien gleicher Fliesszeit) erfolgt unter Verwendung des Ansatzes von Manning-Strickler. Zur Vereinfachung wird das betrachtete Einzugsgebiet stark abstrahiert. Die in diesem Gebiet zu bestimmenden Parameter sind die Form, die mittlere Hangneigung und die Oberflächenbeschaffenheit, sowie die Lage und die Gefällverhältnisse des Hauptvorfluters.

Die Berechnung der Wellenverformung erfolgt anhand des Ansatzes von Kalinin-Miljukov (siehe z.B. Plate et al. 1977). Als Einzugsgebietskenngrösse muss zur Bestimmung der Parameter des Verfahrens nur das Sohlgefälle des Gerinnes bekannt sein. Weiterhin werden Abfluss- und Wasserstandsmessungen zur Kalibrierung des Modells benötigt.

Während die Autoren davon ausgehen, dass für die Anwendung des Modells 9 Modellparameter kalibriert und 7 Parameter aus Messdaten abgeleitet werden müssen, geben die Anwender sehr unterschiedliche Zahlen an: 3 bis mindestens 10 zu kalibrierende Modellparameter und 10 bis 22

ableitbare Parameter. Dies zeigt deutlich, wie wenig eindeutig der Begriff Parameter ist und welche Probleme sich hinter der Verwendung von Grössen verbergen, die zwar aus Messdaten abgeleitet werden können, der Skaleneffekte oder räumlichen und zeitlichen Mittelungen wegen dann aber nur noch Indizes (sogenannte effektive Parameter) darstellen. Diese haben dann im tatsächlich ablaufenden physikalischen Prozess keine Gültigkeit mehr; sie können ihn allenfalls vielleicht repräsentieren.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Das Modell NASIM wird durch die Firma HYDROTEC in Aachen kommerziell vertrieben. Es wird bei den Wasserwirtschafts- oder Umweltverwaltungen in Nordrhein-Westfalen und in Sachsen eingesetzt. Die Landesumweltverwaltung Nordrhein-Westfalen empfiehlt es für Abflussberechnungen und hat es zertifiziert. Darüber hinaus wird es bei drei Ingenieurbüros, einem Hochschulinstitut und vier Wasserverbänden, die geantwortet haben, praxisbezogen eingesetzt (Anlage 3). Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Verbreitung noch grösser ist.

Jährlichkeit des Ereignisses

Mit dem Modell werden seltene wie auch extreme Hochwasser bis zum HQ_{max} ermittelt. Extreme Abflüsse werden im Hinblick auf die Anlagensicherheit von Talsperren und Rückhaltebecken sowie das Restrisiko bei technischen Anlagen abgeschätzt.

Einzugsgebietsfläche

Nach Angaben der Autoren und der befragten Anwender kann NASIM für Einzugsgebiete mit mehreren tausend Quadratkilometern angewendet werden.

Naturräumliche Zuordnung

In Sachsen wurde das Modell an Einzugsgebiete im Mittelgebirge und Flachland angepasst. Für eine Übertragung auf andere Einzugsgebiete, die prinzipiell möglich ist, ist eine Kalibrierung des Modells notwendig.

Erfahrungen

Wegen der Festlegung der Anfangsbedingungen und der Parameterkalibrierung wird dem hydrologischen Expertenwissen ein hohes Gewicht im Hinblick auf die Güte Resultate beigemessen. Die Datenverfügbarkeit wird als gut bis sehr gut angesehen.

Die Kalibrierung des Modells erfolgt nach dem Trial and Error Prinzip nach sehr unterschiedlichen Gütekriterien. Ein Optimierungsalgorithmus wird nicht angewendet.

Notwendige Inputdaten

Als Eingabedaten werden benötigt:

- Einzugsgebiets- und Teileinzugsgebietsgrenzen (z.B. aus Topografischer Karte digitalisiert),
- Gefälle (aus DHM),
- Bodenformen (z.B. aus Übersichtskarte des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie),
- Starkniederschlagshöhen (aus KOSTRA-Atlas mit Sicherheitszuschlag oder Maximierte Gebietsniederschläge, beides vom DWD), der Niederschlag wird als mittenbetont angenommen (DVWK-Regel 1984),
- Zuordnungstabelle mit hydrologischen Kennwerten für Elementarflächen (Teileinzugsgebiete oder Hydrotope),
- Landnutzung (digitalisiert aus Topografischer Karte).

Aufwand (zeitlich)

Der Gesamtaufwand für die Datenbereitstellung, Kalibrierung und Durchführung der Hochwasserabschätzung beträgt für Einzugsgebiete ($< 100 \text{ km}^2$) nach Angaben eines Anwenders nur ca. 6 Tage. Dagegen wird von den Autoren und anderen Anwendern der zeitliche Aufwand für die Datenbereitstellung bei einem ca. 500 km^2 grossen Gebiet mit 25 bis 220 Tagen und für die

Kalibrierung und Berechnung mit 0,25 bis 70 Tagen angegeben. Diese enormen Spannweiten zeigen, dass individuelle Aufgabenstellungen, Datenverfügbarkeiten, Kalibrierungsschwierigkeiten und verfügbares Personal und Expertenwissen den zeitlichen Aufwand stärker beeinflussen als die eigentlichen Modellstrukturen und Datenbedürfnisse.

Aufwand (finanziell)

Keine Angaben.

Güte der Resultate

Angaben über die Güte der Modellergebnisse liegen nicht vor.

Es sei angemerkt, dass die Anwendung des Modells zur Berechnung von extremen Abflüssen mit Überschreitungswahrscheinlichkeiten kleiner $2 \cdot 10^{-2}$ pro Jahr problematisch ist, weil das Modell dafür nicht kalibriert werden kann.

Literatur

DVWK (Hrsg.) (1984): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten. DVWK-Regeln, 113, Hamburg und Berlin.

Hydrotec (1993): Modellbaustein zur Simulation von Bodenfeuchteprozessen (unveröffentlicht)

Knauf, D. (1975): Die Abflussbildung in schneebedeckten Einzugsgebieten des Mittelgebirges. Technischer Bericht aus dem Institut für Wasserbau der TH Darmstadt, Heft 17.

Ostrowski, M.W. (1982): Ein Beitrag zur kontinuierlichen Simulation der Wasserbilanz. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Band 42, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.

Ostrowski, M.W. (1988): Das Simulationskonzept des LWA, in LWA-Materialien 4/88, Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf

Plate, E.J., Schultz, G.A., Seus, G.J. & Wittenberg, H. (1977): Ablauf von Hochwasserwellen in Gerinnen. Schriftenreihe des Kuratoriums für Wasser und Kulturbauwesen, Heft 27, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.

Wolf-Schumann, U.; Rothe, B. (1996): NASIM 2.5 – Niederschlag-Abfluss-Simulation und Wasserbilanzmodellierung, ESRI Arc Aktuell Kundeninfo, Heft 3.

4.8.3 LARSIM / FGMOD

Beschreibung des Modells

Auf der Basis des älteren, aber noch immer in der Anwendung stehenden Modells FGMOD (Ludwig, 1979) entwickelte Bremicker (2000) das flächendetaillierte (rasterbezogene) hydrologische Niederschlag-Abfluss-Modell LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model). Das Modell LARSIM enthält deterministische Modellansätze auf der Basis physikalischer Modellkonzepte. Sein Modellschema zeigt Abbildung 4.10.

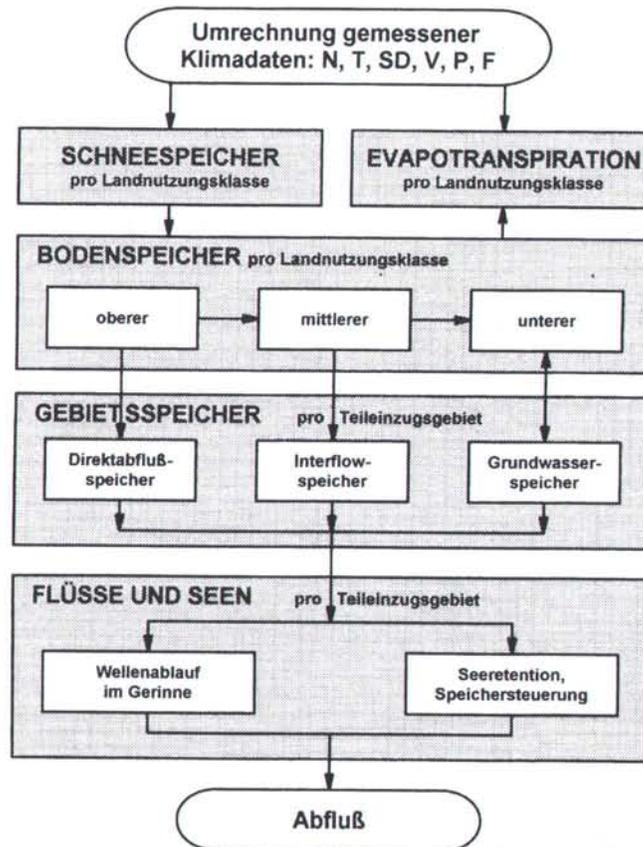


Abb. 4.10 Modellschema des Programms LARSIM (aus Bremicker et al. 1997).

Zur Berechnung der hydrologischen Teilprozesse sind folgende Ansätze in LARSIM implementiert:

Die Akkumulation und Ablation von Schnee wird über das vereinfachte Verfahren zur Modellierung des Wärmehaushaltes nach Knauf sowie das Snow-Compactions Verfahren nach Bertle bestimmt (Bremicker et al. 1997).

Die vertikalen Transporte zur Berechnung des Bodenwasserhaushaltes werden nach dem Xin-anjiang-Verfahren ermittelt. Je nach Füllung des Bodenwasserspeichers und der Niederschlagsintensität tritt Zufluss in die Speicher für Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss und Grundwasserabfluss in unterschiedlichen Relationen auf.

Die Verdunstung wird über den Ansatz von Penman-Monteith nach de MORECS-Schema berechnet.

Die Abflusskonzentration (laterale Transporte in die Gewässer) wird über drei parallele lineare Einzelspeicher für den Oberflächenabfluss, den Zwischenabfluss und den Grundwasserabfluss beschrieben.

Die Laufzeiten sowie die Retention in den Gewässern wird über hydrologische Verfahren der Wellenverformung im Gerinne berechnet.

Zur Berücksichtigung der subskaligen Prozesse werden für jedes Flächenelement die Evapotranspiration sowie der Bodenwasserhaushalt getrennt für verschiedene Landnutzungen und Feldkapazitäten der Böden berechnet. Die Modellparameter sind z.T. mit Gebietscharakteristika verknüpft, um so den möglichen Wertebereich der Parameter einzuschränken oder um eine Übertragung auf Einzugsgebiete ohne Abflussbeobachtungen zu ermöglichen.

Darüber hinaus besteht im Modellsystem die Möglichkeit, Informationen über die Steuerung von Speichern mit zu berücksichtigen. Zudem lassen sich Überleitungen zwischen Flüssen im Modell erfassen.

Als meteorologische Eingangsdaten werden

- der Niederschlag,
 - die Lufttemperatur,
 - die Luftfeuchte,
 - die Sonnenscheindauer,
 - der Luftdruck,
 - und die Windgeschwindigkeit,
- benötigt.

Beim Antrieb des Modells über gemessene Klimadaten erfolgt eine Höhenkorrektur und Umrechnung der Lufttemperatur und des Luftdrucks von den Messstationen auf jede Rasterfläche. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Niederschlagshöhen nach Ansätzen von SEVRUK und dem Deutschen Wetterdienst zu korrigieren (Bremicker et al. 1997).

Das Modell LARSIM ist für unterschiedliche räumliche und zeitliche Auflösungen einsetzbar. Bei guter Datenlage kann LARSIM auch für Planungszwecke und ggf. für operationelle Abflussvorhersagen genutzt werden.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Das Modell LARSIM wird in den Bundesländern Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Bayern angewendet und vom Ingenieurbüro Dr. Ludwig / Karlsruhe weiterentwickelt und vertrieben. Es dient sowohl der Abschätzungen der Bemessungshochwassern als auch der Simulation des Wasserhaushaltes. In Bayern werden mit diesem Modell Überschwemmungszonen abgeschätzt und Hochwasservorhersagen getroffen.

Jährlichkeit des Ereignisses

In der Regel liegen die Jährlichkeiten, für die mit LARSIM Hochwasser abgeschätzt werden unter 200 Jahren. Für Risikoabschätzungen und zum Nachweis der Anlagensicherheit von Talsperren und Rückhaltebecken sowie anderen technischen Einrichtungen werden auch Hochrechnungen für Wiederholungszeitspannen von 1'000 Jahren und mehr durchgeführt.

Einzugsgebietsfläche

Die Grösse der untersuchten Einzugsgebiete liegt zwischen 10 und 100'000 km². Es wurde aber auch für die Berechnung der Abflüsse (und anderer Wasserhaushaltskomponenten) in sehr grossen Einzugsgebieten (> 100'000 km²) angepasst.

Naturräumliche Zuordnung

Eine naturräumliche oder regionale Beschränkung für den Einsatz des Modells existiert nicht. Das Modell muss wie alle Niederschlag-Abfluss-Modelle für jedes Flusseinzugsgebiet kalibriert werden.

Erfahrungen

Für die Anwendung des Modells wird nach den Erfahrungsberichten von Bayern und Rheinland-Pfalz ein mittleres bis hohes Mass an hydrologischem Expertenwissen benötigt. Die Verfügbarkeit von notwendigen Daten richtet sich stark nach dem Einzugsgebiet und den gewählten Verfahren zur Nachbildung der hydrologischen Teilprozesse. Zudem wird angegeben, dass sich eine Abschätzung des mittleren Flussprofils wie auch der Rauigkeit aufgrund der mangelnden Datengrundlage problematisch darstellt.

Kalibriert wird das Modell zum einen nach dem Trial and Error Prinzip mit den Gütekriterien: Abflussscheitel, Abflusssumme, Gleichzeitigkeit des Eintretens der Scheitelabflüsse. Zum anderen werden auch Suchalgorithmen, wie das Marquardt-Verfahren eingesetzt, und als Zielfunktion die Fehlerquadratsumme und die hydrologische Deviation verwendet.

Notwendige Inputdaten

Als zeitinvariante räumlich bezogene Eingabedaten werden Informationen über die Teileinzugsgebietsgrößen, -schwerpunkte, Lauflängen der Gewässer und die Gefälleverhältnisse benötigt. Erhoben werden diese Daten durch Auswertung von topographischen Karten, digitalen Höhenmodellen oder eigene Begehungen. Hinzu kommt der Bedarf an Daten über die geologischen und naturräumlichen Gegebenheiten sowie Landnutzungsinformationen (z.B. Siedlungsanteil u.a.). Für den Gerinnabfluss werden zudem Quer- und Längsprofile benötigt.

Als meteorologische Eingangsdaten sind folgende Größen erforderlich:

- Niederschlagszeitreihen,
- Temperatur,
- Windgeschwindigkeit,
- Schneehöhe,
- Schneedichte,
- Ggf. Niederschlagsvorhersagen.

Alle oben genannten Daten liefert der Deutsche Wetterdienst. Die Modellbelastung erfolgt sowohl mit statistischen Niederschlägen als auch mit beobachteten Zeitreihen. Für statistische Niederschläge stehen wiederum Werte des KOSTRA-Atlas zur Verfügung. Darüber hinaus werden in Bayern und Rheinland-Pfalz eigene statistische Auswertungen von Niederschlagsserien verwendet. Als zeitlicher Intensitätsverlauf dieser Niederschläge werden alle Varianten von linear, anfangs betont, mittenbetont bis hin zu endbetont angenommen.

Die Wasserabgabe aus der Schneedecke wird über statistische Analysen des Wasseräquivalents oder die Modellierung der Schneeakkumulation und -ablation (z.B. Tag-Grad-Verfahren) berücksichtigt.

Zusätzlich werden für die Kalibrierung nicht messbarer Modellparameter beobachtete Hochwasserabflüsse, die die jeweiligen Landesämter bereithalten, benötigt.

Aufwand (zeitlich)

Der Zeitaufwand für die Bereitstellung, Aufbereitung und Prüfung der Eingabedaten schwankt stark und ist erheblich vom Einzugsgebiet und dessen Grösse abhängig. Angegeben wird ein Zeitraum von 8 bis zu 200 Tagen. Für die Durchführung der Abschätzung des gewünschten Hochwasserabflusses ist zusätzlich, ebenfalls je nach Einzugsgebietscharakteristik, mit 20 bis 100 Tagen Zeitaufwand zu rechnen.

Aufwand (finanziell)

Neben der Datenbeschaffung sind keine weiteren Kosten zu erwarten. Die Verfügbarkeit des Modellsystems LARSIM ist ungeklärt. Diesbezüglich wird auf das Ingenieurbüro Dr. Ludwig / Karlsruhe verwiesen.

Güte der Resultate

Keine Angaben.

Es sei angemerkt, dass die Anwendung des Modells zur Berechnung von extremen Abflüssen mit Überschreitungswahrscheinlichkeiten kleiner 10^{-2} pro Jahr problematisch ist, weil das Modell dafür nicht kalibriert werden kann.

Literatur

- Bremicker, M., Ludwig, K., Richter K.-G. (1996):** Wasserhaushaltsmodelle für das Weser- und Ostsee-Einzugsgebiet. In: Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlicher Wasserbau der Universität Hannover, Heft 83:87-104.
- Bremicker, M., Ludwig, K., Richter K.-G. (1997):** Effiziente Erstellung mesoskaliger Wasserhaushaltsmodelle. In: Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 41, Heft 5:209-215.
- Bremicker, M., Ludwig, K., Richter K.-G. (1998):** Effiziente Erstellung mesoskaliger Wasserhaushaltsmodelle. In: PIK-Report: Modellierung des Wasser- und Stofftransportes in grossen Einzugsgebieten. No. 43:23-32.
- Bremicker, M. (2000):** Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele, Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 11, Institut für Hydrologie der Universität Freiburg i.Br.
- Ludwig, K. (1979):** Das Programmsystem FGMOD zur Berechnung von Hochwasser-Abflussvorgängen in Flussgebieten. In: Wasserwirtschaft 69, Heft 7+8:226-228.

4.8.4 HYBNAT

Beschreibung des Modells

Das Ingenieurbüro Brandt Gerdes Sitzmann, Darmstadt setzt das Modell HYBNAT zur hydrologischen Berechnung des Niederschlag-Abfluss-Transportprozesses ein. Es handelt sich um eine Konzeptmodell, bei dem die räumliche Gliederung nach Teileinzugsgebieten erfolgt, die Zeitschrittweite liegt zweckmässigerweise im Bereich von wenigen Minuten bis zu einer Stunde. Es werden folgende Teilprozesse simuliert:

- Abflussbildung, differenziert nach versiegelten Flächen (Abflussbeiwert 1,0) und durchlässigen Flächen (Abflussbeiwert als Funktion der Niederschlagshöhe und des CN-Wertes nach dem SCS-Verfahren, Modifikationen nach Euler und Zaiss sind möglich). Die Abflussaufteilung erfolgt in Direktabfluss, Zwischenabfluss und Basisabfluss.
- Abflusskonzentration in der Teilfläche, differenziert nach kanalisierten Flächen (Übertragungsfunktion doppelte Speicherkaskade) und „natürlich“ entwässernden Flächen (Übertragungsfunktion: dreifache Speicherkaskade mit unterschiedlichen Kaskadenparametern und Aufteilungsverhältnissen, Abhängigkeiten von L, J, tc).
- Abflusstransport im Gerinne als reine Translation oder mit Retentionsberechnung (Ansatz: Retentionsspeicher (Einzelspeicher oder Speicherkaskade), Stationäre Spiegellinienberechnung einschl. Versickerung in den Vorländern (bei vorzugebenden kf-Werten).
- Wellenaufteilung an Verzweigungen (nach unterschiedlichen Vorgaben).
- Speicherung in Rückhalteräumen (Abgabe konstant oder füllungsabhängig).

Prinzipiell wird von einer gleichmässigen Überregnung ausgegangen. Allerdings kann ein Abminderungsfaktor bestimmt werden, über den indirekt eine ungleichmässige Überregnung, die zu kleineren Hochwasserscheiteln führt, berücksichtigt werden kann.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Das Modell wird vom Ingenieurbüro Brandt, Gerdes, Sitzmann / Darmstadt weiterentwickelt und eingesetzt. Es wird nicht weitergegeben.

Jährlichkeit der Ereignisse

Das Modell wird sowohl für seltene Hochwasserscheitelabflüsse als auch für extreme Abflüsse zur Prüfung der Anlagensicherheit bei Talsperren und Rückhaltebecken eingesetzt.

Einzugsgebietsfläche

Das Modell kann für Einzugsgebiete bis zu mehreren 1'000 km² eingesetzt werden.

Naturräumliche Zuordnung

Nach Angaben der Autoren beschränkt sich die Anwendung auf Mittelgebirge und Flachland.

Erfahrungen

Das Modell wird nur bei einem Ingenieurbüro eingesetzt, das selbst über das erforderliche Expertenwissen (sowohl aus der Modellentwicklung heraus als auch durch sehr viele Anwendungen) verfügt. Das Gewicht dieses Expertenwissens wird als hoch eingeschätzt.

Das Modell muss kalibriert werden (manuell, ohne besondere Algorithmen und Zielfunktionen). Es wird auf Übereinstimmung von Abflussscheitel, Abflusssumme und die Gleichzeitigkeit des Scheiteleintritts geachtet. Es genügt, zwei Modellparameter festzulegen. Weitere Modellparameter werden aus Gebietskenngrössen festgelegt, wobei der Erfahrungsschatz der Anwender nicht unbedeutend sein dürfte.

Notwendige Inputdaten

Die Niederschlagsdaten stammen aus dem KOSTRA-Atlas oder von DWD-Stationen. Das Modell enthält keine Simulation des Schneedeckenauf- und -abbaus. Abflussganglinien, Scheitelabflüsse und Wasserspiegellagen müssen für die Kalibrierung bekannt sein. Weiterhin werden topographische Gebietskenngrößen (Gefälle, Fließlänge, Versiegelungsgrad) sowie Bodenarten und Landnutzungen (Anteile Wald, Acker, Wiese, versiegelte Fläche) benötigt, ausserdem Geschwindigkeitsbeiwerte und Querprofile.

Bei der Datenverfügbarkeit bestehen keine Probleme, wobei es allerdings Probleme bei den benötigten Gewässerprofilen geben kann.

Aufwand (zeitlich)

Für ein etwa 500 km² grosses Einzugsgebiet wird der Aufwand für die Datenbeschaffung mit 30 bis 300 Tagen, für die eigentlichen Berechnungen mit 10 bis 200 Tagen angegeben, je nach Aufgabenstellung.

Aufwand (finanziell)

Die Nutzung des Modells erfolgt allein durch das Ingenieurbüro, so dass neben den Kosten für die Datenbeschaffung keine weiteren Kosten für die Modellnutzung auftreten. Bedingungen für Nutzungsrechte sind nicht bekannt.

Güte der Resultate

Keine Angaben. Bei den Analyserechnungen (Kalibrierung) erfolgen beispielsweise Vergleiche mit Pegelaufzeichnungen und Geschwemmsellinien, Ortskundige werden befragt.

Es sei angemerkt, dass die Anwendung des Modells zur Berechnung von extremen Abflüssen mit Überschreitungswahrscheinlichkeiten kleiner 10^{-2} pro Jahr problematisch ist, weil das Modell dafür nicht kalibriert werden kann.

Literatur

- Brandt, Thiele (1994):** Wellenablaufberechnung bei Niederschlag-Abfluss-Modellen, 18. DVWK-Fortbildungslehrgang Hydrologie, Karlsruhe.
- Brandt, Thiele (1995):** Hochwasserschutzkonzepte in Deutschland, Kasseler Wasserwirtschaftliches Symposium 1994, Kasseler Wasserbau Mitteilungen, Heft 2.
- Brandt, Thiele (1998):** Modellierung des Hochwasserabflusses und Auswirkungen zentraler und dezentraler Rückhaltungen, Seminar Hochwasserschutz FH Wiesbaden, Akademie für Bauen und Umwelt e.V. und Hessisches Landesamt für Bodenforschung.
- Lang, J. (2001):** Auswirkungen der neuen DIN 19700 auf die Bemessung von Hochwasserrückhalteräumen, Wasserwirtschaft, Heft 7/8.

4.8.5 ARC/EGMO

Beschreibung des Modells

ARC/EGMO ist ein hydrologisches Modellierungssystem, das vom Büro für Angewandte Hydrologie (BAH) und dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK) entwickelt wurde. Es ermöglicht eine flächendetaillierte und GIS-basierte Modellierung der massgeblichen hydrologischen Prozesse in einem Flussgebiet.

Die Ermittlung von Bemessungshochwasserwerten (Scheitel, Füllen) kann als Einzelereignissimulation unter Nutzung wahrscheinlichkeitsbehafteter Niederschläge (Starkniederschlagsgutachten des DWD, KOSTRA-Atlas) erfolgen. Ebenso sind Langzeitsimulationen mit anschliessender extremwertstatistischer Auswertung z.B. der Jahres-HQ möglich.

Bei der Strukturierung des Modells wurde konsequent zwischen Vertikalprozessen und lateralen Flüssen unterschieden (vgl. Abb. 4.11). Der modulare Aufbau erlaubt die Nutzung unterschiedlich detaillierter und strukturierter Teilprozessmodelle für unterschiedliche Aufgaben (Zielgrößen/Massstabsbereich).

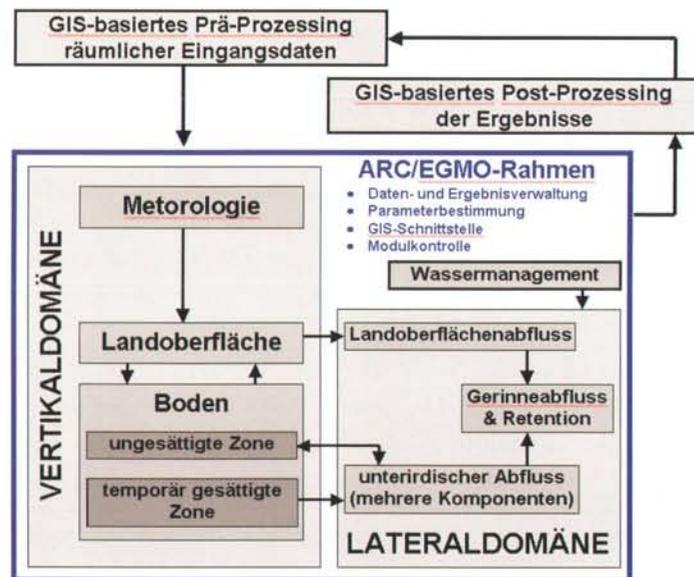


Abb. 4.11 Schematische Darstellung des Mehr-Ebenen-Konzepts in ARC/EGMO.

Bei den zur Beschreibung der Vertikalprozesse (Verdunstung, Abflussbildung) einsetzbaren Modulen handelt es sich um physikalisch begründete, konzeptionelle Modellansätze, mit deren Hilfe aus vorgegebenen Systeminputs (meteorologische Grössen) und vorgegebenen Systemeigenschaften (z.B. Boden- und Vegetationskennwerte) bzw. Systemzuständen (wie Speicherfüllungen) die innerhalb eines Flussgebietes bestimmenden Zustandsveränderungen und die resultierenden Systemausgänge wie Abflussbildung und Verdunstung ermittelt werden können.

In der Lateraldomäne werden verschiedene, hinsichtlich ihrer zeitlichen Dynamik unterirdische Abflusskomponenten und hinsichtlich ihrer Genese unterschiedliche oberirdische Abflusskomponenten (Abfluss von versiegelten Flächen, Hortonabfluss, Sättigungsflächenabfluss) zum Gewässersystem transformiert. Im Gewässer werden die Translations- und Retentionsprozesse beschrieben. Bebaute Flächen werden über ihren Versiegelungsgrad berücksichtigt und mit systemhydrologischen Ansätzen abgebildet.

Eine Übersicht über die verwendeten Ansätze gibt die nachfolgende Aufstellung.

Hydrometeorologie

- Potenzielle Verdunstung: Ansätze von Haude, Turc/Ivanov oder Penman
- Niederschlagskorrektur: Über stations- und witterungsabhängige Korrekturwerte (Schnee/Regen)
- Flächenübertragung der meteorologischen Eingangsgrößen: Für jeden Zeitschritt nach einem "erweiterten Quadrantenverfahren"
- Schneemodell: Tag-Grad-Verfahren

Abflussbildung/Wasserhaushalt

- Reale Evapotranspiration: feuchteabhängige Reduktion (erweiterter Priestley-Taylor-Ansatz)
- Interzeption: vegetationsabhängiger linearer Speicheransatz
- Infiltration: nach Horton
- Muldenspeicherung: Speicheransatz
- Sättigungsflächenbildung: feuchteabhängige Variation von gesättigten Flächenanteilen
- Bodensickerwasserbildung: Mehrspeicheransätze (Kapazitäten abhängig von den Boden- und Vegetationsparametern)

Abflusskonzentration

- auf der Landoberfläche: Je nach Datenverfügbarkeit kinematische Welle oder Speicher- und Translationsansätze
- unterirdisch: Einzellinearspeicher in Reihen- und Parallelschaltung
- im Gewässernetz: Einheitsganglinienverfahren, Speicheransätze oder Ansatz nach Kalinin-Miljukov. Zur Schätzung der Retentionsparameter K_{τ} in Abhängigkeit vom Durchfluss kann das Wasserspiegellagenprogramm WSPR (Knauf 2001) eingesetzt werden

Die räumliche Untergliederung des Untersuchungsgebietes ist für die einzelnen Modellierungsebenen unterschiedlich. Das Grundprinzip der Modellierung der vertikal gerichteten Abflussbildungsprozesse ist die Ausweisung von hydrologisch quasihomogenen Flächen auf der Basis der verfügbaren räumlichen Datenbasis. Diese sogenannten Elementarflächen können für mesoskalige Modellanwendungen zu Hydrotopen innerhalb von Teileinzugsgebieten zusammengefasst werden. Die Flächenvariabilität der hydrologischen Parameter innerhalb einer Hydrotopklasse wird über Verteilungsfunktionen beschrieben. Die Klassifizierung erfolgt entsprechend der Dominanz der hydrologisch relevanten Prozesse unter der Annahme, dass diese anhand der Flächeneigenschaften wie Morphologie, Bodentyp, Grundwasserflurabstand, Vegetation und Landnutzung definiert werden kann.

Die Beschreibung der flächenbezogenen lateralen Abflusskonzentrationsprozesse erfolgt auf der Basis von Regionen und Teileinzugsgebieten, die (für kleine Einzugsgebiete) wiederum durch Hangsegmente beschrieben werden können. Diese sind mit dem Gewässernetz verknüpft.

Die Modellierung der Abflusskonzentration im Gewässernetz erfolgt unter Nutzung gerichteter Vektoren als Verbindung zwischen Systemknoten (Gewässerpunkte). Die gewünschte Auflösung für die Abflussberechnungen im Gewässersystem wird GIS-basiert durch Vorgabe dieser Systemknoten festgelegt.

Als Gewässerknoten fungieren

- Pegel,
- Zusammenflüsse,
- interessierende Profile,
- Einleitungs- bzw. Entnahmepunkte oder
- Speicherbauwerke.

Einleitungen und Entnahmen können als Zeitreihe vorgegeben oder über Zeitfunktionen definiert werden. Speicherbauwerke können mit konstantem Regelabfluss oder in Abhängigkeit von der aktuellen Speicherfüllung/Wasserstand betrieben werden. Die Zeitschrittweite des Modells kann problemorientiert zwischen 5 Minuten bis 1 Tag festgelegt werden.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Das Modell wird nur vom Büro für Angewandte Hydrologie (BAH) / Berlin angewandt. Es kann aber weitergegeben werden.

Jährlichkeit der Ereignisse

Aussagen können getroffen werden für Jährlichkeiten zwischen 10 und 100 Jahren. Beim Einsatz für stadthydrologische Prozesse werden auch häufigere Ereignisse ermittelt.

Einzugsgebietsfläche

Abhängig von der zur Verfügung stehenden Datenbasis lässt sich das Modell in Gebieten zwischen ca. 1 und 5'000 km² Grösse einsetzen (Mikro- bis Mesoskala). In Abhängigkeit von Datenbasis und Massstabbereich können unterschiedliche räumliche und zeitliche Diskretisierungen verwendet werden.

Naturräumliche Zuordnung

Vorrangiges Einsatzgebiet des Modells ist das Tiefland und der Mittelgebirgsbereich. Für das Hochgebirge sind bisher keine Anwendererfahrungen vorhanden.

Erfahrungen

Für die Ermittlung von Bemessungshochwassern hat sich eine Kombination von Einzelereignis- und Langzeitsimulation als günstig erwiesen, wobei die Langzeitsimulation neben den Jahres-HQ als Basis für eine Extremwertstatistik auch „wahrscheinliche“ Startwerte für die Einzelereignisbetrachtung liefern kann. Da insbesondere für die Beschreibung der unterirdischen Abflusskonzentrationsprozesse einfache, konzeptionelle Ansätze verwendet werden, müssen deren Parameter im Gegensatz zu denen der Vertikaldomäne kalibriert werden. Das erfordert ein gewisses Mass an Expertenwissen, insbesondere dann, wenn im Zuge von Langzeitsimulationen der gesamte Wasserkreislauf abgebildet werden soll.

ARC/EGMO wurde bisher projektbezogen zur Ermittlung von Bemessungshochwassern für Einzugsgebiete in Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt angewendet. Neben den hier gefragten Modellanwendungen zur Hochwasserabschätzung erfolgten im PIK im Rahmen der Impaktforschung von Landnutzungs- und Klimaänderungen Wasserhaushaltssimulationen für meso- bis makroskalige Teileinzugsgebiete der Elbe.

Notwendige Inputdaten

Die Datenverfügbarkeit für die Anwendung von ARC/EGMO kann als gut eingeschätzt werden. Das Modell ist so konzipiert, dass mit allgemein verfügbaren digitalen Karten gearbeitet werden kann und die erforderlichen Modellparameter direkt aus diesen Karten abgeleitet werden. Benötigt werden:

- Teilgebietsgliederung (z.B. gemäss LAWA),
- Landnutzung inklusive Versiegelungsgrad bebauter Flächen, Wurzeltiefe^(*) bei vegetationsbestandenen Flächen,
- Bodendaten für die wechselfeuchte Bodenzone wie nFK- und Kf-Wert,
- Grundwasserflurabstände^(*) für Modellanwendungen im Tiefland
- Topographie (Gefälle, Höhe, Exposition)
- Gewässernetz mit Höhenlage der Systemknoten, sofern vorhanden Profilvermessungen.

Die ^(*) gekennzeichneten Informationen sind nur erforderlich, wenn Langzeitsimulationen durchgeführt werden und damit der gesamte Wasserkreislauf abgebildet werden soll.

An meteorologischen Eingangsdaten sind erforderlich:

- synthetische Niederschlagsreihen für Bemessungsergebnisse und/oder
- ausreichend lange Zeitreihen des Niederschlages, der potentiellen Verdunstung und der Lufttemperatur in einer der Gebietsdynamik adäquaten zeitlichen Auflösung für Langzeitsimulationen mit anschliessender extremwertstatistischer Auswertung.

Die Abbildung der räumlichen Differenzierung des Niederschlaggeschehens ist über eine ausreichend grosse Anzahl von (Stations)reihen zu gewährleisten. Für Langzeitsimulationen ist eine Kalibrierung insbesondere der Abflusskonzentrationsparameter (Einzellinearspeicherkonstanten für das Grundwassermodul, Speicherkonstanten für den Gewässerabfluss, sofern keine Gewässervermessungen vorliegen) notwendig. Hierfür werden vorzugsweise beobachtete Abflussreihen an verschiedenen Abflussquerschnitten des Untersuchungsgebietes verwendet. Für verschiedene Regionen liegen hier Erfahrungen für die Parameterschätzung vor.

Aufwand (zeitlich)

Der zeitliche Aufwand für die Datenbereitstellung, -prüfung und -aufbereitung hängt stark von der Grösse des Untersuchungsgebietes, dem gewünschten Detaillierungsgrad des Modells, vom vorhandenen Aufbereitungsgrad der notwendigen Eingangsdaten und der gewählten Bearbeitungsmethodik (Einzelereignis- oder/und Langzeitsimulation) ab. Für die Ermittlung von Bemessungswerten für ein (kleines) Einzugsgebiet über eine Einzelereignisbetrachtung sind 6 bis 8 Stunden anzusetzen. Eine Langzeitsimulation erfordert wesentlich mehr Eingangsdaten, einen höheren Aufwand bei der Parameterermittlung, längere Simulationszeiten und eine umfangreichere Auswertung (Extremwertstatistik).

Aufwand (finanziell)

Ein wesentlicher Kostenfaktor bei Langzeitsimulationen sind die erforderlichen "langen" Klimareihen des DWD. Für wissenschaftlich (und nicht kommerziell) arbeitende Institutionen ist das Modellsystem (bis auf eine Bereitstellungspauschale) kostenlos verfügbar. Auf Grund stetiger Weiterentwicklungen ist ein enger Kontakt mit den Programmentwicklern (BAH und PIK) empfehlenswert. Behörden erhalten ein angepasstes Gebietsmodell als Ergebnis eines Projektes (zeitlicher Aufwand für die Erstellung des Gebietsmodells: siehe oben).

Güte der Resultate

Die Schwankungsbreite der Ergebnisse liegt nach Erfahrungen in Sachsen-Anhalt bei $\pm 30\%$.

Literatur

- Becker, A., Klöcking, B., Lahmer, W. and Pfützner, B. (2001):** The Hydrological Modelling System ARC/EGMO. In: Mathematical Models of Watershed Hydrology (Eds.: Singh, V.P., Frevert, D. and Meyer, S.). Water Resources Publications, Littleton/Colorado (in preparation).
- Pfützner, B., Lahmer, W. & Becker, A. (1997):** ARC/EGMO - Programmsystem zur GIS-gestützten hydrologischen Modellierung, überarbeitete Kurzdokumentation zur Version 2.0.
- Pfützner, B., Lahmer, W., Becker, A., Klöcking, B. (1998):** ARC/EGMO – GIS-gestützte hydrologische Modellierung, Programmdokumentation.
- WSPR (2001):** Anwenderbeschreibung WSPR - Wasserspiegellagenberechnung für gegliederte Flussprofile unter besonderer Berücksichtigung von Bewuchs- und Bauwerkseinflüssen; Programm-Service-Wasserwirtschaft Knauf.

Internet: www.arcegmo.de

4.8.6 ASGi

Beschreibung des Modells

Bei dem Softwareprodukt ASGi handelt es sich um ein Modell zur Simulation von Abfluss und Stofftransport unter Nutzung von Geoinformationssystemen. Es ist ein rasterorientiertes physikalisch basiertes Modell, das in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft entwickelt worden ist und dort auch eingesetzt wird. Es besteht aus zwei Komponenten:

1. der benutzerfreundlichen Umgebung für das Prä- und Postprocessing, d.h. für die Dateneingabe und -aufbereitung entsprechend den Erfordernissen einer rasterorientierten Modellierung und den wahlweise aktivierten Modellbausteinen (Teilprozesse) sowie der gewünschten Ergebnispräsentation und Archivierung,
2. dem Kernbaustein Wasserflussmodell, d.h. der Simulation von Wasser- und Stoffströmen in hydrologisch mesoskaligen Flussgebieten mit Hilfe einer physikalisch basierten mathematischen Abbildung der Teilprozesse für die Abflussbildung, die Abflusskonzentration und der Abflussveränderung im Gewässernetz.

Das nach modernen Gesichtspunkten der Informationsverarbeitung arbeitende Modellsystem ist in der Lage, Wasser- und Stoffströme räumlich hoch aufgelöst zu berechnen. Historische, derzeitige oder zukünftig zu erwartende Bedingungen werden durch die Eingabedaten vorgegeben.

Eine GIS-Umgebung unterstützt den Datenfluss, die Datenhaltung und Darstellung beliebiger Raumdaten im Modellsystem.

Das eigentliche Wasserflussmodell enthält mehrere auf die jeweilige Datenlage abgestimmte konzeptionelle und physikalisch basierte Modellbausteine. Es wurde an der ETH Zürich unter dem Namen WaSIM-ETH (**W**asserfluss-**S**imulations-**M**odell) (Schulla 1999) entwickelt und kann der Gruppe der *Distributed Models* zugeordnet werden, welche zeitlich und räumlich in hoher Auflösung arbeiten. Die räumliche Untergliederung wird durch ein regelmässiges Raster realisiert. Eine Hierarchie von alternativen Modellbausteinen ermöglicht eine flexible, der jeweiligen Datenlage und Fragestellung angepasste Auswahl und ergibt letztlich eine spezifische und der Situation entsprechende Modellkonfiguration.

Die für die Simulation der Wasserflüsse notwendigen Eingabedaten lassen sich in zwei Gruppen einteilen

- A) Flächendaten, in der räumlichen Gliederung von geometrischen Grids (Datengrid):
- Höhenmodell, digital
 - Landnutzungsinformationen, digital
 - Bodenarteninformationen, digital

Zu Kontrollzwecken sind das vektorisierte Gewässernetz, die Pegeleinzugsgebiete und die Pegelkoordinaten zu empfehlen.

- B) Zeitreihen, stations- und pegelbezogen:
- Niederschlag,
 - Temperatur,
 - Wenn es die aktuelle Datensituation zulässt, können auch Zeitreihen der
 - Globalstrahlung,
 - Sonnenscheindauer,
 - Luftfeuchte und Windgeschwindigkeitverarbeitet werden.

Zur Kalibrierung und Validierung sind gemessene Abflussdaten notwendig.

Die Bereitstellung der Raumdaten erfolgt im sogenannten Datengrid. Dies bedeutet, alle raumbezogenen Primärdaten werden in einer einheitlichen räumlichen Auflösung (Rasterzellengrösse) und Geometrie in das Modellsystem importiert. Die Simulation selbst erfolgt im Modellgrid, das eine grössere Maschenweite als das Datengrid hat. Die Eingangsdaten im Datengrid sind deshalb auf

die Maschen des Modellgrids zu aggregieren. Die Generierung derjenigen Parameter, die auf raumbezogene Eingabedaten basieren, erfolgt bereits im Datengrid. Auch sie sind anschliessend auf die Maschen des Modellgrids hochzurechnen.

Die meteorologischen Zeitreihendaten müssen für jede Rasterzelle des Modellgrids bereitgestellt werden. Dies kann mit Hilfe verschiedener Interpolationsmethoden realisiert werden.

Neben den Eingabedaten werden zahlreiche Parameter benötigt, zum einen, um aus den Eingangsdaten Modellparameter zu generieren, die in die Simulation eingehen, zum anderen, um die Abbildung der einzelnen hydrologischen Teilprozesse zu steuern. Prinzipiell werden die Parametergruppen Globale Parameter, Interpolationsparameter, Parameter der Teilmodelle und Parameter der Zuordnungstabellen unterschieden.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Das Programmsystem wird beim Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft eingesetzt, wobei zunächst eine Beschränkung auf Wasserhaushaltssimulationen erfolgt. Prinzipiell lassen sich damit auch Hochwasserganglinien erzeugen, weil die Zeitschrittweite der Simulation beliebig, d.h. auch Stunden sein kann. Für diese Hochwasserschätzungen liegen aber noch keine Erfahrungen vor.

Literatur

Schulla, J. (1997): Hydrologische Modellierung von Flusseinzugsgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen, Zürcher Geographische Schriften, Heft 69, Geographisches Institut der ETH Zürich.

4.9 Beurteilung und Vergleich der Verfahren

4.9.1 Allgemeines

Die in diesem Bericht erfassten Methoden und Verfahren werden einerseits von Anwendern eingesetzt, die selbst keine Methoden- oder Modellentwicklung betreiben (Wasserwirtschaftsverwaltungen und Wasserverbände) und andererseits von den Entwicklern für die Bearbeitung praktischer Projekte genutzt und meistens von Ingenieurbüros weiterentwickelt. Immer werden aus dem verfügbaren Angebot diejenigen Verfahren ausgewählt, die

- wenig Zeit- und Personalaufwand erfordern,
- noch vertretbare Anforderungen hinsichtlich der Datenbereitstellung stellen,
- zu einem vermeintlich brauchbaren Ergebnis führen.

Die Anwendung beschränkt sich deshalb auf Methoden, bei denen eine Unterstützung durch Softwareprodukte nicht erforderlich ist oder auf Methoden, zu denen es gut dokumentierte Programme und Modelle mit guten Benutzeroberflächen und graphisch gestützten Ein- und Ausgaben gibt. Dabei besteht allerdings die Gefahr einer unkritischen Anwendung. Die Qualität der Methode wird leider nicht als Massstab für die Anwendung genommen, sondern allein die brauchbare Handhabbarkeit und der Bekanntheitsgrad. Das gleiche gilt für Weiterentwicklungen, diese erfolgen für die bekannten, nicht für die besten Konzepte. Das alles ist nicht verwunderlich, denn noch immer gibt es keine kritischen Methoden- und Modellvergleiche mit Standarddatensätzen, die zu einer objektiven Bewertung führen können. Noch immer werden viel zu wenige Modelle und Methoden zu Softwareprodukten aufbereitet, ausreichend dokumentiert sowie gepflegt, gewartet und weiterentwickelt. Public-domain-Software ist auf diesem Gebiet in Deutschland nicht vorhanden. Im Ausland entwickelte Verfahren und Modelle werden trotz internationaler Verbreitung kaum einmal übernommen.

Einfachere Verfahren, also empirische und regional gültige Formeln und statistische Verfahren, werden häufig genutzt, weil der Aufwand relativ gering ist und eine jahre- und jahrzehntelange Erfahrung vorliegt, obwohl die Güte der Resultate keineswegs befriedigend sein muss. Die Akzeptanz der Niederschlag-Abfluss-Modelle ist geringer, weil der Aufwand gross ist und weil der immer wieder geäusserten Verdacht nicht ausgeräumt ist: letztlich sei nicht erwiesen, dass Niederschlag-Abfluss-Modelle bessere Ergebnisse zu liefern in der Lage sind als einfachere Verfahren. Es muss in diesem Zusammenhang aber auch bedacht werden, dass die Ableitung von Bemessungsabflüssen als Scheitelabflüsse ursprünglich nicht das Ziel der N-A-Modelle war. Mit ihnen sollten vornehmlich Ganglinien für Retentionsberechnungen entwickelt werden. Dass dabei Scheitelabflüsse geradezu abfallen, kann selbstverständlich genutzt werden, wird aber des hohen Aufwandes für N-A-Modelle wegen auch teuer erkauf.

Die Notwendigkeit, zukünftig Bemessungsabflüsse höherer Genauigkeit vorgeben zu müssen, resultieren u.a. aus der Tatsache, dass Bemessungshochwasser sehr oft als Vorgaben für hydraulische Modelle dienen, die bereits heute einen sehr hohen Genauigkeitsanspruch erfüllen können. Der Widerspruch hoher Genauigkeit auf Seiten der Hydromechanik und geringer Genauigkeit auf Seiten der quantitativen Hydrologie kann nicht weiter hingenommen werden. Es sind deshalb zwei Entwicklungspfade zu beschreiten:

- Verbessern der statistischen Verfahren durch Berücksichtigung neuerer regionalhydrologischer Ansätze und physikalischer Zusammenhänge (Entwicklung physikalisch begründeter Verteilungsfunktionen),
- Verbessern der deterministischen Modelle durch eine systematische und aufeinander abgestimmte Parameterisierung der physikalischen Prozesse bei Reduktion der Modellparameter (Entwicklung parameterarmer physikalisch basierter Modelle).

Gleichzeitig muss die Verfügbarkeit von Daten erheblich verbessert werden (Kapitel 4.9.2.2).

In Abbildung 4.12 (Netzdiagramme) und in Anlage 4 (Tabellen) sind die Erfahrungen der Anwender für die drei Methoden wiedergegeben.

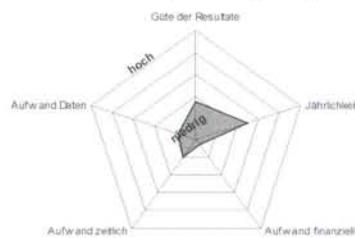
Die ausgefüllten Flächen der Netzdiagramme zeigen qualitativ, wie folgende Kriterien bewertet wurden:

- Güte der Resultate,
- Aufwand Daten,
- Aufwand zeitlich,
- Aufwand finanziell.

Je stärker sich die Fläche in Richtung eines Kriteriums ausdehnt, desto höher ist der Aufwand oder die Güte der Resultate bei der Anwendung dieser Methode.

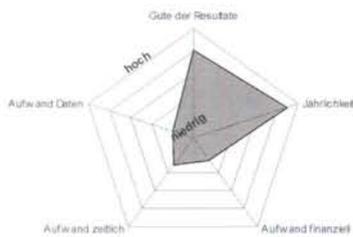
Eine Ausnahme bildet der Punkt Jährlichkeit, der sich auf die Jährlichkeit des geschätzten Abflussscheitels bezieht. Ein hoher Wert bedeutet, dass mit dieser Methode Abflussscheitel bis zu maximalen Hochwasserabflüssen, ein mittlerer Wert, dass mit dieser Methode Abflussscheitel bis zu HQ_{100} abgeschätzt werden.

Empirische und regional gültige Formeln

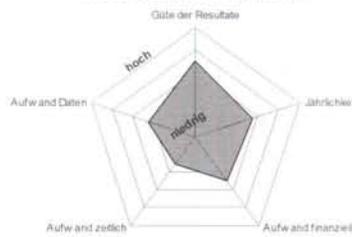


Statistische Verfahren

Lokale Ansätze auf der Basis von Abflussdaten

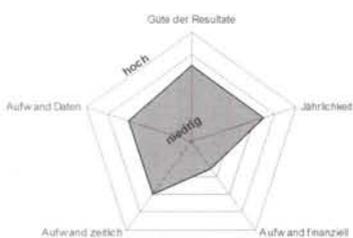


Regionalhydrologische Ansätze auf der Basis von Abflussdaten



Deterministische Modelle

Blockmodelle



Flächendetaillierte Modelle

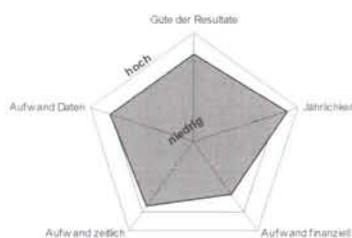


Abb. 4.12 Aufwand und Güte von Methoden zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen und Erfahrungen bei ihrer Anwendung¹

¹ In der Graphik bezieht sich die Jährlichkeit auf die betrachteten Hochwasserabflüsse, ein hoher Wert entspricht dem HQ_{max} , ein mittlerer Wert dem 100jährigen Hochwasserabfluss.

4.9.2 Probleme bei der Anwendung

4.9.2.1 Allgemeine Probleme zu Daten und Parametern

Von den Anwendern sind die in Tabelle 4.9 zusammengestellten Probleme genannt worden. Es ist leicht zu erkennen, dass die Aufzählung unvollständig ist.

Tab. 4.9 Allgemeine Probleme zu Daten und Parametern, die von den Anwendern genannt worden sind.

Empirische und regional gültige Formeln	Statistische Verfahren	Deterministische Modelle
<ul style="list-style-type: none"> ○ Schlechte Vergleichbarkeit der Datenherleitung ○ Probleme bei der länderübergreifenden Datenbereitstellung ○ Eingangsdaten müssen aus nicht vervielfältigbaren, i.d.R. nur in Fachbehörden vorhandenen, relativ alten Karten und Originalliteratur bestimmt werden. Damit besteht keine Allgemeinverfügbarkeit der Eingangsdaten und Berechnungsformeln ○ Fragen der Plausibilität, die aus der unterschiedlichen Beobachtungsdauer an den Messstellen resultiert ○ Datenerfassung (Probleme bei den Messungen) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Instationarität der Serien <ul style="list-style-type: none"> - zu kurze Zeitreihen - zu lange Zeitreihen ○ Nachbereitung der Serien, Prüfung von Einzelwerten ○ Die Beeinflussung historischer Werte ist schwer zu schätzen ○ Datenerfassung (Probleme bei den Messungen) <ul style="list-style-type: none"> - Fehlende Zuverlässigkeit der Abflusskurven und Messwerte - Ungenauigkeit der Messungen - Geräteausfall bei hohen Abflüssen - Gelegentliche Ausfallzeiten und Ergänzung durch benachbarte Pegel 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Abschätzung von Gewässerprofilen und Rauheiten ○ Erschwerte Plausibilitätskontrolle bei Gebieten ohne Pegel ○ Probleme bei der Regionalisierung von Modellparametern ○ Datenverfügbarkeit (Probleme bei der Bereitstellung) <ul style="list-style-type: none"> - Zu geringe Stationsdichte für die Messung der Niederschläge und anderer meteorologischer Merkmale - Mangelnde Verfügbarkeit stündlicher Daten (Niederschläge, Abflüsse) - Fehlerhafte Daten

Empirische und regional gültige Formeln sind leicht und schnell anwendbar, die Datenverfügbarkeit ist meistens gut, der Zeitaufwand ist i.d.R. mit weniger als 1 Stunde anzusetzen. Die Anwender legen sich selten Rechenschaft über Genauigkeiten und Anwendungsgrenzen ab.

Statistische Verfahren fassen auf langjährigen Beobachtungsreihen, bei denen Probleme der Datengenauigkeit einerseits und die statistische Homogenität der Zeitreihe andererseits dominieren. Beide Probleme werden mit unterschiedlichen Intensitäten im Vorfeld einer statistischen Analyse bearbeitet. Wobei der Umgang mit Datenfehlern und -inhomogenitäten sehr unterschiedlich ist und Korrekturen meistens unterbleiben, zweifelhafte Messreihen aber dennoch nicht immer konsequent ausgeschlossen werden. Die Frage, welche Verteilungsfunktion und welche Schätzmethoden für die Parameter verwendet werden, wird mit grosser Aufmerksamkeit geprüft und analysiert, ohne dass dabei die Frage berücksichtigt wird, ob diese Verteilungen und Parameter auch im Extrapolationsbereich gültig sind. Gleichwohl kommt den statistischen Verfahren eine hohe praktische Bedeutung zu. Sie haben sich in der Praxis bewährt, auch wenn der Genauigkeitsgrad der Extrapolation seltener und extremer Hochwasserabflüsse nicht angegeben werden kann, wenn einmal von den statistischen Intervallbreiten abgesehen wird. Die Genauigkeit der Messdaten geht dabei nicht ein.

Eingesetzte deterministische Modelle sind ausnahmslos konzeptionelle Modelle, bei denen nicht physikalische Modellparameter kalibriert werden müssen. Je höher die Parameteranzahl ist, desto schwieriger wird die Kalibrierung und desto individueller bezüglich Ereignis und Gebiet werden die Parametersätze. Konzeptionelle Modelle und deren Parameter sind grundsätzlich nicht übertragbar und müssen für einzelne Einzugsgebiete angepasst werden.

4.9.2.2 Datenbereitstellung

Ergebnisse jeder Anwendung sind so gut wie die ihnen zugrunde liegenden Daten. Der Einsatz einer bestimmten Methode oder eines bestimmten Modells verlangt Daten in der erforderlichen zeitlichen und räumlichen Auflösung.

Die zunehmende Kommerzialisierung der Fachdienste des Bundes und der Länder, verbunden mit einer restriktiven Datenabgabepolitik oder hohen Kosten behindert zunehmend eine Modellanwendung und -weiterentwicklung durch Ingenieurbüros und Hochschulinstitute. Die meisten benötigten Daten werden von öffentlichen Institutionen erhoben, archiviert und weitergegeben. Die Nutzung dieser Daten durch öffentliche Institutionen ist mit geringen, durch Forschungsinstitutionen und private Unternehmen mit z. T. hohen finanziellen Aufwendungen verbunden, weil es in vielen Fällen als unerwünscht angesehen wird, dass diese Daten in den sogenannten „kommerziellen Bereich“ gelangen. Dies ist zwar volkswirtschaftlich unsinnig, aber oftmals durch Gebührenordnungen, das Umweltinformationsgesetz (Deutscher Bundestag 1994) und die neue Orientierung der Verwaltung, Produkte bereitstellen zu wollen, gedeckt. Es gibt keine einheitlichen Auslegungen und Ausführungen der gesetzlichen Grundlagen. Das Umweltinformationsgesetz definiert zwar, was Umweltdaten sind. Es ist auch dahingehend interpretierbar, dass bestimmte Daten, z.B. meteorologische und hydrometrische Daten, nicht unter die Bestimmungen des Gesetzes fallen.

Die restriktive Interpretation des Umweltinformationsgesetzes, die Nichtbefolgung der WMO-Resolutionen über den nichtdiskriminierenden und kostenfreien Zugang zu meteorologischen und hydrologischen Daten, die produktorientierte Haltung bei der Datenabgabe und die hohen Kosten für den Erwerb von Daten erweisen sich in zunehmendem Masse als hemmend für die Anwendung der genannten Verfahren und auch für die Entwicklung und Verbesserung der Modelle durch Ingenieurbüros und Hochschulinstitute.

Deshalb besteht ein erheblicher Bedarf, den Zugang zu Daten über die Umwelt neu zu regeln und den schon vorhandenen gesetzlichen Grundlagen anzupassen sowie einer Kommerzialisierung des Umganges mit diesen Daten, die mit öffentlichen Mitteln erschlossen wurden, vorzubeugen. Die Kommerzialisierung wirkt sich schädlich auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung aus, vernichtet Arbeitsplätze und behindert und verteuert die Anwendung und Verbesserung.

Ein generelles Defizit ist das Fehlen einer einheitlichen Datenstruktur (Datenmodell, Formatierung). Hier gibt es aufgrund der föderalen Struktur in Deutschland verschiedene Ansätze, die jedoch nicht kompatibel sind. Eine Standardisierung wäre wünschenswert. Dies erfordert, dass man sich unter Umständen von bestehenden länderspezifischen Regelungen trennt.

4.9.2.3 Räumlich verteilte Daten

Einige der Niederschlag-Abfluss-Modelle arbeiten mit räumlich verteilten Parametern und verlangen deshalb räumlich verteilte Daten, die heute teilweise durch die Fernerkundung wesentlich besser erhoben werden können als früher. Es handelt sich dabei zunächst um Rohdaten, die in einem oft schwierigen Prozess in reale Daten umgerechnet und geokodiert werden müssen. Sie lassen sich mit Geoinformationssystemen (GIS) auch rationell bereitstellen und verarbeiten. Allerdings steht die Nutzung solcher Daten und Methoden erst am Anfang. Modelle, deren Simulationsteil mit einem GIS gekoppelt ist oder der selbst in einem GIS abläuft, sind noch nicht in der breiten Anwendung, sondern in der Regel erst in der Entwicklung.

Rechen- und Speicherplatzkapazitäten dürften in diesem Zusammenhang bald keine Beschränkungen mehr nach sich ziehen. Vielmehr ist es praktisch nicht möglich, die theoretisch benötigten Parameter realitätsnah zu bestimmen. Dabei haben Institutionen der öffentlichen Verwaltung, die über die notwendigen Karten und Datensätze verfügen, auch den Vorteil, die Modelle als Anwender anpassen und die Modellparameter schätzen zu können.

4.9.2.4 Genauigkeit von Daten und Ergebnissen

Ein noch ungelöstes Problem liegt im Fehlen zuverlässiger Informationen über den Genauigkeitsgrad, die Zuverlässigkeit und die Unsicherheiten der Daten. Das betrifft alle Datenarten, sowohl raumbezogene als auch zeitbezogene Daten, sowohl die meteorologischen als auch die hydrologischen Daten, sowohl die terrestrisch erhobenen Daten als auch die Satellitendaten. Folglich ist auch unbekannt, wie sich die Unsicherheiten der Eingangsdaten auf die Ergebnisse von Verfahren und Modellen auswirken. Die Bandbreiten der Resultate sind im allgemeinen völlig unbekannt. Hier sind systematische Untersuchungen der Daten, der Fehlerfortpflanzung in den Modellen und der Schwankungen der Modellergebnisse notwendig.

4.9.3 Konsequenzen

Die statistischen Verfahren sind durch Regionalisierungsansätze zu ergänzen, bei denen möglichst wenige repräsentative Gebietskennwerte verwendet werden. Eine umfassende Dokumentation dieser Verfahren und deren Vor- und Nachteile steht noch aus. Sie sollte in Kürze durchgeführt werden, um die auf diesem Gebiet bestehenden Defizite identifizieren zu können. Das Problem der statistischen Schätzung extremer Abflüsse lässt sich mit den heute verfügbaren statistischen Methoden, angewandt auf hydrologische Zeitreihen, nicht physikalisch basiert lösen. Vorübergehende Lösungen können darin bestehen, Hochwasserabflüsse mit Überschreitungswahrscheinlichkeiten kleiner 1/100 auf der Basis einer Konvention (Vereinbarung der Rechenvorschrift (Kleeberg und Schumann 2000)) abzuschätzen.

Die Verfügbarkeit von Daten kann durch den Aufbau von Datenbanken verbessert werden. Diese müssen heutzutage keineswegs mehr zentral sein, sie können dezentral sein. Dezentrale Datenhaltung verlangt jedoch die Vorgabe einheitlicher Strukturen und eines einheitlichen Datenkonzeptes. Das könnte als Nachteil, wenn nicht sogar als unüberwindliches Problem empfunden werden. Dezentrale Datenhaltung hat jedoch den Vorteil, dass die Datenkorrektur und -ergänzung unmittelbar bei den Verantwortlichen erfolgt und redundante Datenhaltung, die schnell zu einem Auseinanderdriften der Inhalte der Datenbestände führt, unterbleibt.

Neben der Verbesserung der Datensituation ist anzustreben, zukünftig möglichst wenig auf empirische und regional gültige Formeln zurückzugreifen, sondern sich mehr auf die hydrologische Statistik und Niederschlag-Abfluss-Modelle zu stützen, bei denen vermutlich höhere Genauigkeiten erreicht werden können und deren Genauigkeitsgrenzen durch Sensitivitätsuntersuchungen besser abschätzbar sind.

4.9.4 Hinweis

Obwohl die vorgelegte Studie den Anspruch erheben möchte, die gesamte praktische Anwendung der Methoden und Verfahren zur Abschätzung seltener und extremer Hochwasserabflüsse in Deutschland repräsentativ wiederzugeben, sind sich die Autoren bewusst, dass Lücken vorhanden sind, weil auf Umfrageergebnisse zurückgegriffen werden musste. Es ist deshalb nicht auszuschließen, dass die Aktivitäten der einen oder anderen Institution übersehen worden sind und dass die Verfahren nicht ganz vollständig und unterschiedlich detailliert aufgelistet worden sind.

Die Autoren möchten den Bericht aktualisieren und verbessern und bitten deshalb darum, ihnen dazu alle erforderlichen Informationen über Einsatzbereiche und Verfahren zur Abschätzung von seltenen und extremen Hochwasserereignissen zukommen zu lassen (e-mail-Adresse: Kleeberg@iawg.de; siehe auch www.iawg.de).

Literatur

- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, BLfW (Hrsg.) (1999):** Hydrologische Planungsgrundlagen, Hochwasserlängsschnitt, Loseblattsammlung des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft.
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, BLfW (Hrsg.) (1999):** Hydrologische Planungsgrundlagen, EGLSYN, Loseblattsammlung des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft.
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, BLfW (Hrsg.) (1998):** Hydrologische Planungsgrundlagen, Hochwasser, Loseblattsammlung des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft.
- Bremicker, M., Ludwig, K., Richter K.-G. (1996):** Wasserhaushaltsmodelle für das Weser- und Ostsee-Einzugsgebiet. In: Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlicher Wasserbau der Universität Hannover, Heft 83:87-104.
- Bremicker, M., Ludwig, K., Richter K.-G. (1997):** Effiziente Erstellung mesoskaliger Wasserhaushaltsmodelle. In: Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 41, Heft 5:209-215.
- Bremicker, M., Ludwig, K., Richter K.-G. (1998):** Effiziente Erstellung mesoskaliger Wasserhaushaltsmodelle. In: PIK-Report: Modellierung des Wasser- und Stofftransportes in grossen Einzugsgebieten. No. 43:23-32.
- Bremicker, M.: (2000):** Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele -, Freiburger Schriften zur Hydrologie, Institut für Hydrologie der Universität Freiburg, Band 11, 2000.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (1997):** Stand und Einsatz mathematisch-numerischer Modelle in der Wasserwirtschaft. Veröffentlichung des BMU.
- Dalrymple, T. (1960):** Flood-frequency analysis, U.S. Geological Survey Water Supply Paper, 1543-A, 80 S.
- Deutscher Bundestag (1994):** Drucksache 469/94, Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie 90/313 EWG des Rates vom 7. Juni 1990 über den freien Zugang zu Informationen über die Umwelt.
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK (Hrsg.) (1984):** Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten. Teil II: Synthese. DVWK-Regeln, 113, 34 Seiten, Hamburg, Berlin.
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK (Hrsg.) (1999):** Hochwasserabflüsse. DVWK-Schriften 124, 254 Seiten, Bonn.
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK (Hrsg.) (1999):** Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. In: DVWK-Merkblätter 251, 42 Seiten, Bonn.
- Deutscher Wetterdienst, DWD (Hrsg.) (1997):** Starkniederschlagshöhen für Deutschland - KOSTRA, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main. (KOSTRA-Atlas, inzwischen auch als **KOSTRA-digital** beim ITWH / Hannover käuflich).
- Fügner, D., Schramm, M., Peter, A., Schiek, P. (1990):** Neue Methoden zur Berechnung von Hochwasserscheiteldurchflüssen mit Wahrscheinlichkeitsaussage. In: Wasserwirtschaft – Wassertechnik, Heft 5:112-114, Berlin.

- Gupta, V.K.; Mesa, O.J.; Dawdy, D.R. (1994):** Multiscaling theory of flood peaks: Regional quantile analyses, *Water Resources Research*, Vol. 30, No. 12, S. 3405-3421.
- Haupt, R., Miegel, K., Schramm, M., Walther, J. (1999):** Saisonalität und Regionalisierung von Hochwasserscheitelabflüssen in Mecklenburg-Vorpommern. In: *Wasserwirtschaft*, 89, 7-8:388-394.
- Hosking, J.R.M. & Wallis, J.R. (1997):** *Regional Frequency Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Melbourne.
- Ihringer, J., Kron, W. (1993):** Softwarepaket für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Anwenderhandbuch, Band 1: Hochwasseranalyse. Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe.
- Kleeberg, H.-B., Schumann, A. H. (2000):** Ableitung von Bemessungsabflüssen kleiner Überschreitungswahrscheinlichkeiten. *Wasserwirtschaft*, in Vorbereitung.
- Kleeberg, H.-B., Willems, W. (2000):** Informationssystem Hochwassertrends / Hochwasserwahrscheinlichkeiten, IsHoT / IsHoW, Benutzerhandbuch. Institut für Angewandte Wasserwirtschaft, München.
- Kluge C. (1996):** Wahrscheinlichkeitsanalysen von Hochwasserdurchflüssen. In: *Dresdner Berichte* 7, 122 Seiten, Dresden.
- Knauf, D. (1975):** Die Abflussbildung in schneebedeckten Einzugsgebieten des Mittelgebirges. Technischer Bericht aus dem Institut für Wasserbau der TH Darmstadt, Heft 17.
- Kreps, H. (1963):** Eine kritische Betrachtung von Hochwasserformeln. In: *Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich*, Nr. 36.
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (1999):** Hochwasserwahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg, Selbstverlag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 1. Auflage.
- Ludwig, K. (1979):** Das Programmsystem FGMOD zur Berechnung von Hochwasserabflussvorgängen in Flussgebieten. In: *Wasserwirtschaft* 69, Heft 7+8:226-228.
- Ostrowski, M.W. (1982):** Ein Beitrag zur kontinuierlichen Simulation der Wasserbilanz. *Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft*, Band 42, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.
- Plate, E.J., Schultz, G.A., Seus, G.J. & Wittenberg, H. (1977):** Ablauf von Hochwasserwellen in Gerinnen. Schriftenreihe des Kuratoriums für Wasser und Kulturbauwesen, Heft 27, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- Plate, E.J. (1993):** *Statistik und angewandte Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure*, Verlag Ernst & Sohn, Berlin.
- Schultz, G., A. (1998):** Kritische Überlegungen zur Bestimmung des Bemessungshochwasserabflusses. In: Bericht 82 der Versuchsanstalt Oberrach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München: 118-129.
- Schumann, A.H. & Pfützer, B. (1999):** Regionalisierung einer hochwasserstatistischen Verteilungsfunktion unter Anwendung eines Geographischen Informationssystems. In: "Bemessungsabflüsse für kleine Einzugsgebiete" Tagungsband zum Kolloquium vom 4./5. März 1999 an der Universität Kaiserslautern, Berichte des Fachgebietes Wasserbau und Wasserwirtschaft der Universität Kaiserslautern, Heft 9.

WASY (2000): Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH, Internet - Homepage, www.wasy.de.

WASY (1997): HQ-EX, Version 2.0, Benutzerhandbuch. WASY: Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH, 24 Seiten, Berlin.

Weingartner, R. (1999): Regionalhydrologische Analysen, Grundlagen und Anwendungen. In: Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 37, Bern.

Wundt W. (1949/1950): Die grössten Abflussspenden in Abhängigkeit von der Fläche. In: Die Wasserwirtschaft, Heft 2, Jahrgang 40:59-64.

Wundt W. (1965): Grenzwerte der Hochwasserspende und der mittleren Abflussspende in Abhängigkeit von der Fläche. In: Die Wasserwirtschaft, Heft 1, 55. Jahrgang.

Anlagen

1 Glossar

Den Begriffen, die in der Hochwasserhydrologie und bei der Anwendung der Methoden und Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen üblich sind, werden in der Praxis nicht immer die gleichen Bedeutungen zugeordnet. Das gilt beispielsweise für die Begriffe seltene und extreme Hochwasser, die Begriffe Parameter, Modellparameter, effektive Parameter, Kenngrößen und auch die Begriffe Kalibrierung, Verifikation, Validierung. Um Missverständnisse zu vermeiden, werden einige wichtige Begriffe, die in dem Bericht genannt sind, erläutert.

Seltene Hochwasserabflüsse

Als seltene Hochwasserabflüsse werden diejenigen Scheitelabflüsse bezeichnet, deren Überschreitungswahrscheinlichkeiten zwischen 10^0 und 10^{-2} pro Jahr liegen, in Ausnahmefällen auch bis $5 \cdot 10^{-2}$ pro Jahr (oder ausgedrückt in Wiederholungszeitspannen oder Jährlichkeiten im Bereich zwischen 1 und 500 Jahren). Das sind in der Regel Bemessungsabflüsse für Ausbaumaßnahmen und Schutzbauwerke.

Extreme Hochwasserabflüsse

Hochwasserereignisse, deren Überschreitungswahrscheinlichkeit kleiner gleich 10^{-3} pro Jahr (oder Wiederholungszeitspannen von 1'000 oder mehr Jahren) aufweisen, werden zu den extremen Abflüssen gezählt. Da sind in der Regel Bemessungsabflüsse für die Anlagensicherheit von Talsperren, Rückhaltebecken und anderen technischen Anlagen oder es sind Abflüsse zur Risikoabschätzung. Zu den extremen Abflüssen gehören aber auch Hochwasserereignisse, denen keine Wahrscheinlichkeiten mehr zugeordnet werden können. Das sind maximale Hochwasserabflüsse (HQ_{max}), maximierte oder sogenannte vermutlich grösste Hochwasserabflüsse (engl. Probable Maximum Flood, PMF).

Maximale Hochwasserabflüsse

Maximale Hochwasserabflüsse (HQ_{max}) sind Maxima der grössten beobachteten Ereignisse einer Region. Ein Beispiel dafür stellen Umhüllungskurven der grössten beobachteten Hochwasserabflüsse (HHQ) einer Region dar. Maximale Hochwasserabflüsse können gegebenenfalls von maximierten und vermutlich grössten Hochwasserabflüssen übertroffen werden.

Maximierte Hochwasserabflüsse

Maximierte Hochwasserabflüsse sind rechnerisch ermittelte extreme Hochwasserabflüsse. Sie werden entweder pragmatisch nach der statistischen Methode mit maximierten Parametern (z.B. der Schiefe) ermittelt oder mit Niederschlag-Abfluss-Modellen berechnet, wobei theoretisch angenommen wird, dass die hydrologischen und meteorologischen Randbedingungen in einer Kombination auftreten, die Abflussbildung, Abflusskonzentration und Wellenablauf so beeinflussen, dass jeweils höchste Abflüsse entstehen. Da kein Niederschlag-Abfluss-Modell für derartige extreme Abflüsse kalibriert werden kann, ist die Anwendung problematisch, solange kein Konsens über die Maximierung der Parameter oder der Randbedingungen, die einer N-A-Berechnung zugrunde zu legen sind, erfolgt ist. Allein von einer maximierten Niederschlagsbelastung (z.B. MGN) auszugehen, ist keine ausreichende Festlegung. Ein entsprechender Konsens steht z.Z. noch aus.

Vermutlich grösste Hochwasserabflüsse (engl. Probable Maximum Flood, PMF)

Vermutlich grösste Hochwasserabflüsse werden durch Transformation aus vermutlich grössten Niederschlägen PMP (engl. Probable Maximum Precipitation) oder aus maximierten Gebietsniederschlägen MGN berechnet. Der PMP oder der MGN ist der theoretisch grösste Niederschlag einer bestimmten Dauer, der über einem bestimmten Einzugsgebiet und zu einer bestimmten Jahreszeit physikalisch möglich ist. Die Transformation eines solchen Niederschlages in einen Hochwasserabfluss kann theoretisch über N-A-Beziehungen erfolgen. Dazu gilt das gleiche, das oben über maximierte Hochwasserabflüsse erwähnt ist. Aus pragmatischen Gründen und wegen der schwierigen Trennbarkeit von PMF's und maximierten Hochwasserabflüssen werden beide Begriffe im vorliegenden Bericht synonym verwendet.

Kalibrierung

Kalibrierung ist die Anpassung (Inwertsetzung, **Verifikation**) von Modellparametern der N-A-Modelle, die nicht aus anderen Kenngrößen abgeleitet werden können oder die dazu dienen, aus räumlich oder zeitlich punktuellen Parametern effektive Parameter zu machen, die für eine Fläche oder eine Zeitspanne repräsentativ sind. Für die Kalibrierung eines Modells müssen beobachtete Eingangs- und Ausgangsdaten bereitstehen. Eine Kalibrierung ist nur für das ausgewählte Einzugsgebiet gültig. Manchmal wird hierfür der Begriff Eichung verwendet. Das Eichen ist allerdings ein amtlicher Vorgang.

Validierung

Validierung ist die Prüfung der Tauglichkeit eines Modells mit den bereits kalibrierten Parametern für einen Zeitraum oder für Ereignisse, die nicht für die Kalibrierung herangezogen worden sind. Für die Validierung müssen ebenfalls beobachtete Eingangs- und Ausgangsdaten bereitstehen.

2 Übersicht zu den befragten Institutionen

Ergebnisse der Befragungen		Methode					
		A Empirische und regional gültige Formeln B Statistische Verfahren C Niederschlag-Abfluss-Modelle					
Bundesland / Behörde	Anschrift	Nutzung + ja - nein			Fragebogen abgegeben zu		
		A	B	C	A	B	C
1		2	3	4	5	6	7
Bayern: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft	Postfach 190 241 80602 München	+	+	+	+	+	+
Baden-Württemberg: Landesanstalt für Umwelt- schutz Wasser und Altlasten	Postfach 210 752 76157 Karlsruhe		+	+		+	+
Berlin:							
Brandenburg: Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumord- nung des Landes Branden- burg	Postfach 601 164 14411 Potsdam						
Bremen: Senator für Bau und Umwelt	Ansgaritorstr. 2 28195 Bremen						
Hamburg:							
Hessen: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie W3 Grundwasserschutz und Hydrologie	Rheingastr. 186 65203 Wiesbaden	+	+	+	+	+	+
Mecklenburg- Vorpommern: Landesamt für Umwelt Naturschutz und Geologie	Goldbergerstr. 12 18273 Güstrow						
Niedersachsen: Bezirksregierung Braun- schweig	Postfach 3247 38022 Braunschweig		+			+	
Niedersächsisches Landes- amt für Ökologie	Postfach 101 062 31110 Hildesheim	+	+		+	+	
Bezirksregierung Hannover	Postfach 203 30002 Hannover	+	+	+	+	+	+
Harzwasserwerke Abteilung Wasserwirtschaft	Nikolaistr. 8 31137 Hildesheim	+	+		+	+	
Nordrhein-Westfalen: Landesumweltamt NRW	Postfach 102 363 45023 Essen						
Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirt- schaft des Landes Nordrhein- Westfalen	Postfach 40190 Düsseldorf						
Rheinland-Pfalz: Ministerium für Umwelt und Forsten	Kaiser-Friedr.-Str. 1 55116 Mainz	+	+	+	+	+	+
Saarland: Landesamt für Umweltschutz Sachbereich 6.3	Don Bosco Str. 1 66119 Saarbrücken		+			+	
Sachsen: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie Wasser/Oberirdische Wasser	Postfach 800 100 01101 Dresden	+	+	+	+	+	+

Ergebnisse der Befragungen		Methode					
		A Empirische und regional gültige Formeln B Statistische Verfahren C Niederschlag-Abfluss-Modelle					
Bundesland / Behörde	Anschrift	Nutzung + ja - nein			Fragebogen abgegeben zu		
		A	B	C	A	B	C
1		2	3	4	5	6	7
Sachsen-Anhalt: Staatliches Amt für Umweltschutz, Magdeburg Abt. Gewässerschutz, Dezer- nat 3.2 Hydrologie	Postfach 4080 39015 Magdeburg	+	+	+	+	+	+
Staatliches Amt für Umweltschutz, Halle Abt. Gewässerschutz, Dezer- nat 3.2 Hydrologie	Postfach 600 113 06036 Halle		+	+		+	+
Schleswig-Holstein: Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten des Lan- des Schleswig-Holstein	Postfach 6209 24123 Kiel						
Thüringen: Thüringer Landesanstalt für Umwelt	Prüssingstr. 25 07745 Jena	+	+		+	+	
Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt Ref. 506 – Gewässerkun- de/Abflussregelung	Beethovenplatz 3 99085 Erfurt						

Ergebnisse der Befragung		Methode					
		A Empirische und regional gültige Formeln			B Statistische Verfahren		
		C Niederschlag-Abfluss-Modelle					
Büros und Institute Name	Anschrift	Nutzung + ja - nein			Fragebogen abgegeben zu		
		A	B	C	A	B	C
1		2	3	4	5	6	7
AB-WA Plan	Lochhamer Schlag 6 82166 Gräfelfing						
AEW Plan GmbH	Graeffstr. 5 50823 Köln						
Aggerverband	Sonnenstr. 40 51645 Gummersbach						
Agrar- und Hydrotechnik GmbH	Huyssenallee 66-68 45128 Essen	-	-	+			
Arbeitsbereich Wasserbau Prof. Dr. E. Paschke	Denickestr. 22 21073 Hamburg						
Beller Consult GmbH	Linnestr. 5 79110 Freiburg i.Br.						
Beratender Ingenieur für Wasserwirtschaft	Landmanngassl 8 82284 Grafrath						
Bergisch-Rheinischer Was- serverband	Düsselberger Str. 2 42781 Haan	-	+	+		+	+
BGS – Brandt-Gerdes- Sitzmann	Eschollmühle 28 64297 Darmstadt		+	+		+	+
Birkhahn + Nolte GmbH	Drosselweg 13 25569 Kremperheide						
Dr. Blasy + Mader Beratende Ingenieure	Moosstr. 3 82279 Eching a.A.	-	+	+		+	+
Björnsen Beratende Inge- nieure Erfurt GmbH	Brühler H-berg 2a 99092 Erfurt						
Björnsen Beratende Inge- nieure Koblenz GmbH	Kurfürstenstr. 87a 56068 Koblenz	-	+	+			
Büro für angewandte Hy- drologie Dr. B. Pfützner	Wollankstr. 117 13187 Berlin	-	+	+			+
Büro für Umweltbewertung und Geoökologie	Karl-Benner-Str. 10 35396 Giessen		-	+			
Consulting Engineers Salzgitter GmbH	Nord-Süd-Str. 1 38259 Salzgitter-Bad						
d + p Dänekamp + Partner	Nienhöfener Str. 29 25421 Pinneberg	-	-	-			
DAR Deutsche Abwasser- Reinigungs-Gesellschaft mbH	Nied. Köditzgasse 7 07318 Saalfeld						
Dorsch Consult Ingenieur- ges. mbH	Hansastr. 20 80686 München						
Dr. U. Temper & Partner	Schanzstr. 8 82216 Gernlinden						
einfalt & hydrotec GbR	Wakenitzmauer 33 23552 Lübeck	-	+	+			
Ertverband	Paffendorfer Weg 42 50126 Bergheim	-	+	+			
Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft Prof. Dr. G. Koehler	Erwin-Schröd.-Str. 67663 Kaiserslautern	-	+	+			
Lehrstuhl für Hydrologie und Wasserwirtschaft Prof. Dr. U. Grünwald	Th.-Neubauer-Str. 6 03046 Cottbus	-	+	+			+
Fendt Ingenieure GmbH	Bahnhofstr. 7 83093 Bad Endorf						
Herzog & Partner Beratende Ingenieure VBI	Im Bögel 7 76744 Wörth- Maximiliansau	-	-	+			+

Ergebnisse der Befragung		Methode					
		A Empirische und regional gültige Formeln					
		B Statistische Verfahren					
		C Niederschlag-Abfluss-Modelle					
Büros und Institute Name	Anschrift	Nutzung + ja - nein			Fragebogen abgegeben zu		
		A	B	C	A	B	C
HGN Hydrogeologie GmbH	Rothenburgstr. 10 99734 Nordhausen						
Hydro-Consult GmbH	Zossener Str. 55 10961 Berlin						
Hydroplan Ingenieur GmbH	Scheidtstr. 28 67547 Worms						
Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH (HPI)	Friedberger Str. 173 61118 Bad Vilbel	+	-	+			
Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH	Bachstr. 62-64 52066 Aachen	+	+	+	+	+	+
ia GmbH - Ingenieure et al. Produktions- und Umwelttechnik	Gotzinger Str. 48/50 81371 München						
igi Niedermeyer Institute GmbH	Hohenrüd. Str. 11 91747 Westheim						
IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH	Am Sportplatz 1 99735 Nordhausen-Leimbach						
Ing.-Büro für Geotechnik und Umweltgeologie	Johann-Langmantel-Str. 16 82061 Neuried						
Ingenieurbüro Dieter Gier Beratender Ingenieur BYIKBAU	Faustnerweg 7 81479 München						
Ingenieurbüro Dr. Dahlem Beratende Ingenieure	Bonsiepen 7 45136 Essen						
Ingenieurbüro Dr. Karl Ludwig	Herrenstr. 14 76133 Karlsruhe	+	+	+	+		+
Ingenieurbüro EDR GmbH	Hansastr. 28 80686 München	-	-	-			
Ingenieurbüro Fassnacht	Alpenstr. 31 87764 Legau						
Ingenieurbüro Fischer	Carolinenstr. 26 07973 Greiz						
Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau Herrn Bryknar	Sieglindenstr. 2 80639 München	-	-	-			
Ingenieurbüro Gerhard + Fuchs	Akademiestr. 7 80799 München	-	+	+			
Ingenieurbüro H. Köpf	Fraunhoferstr. 10/4 82152 Planegg						
Institut für Wasserbau FG Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung Prof. Dr. M. Ostrowski	Petersenstr. 13 64287 Darmstadt	-	+	+		+	+
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft Prof. Dr. A. Bardossy	Pfaffenwaldring 61 70569 Stuttgart	+	+	+			
Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik Abt. Hydrologie Dr. J. Ihringer	Kaiserstr. 12 76128 Karlsruhe	-	+	+		+	+
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlicher ... Prof. Dr. K. Lecher	Appelstr. 9A 30167 Hannover						
Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik	Putzbrunner Str. 80 85521 Ottobrunn		+	+		+	

Ergebnisse der Befragung		Methode						
		A Empirische und regional gültige Formeln B Statistische Verfahren C Niederschlag-Abfluss-Modelle						
Büros und Institute Name	Anschrift	Nutzung + ja - nein			Fragebogen abgegeben zu			
		A	B	C	A	B	C	
Lehrgebiet Wasser-Energie-Wirtschaft	Mies-van-der-Rohe-Str. 1 52074 Aachen							
Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik Prof. Dr. A. Schumann	Universitätsstr. 150 44801 Bochum		+			+		
Leichtweiss-Institut für Wasserbau Abt. Hydrologie und Wasserwirtschaft Prof. Dr. U. Maniak	Beethovenstr. 51a 38106 Braunschweig	+	+	+				
Linksniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft	Friedrich-Heinrich-Allee 64 47475 Kamp-Lintfort	-	+	+				
Lippeverband	Kronprinzenstr. 24 45128 Essen							
mll-WIS consult GbR	Havelstr. 7A 64295 Darmstadt							
W. Markgraf GmbH & Co.KG	Dieselstr. 9 95448 Bayreuth	-	-	-				
Netteverband	Hampoel 17 41334 Nettetal	-	-	-				
Niersverband	Freiheitsstr. 173 41747 Viersen							
Planungsbüro Obermeyer	Hansastr. 40 80686 München							
ProAqua	Turpinstr. 19 52066 Aachen	-	+	+				
RMD-Consult GmbH	Münchener Str. 12 85774 Unterföhring	+	-	+				
Ruhrverband – Talsperrenwesen	Kronprinzenstr. 37 45435 Essen	-	+	+				
Sachverständigenbüro für Grundwasser	Schrankenplatz 2/II 85435 Erding							
Schwalmverband	Bornerstr. 45 41379 Brüggen							
Staatliches Umweltamt Minden	Büntestr. 1 32427 Minden	+	+	+		+	+	
Dr.-Ing. E. Steinle	Am Hirschberg 18 83629 Weyarn	-	-	-				
Thiele + Büttner GbR	Domplatz 24 99084 Erfurt	+	+	+				
Universität-GH Paderborn, Abt. Höxter Prof. Dr. G. Meon	Wilhelmshöhe 44 37671 Höxter							
Wahnbachtalsperrenverband	Kronprinzenstr. 30 53721 Siegburg							
Wald & Corbe Beratende Ingenieure	Am Heckleklamm 18 76549 Hügelsheim		+	+				
Wasserverband Eifel-Rur	Stadtwerken 14 52351 Düren	-	-	-				
Wasserverband für das Obere Lippegebiet	Königstr. 16 33142 Büren	+	+	+				
Wasserverband Rhein-Sieg	53705 Siegburg							
Wasserverband Siegen - Wittgenstein	Einheitsstr. 23 57076 Siegen	-	-	-				
WASY GmbH	Goetheallee 21 01309 Dresden	+	+	+	+	+		

Ergebnisse der Befragung		Methode A Empirische und regional gültige Formeln B Statistische Verfahren C Niederschlag-Abfluss-Modelle					
Büros und Institute Name	Anschrift	Nutzung + ja - nein			Fragebogen abgegeben zu		
		A	B	C	A	B	C
Werre Wasserverband	Kreishausstr. 20 32051 Herford						
Winkler & Partner Ingenieur- büro	Schlossstr. 59 A 70176 Stuttgart	-	+	+		+	+
WPW Ingenieure GmbH	Feldmannstr. 72/74 66119 Saarbrücken			+			
Wupperverband	Zur Schafbrücke 6 42283 Wuppertal	+	+	-			
Zink Ingenieure Ingenieur- Büro für Tief- und Wasser- bau	Poststr. 1 77884 Lauf						

3 In den Fragebögen genannte Anwendungen

Empirische und regional gültige Formeln	
Verfahren	Institution
Hüllkurve nach Wundt	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2 Ingenieurbüros 1 Wasserverband 2 Hochschulen
Rationale Methode	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie Staatliches Umweltamt Minden 3 Ingenieurbüros
Andere empirische Ansätze zur Berechnung von Hochwassern	Thüringer Landesanstalt für Umwelt Staatliches Amt für Umweltschutz, Magdeburg Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie 4 Ingenieurbüros 2 Verbände 1 Hochschule

Statistische Verfahren auf der Basis von Abflussdaten – Lokale Ansätze	
Verfahren	Institution
HQ-EX	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie Bezirksregierung Braunschweig Niedersächsisches Landesamt für Ökologie Harzwasserwerke Thüringer Landesanstalt für Umwelt Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern Staatliches Amt für Umweltschutz, Magdeburg 4 Ingenieurbüros 3 Hochschulen
EXTREM	Landesamt für Umweltschutz, Saarbrücken Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie Thüringer Landesanstalt für Umwelt Landesanstalt für Umwelt, Baden-Württemberg Harzwasserwerke Staatliches Umweltamt Minden 3 Ingenieurbüros 1 Wasserverband 1 Hochschule
IsHoT+W	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft Niedersächsisches Landesamt für Ökologie Thüringer Landesanstalt für Umwelt 1 Ingenieurbüro
KLUDON	Anwender des Softwareproduktes NASIM
HVERT	1 Ingenieurbüro
HQ _{10.000}	Noch unbekannt
Hwsaar	Landesamt für Umweltschutz Saarland

Statistische Verfahren auf der Basis von Abflussdaten – Regionalhydrologische Ansätze	
Verfahren	Institution
HQ-Längsschnitt	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft Niedersächsisches Landesamt für Ökologie 1 Ingenieurbüro
HQ-REGIO	Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie Staatliches Amt für Umweltschutz Sachsen Anhalt Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg Vorpommern
Verfahren des LfU in Baden-Württemberg	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Reg-Ex	Staatliches Amt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt 1 Hochschulinstitut
IsHoT+W	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft Niedersächsisches Landesamt für Ökologie Thüringer Landesanstalt für Umwelt 1 Ingenieurbüro

Deterministische Niederschlag-Abfluss-Modelle – Blockmodelle	
Verfahren	Institution
EGLSYN	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

Deterministische Niederschlag-Abfluss-Modelle – Flächendetaillierte Modelle	
Verfahren	Institution
FGM	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie 6 Ingenieurbüros 1 Wasserverband 1 Hochschulinstitut
NASIM	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie Staatliches Umweltamt Minden 3 Ingenieurbüros 4 Wasserverbände
LARSIM / FGMOD	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz 1 Ingenieurbüro 1 Hochschulinstitut
HYBNAT	1 Ingenieurbüro
ARC/EGMO	1 Ingenieurbüro
ASGI	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 1 Ingenieurbüro
NAMLFW	Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz
HEC-1, HEC-2	Staatliches Amt für Umweltschutz, Halle 1 Ingenieurbüro
Hochwasservorhersagemodell Bode	Staatliches Amt für Umweltschutz, Magdeburg
PIRAY	1 Ingenieurbüro
BCENA	1 Ingenieurbüro
NAXOS	1 Hochschulinstitut
CURE	1 Ingenieurbüro
Fluss	1 Ingenieurbüro

4 Anwendungsbereiche, Aufwand und Güte der Verfahren

Empirische und regional gültige Formeln					
Verfahren	Anwendungsbereich		Aufwand		Güte der Resultate
	T [a]	EZG-Fläche [km ²]	zeitlich	finanziell	Schwankungsbreite
Hüllkurve nach Wundt	100	keine Einschränkung	sehr gering	keiner	--
Rationale Methode	10 - 100	1 - 10	mittel	keiner	--

Statistische Verfahren auf der Basis von Abflussdaten – Lokale Ansätze					
Verfahren	Anwendungsbereich		Aufwand		Güte der Resultate
	T [a]	EZG-Fläche [km ²]	zeitlich	finanziell	Schwankungsbreite
HQ-EX	1 - 1'000, selten bis 10'000	10 - 100'000	mittel	gering, Progr.-kosten	Konfidenzintervalle
EXTREM	1 - 1'000, selten PMF	10 - 7'000	mittel	gering, Progr.-kosten	Konfidenzintervalle
IsHoT+W	1 - 200	1 - 100'000	mittel	gering, Progr.-kosten	Konfidenzintervalle
KLUDON	1 - 100	1 - 10'000	hoch	mittel, Progr.-kosten	Konfidenzintervalle
HVERT	1 - 100	1 - 100'000	mittel	gering, Progr. frei	Konfidenzintervalle
HQ _{10'000}	10'000	1 - 500	sehr gering	sehr gering	unbekannt

Statistische Verfahren auf der Basis von Abflussdaten – Regionalhydrologische Ansätze					
Verfahren	Anwendungsbereich		Aufwand		Güte der Resultate
	T [a]	EZG-Fläche [km ²]	zeitlich	finanziell	Schwankungsbreite
HQ-Längsschnitt	1 - 100	1 - 10'000	höher	gering,	10 - 25 %
HQ-REGIO	1 - 100	10 - 5'000	nach Anpassung sehr gering	--	20 %
LfU Baden-Württemberg	1 - 100	10 - 13'000	sehr gering	höher, nicht verkäuflich	30 %
Reg-Ex	100	--	nach Anpassung sehr gering	höher, Programmkosten unbekannt	--
IsHoT+W	1 - 200	10 - 100'000	gering	gering, Progr.-kosten	10 - 25 %

Deterministische Niederschlag-Abfluss-Modelle – Blockmodelle					
Verfahren	Anwendungsbereich		Aufwand		Güte der Resultate
	T [a]	EZG-Fläche [km ²]	zeitlich	finanziell	Schwankungsbreite
EGLSYN	1 - 1'000	0,1 - 150	mittel	--	--

Deterministische Niederschlag-Abfluss-Modelle – Flächendetaillierte Modelle					
Verfahren	Anwendungsbereich		Aufwand		Güte der Resultate
	T [a]	EZG-Fläche [km ²]	zeitlich	finanziell	Schwankungsbreite
FGM	1 - HQ _{max}	1 - 4'000	mittel	--	30 %
NASIM	1 - HQ _{max}	< 5'000	hoch	--	--
LARSIM / FGMOD	1 - 1'000 selten auch HQ _{max}	10 - 100'000	hoch - sehr hoch	--	--
HYBNAT	1 - HQ _{max}	< 10'000	hoch	--	--
ARC/EGMO	1 - 100	< 5'000	hoch	--	30 %
ASGi	1 - 100	< 10'000	sehr hoch	--	30 %

5 Länderbericht Niederlande

H. Buiteveld

5.1 Einleitung

Die Niederlande sind ein „Waterland“, ein wasserreiches Land, was der Lage im Delta grosser Flüsse wie Rhein und Maas inhärent ist. Das Wasser bringt uns Wohlstand, aber auch Gefahr. Zur Hebung des Wohlstandes und zur Einschränkung der Gefahr versuchen wir schon jahrhundertlang, unsere Fähigkeit zur Wasserkontrolle möglichst gut einzusetzen (ICID 1993). Die Gefahr des Wassers kommt von zwei Seiten, von den Flüssen und vom Meer. Im Rahmen dieses Projektes beschränkt sich dieser Länderbericht auf die Flüsse. Bezüglich der Abschätzung von Hochwasserabflüssen geht es um die Frage, bis zu welchem Abfluss Schutz von Hab und Gut gewährt wird. In Anbetracht der Grösse und Art des potentiellen Überschwemmungsgebietes ist der Bemessungsabfluss ein Parameter von grosser gesellschaftlicher Bedeutung.

Im folgenden Kapitel wird als erstes ein geschichtlicher Überblick über den Hochwasserschutz in den Niederlanden skizziert (nach Bennekom und Parmet 1998). Danach wird die Methodik, mit welcher heute der Bemessungsabfluss des Rheins in den Niederlanden bestimmt wird beschrieben. Insbesondere wird dabei auch auf die problematischen Punkte eingegangen, welche sich bei der Bestimmung des Bemessungsabflusses beim Pegel Lobith ergeben.

5.2 Geschichte des Hochwasserschutzes in den Niederlanden

Die ersten Bewohner der Niederlande siedelten sich vor vielen Tausend Jahren auf den höher gelegenen Böden an. Seit dem Frühmittelalter wurden mehr und mehr Deiche gebaut, um die landwirtschaftlichen Nutzflächen vor zu häufiger Überflutung zu schützen. Schon im 14. Jahrhundert bestand ein geschlossenes Deichringsystem entlang der Flüsse, wodurch das Deichhinterland immer mehr genutzt werden konnte. Regelmässig gab es infolge von unvernünftigen Flussverwaltungen Überschwemmungen. Die Abflussverteilung über die unterschiedlichen Rheinäste spielte eine wichtige Rolle. Seit Anfang des 17. Jahrhunderts hat man sich bemüht, die Abflussverteilung zu verbessern. Massnahmen hatten öfters nicht die gewünschte Wirkung und wurden ausserdem durch Widerstand der beteiligten Städte und Provinzen erschwert, die damals ein bedeutender Machtfaktor waren (Ploeger 1982). Als Rijkswaterstaat 1798 gegründet wurde, wurde die Flussverwaltung zu einem nationalen Interesse. Die wichtigste damalige Aufgabe von Rijkswaterstaat war (und es ist noch immer eine der Kernaufgaben des heutigen Rijkswaterstaat), mittels einer guten Flussverwaltung für trockene Füsse zu sorgen.

Seit 1798 wurde auf zentraler Ebene am Hochwasserschutz gearbeitet, namentlich durch die Regulierung der Flussläufe und die Verstärkung der Deiche. Die Deichhöhe wurde auf der Grundlage des höchsten gemessenen Wasserstandes plus eines Freibords angesetzt. Das Freibord variierte im allgemeinen von 0,8 bis 1 m (Huitema 1947). Diese Methode auf der Grundlage des höchsten gemessenen Wasserstandes wurde bis zum Winter 1952/1953 verwendet. Am 1. Februar 1953 verursachte ein schwerer Sturm aus Nordwesten eine Sturmflut, die viele Deichbrüche zur Folge hatte. Insgesamt kamen 1'800 Menschen ums Leben und der Sachschaden war enorm. Nach drei Wochen war die Deltakommission eingesetzt und an die Arbeit gegangen. Es ging um die Frage, wie die Wiederholung einer solchen Katastrophe zu verhindern sei. Die Kommission begründete das heutige Schutzniveau in den Niederlanden, welches nicht länger auf den Höchstwasserständen, sondern auf der Überschreitungswahrscheinlichkeit sogenannter Bemessungswasserstände basiert.

Für die Niederlande wurde die Überschreitungswahrscheinlichkeit oder die Sicherheitsnorm nicht konstant vorgegeben. Das Flussgebiet im Osten der Niederlande erhielt ein tieferes Schutzniveau als der dicht besiedelte Westen. Ein wichtiger Grund dafür war das Risiko für die Bevölkerung. Die Warnzeit im Fall einer Sturmflut ist erheblich kürzer als jene bei einem Hochwasserereignis in den Flüssen. Ein anderer wichtiger Grund war der Umfang der zu erwartenden Schäden. Die heutige

Norm gründet auf einer mittleren jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von $1/1'250$ an den Flüssen und bis zu $1/10'000$ im Westen des Landes (vgl. Abb. 5.1). Bei den Flüssen mit Gezeiten Einfluss ist der Abfluss der wichtigste Faktor für die Bestimmung der Bemessungswasserstände. Die Wasserstände werden aufgrund des $1'250$ jährlichen Abflusses ermittelt. Mit einem Zuschlag für Wellenschlag, Setzung des Deichkörpers und Bodensenkung, wird die endgültige Deichhöhe ermittelt. Seit 1996 werden die Sicherheitsnormen im Gesetz über Wasserschutzbauwerke festgelegt. Darin steht auch, dass der Hochwasserschutz in fünfjährlichem Turnus überprüft werden muss und die Bemessungsvorgaben alle fünf Jahre erneut festgelegt werden müssen. Der Minister legt sie in sogenannten „Rahmenbedingungsbüchern“ fest.

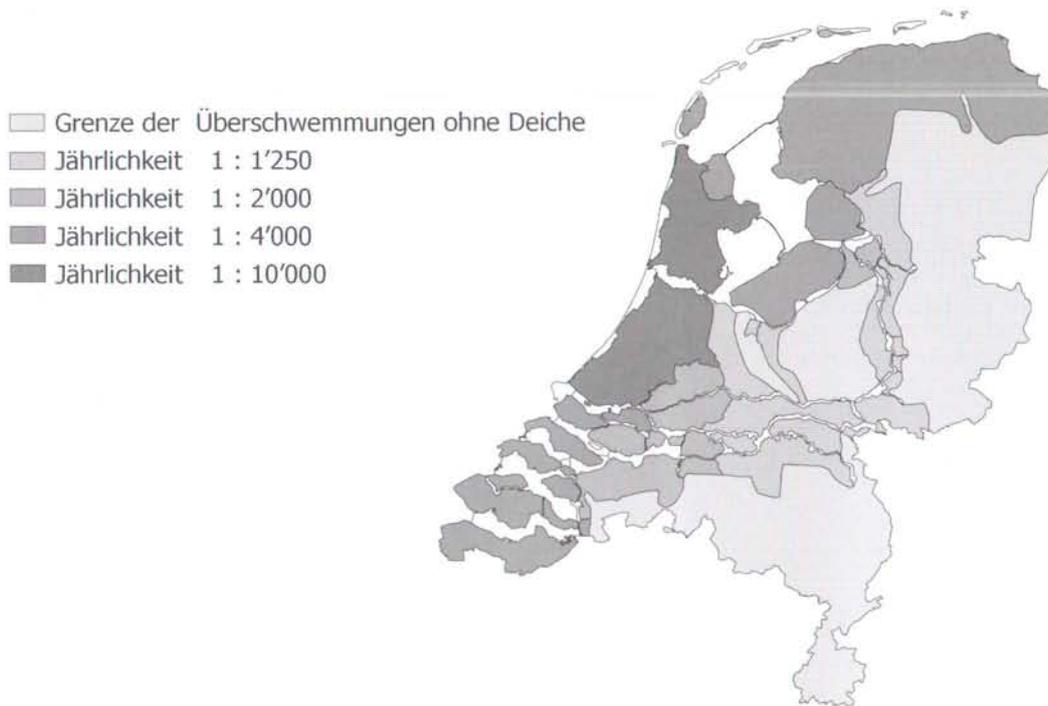


Abb. 5.1 Deichringe und Jährlichkeiten.

Bemessungsabfluss

Im Hinblick auf die grossen gesellschaftlichen Folgen sind Änderungen des Bemessungsabflusses unerwünscht. Jedoch, seit Einführung der auf Überschreitungswahrscheinlichkeit begründeten Methodik, hat sich der Bemessungsabfluss oftmals geändert. Neue Einsichten in Bezug auf Normfestsetzung, aber auch in Bezug auf die zu verwendenden Verfahren, haben eine wichtige Rolle gespielt. Auch die Natur, entweder durch den Menschen beeinflusst oder nicht, hat dazu beigetragen.

Der Bemessungsabfluss wurde 1956 zum ersten Mal ermittelt. Mit den vorhandenen Abflussreihen wurde eine Extrapolation zu einem $3'000$ jährlichen Hochwasser aufgrund der logarithmischen Verteilungsfunktion durchgeführt. Der Bemessungsabfluss bei Lobith wurde damals auf $18'000 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt. Der damalige Minister für Verkehr, Wasserwirtschaft und Öffentliche Arbeiten hielt diesen Bemessungsabfluss für einen „sehr sicheren Ausgangspunkt“. Aufgrund dieses Abflusses wurden Deichverstärkungen entworfen und durchgeführt. Diese Arbeiten waren umfangreich, weil die Deiche ursprünglich für einen Höchstabfluss von $12'600 \text{ m}^3/\text{s}$ gebaut worden waren. In der Gesellschaft wuchs der Widerstand, was zu Verzögerungen im Deichverstärkungsprogramm führte.

Deshalb wurde 1975 eine Sonderkommission gegründet, die Kommission Flussdeiche, auch als Kommission Becht bezeichnet. Ihre Empfehlung war, dass statt einer mittleren jährlichen Über-

schreitungswahrscheinlichkeit von $1/3'000$, eine Wahrscheinlichkeit von $1/1'250$ ein gutes Schutzniveau für das Flussgebiet war. Der Minister für Verkehr, Wasserwirtschaft und Öffentliche Arbeiten übernahm diesen Vorschlag. Man widmete der Absicherung des Bemessungsabflusses viel mehr Aufmerksamkeit als im Jahre 1956. Literaturstudien, Beratungen mit Sachverständigen in Deutschland und in der Schweiz und eine Homogenitätsuntersuchung der Daten führte zur Schlussfolgerung, dass am Pegel Lobith kein deutlicher Einfluss infolge von Einzugsgebietseingriffen oder Klimaänderungen zu spüren war. Nach den damaligen Erkenntnissen wurde zur Darstellung der Spitzenabflüsse in Lobith aus sechs Verteilungen die linear-exponentielle Verteilungsfunktion als die Besteigetestete betrachtet (Rijkswaterstaat 1976). Der Bemessungsabfluss, mit einer mittleren Wiederkehrperiode von $1'250$ Jahren, wurde aufgrund der Zeitreihe 1901-1975 auf $16'500 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt. Auch wurde ein Zuverlässigkeitsintervall festgesetzt. Die 95 %-Obergrenze für den Bemessungsabfluss betrug $19'050 \text{ m}^3/\text{s}$, mit einer Bandbreite von etwa 15 %. Diese grosse Unsicherheit ist der statistischen Extrapolation der relativ kurzen Zeitreihe inhärent. Ausserdem ist die Homogenität der Zeitreihe nicht optimal, und daher ist die richtige Häufigkeitsverteilung nicht bekannt. Es ist interessant, dass der ursprüngliche Bemessungsabfluss von $18'000 \text{ m}^3/\text{s}$ gut in das 95 %-Vertrauensintervall passt (vgl. Abb. 5.2).

Dieser erste Sprung im Bemessungsabfluss war nicht der letzte. Das Niederwassergerinne erwies sich als rauher als erwartet, so dass die Reduktion des Bemessungsabflusses nicht auch eine Reduzierung der erforderlichen Deichhöhe zur Folge hatte. Die Deiche mussten sogar noch erhöht werden. Die Deichverstärkungen stiessen nach wie vor auf grossen gesellschaftlichen Widerstand. Deshalb machte sich 1992 die Kommission zur Prüfung der Ausgangspunkte für Flussdeichverstärkungen (Kommission Boertien) an die Arbeit. Diese Kommission hat den Bemessungsabfluss erneut eingehend analysiert. Die Sicherheitsnorm blieb unverändert, aber der Bemessungsabfluss wurde aufgrund von Extrapolationen mit drei unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen (Gumbel, Pearson III, log-normal) und der längeren Zeitreihe (1901-1990) neu geschätzt.

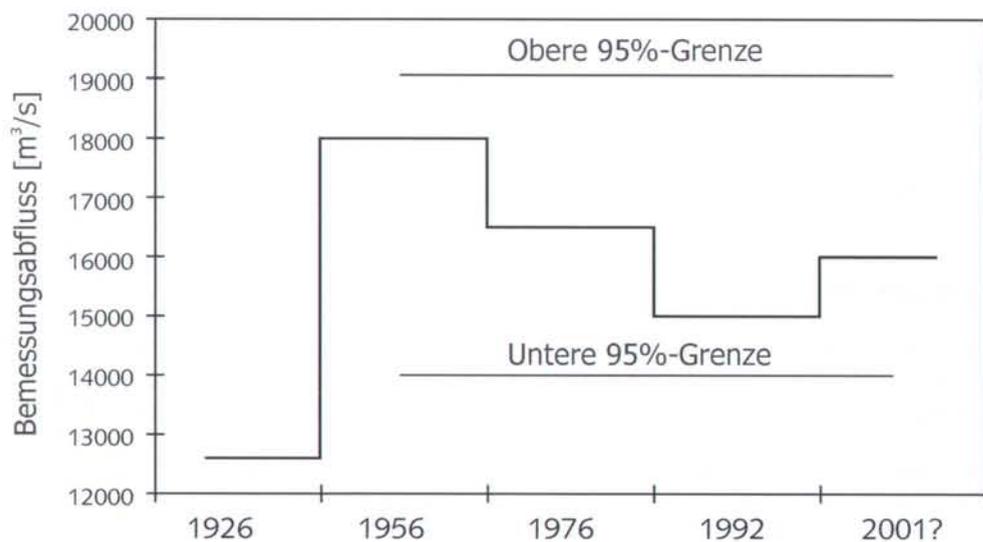


Abb. 5.2 Sprünge beim Bemessungsabfluss Lobith.

Nicht nur in dieser Hinsicht wurde die Methodik angepasst. Im Gegensatz zur Arbeit der Kommission Becht ergaben sich neue Erkenntnisse, insbesondere aus der Hochwasser Studienkommission. Diese Kommission wies nach, dass die Flussbauwerke am Oberrhein eine Erhöhung der Abflussspitzen in Lobith bewirkten. Aufgrund einer Analyse wurde für diese Flussbauwerke eine erhöhende Wirkung des Bemessungsabflusses um $1'000 \text{ m}^3/\text{s}$ angenommen. Unter Berücksichtigung der vorgesehenen Massnahmen zur Hochwasserrückhaltung wurde jedoch lediglich von einer Erhöhung des Bemessungsabflusses um $500 \text{ m}^3/\text{s}$ ausgegangen. Entsprechend kam man zu einem neuen Bemessungsabfluss von $15'000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Verkeer en Waterstaat 1993). Das Problem einer kurzen

Messreihe und deren Homogenität soll in einem weiteren Schritt, basierend auf einem statistischen Niederschlagsgenerator und einem hydrologisch/hydraulischen Modell für das Rheingebiet, angegangen werden (Parmet et al. 1999).

Ein wesentliches Problem ist dabei die Genese von Hochwasserereignissen. Erwartet wird, dass der Niederschlagsgenerator mehr Einsichten in das Geneseproblem liefert, insbesondere auch in Hinblick auf mögliche Klimaveränderungen und deren Auswirkungen auf die Abflussverhältnisse im Rhein. Zugleich wird auf eine Methode hingearbeitet, die auch Überschwemmungsgefahren einbezieht. Ein solches Verfahren bietet die Möglichkeit, nicht nur Bemessungswasserstände, sondern auch andere Aspekte bei der Festlegung des Sicherheitsniveaus, wie Deichbruchgefahr und Hochwasserschäden zu berücksichtigen. Dies bedeutet, dass nicht nur die Höhe, sondern auch die Dauer einer Abflussschwelle sowie deren Unsicherheiten in Höhe und Dauer mitberücksichtigt werden müssen. Dieses Verfahren bietet zudem die Möglichkeit eines Vergleichs mit anderen Sicherheitsrisiken, beispielsweise mit dem von Flugzeugkatastrophen oder mit dem von Störfällen in Chemiewerken.

5.3 Hochwasserabschätzung $HQ_{1\cdot250}$ in den Niederlanden

Seit 1996 werden die Sicherheitsnormen für den Hochwasserschutz in den Niederlanden gesetzlich festgelegt (Gesetz über Wasserschutzbauwerke). Darin ist vorgesehen, dass der bestehende Hochwasserschutz fünfjährlich neu zu ermitteln ist; die Bemessungsvorgaben werden danach gegebenenfalls erneut festgelegt. Hierzu gibt der Minister sogenannte Rahmenbedingungenbücher heraus. Die Norm für die Flussgebiete ohne Gezeiteinfluss besteht in einer mittleren jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von $1/1\cdot250$. Der Bemessungsabfluss ist der hauptsächlich bestimmende Wert für die mit einer 2-dimensionalen Wasserspiegellagenberechnung zu ermittelnden Bemessungswasserstände. Mit Zuschlägen für Wellenschlag, Setzung des Deichkörpers und Bodensenkung wird die endgültige Deichhöhe festgelegt. Der ($1\cdot250$ jährliche) Bemessungsabfluss wird statistisch ermittelt aus einer Zeitreihe, der am Pegel Lobith gemessenen Scheitelabflüsse, unter Verwendung von theoretischen Verteilungsfunktionen (Parmet und Langemheen 2000).

Die Inhomogenität der Daten des Pegels Lobith infolge des Ausbaus des Oberrheins wird berücksichtigt. Anhand von Modellhochwassern wird untersucht, welchen Effekt die Ausbaumassnahmen bei einem Abfluss von HQ_{200} haben (Lammersen et al. 2000). Anhand dieser Erkenntnisse wird die Zeitreihe des Pegels bei Lobith auf den Zustand 1977 homogenisiert und einer statistischen Analyse unterzogen.

Der Bemessungsabfluss wird unter Anwendung vier unterschiedlicher Verteilungsfunktionen (Gumbel, Pearson III, Lognormal, Exponentialverteilung) ermittelt. Mit der Wahl der Verteilungsfunktion wird allerdings zu einem Teil auch die Art der Zeitreihe festgelegt. Die drei erstgenannten Verteilungsfunktionen sind geeignet für die Verwendung von Jahresmaxima. In den Niederlanden werden dazu die Höchstabflüsse der hydrologischen Jahre gewählt. Für die Exponentialverteilung werden Scheitelwerte benutzt. Das Programm HYMOS von Delft|Hydraulics wird zur Anpassung der Daten an die statistischen Verteilungen verwendet.

Anwendungsbereiche, Erfahrungen

Weil nicht klar ist, welche Verteilungsfunktion am besten geeignet ist, hat man sich für die Verwendung von 4 statistischen Verteilungsfunktionen entschieden. Die Gumbelverteilung (extreme value type I) gibt eine gute Anpassung an Abflüsse über $7\cdot000\text{ m}^3/\text{s}$. Abflüsse unterhalb dieses Wertes werden in diesem Fall nicht berücksichtigt. Der genannte Schwellenwert wurde visuell festgelegt. Für die Pearson III und die Log-normal-Verteilung gelten keine Schwellenwerte. Das $HQ_{1\cdot250}$ bei Lobith wird als Mittelwert der vier genannten Verteilungen festgelegt (vgl. Tab. 5.1 und Abb. 5.3 bis 5.6).

Tab. 5.1 Resultate der statistischen Verteilungsfunktionen für den Pegel Lobith nach der Methode Boertien II (Parmet et al. 2000).

Jährlichkeit [Jahr]	Pearson III	Lognormal	Gumbel $Q_0 = 7'000$	Exponential	Mittelwert	Vertrauensintervall (95 %)	
						untere Grenze	obere Grenze
25	10'766	10'715	10'838	10'973	10'823	9'720	11'900
50	11'644	11'583	11'910	12'063	11'800	10'420	13'170
100	12'469	12'402	12'974	13'153	12'750	11'070	14'430
250	13'497	13'430	14'374	14'594	13'974	11'880	16'090
500	14'240	14'177	15'432	15'685	14'884	12'470	17'340
1'000	14'957	14'904	16'488	16'775	15'781	13'050	18'580
1'250	15'183	15'134	16'828	17'126	16'068	13'230	18'980
2'500	15'873	15'840	17'885	18'216	16'954	13'780	20'220
5'000	16'546	16'533	18'941	19'306	17'832	14'330	21'470
10'000	17'205	17'215	19'997	20'396	18'703	14'860	22'710

Q_0 = Schwellenwert bei der Gumbel-Verteilung [m^3/s]

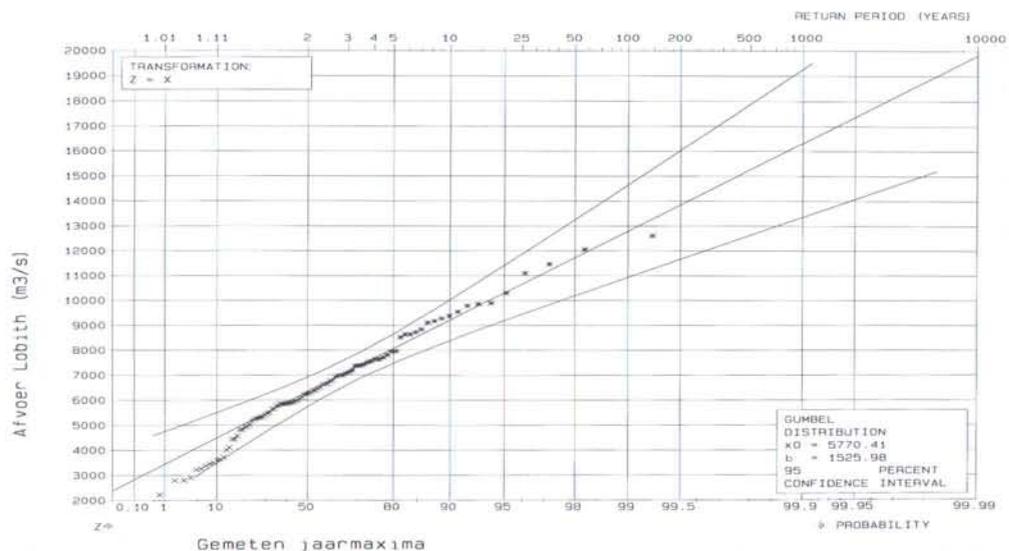


Abb. 5.3 Frequenzverteilung für Jahresmaxima mit der Gumbel-Verteilung mit einem Schwellenwert von $7'000 m^3/s$.

Notwendiger Input

Die Methode zur Bestimmung des $HQ_{1,250}$ ist ein statistisches Verfahren. Die benötigten Daten sind abgeleitet von der Zeitreihe (1901 bis 1998) der Scheitelabflüsse beim Pegel Lobith. Verwendet werden Jahresmaxima (von hydrologischen Jahren) oder partielle Serien von Abflüssen. Es ist notwendig, dass die Zeitreihe homogenisiert wird.

Aufwand

Die Methode zur Bestimmung des Bemessungsabflusses in den Niederlanden ist sehr arbeitsintensiv. Alle 5 Jahre muss der Bemessungsabfluss festgelegt werden. Die Zeit für die ganze Festlegung beträgt etwa 2 bis 3 Jahre. Hierin miteinbezogen sind die statistische Analyse, die Homogenisierung der Datenreihe und die 2-dimensionale Wasserstandsberechnung in den Rheinästen in den Niederlanden.

Güte der Resultate

Einen 1'250jährigen Abfluss aus einer Zeitreihe von nur knapp 100 Jahren ableiten zu müssen, ist problematisch. Die Bestimmung des Bemessungsabflusses basiert darum auf mehreren statistischen Extremwertverteilungen. Die benutzten Verteilungen sind mit dem Vertrauensintervall grafisch abgebildet (vgl. Abb. 5.4 bis 5.6). Das $HQ_{1'250}$ wird als Mittelwert der vier Verteilungen festgelegt. In Tabelle 5.1 sind die Resultate und das 95 %-Vertrauensintervall aufgelistet.

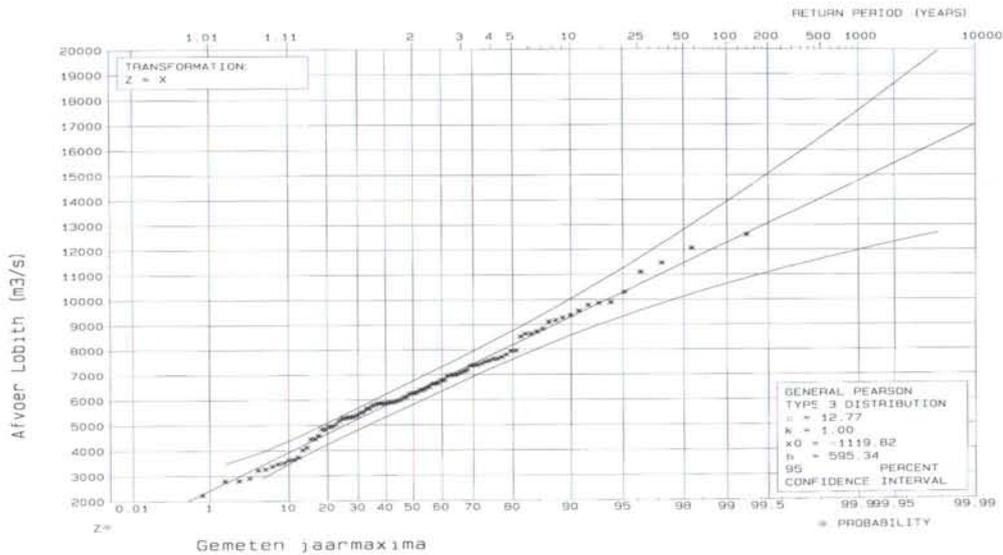


Abb. 5.4 Frequenzverteilung für Jahresmaxima mit der Pearson III-Verteilung.

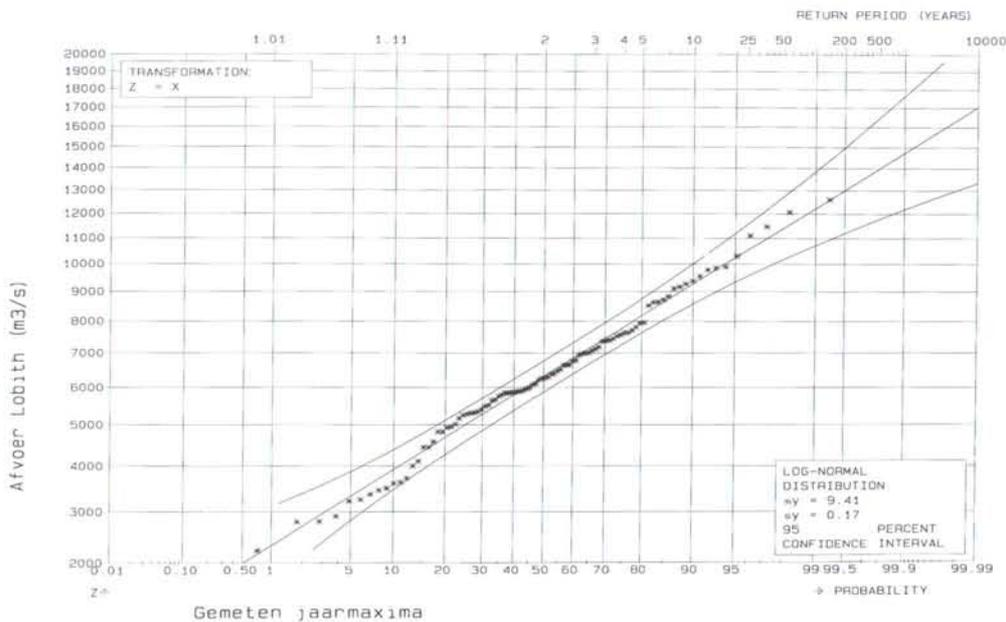


Abb. 5.5 Frequenzverteilung für Jahresmaxima mit der Lognormal-Verteilung.

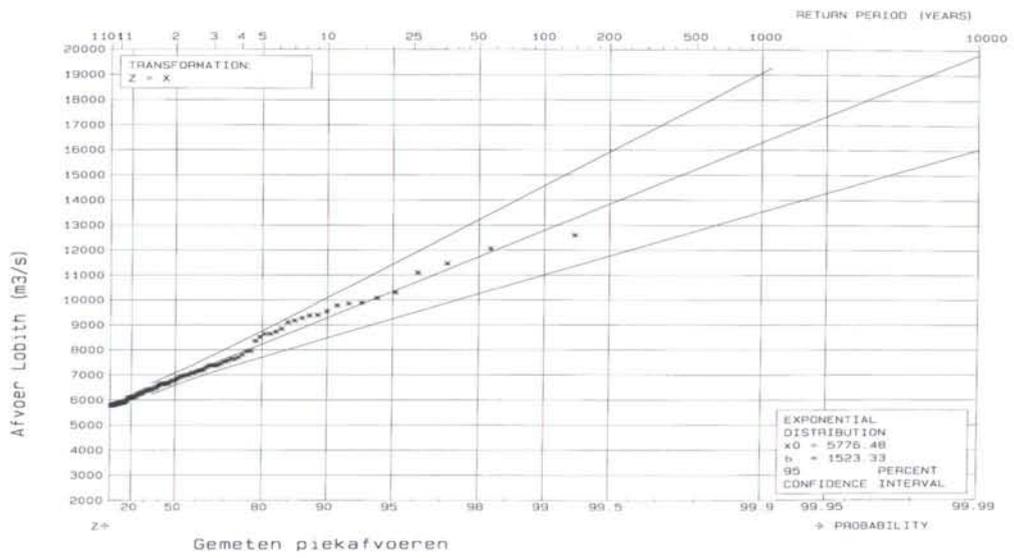


Abb. 5.6 Frequentieverteilung für Scheitelabflüsse mit der Exponential-Verteilung.

Literatur

- van Bennekom, A., Parmet B.W.A.H. (1998):** Bemessungsabfluss in den Niederlanden – menschliche Einflüsse und andere Unsicherheiten. BfG Mitteilungen 16:125-131, Koblenz.
- Huitema, T. (1947):** Dijken. Amsterdam.
- ICID (1993):** Man-made lowlands: history of water management and land reclamation in the Netherlands. Utrecht.
- Lammersen, R., Busch, N., Engel, H. (2000):** Einfluss der geplanten Retentionsmassnahmen an Ober- und Niederrhein auf extreme Abflüsse am Niederrhein. BFG-1221, Koblenz.
- Parmet, B.W.A.H., Buishand, T.A., Brandsma, T., Mülders, R. (1999):** Design discharge of the large rivers in the Netherlands, towards a new methodology. IAHS General Assembly, Birmingham.
- Parmet, B.W.A.H., v.d. Langemheen, H., Chbab, H., Kwadijk, J., Diermanse, F., Klopstra, D. (2000):** Analyse van de maatgevende afvoer van de Rijn te Lobith. RIZA rapport 2000.xxx, Arnhem.
- Parmet, B.W.A.H., Langemheen, W. (2000):** Hochwasserstatistik. Ermittlungen in den Niederlanden. RIZA, Beitrag zum Abschlussbericht der Hochwasserstudien-gruppe für den Rhein in Nordrhein-Westphalen, Arnhem.
- Ploeger, B. (1982):** Bouwen aan de Rijn. Rijkswaterstaat serie, nr. 53.
- Rijkswaterstaat (1976):** Overschrijdingskansen van uitzonderlijke hoge Bovenrijnafvoeren. Rijkswaterstaat, nota 76.13.
- Verkeer en Waterstaat (1993):** Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen, deelrapport 2: maatgevende belastingen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.

CHR/KHR (1978): Das Rheingebiet, Hydrologische Monographie. Staatsuitgeverij, Den Haag/ Le bassin du Rhin. Monographie Hydrologique. Staatsuitgeverij, La Haye. ISBN 90-12017-75-0. Nicht mehr lieferbar.

Katalog/Catalogue 1 SPROKKEREEF, E. (1989): Verzeichnis der für internationale Organisationen wichtigen Messstellen im Rheingebiet / Tableau de stations de mesure importantes pour les organismes internationaux dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-08-8

Berichte der KHR

Rapports de la CHR

- I-18 KOS, Th.J.M.; SCHEMMER, H.; JAKOB, A. (2000): Feststoffmessungen zum Vergleich von Messgeräte und Messmethoden im Rhein, 10-12 März 1998. ISBN 90-36953-54-5
- I-17 ENGEL, H. (1999): Eine Hochwasserperiode im Rheingebiet. Extremereignisse zwischen Dez. 1993 und Febr. 1995. ISBN 90-70980-28-2
- I-16 GRABS, W. (ed.) (1997): Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. ISBN 90-70980-26-6
- I-15 ENGEL, H. (1997): Fortschreibung der Monographie des Rheingebietes für die Zeit 1971-1990 / Actualisation de la Monographie du Bassin du Rhin pour la période 1971-1990. ISBN 90-70980-25-8
- I-14 EMMENEGGER, CH. et al. (1997): 25 Jahre KHR. Kolloquium aus Anlass des 25jährigen Bestehens der KHR / 25 ans de la CHR. Colloque à l'occasion du 25e anniversaire de la CHR. ISBN 90-70980-24-x
- I-13 SPREAFICO, M., MAZIJK, A. VAN (éd.) (1997): Modèle d'alerte pour le Rhin. Un modèle pour la prévision opérationnelle de la propagation de produits nocifs dans le Rhin. ISBN 90-70980-23-1
- I-12 SPREAFICO, M.; MAZIJK, A. VAN (Red.) (1993): Alarmmodell Rhein. Ein Modell für die operationelle Vorhersage des Transportes von Schadstoffen im Rhein. ISBN 90-70980-18-5
- I-11 BUCK, W.; FELKEL, K.; GERHARD, H.; KALWEIT, H.; MALDE, J. VAN; NIPPES, K.-R., PLOEGER, B., SCHMITZ, W. (1993): Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen - Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft / Le Rhin sous l'influence de l'homme - Aménagement, navigation, gestion des eaux. ISBN 90-70980-17-7
- I-10 NIPPES, K.-R. (1991): Bibliographie des Rheingebietes / Bibliographie du bassin du Rhin. ISBN 90-70980-13-4
- I-9 CHR/KHR (1990): Das Hochwasser 1988 im Rheingebiet / La crue de 1988 dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-11-8
- I-8 ENGEL, H., SCHREIBER, H.; SPREAFICO, M., TEUBER, W.; ZUMSTEIN, J.F. (1990): Abflussermittlung im Rheingebiet im Bereich der Landesgrenzen / Détermination des débits dans les régions frontalières du bassin du Rhin. ISBN 90-70980-10-x
- I-7 MENDEL, H.-G. (1988): Beschreibung hydrologischer Vorhersagemodelle im Rheineinzugsgebiet / Description de modèles de prévision hydrologiques dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-06-1
- I-6 TEUBER, W. (1987): Einfluss der Kalibrierung hydrometrischer Messflügel auf die Unsicherheit der Abflussermittlung. Ergebnisse eines Ringversuchs / Influence de l'étalonnage des moulinets hydrométriques sur l'incertitude des déterminations de débits. Résultats d'une étude comparative. ISBN 90-70980-05-3
- I-5 TEUBER, W.; VERAART, A.J. (1986): Abflussermittlung am Rhein im deutsch-niederländischen Grenzbereich / La détermination des débits du Rhin dans la région frontalière germano-hollandaise. ISBN 90-70980-04-5
- I-4 BUCK, W.; KIPGEN, R.; MADE, J.W. VAN DER; MONTMOLLIN, F. DE; ZETTL, H.; ZUMSTEIN, J.F. (1986): Berechnung von Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit im Rheingebiet / Estimation des probabilités de crues et d'étiages dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-03-7
- I-3 HOFIUS, K. (1985): Hydrologische Untersuchungsgebiete im Rheingebiet / Bassins de recherches hydrologiques dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-02-9

I-2 GERHARD, H.; MADE, J.W. VAN DER; REIFF, J.; VREES, L.P.M. DE (1983): Die Trocken- und Niedrigwasserperiode 1976. (2. Auflage 1985) / La sécheresse et les basses eaux de 1976. (2ème édition, 1985). ISBN 90-70980-01-0

I-1 GREBNER, D. (1982): Objektive quantitative Niederschlagsvorhersagen im Rheingebiet. Stand 1982 (nicht mehr lieferbar) / Prévisions objectives et quantitatives des précipitations dans le bassin du Rhin. Etat de la question en 1982 (édition épuisée)

Berichte unter der Schirmherrschaft der KHR

Rapports sous l'égide de la CHR

II-16 MAZIJK, A. VAN; GILS, J.A.G. VAN; WEITBRECHT, V.; VOLLSTEDT, S. (2000): ANALYSE und EVALUIERUNG der 2D-MODULE zur Berechnung des Stofftransportes in der Windows-Version des RHEINALARMMODELLS in Theorie und Praxis. ISBN 90-36953-55-3

II-15 KWADIJK, J.; DEURSEN, W. VAN (1999): Development and testing of a GIS based water balance model for the Rhine drainage basin. ISBN 90-70980-31-2

II-14 MAZIJK, A. VAN; LEIBUNDGUT, CH.; NEFF, H.-P. (1999): Rhein-Alarm-Modell Version 2. 1. Erweiterung um die Kalibrierung von Aare und Mosel. Kalibrierungsergebnisse von Aare und Mosel aufgrund der Markierversuche 05/92, 11/92 und 03/94. ISBN 90-70980-30-4

II-13 DRÖGE, B., HENOCH, H.; KELBER, W.; MAHR, U.; SWANENBERG, T.; THIELE-MANN, T., THURM, U. (1999): Entwicklung eines Längsprofils des Rheins. Bericht für die Musterstrecke von Rhein-km 800 - 845. Arbeitsgruppe 'Sedimenttransport im Rhein' Projekt 3. ISBN 90-70980-29-0

II-12 SCHÄDLER, B. (Red.) (1997): Bestandsaufnahme der Meldesysteme und Vorschläge zur Verbesserung der Hochwasservorhersage im Rheingebiet. Schlussbericht der IKSR-Arbeitseinheit 'Meldesysteme / Hochwasservorhersage' - Projektgruppe 'Aktionsplan Hochwasser' / Annonce et prévision des crues dans le bassin du Rhin. Etat actuel et propositions d'amélioration. Rapport final de l'unité de travail 'Systèmes d'annonce / prévision des crues' - Groupe de projet 'Plan d'action contre les inondations'. ISBN 90-70980-27-4

II-11 SPREAFICO, M., LEHMANN, C., SCHEMMER, H.; BURGDORFFER, M.; KOS, T.L. (1996): Feststoffbeobachtung im Rhein, Beschreibung der Messgeräte und Messmethoden. ISBN 90-70980-22-3

II-10 WILDENHAHN, E.; KLAHOLZ, U. (1996): Grobe Speicherseen im Einzugsgebiet des Rheins. ISBN 90-70980-21-5

II-9 WITTE, W., KRAHE, P.; LIEBSCHER, H.-J. (1995): Rekonstruktion der Witterungsverhältnisse im Mittelrheingebiet von 1000 n. Chr. bis heute anhand historischer hydrologischer Ereignisse. ISBN 90-70980-20-7

II-8 MENDEL, H.-G. (1993): Verteilungsfunktionen in der Hydrologie. ISBN 90-70980-19-3

II-7 NEMEC, J. (1993): Comparison and selection of existing hydrological models for the simulation of the dynamic water balance processes in basins of different sizes and on different scales. ISBN 90-70980-16-9

II-6 CHR/KHR (1992): Contributions to the European workshop Ecological Rehabilitation of Floodplains, Arnhem, The Netherlands, 22-24 September 1992. ISBN 90-70980-15-0

II-5 MADE, J.W. VAN DER (1991): Kosten-Nutzen-Analyse für den Entwurf hydrometrischer Messnetze / Analyse des coûts et des bénéfices pour le projet d'un réseau hydrométrique. ISBN 9070980-14-2

II-4 MAZIJK, A. VAN; VERWOERDT, P., MIERLO, J. VAN, BREMICKER, M.; WIESNER, H. (1991): Rheinalarmmodell Version 2.0 - Kalibrierung und Verifikation / Modèle d'alerte pour le Rhin version 2.0 - Calibration et vérification. ISBN 90-70980-12-6

II-3 SCHRÖDER, U. (1990): Die Hochwasser an Rhein und Mosel im April und Mai 1983 / Les crues sur les bassins du Rhin et de la Moselle en avril et mai 1983. ISBN 90-70980-09-6

II-2 GRIFFIOEN, P.S. (1989): Alarmmodell für den Rhein / Modèle d'alerte pour le Rhin. ISBN 90-70980-07-x

II-1 MADE, J.W. VAN DER (1982): Quantitative Analyse der Abflüsse (nicht mehr lieferbar) / Analyse quantitative des débits (édition épuisée)

INFORMATIONEN ÜBER DIE KHR

Die Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR)

Die KHR ist eine Organisation, in der wissenschaftliche Institutionen der Rheinanliegerstaaten gemeinsam hydrologische Grundlagen für die nachhaltige Entwicklung im Rheingebiet erarbeiten.

Mission und Aufgaben der KHR sind

- Erweiterung der Kenntnisse über die Hydrologie des Rheingebietes durch:
 - gemeinsame Untersuchungen
 - Austausch von Daten, Methoden und Informationen
 - Entwicklung standardisierter Verfahren
 - Veröffentlichungen in einer eigenen Schriftenreihe
- Beiträge zur Lösung von grenzüberschreitenden Problemen durch die Entwicklung, Verwaltung und Bereitstellung von:
 - Informationssystemen (KHR-Rhein-GIS)
 - Modellen, wie z.B. Wasserhaushaltsmodelle und das Rhein-Alarmmodell

Die Länder, die sich daran beteiligen, sind

die Schweiz, Österreich, Deutschland, Frankreich, Luxemburg und die Niederlande.

Beziehung zur UNESCO und WMO

Die KHR wurde 1970 anlässlich der UNESCO-Empfehlung zur Förderung einer engeren Zusammenarbeit in internationalen Flussgebieten gegründet. Seit 1975 erfolgt die Fortsetzung der Arbeiten im Rahmen des Internationalen Hydrologischen Programms (IHP) der UNESCO und des Operationellen Hydrologischen Programms (OHP) der WMO.

Auszug aus den KHR-Aktivitäten für das Jahr 2001

Hochwasser

Das Projekt „Übersicht über Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen“ soll dazu beitragen, ein Werkzeug bereitzustellen, das es erlaubt, das im Hinblick auf verfügbare Messungen optimale Modell bzw. die geeignetste Modellkombination zu identifizieren.

Mit dem Projekt „DEFLOOD“ wird ein Beitrag zur Unterstützung des nachhaltigen Hochwassermanagements geleistet. Es zielt darauf ab, anhand von Referenzhochwassern Methoden für die Analyse der Wirksamkeit von Massnahmen zur Hochwasserrückhaltung im Rheineinzugsgebiet zu entwickeln.

Sediment

Sedimentation und Erosion können zu Problemen hinsichtlich der Fahrwassertiefe für die Schifffahrt, zu Austrocknung sowie zu einer Unterhöhlung von Fundamenten, Schädigung der Natur und Beeinträchtigung der Landschaftswerte führen. Die KHR-Untersuchungen richten sich im Jahr 2001 auf die Untersuchung von morphologischen Modellen, die im Rheineinzugsgebiet eingesetzt werden.

Rhein-GIS

Das geographische Informationssystem ist eine Datenbank des Rheineinzugsgebietes mit digitalisierten geographischen und hydrologischen Kenngrößen. Diese Datenbank umfasst auch meteorologische Zeitreihen. Das Rhein-GIS der KHR wird bei stets mehr Untersuchungen, bei denen die KHR als Partner fungiert, eingesetzt. Das System wird 2001 um neue Klimadaten erweitert und mit einer anwenderfreundlichen Benutzeroberfläche versehen.

Das Rhein-Alarmmodell sagt bei Schadstoffeinleitungen den Verlauf der Verunreinigung vorher. Die Anwenderfreundlichkeit und Zuverlässigkeit des Modells wurde neulich in Zusammenarbeit mit den niederländischen Anwendern des Modells erheblich verbessert.

Nähere Informationen über die KHR finden Sie auf der Website: www.chr-khr.org

La Commission internationale pour l'Hydrologie du bassin du Rhin (CHR)

La CHR est une organisation regroupant les instituts scientifiques des Etats riverains du Rhin dans le but d'établir des bases hydrologiques pour un développement durable dans le bassin du Rhin.

Mission et tâches de la CHR

- Elargir les connaissances sur l'hydrologie du bassin versant du Rhin par le biais:
 - de la recherche commune
 - de l'échange de données, méthodes et information
 - du développement de procédures normalisées
 - de publications dans les séries CHR
- Contribuer à la résolution de problèmes transfrontaliers par la réalisation, la gestion et la mise à disposition de:
 - systèmes d'information (SIG Rhin CHR)
 - modèles, par exemple des modèles de gestion des eaux et le Modèle d'Alarme pour le Rhin

Les pays suivants apportent leur collaboration

la Suisse, l'Autriche, l'Allemagne, la France, le Luxembourg et les Pays-Bas.

Relation avec l'UNESCO et l'OMM

La CHR a été fondée en 1970 sur la recommandation de l'UNESCO en vue de favoriser une collaboration plus étroite entre les bassins versants internationaux. Depuis 1975, les activités se poursuivent dans le cadre du Programme Hydrologique International (PHI) de l'UNESCO et du Programme Hydrologique Opérationnel (PHO) de l'OMM.

Sélection des activités de la CHR en 2001

Crues

Le projet „Inventaire des méthodes utilisées pour la détermination des débits de crues dans les bassins versants de taille moyenne“ vise à contribuer au développement d'un instrument permettant de déterminer le modèle optimal ou la combinaison la plus appropriée de modèles à utiliser en fonction des mesures disponibles.

Le projet „DEFLOOD“ contribue à une gestion durable des crues. L'objectif est de développer des méthodes pour analyser l'efficacité des mesures de réduction des niveaux de crues dans le bassin versant du Rhin en se basant sur des crues de référence.

Sédiments

La sédimentation et l'érosion peuvent provoquer des problèmes de profondeur du chenal pour la navigation, de tarissement, d'affaiblissement de fondations, de dommages à la nature et de nuisance aux intérêts paysagers. En 2001, l'étude de la CHR a concentré ses efforts sur les modèles morphologiques qui sont utilisés dans le bassin versant du Rhin.

SIG Rhin

Le Système d'Information Géographique est une base de données pour le bassin versant du Rhin et contient des données de base géographiques et hydrologiques numérisées. Cette base de données comprend aussi des séries temporelles météorologiques. Le SIG Rhin de la CHR est de plus en plus utilisé lors d'études auxquelles participe la CHR. Le système a été enrichi par de nouvelles données climatologiques et a été doté d'une interface utilisateur conviviale.

Le Modèle d'Alarme pour le Rhin prévoit la propagation de la contamination lors de rejets de substances toxiques. Une bonne collaboration avec les utilisateurs du modèle a permis d'améliorer considérablement sa convivialité ainsi que sa fiabilité en 2001.

Pour de plus amples informations sur la CHR, consultez le site Internet: www.chr-khr.org

De Internationale Commissie voor de Hydrologie van het Rijngebied (CHR)

De CHR is een organisatie, waarin de wetenschappelijke instituten van de Rijnsoeverstaten gezamenlijk hydrologische grondslagen voor een duurzame ontwikkeling in het Rijngebied uitwerken.

Missie en taken van de CHR

- Uitbreiden van de kennis over de hydrologie van het Rijnstroomgebied door:
 - gemeenschappelijk onderzoek
 - uitwisseling van gegevens, methoden en informatie
 - ontwikkeling van gestandaardiseerde procedures
 - publicaties in de CHR-reeksen
- Bijdragen aan het oplossen van grensoverschrijdende problemen door het maken, beheren en beschikbaar stellen van:
 - informatiesystemen(CHR Rijn GIS)
 - modellen, b.v. waterhuishoudingsmodellen en het Rijn Alarmmodel

Samenwerkende landen zijn

Zwitserland, Oostenrijk, Duitsland, Frankrijk, Luxemburg en Nederland.

Relatie met UNESCO en WMO

De CHR werd in 1970 opgericht naar aanleiding van een advies van de UNESCO om een nauwere samenwerking tussen internationale stroomgebieden te bevorderen. Sinds 1975 worden de werkzaamheden voortgezet in het kader van het Internationale Hydrologische Programma (IHP) van de UNESCO en van het Operationele Hydrologische Programma (OHP) van de WMO.

Selectie uit CHR-werkzaamheden in 2001

Hoogwater

Het project „Overzicht van toegepaste methoden voor het schatten van hoogwaterafvoeren voor middelgrote stroomgebieden” moet ertoe bijdragen om een instrument te ontwikkelen, waarmee in relatie tot de beschikbaarheid van metingen het optimale model of de meest geschikte combinatie van modellen kan worden bepaald.

Met het project „DEFLOOD” wordt een bijdrage geleverd aan de ondersteuning van duurzaam hoogwatermanagement. Het doel is methoden te ontwikkelen ter analysering van de effectiviteit van maatregelen ter verlaging van hoogwaterstanden in het Rijnstroomgebied op basis van referentie hoogwaters.

Sediment

Sedimentatie en erosie kunnen leiden tot problemen bij de vaargeuldiepte voor de scheepvaart, tot verdroging, ondermijning van fundamenteen, schade aan de natuur en aantasting van de landschappelijke waarden. Het CHR onderzoek concentreert zich in 2001 op bestudering van de morfologische modellen die in het Rijnstroomgebied worden gebruikt.

Rijn GIS

Het Geografische Informatiesysteem is een databank voor het Rijnstroomgebied met gedigitaliseerde geografische en hydrologische basisgegevens. Deze databank omvat ook meteorologische tijdreeksen. Het CHR Rijn-Gis wordt bij steeds meer onderzoeken ingezet, waarbij de CHR partner is. Het systeem werd in 2001 uitgebreid met nieuwe klimaatgegevens en voorzien van een gebruiksvriendelijke user interface.

Het Rijn Alarmmodel voorspelt bij lozingen van schadelijke stoffen het verloop van de verontreiniging. In goede samenwerking met de gebruikers van het model is de gebruiksvriendelijkheid en robuustheid van het model in 2001 aanzienlijk verbeterd.

Meer informatie over de CHR kunt u vinden op de website: www.chr-khr.org

International Commission for the Hydrology of the Rhine basin (CHR)

The CHR is an organisation in which the scientific institutes of the Rhine riparian states develop joint hydrological measures for sustainable development of the Rhine basin.

CHR's mission and tasks

- Acquiring knowledge of the hydrology of the Rhine basin through:
 - joint research
 - exchange of data, methods and information
 - development of standardised procedures
 - publications in the CHR series
- Making a contribution to the solution of cross-border problems through the formulation, management and provision of:
 - information systems (CHR Rhine GIS)
 - models, e.g. models for water management and the Rhine Alarm model

Co-operating countries

Switzerland, Austria, Germany, France, Luxembourg and the Netherlands.

Relationship with UNESCO and WMO

The CHR was founded in 1970 following advice by UNESCO to promote closer co-operation between international river basins. Since 1975, the work has been continued within the framework of the International Hydrological Programme (IHP) of the UNESCO and the Operational Hydrological Programme (OHP) of the WMO.

Selection of CHR activities in 2001

High water

The „Summary of allied processes for estimating high water discharges for meso-scale catchment areas“ project is to contribute to the development of a tool, to identify the best model or combination of models in the context of available measurements.

The „DEFLOOD“ project will contribute to sustainable high water management. The objective is to develop methods for analysing the effectiveness of measures to reduce high waters in the Rhine basin on the basis of high water references.

Sediment

Sedimentation and erosion can lead to problems in the navigable depth for shipping, to dehydration, to undermining of foundations, as well as to damage to nature and the landscape. CHR research in 2001 concentrated on the study of morphological models used in the Rhine catchment area.

Rhine GIS

The Geographical Information System is a database for the Rhine catchment area, holding digitised geographical and hydrological parameters. The database also covers meteorological time series. The CHR Rhine GIS is used in increasingly more studies, to which the CHR is a partner. In 2001, the system was expanded with new climatic data and equipped with a user-friendly GUI.

The Rhine Alarm model forecasts the progress of pollution following the discharge of harmful substances. In co-operation with its users, the model's user friendliness and sturdiness was considerably improved in 2001.

For more information on the CHR, refer to the web site: www.chr-khr.org

KOLOPHON

Publikation der CHR/KHR

Sekretariat, Postfach17

8200 AA Lelystad

Niederlande

Email: info@chr-kh.org

Website: www.chr-khr.org

Übersetzungen: Password Translations, Heino

Drucker: Veenman drukkers, Ede

ISBN: 90-36954-11-8



Secretariaat CHR/KHR
Zuiderwagenplein 2

Postbus 17
8200 AA Lelystad
Niederlande/Pays-Bas