

## Hydrologisches Niederschlag-Abfluss-Modell und wasserwirtschaftliche Untersuchungen für das Kinzig-Einzugsgebiet

Bernd Beyer, Josef Krebs, Uta Ling, Franz Zior

### 1. Problemstellung, Einführung

Das ca. 1.060 km<sup>2</sup> umfassende Einzugsgebiet der hessischen Kinzig ist in wasserwirtschaftlicher Hinsicht und als Naherholungsgebiet von großer Bedeutung. Die zunehmenden Eingriffe in das Abflusssystem mit ihren negativen Auswirkungen auf das Gewässer als Ökosystem erfordern eine Überarbeitung der vorhandenen Planungen der Abflussregelung des Hochwasserschutzes. In Bild 1 ist das Einzugsgebiet der Kinzig in der Übersicht dargestellt.



Bild 1: Einzugsgebiet der Kinzig

Da ein aus den 70er Jahren vorliegendes N-A-Modell in seinen Modellbausteinen nicht mehr dem aktuellen Stand der hydrologischen Modelltechnik entspricht, wurde im Auftrag des RP Darmstadt, vertreten durch das Staatliche Umweltamt Hanau ein neues N-A-Modell erstellt, das als Planungsinstrument zu folgenden Fragestellungen der Abflussregelung einsetzbar ist.

#### A. Hochwasserschutz und Hochwassersicherheit im Einzugsgebiet der Kinzig

- Beschreibung des Ist-Zustandes
- Hochwasserschutz unter optimaler Steuerung der Kinzig-Talsperre
- Aufzeigen der Möglichkeiten des dezentralen Hochwasserschutzes
- Auswirkungen der Reaktivierung natürlicher Überschwemmungsgebiete
- Überprüfung von Überschwemmungsflächen

#### B. Niedrigwasserführung

- Optimierung der Speicherbewirtschaftung der Kinzig-Talsperre
- Darstellung der Niedrigwasserabflußverhältnisse für den Ist-Zustand
- Darstellung der Auswirkungen von Nutzungsänderungen

Die Untersuchungen wurden in zwei Bearbeitungsstufen [1, 2] durchgeführt.

Für die Simulation des N-A-Prozesses, einschließlich des Bodenfeuchtespeichers wurde ein Langzeit-Simulationsmodell aufgestellt. Sämtliche raumbezogenen Daten, wie z. B. Einzugsgebiete, Bodennutzung, Bodenarten etc. wurden von den jeweils zuständigen Landesbehörden in digitaler Form übernommen und verarbeitet.

## 2 Beschreibung des Einzugsgebietes

### 2.1 Topographie

Die Kinzig ist ein rechter Nebenfluß des Mains. Sie entspringt bei Sterbfritz in einer Höhe von rd. NN+400 m und mündet bei Hanau in NN+98,80 m Höhe in den Main.

Der größte Teil des Einzugsgebietes besitzt Mittelgebirgscharakter.

Die Topographie des nördlichen Einzugsgebietes prägen der Vogelsberg mit seinem Ausläufer Büdinger Wald sowie die Randbereiche der Wetterau.

Die südliche Begrenzung des Einzugsgebietes bilden Spessart und Vorspessart. Die Kinzigmündung liegt in der Hanauer Senke, die der Großstruktur der Unter-Mainebene zuzuordnen ist.

Im Oberlauf der Kinzig und den Nebengewässern überwiegen steile Geländeformen. Entsprechend stark ist das Sohlgefälle der Gewässer. Die Kinzig selbst verliert etwa bei Schlüchtern deutlich an Gefälle. Sie fließt von hier ab in einer breiten Talaue, die als natürlicher Retentionsraum wirkt. Einen künstlichen Retentionsraum stellt die Kinzig-Talsperre bei Ahl dar, die 1982 in Betrieb genommen wurde.

### 2.2 Geologie

Die Geologie im Einzugsgebiet der Kinzig wird geprägt durch die geomorphologischen Hauptstrukturen von Vogelsberg, Spessart mit Vorspessart und Unter-Mainebene.

Die ältesten Gesteine bildet das Kristallin des Vorspessart. Hier tritt das variszische Grundgebirge in Form von Metamorphiten (Schiefer, Gneise) zu Tage.

Im Südosten überlagert das Rotliegend mit Fanglomeraten und Konglomeraten das Spessartkristallin. Ein weiteres Rotliegend-Vorkommen befindet sich in der Wetterausenke. Hier überwiegen Schiefertone und Sandsteine.

In weiten Teilen des südöstlichen Einzugsgebietes stehen die mächtigen triasischen Sandsteine des Spessarts an. Relikte von Muschelkalk finden sich bei Wächtersbach.

Der Nordosten des Kinzig-Einzugsgebietes wird fast ausschließlich von den Basalten des Vogelsbergs eingenommen. Sie weisen Mächtigkeiten von bis zu 100 m auf und besitzen je nach Ausbildung wechselnde Durchlässigkeit.

Die im Mündungsbereich der Kinzig anschließende Unter-Mainebene wird charakterisiert durch ihre mächtigen pleistozänen Talfüllungen. Hier kamen insbesondere in den Flußtälern sandig-kiesige Sedimente zur Ablagerung. Die Hänge sind überwiegend mit Löß und Flugsanden überdeckt.

Die jüngste geologische Einheit bilden die Flußablagerungen des Holozän. Sie werden überwiegend von Auelehm gebildet und erreichen Mächtigkeiten von bis zu 5 m.

## 3 Räumliche Eingangsdaten

### 3.1 Datengrundlage

Grundlage der Einteilung des Einzugsgebietes der Kinzig in Teileinzugsgebiete bildete das

in digitaler Form vorliegende gewässerkundliche Flächenverzeichnis von Hessen. Unter hydrologischen Gesichtspunkten wurden diese Teileinzugsgebiete zum Teil weiter untergliedert. Insbesondere wurden Städte und größere Ortslagen ausgegrenzt, die als künstlich entwässerte Flächen modelliert wurden. Bei insgesamt rd. 500 Modellbausteinen wurden 275 Teilgebiete festgelegt.

Als Grundlage für die Bestimmung der Zeitflächenfunktionen für die einzelnen Teileinzugsgebiete lag das digitale Höhenmodell (DHM) für das gesamte Einzugsgebiet der Kinzig in einem 40 m Raster vor. Die Daten des digitalen Höhenmodells wurden über die ArcView-Extension "Spatial Analyst" für die weitere Bearbeitung umgesetzt. In Bild 2 ist das DHM für das Teilgebiet des Elmbachs dargestellt.

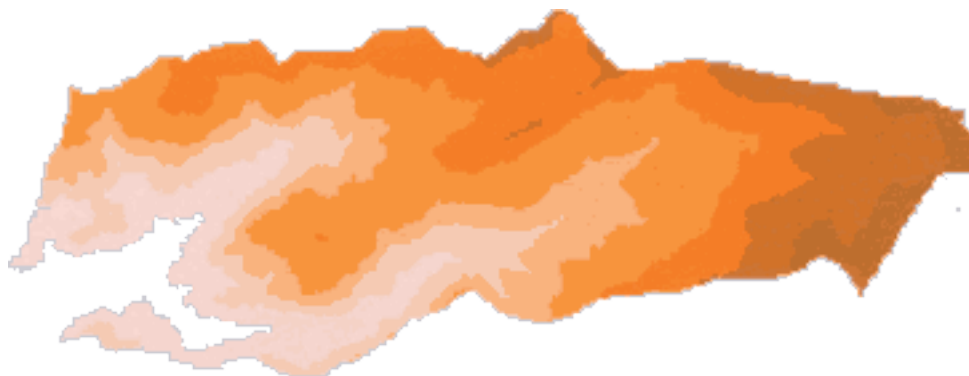


Bild 2: Digitales Höhenmodell des Einzugsgebietes des Elmbaches

Zudem lagen für das Einzugsgebiet der Kinzig Daten des "Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem" (ATKIS) vor. Diese Daten dienen zur Untergliederung der verschiedenen Nutzungsarten.

In Bild 3 sind die Nutzungsdaten beispielhaft für das Teilgebiet des Elmbachs dargestellt.



Bild 3: Nutzung im Einzugsgebiet des Elmbaches

Vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung (HLfB) wurden für die Bearbeitung des N-A-Modells Kinzig digitale Bodendaten bereitgestellt. Die Anzahl und Dicke der Bodenhorizonte und deren hydrologischen Eigenschaften (Feldkapazität, kf-Wert, etc.) wurden berücksichtigt.

Bild 4 zeigt auszugsweise die digitalen Bodendaten.



Bild 4: Böden im Einzugsgebiet des Elmbaches

### 3.2 GIS-gestützte Ermittlung der Modellparameter

Auf der Grundlage der aufbereiteten Daten des digitalen Höhenmodells, sowie der digital aufbereiteten Teileinzugsgebiete der Kinzig aus dem digitalen Flächenverzeichnis wurde die Zeitflächenfunktion berechnet. Sie beschreibt die Translation einer Welle aus einem Teilgebiet.

In Bild 5 ist auszugsweise der digital vorliegende Isochronenplan dargestellt.

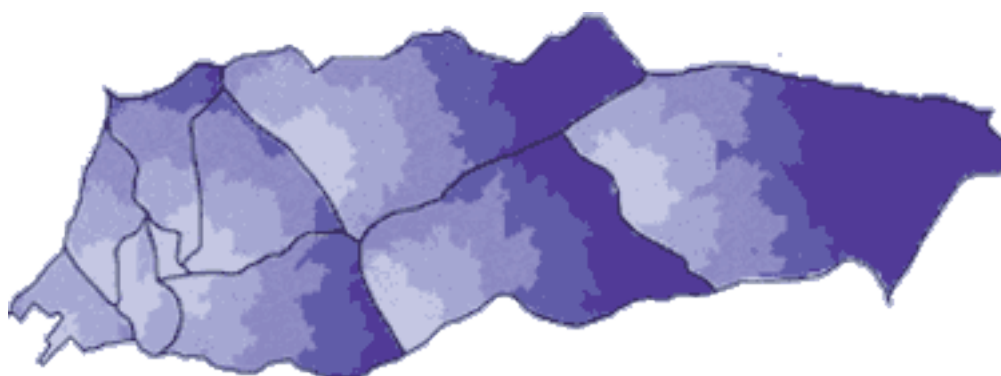


Bild 5: Isochronenplan des Einzugsgebietes des Elmbaches

Mit Hilfe der vorliegenden digitalen Teileinzugsgebiete, der ATKIS-Daten und der digitalen Bodendaten wurden sogenannten "Elementarflächen" gebildet. Elementarflächen sind Raumeinheiten, die ein einheitliches hydrologisches Verhalten aufweisen.

Die Mindestflächen der Elementarflächen wurde auf 300 m<sup>2</sup> festgelegt.

### 4 Modelleichung

Die Modelleichung erfolgte in mehreren Arbeitsschritten bzw. nach verschiedenen Methoden.

- Tageswertsimulation
- Simulation von Einzelereignissen
- Vergleich von Abflußspenden
- Vergleich mit Spitzenabflußstatistiken

### 5 Syntheserechnungen und Niedrigwasseranalyse

Auf der Grundlage des geeichten N-A-Modells wurden Syntheserechnungen mit Variation

der Wiederholungszeitspanne von  $T_n = 5$  [a] bis 100 [a]. Als Niederschlagsverteilung wurden DVWK-Modellregen verwendet, welche die gleichen maßgebenden Abflußspitzen der Blockregen ergaben.

Folgende Berechnungsvarianten wurden durchgeführt:

- Ist-Zustand, mit Kinzig-Talsperre bei  $RQ = 40$  [m<sup>3</sup>/s] für  $T_n = 5$  [a] bis 100 [a]
- Ist-Zustand, mit Kinzig-Talsperre für  $T_n = 10, 50$  und 100 [a]
- Ist-Zustand mit optimierter Steuerstrategie der Kinzig-Talsperre
- Maßnahmen aus Retentionskataster Hessen für  $T_n = 100$  [a]
- Maßnahmen zum Rahmenkonzept Kinzig-Renaturierung für  $T_n = 5$  [a]
- Potentielle Retentionsräume an der Kinzig für  $T_n = 100$  [a]

Für die Kinzig, unterhalb des Pegels Ahl, sowie für die Salz und die Bracht wurde eine Niedrigwasseranalyse durchgeführt. Grundlage der Berechnungen sind die Empfehlungen der DVWK-Regel 120, Teil 1. Es wurden zum einen Wertetabellen der  $MN \times Q$  erstellt, wobei  $x = 1$  Tag gewählt wurde. Zum anderen wurden statistische Auswertungen vorgenommen, insbesondere Wiederholungszeitspannen für drei Verteilungen (LOG-NORMAL, LOG-PEARSON und LOG-EXTREMAL) ermittelt.

Grundlage der Berechnung sind Zeitreihen der einzelnen Knoten, die als Ergebnisdateien der Tageswertsimulation vom 01.01.1981 bis 31.12.1995 erzeugt wurden. Als Zeitabschnitt wurde ein Jahr gewählt, jeweils beginnend mit dem 1. April des jeweiligen Jahres.

## 6 Ergebnisse und Empfehlungen

### 6.1 Auswirkungen von örtlichen Maßnahmen

Die Ergebnisse der Hochwasserwellen-Simulation haben gezeigt, daß die Wellen aus den Nebengewässern den Abflußspitzen in der Kinzig zeitlich vorauslaufen. Im Kinzig-Oberlauf treten die Abflußspitzen der Haupt- und Nebengewässer nahezu zeitgleich auf. Maßnahmen in den Nebengewässern im Kinzig-Oberlauf und Kinzig-Mittellauf, d.h. bis etwa einschließlich der Bieber, die eine abflußverzögernde Wirkung haben, sind für die Unterlieger der Kinzig eher positiv zu beurteilen.

Im Kinzig-Unterlauf, d.h. etwa unterhalb von Gelnhausen, würden Maßnahmen mit Retentionswirkung in den Nebengewässern eine zeitliche Streckung der Abflüsse mit einer zusätzlichen Wellenüberlagerung in der Kinzig nach sich ziehen.

### 6.2 Hochwasserschutz

In nahezu allen größeren Ortslagen an der Kinzig und den Nebengewässern wurde eine Überschreitung des bordvollen Gerinneabflusses bereits bei  $T_n = < 10$  [a] festgestellt. Eine rechnerische Überschreitung muss zunächst nicht gleichbedeutend mit einem unzulässig geringen Hochwasserschutz sein, da in Einzelfällen eine schadlose Überflutung durchaus zugelassen werden kann. Für einen Teil der Ortslagen wurden daher nach Ortsbegehungen neue schadlose Ausuferungshöhen festgelegt und neue schadlose Abflüsse berechnet.

Die Berechnungen haben gezeigt, dass der Hochwasserschutz in den Ortslagen durch die Reaktivierung von größeren Retentionsräumen an der Kinzig bereichsweise deutlich verbessert werden kann.

Alle anderen Hochwasserschutzkonzepte, insbesondere auch die mögliche Reaktivierung von kleineren Retentionsräumen an den Nebengewässern sind für einen massiven Hochwasserschutz für die Kinzig, bezogen auf  $T_n = 100$  [a] von nachrangiger Bedeutung. Die Ursache hierfür ist vor allem durch die relativ geringen Volumina der untersuchten Retentionsräume in den Nebengewässern im Verhältnis zum Abflußvolumen in der Kinzig

zu sehen.

### 6.3 Steuerstrategie der Kinzig-Talsperre

Für die Kinzig-Talsperre wird für den Hochwasserschutz bei  $T_n = 100$  [a] folgende neue Steuerstrategie empfohlen:

Sommer:

StauhöheSommer = NN+164,50 m  
 RQSommer = 38,1 [m<sup>3</sup>/s]

Winter:

StauhöheWinter = NN+162,50 m  
 RQWinter = 24,8 [m<sup>3</sup>/s]

Bei einer Reduzierung des Sommerstauziels um 1 [m] auf NN+163,5 m kann die Regelabgabe auf RQ = 31,0 [m<sup>3</sup>/s] gesenkt werden.

Die Überprüfung bzw. Anpassung der Steuerstrategie zur Niedrigwassererhöhung (derzeitiges RQNW = 0,5 [m<sup>3</sup>/s]) erfolgte unter der Annahme der o.g. Regelabgaben für Sommer- und Winterbetrieb.

Nach den durchgeführten Tageswertsimulationen für die Jahre 1981 bis 1995 kann die Mindestabgabe von derzeit 0,5 [m<sup>3</sup>/s] auf künftig 0,7 bis 0,9 [m<sup>3</sup>/s] erhöht werden.

### 6.4 Maßnahmen Retentionskataster Hessen

Im Rahmen der Variantenrechnungen wurden für  $T_n = 100$  [a] insgesamt vier Retentionsflächen an der Salz, Bracht und Bieber.

Die Ergebnisse der Variantenrechnungen mit einzelnen kleineren Maßnahmen aus dem Retentionskataster zeigen, daß diese Retentionsräume im Hinblick auf eine Reduzierung der Abflußspitzen für  $T_n = 100$  [a] im weiteren Gewässerverlauf unwirksam sind. Zur Verbesserung des Hochwasserschutzes für  $T_n = 100$  [a] im Unterlauf der Nebengewässer und an der Kinzig sollten daher alternativ einzelne Rückhaltemaßnahmen mit deutlich größeren Volumina untersucht werden.

### 6.5 Rahmenkonzept Renaturierung

Aus dem Rahmenkonzept zur Renaturierung der Kinzig wurden für die hydraulisch/hydrologischen Nachweise insgesamt fünf ehemalige Kinzig-Altarme ausgewählt.

Die Ergebnisse der Variantenrechnungen zeigen erwartungsgemäß, daß durch die Reaktivierung von nur wenigen Altarmen keine Reduzierung der Abflußspitze in der Kinzig erreicht wird. Als Erklärung hierfür ist anzuführen, daß künftig ein höherer Abflußanteil als bisher im Flußschlauch (Kinzig und Altarm Kinzig) abfließt. Trotz der im Altarm längeren Fließwege erfolgt hier der Wellentransport mit einer größeren Geschwindigkeit als im Vorland. Die Untersuchungen sollten in diesem Zusammenhang Grundlagen für die konstruktive Ausgestaltung der Altarme liefern.

### 6.6 Retentionsräume an der Kinzig

In den Talauen der Kinzig kommt es derzeit bereits bei häufigeren N-A-Ereignissen zu Ausuferungen. Wie die hydrologischen Nachweise aus der Projektphase 1 gezeigt haben,

tragen diese vorhandenen Retentionsräume bereits jetzt wesentlich zur Abflußreduzierung bei. Zwischen dem Pegel Gelnhausen und dem Pegel Hanau reduziert sich die Abflußspitze.

Im Vorfeld der hydrologischen Untersuchungen der Projektphase 2 wurden insgesamt fünf mögliche Retentionsräume an der Kinzig betrachtet. Nach Ortsbegehungen wurden drei Retentionsräume mit insgesamt 4,9 Mio. m<sup>3</sup> Inhalt näher ausgewählt und untersucht.

Aus den Ergebnissen der Simulationsrechnungen wird deutlich, daß der Retentionsraum Köhlersau mit 1,8 Mio. m<sup>3</sup> (Bild 6) den Spitzenabfluß in der Kinzig bis zur Mündung der Gründau deutlich reduziert. Unterhalb Gründau, d.h. zwischen Erlensee und Hanau, wird die Abflußspitze durch die beiden Retentionsräume Erlensee und Bulau wesentlich beeinflusst.



Bild 6: Retentionsraum Köhlersau an der Kinzig

Aus den Ergebnissen der Variantenrechnungen läßt sich jedoch eine eindeutige Priorität für die Schaffung weiterer Retentionsräume an der Kinzig ableiten.

#### 6.7 Weiteres Vorgehen

Für das weitere Vorgehen können folgende Empfehlungen gegeben werden:

Die Reaktivierung von weiteren Retentionsräumen an der Kinzig erscheint aussichtsreich und sollte daher im Rahmen von Vorplanungen incl. weiteren hydraulisch-hydrologischen Nachweise untersucht werden.

Weitere mögliche Rückhalteräume mit größerem Volumen sind an der Kinzig zu suchen.

Die Reaktivierung von kleineren Retentionsräumen an den Kinzig-Nebengewässern sollte allein aus Gründen des Hochwasserschutzes der Kinzig nicht weiter verfolgt werden.

Die vor rd. 30 Jahren empfohlenen Rückhaltungen sind evtl. in geänderter und reduzierter Form neu und auf der Grundlage des Ist-Zustandes im Einzugsgebiet zu untersuchen.

Der Hochwasserschutz incl. möglicher örtlicher Maßnahmen in den Ortslagen ist im Rahmen von weitergehenden Vorplanungen näher zu untersuchen.

[1]

N-A-Modell Kinzig,  
Ist-Zustand,  
ZIOR BERATENDER INGENIEUR GmbH, Bad Nauheimer Straße 2, 64289 Darmstadt,  
September 1999

[2]

N-A-Modell Kinzig,  
Projektphase 2,  
ZIOR BERATENDER INGENIEUR GmbH, Bad Nauheimer Straße 2, 64289 Darmstadt,  
November 1999

[3]

Die Berechnung des Oberflächenabflusses auf Grundlage digitaler Höhenmodelle,  
M. LEMPERT, M. W. OSTROWSKI, H. MÜLLER, 1994

ZIOR BERATENDER INGENIEUR GmbH  
Bad Nauheimer Straße 2  
64289 Darmstadt

Dipl.-Ing. Bernd Beyer, Dipl.-Geogr. Josef Krebs, Dipl.-Geol. Uta Ling,  
Dr.-Ing. Franz Zior