

# Regionalisierung von Hochwasserkennwerten für Hessen

W3

GERHARD BRAHMER

## 1 Wasserwirtschaftliche Planung und Praxis erfordern Bemessungswerte

Die nachhaltige Bewirtschaftung der Ressource Wasser und die Planung und Umsetzung von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen ist grundsätzlich mit der Bereitstellung von hydrologischen Kennwerten zu Abfluss oder Wasserstand verbunden. Für die Abflussregelung, den Hochwasserschutz aber auch für die Wiederherstellung naturnaher Abflussverhältnisse und Gewässerrenaturierungen ist ebenso wie für Fragen der Gewässerqualität, die untrennbar mit der Wassermenge verbunden ist, die Kenntnis

von lokalen Abflussmengen bei unterschiedlichen hydrologischen Situationen (Niedrigwasser bis Hochwasser) erforderlich. Der mittlere Abfluss (MQ) und der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNO) stellen begrenzende Faktoren für Wasserentnahmen und Schmutzwassereinleitungen in die Gewässer dar. Für den technischen Hochwasserschutz sind die zu erwartenden Hochwasserabflüsse für die Dimensionierung von Hochwasserrückaltaßmaßnahmen und die sich aus den Abflüssen einstellenden Wasserstände

für die Bemessung von Hochwasserschutzdeichen erforderlich. Für den vorsorgenden Hochwasserschutz sind beispielsweise die aus 100-jährlichen Hochwasserabflüssen hydraulisch zu berechnenden Ausdehnungen der Überschwemmungsgebiete die fachtechnische Basis. Nicht zuletzt werden für die Aufstellung der nach der EU-Hochwasserrichtlinie [1] geforderten Hochwasserrisiko-managementpläne Abflüsse für Hochwasser mit unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten von häufig auftretenden Hochwassern über das 100-jährliche Hochwasser bis hin zum Extremhochwasser benötigt.



Abb. 1: Hochwasser an der Nidda.

## **2 Beobachtungswerte aus dem hydrologischen Landesmessnetz als Grundgerüst für die Ableitung von Abflusskennwerten für beliebige Gewässerquerschnitte**

Bei der Bereitstellung von Abflusskennwerten ergibt sich das Problem, dass aus Beobachtungen (Messwerte) abgeleitete Informationen streng genommen ausschließlich für die Standorte von gewässerkundlichen Pegeln vorliegen und nicht an der eigentlich benötigten Lokalität. Als Regionalisierung ist die Übertragung der Informationen von Pegelmessstellen auf beliebige Gewässerquerschnitte in Hessen zu verstehen. Mit einem deterministisch-konzeptionellen Ansatz (Wasserhaushaltsmethode) wurden z. B. die Kenngrößen MQ und MNQ landesweit für Hessen ermittelt und für die Anwendung bereitgestellt [2]. Neben der fallweisen Aufstellung von gewässerbezogenen Hochwasserlängsschnitten wurde für Hessen 1993 ein einfacher regressionsanalyti-

scher Ansatz auf Basis der Beziehung zwischen Einzugsgebietsgröße und Hochwasserabfluss aufgestellt [3]. Für die Regionalisierung von Hochwasserkenngrößen hat sich mittlerweile die Index-flood-Methode als (geo)-statistischer Ansatz etabliert. Dabei wird der jährliche mittlere Hochwasserabfluss an den Pegeln (als Index-flood) durch Beziehungen zu Einzugsgebietskenngrößen in die Fläche übertragen. Hochwasser beliebiger Eintretenswahrscheinlichkeit werden dann über die Verknüpfung regional gültiger Wahrscheinlichkeitsfunktionen mit dieser Index-flood ermittelt. Zur Durchführung einer erweiterten Index-flood-Regionalisierung für Hessen wurde das Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik (IAWG) beauftragt [4, 5].

## **3 Hochwasserregionalisierung mittels erweiterter Index-flood-Prozedur für Hessen**

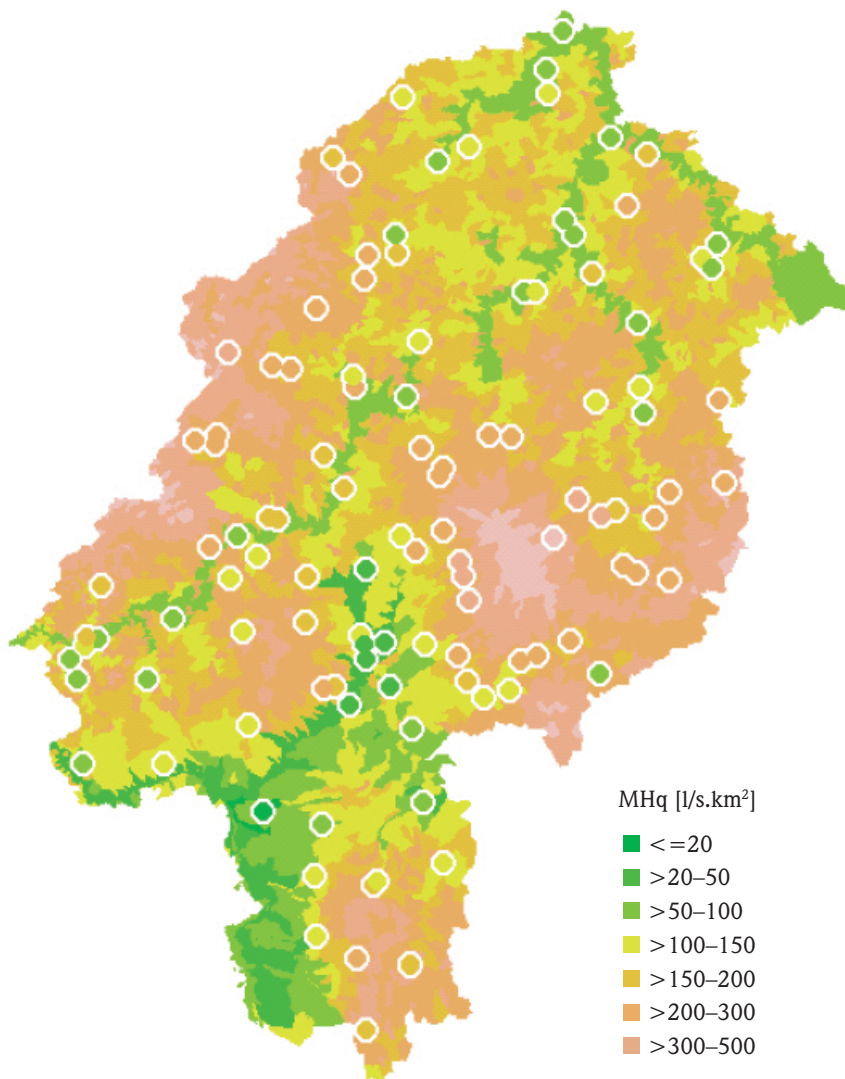
Im Gegensatz zu sehr großen oder extremen Hochwasserabflüssen lässt sich der mittlere Jährliche Hochwasserabfluss (MHQ) als statistischer Mittelwert der größten Jahresabflüsse an einer Messstelle relativ sicher und genau bestimmen. Diese Kenngröße wird nun als Referenzhochwasserabfluss (Index-flood) auf weitere Gewässerabschnitte ohne vorliegende Messungen übertragen. Zu den gesuchten Hochwasserabflüssen bestimmter Jährlichkeiten gelangt man dann über regional gültige Verhältnisfaktoren, mit denen der lokale Index-flood-Wert multipliziert wird.

### **3.1 Grundlage: Beobachtungswerte an hessischen Pegeln**

Ausgangslage für die Untersuchung bildeten die vorliegenden Hochwasserjahresserien für 127 Pegel in Hessen. Die Reihen beginnen frühestens in den 1930-er Jahren, meist jedoch in den 1950-er und 1960-er Jahren, gemeinsames Ende aller Reihen

bildet meist das Jahr 2004. Von den untersuchten Pegelzeitreihen waren zehn Pegel mit einem zunehmenden und zwei Pegel mit einem abnehmenden Trend der Jahreshochwasserabflüsse behaftet, die überwiegende Mehrzahl der Pegel zeigt also keine signifikante Veränderung über die Zeit. Die Untersuchung der Auftretenszeitpunkte der größten Jahreshochwasser zeigt für Hessen, dass Hochwasserabflüsse in der Regel im Zeitraum Dezember bis Februar auftreten. Einzige Ausnahme ist der Pegel Eberstadt/Modau, für den insbesondere der Juli der charakteristische Hochwassermonat ist.

Nachdem zwölf (insbesondere durch Hochwasserrückhaltebecken) beeinflusste Pegel von der weiteren Untersuchung ausgeschlossen wurden, wurde für die verbleibenden Pegel der MHQ-Wert als Index-flood ermittelt. Eine statistische Wahrscheinlichkeitsanalyse wurde für die jeweiligen Pegel durchgeführt, aber nicht unmittelbar für die weitere Regionalisierung verwendet (s. u.).



**Abb. 2:** Mittlere Hochwasserabflusspende im Bearbeitungsgebiet (Hessen und außerhessische Randbereiche.)

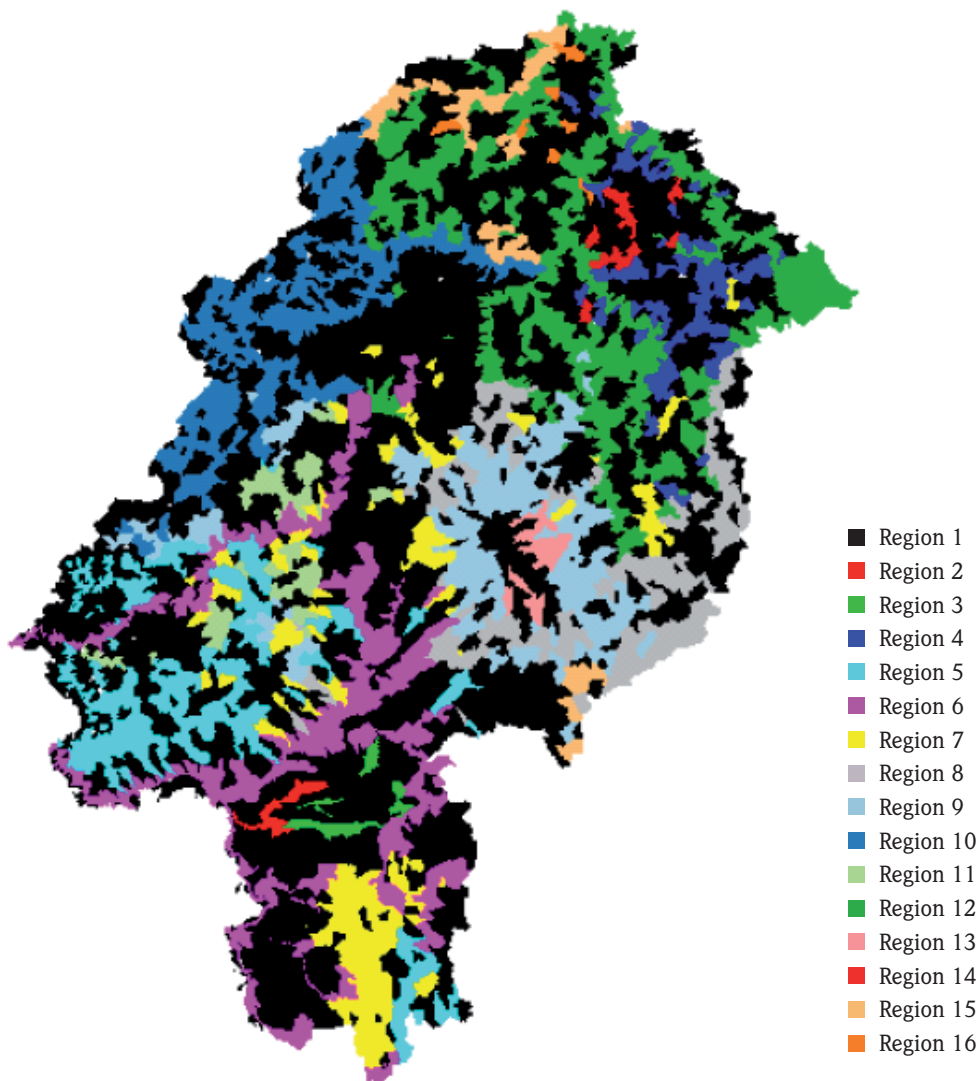
### 3.2 GIS-basierte Ableitung von Gebietsmerkmalen und Regressionsanalyse

In einem Geografischen Informationssystem wurden auf der Grundlage von Basisflächen der Einzugsgebiete der hessischen Gewässer raumbezogene Geodaten ermittelt und für alle Gewässerknoten sowie für die Pegelmessstellen aggregiert. Raumbezogene Daten waren das Gewässerkundliche Flächenverzeichnis (mit Einzugsgebietsgröße), Gewässernetzdichte, Hauptgewässergefälle, Geländehöhe, Topographischer Index, Jahresniederschlag, Landnutzung, die nutzbare Feldkapazität des Bo-

dens, eine relative hydrogeologische „vertikale Durchlässigkeit“ und der „CN“-Wert als Maß für den abflusswirksamen Niederschlagsanteil in Abhängigkeit von Landnutzung und hydrologischer Bodenklasse.

Zusätzlich wurden für jede Basisfläche aus vorliegenden Niederschlagsstationsdaten Gebietsniederschläge als Stunden-, Tages- und Jahresniederschläge sowie für unterschiedliche jährliche Unterschreitungswahrscheinlichkeiten erzeugt. Bevor mit diesen potentiell erklärenden Variablen zur Beschreibung der MHQ-Werte an den Pegeln eine nichtlineare Regressionsanalyse durchgeführt werden konnte, mussten hoch-





**Abb. 3:** Räumliche Verteilung der 16 Regionen in Hessen (und außerhessischen Randbereichen).

korrelierte Variablen über eine hierarchische Clusteranalyse entfernt werden. Um die Erklärungskraft des Modells zu erhöhen und etwaige Verstöße gegen theoretische Voraussetzungen der Regression zu verhindern, wurden die Variablen teilweise logarithmisch und teilweise wurzeltransformiert.

Über eine schrittweise Regression wurde dann ein optimales Regressionsmodell zur Ermittlung der MHQ-Werte aus den Gebietsmerkmalen gesucht. Im Ergebnis kann der MHQ-Wert für die Pegel mit einem Bestimmtheitsmaß von 94 % (bezogen auf  $\log(\text{MHQ})$ ) mit folgenden Variablen ermittelt werden:

- Einzugsgebietsfläche
- Median der Höhenwerte für Gebiete  $< 130 \text{ km}^2$
- Median der Höhenwerte für Gebiete  $\geq 130 \text{ km}^2$  \*
- Gebietsstarkniederschlag (Tagessumme, die etwa 3-mal pro Jahr auftritt)
- CN-Wert

\* Das MHQ verändert sich bei Pegeln mit größeren Einzugsgebieten deutlich stärker mit ansteigenden Höhenwerten als bei kleineren Einzugsgebieten.

Durch Anwendung des abgeleiteten Regressionsmodells auf die gesamte hessische Landesfläche

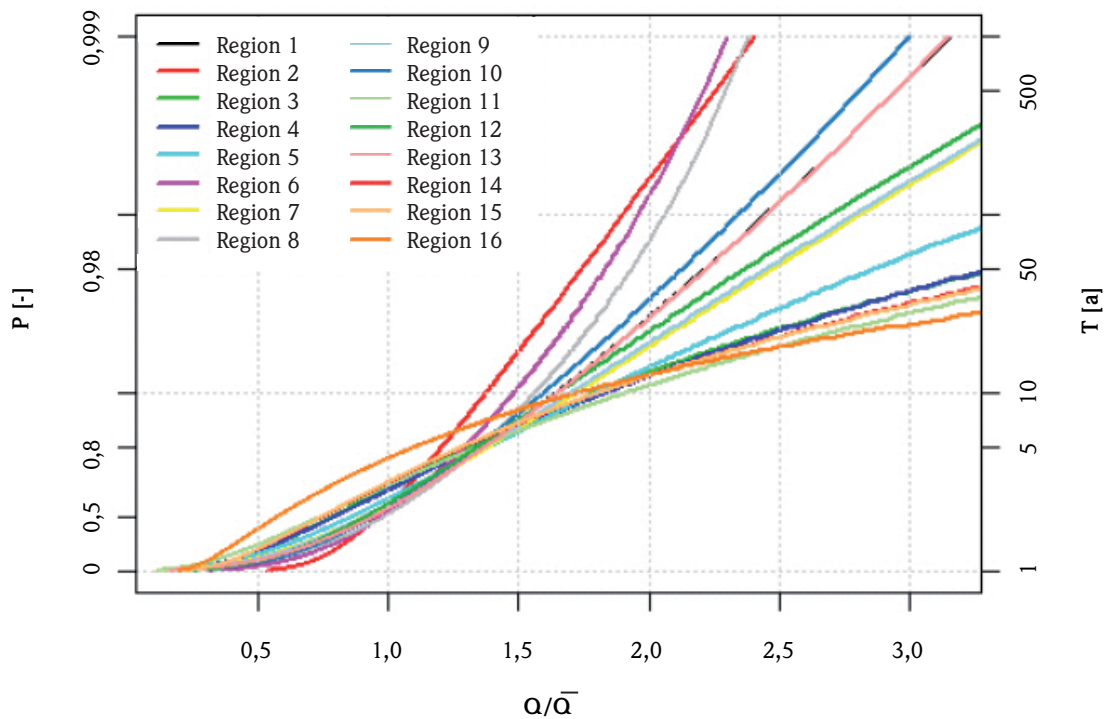


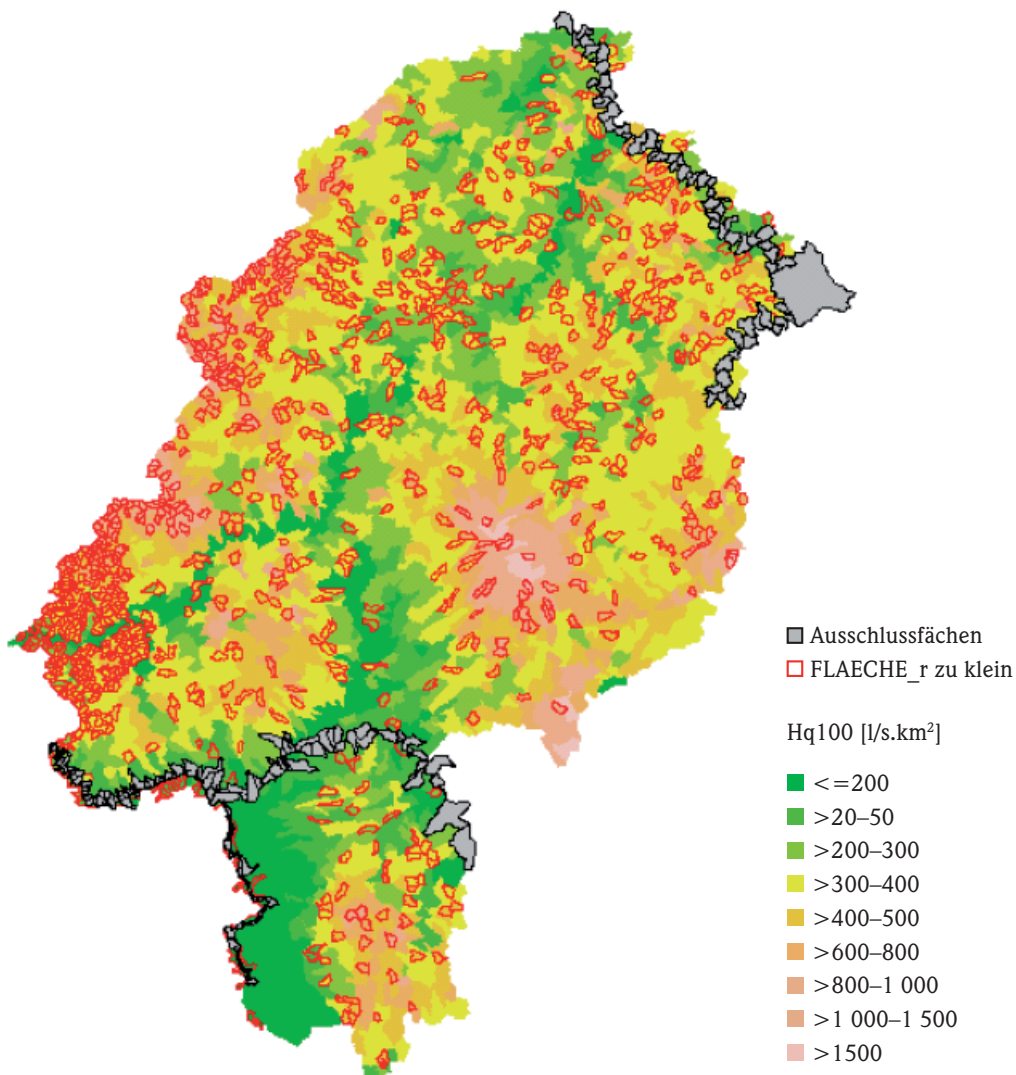
Abb. 4: Normierte Quantilsfunktionen für 16 Regionen in Hessen.

können für alle Knoten des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnis die MHQ-Werte ermittelt und als Hochwasserabflusspende MHq (Abb. 2) dargestellt werden.

### 3.3 Regionale Wahrscheinlichkeitsanalyse

Während aus einer lokalen Wahrscheinlichkeitsanalyse für einzelne Pegel relativ breite Konfidenzbänder und Unsicherheiten durch (ungenau ermittelte) höchste Abflüsse resultieren, wird in der erweiterten Index-flood Methode eine Wahrscheinlichkeitsverteilung an eine homogene Gruppe von mehreren Pegeln angepasst. Dabei wird unterstellt, dass die Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Extremwertserien verschiedener Pegel in dieser Gruppe sich nur durch einen Skalierungsfaktor unterscheiden. Homogene Gruppen können durch geostatistische Verfahren gebildet werden. Allen Verfahren gemein ist das Ziel, Gruppen zu separieren, die sich hinsichtlich ihrer Merkmalseigenschaften innerhalb der Gruppe sehr ähnlich und zwischen den Gruppen sehr unterschiedlich sind.

Für Hessen konnten mit einer Clusteranalyse und den Kennwerten Variationskoeffizient, mittlere Hochwasserabflusspende MHq, Einzugsgebietsgröße, Gebietsstarkniederschlag, Median der Geländehöhe sowie Rechts- und Hochwert insgesamt 16 Pegelgruppen und darauf aufbauend zugehörige Regionen (Abb. 3) abgegrenzt werden. Für alle Hochwassererien innerhalb der jeweiligen Region werden die Jahreshochwasser durch einen Skalierungsfaktor (hier: Mittelwert = MHQ) dividiert und aus diesen Werten die pegelbezogenen Wahrscheinlichkeitsmomente ermittelt. In den 16 homogenen Regionen werden dann jeweils regionale Wahrscheinlichkeitsmomente durch gewichtete Mittelung der pegelbezogenen Momente ermittelt, wobei die jeweilige Reihenlänge das Gewicht bestimmt. Abschließend werden aus den regionalen Wahrscheinlichkeitsmomenten die Parameter der Wahrscheinlichkeitsverteilung (hier: Verallgemeinerte Extremwertverteilung) ermittelt, so dass damit normierte Hochwasserquantile (Abb. 4) berechnet werden können. Einen Hochwasserabfluss beliebiger Jährlichkeit kann man nun für jede beliebige Einzugsgebietsfläche in Hessen ermitteln, indem



**Abb. 5:** 100-jährliche Hochwasserabflusspende in Hessen (und außerhessischen Randbereichen).

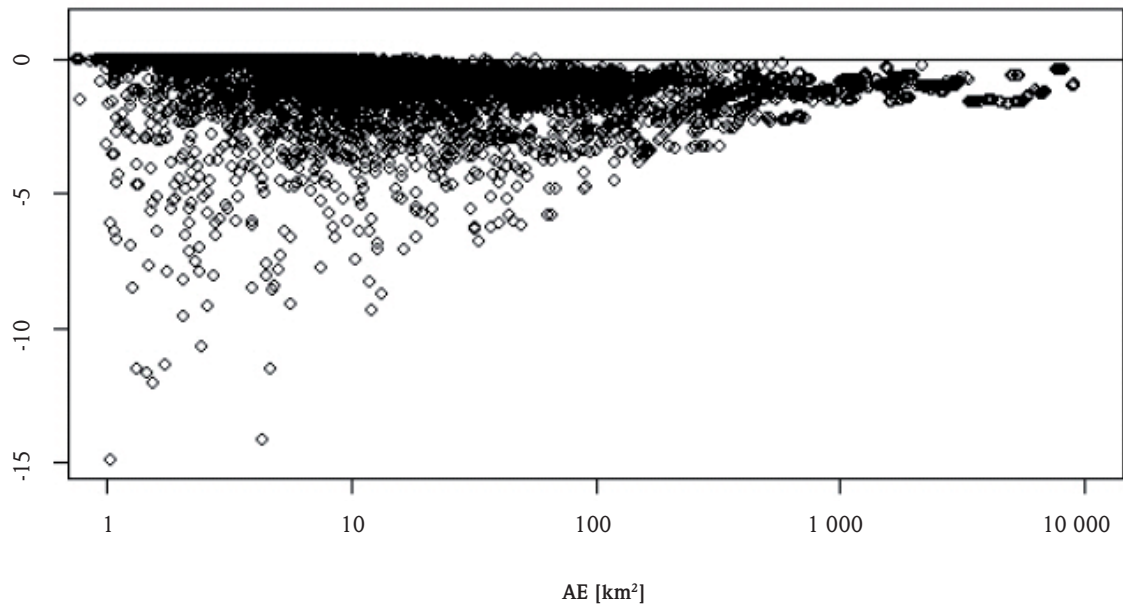
man das regional gültige normierte Quantil für diese Jährlichkeit mit der regionalisierten Index-flood (MHQ) multipliziert.

### 3.4 Hessenweite Ergebnisse für beliebige Hochwasserkenngrößen

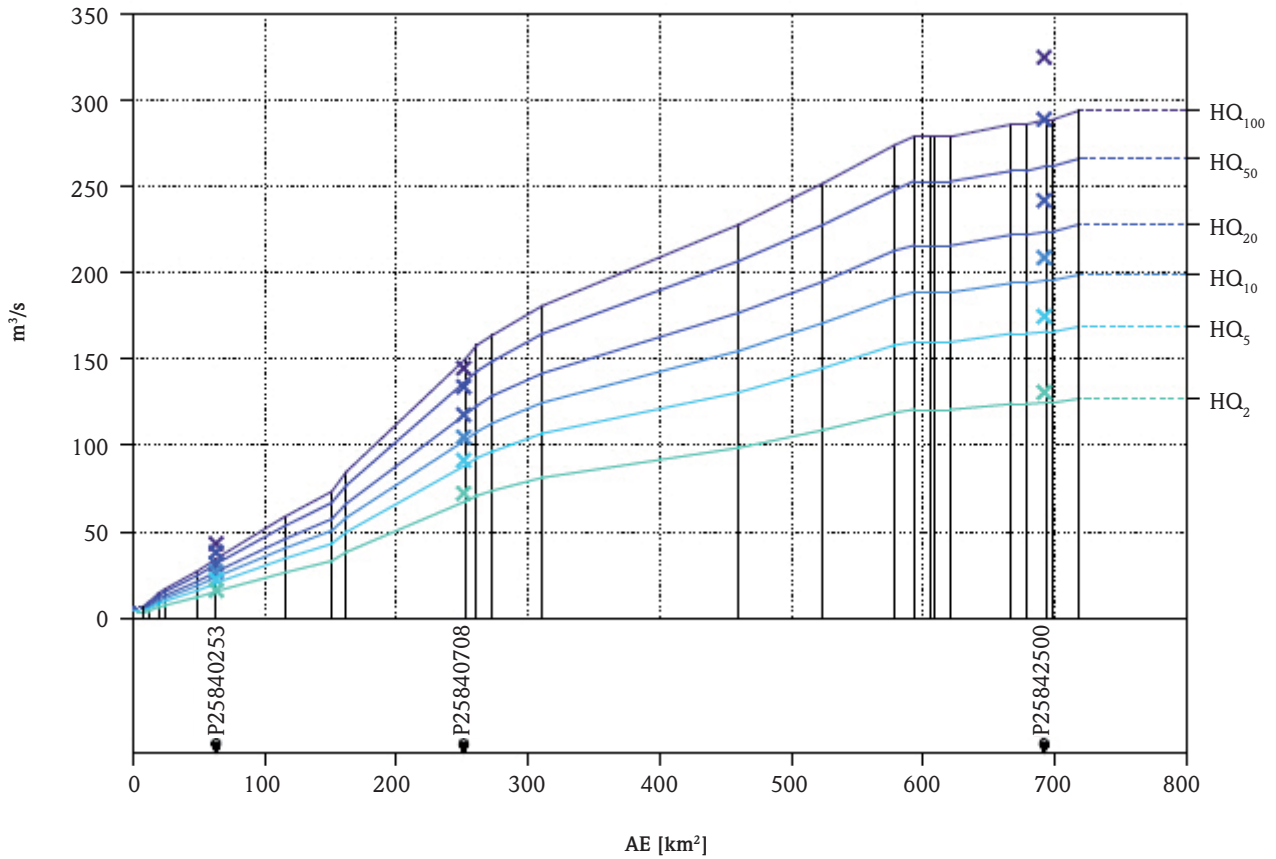
Mit der erläuterten Vorgehensweise können hessenweit die Hochwasserabflüsse für beliebige Jährlichkeiten (z. B. T=1, 2, 5, 10, 20, 25, 50, 75, 100 etc.) berechnet werden. Die räumliche Verteilung 100-jährliche Hochwasserabflusspende für Hessen ist in

Abb. 5, ein beispielhaft abgeleiteter Hochwasserabflusslängsschnitt in Abb. 6 dargestellt.

Zur Bemessung von Einleitemöglichkeiten für Niederschlagswasser wird für Hessen die Gegenüberstellung des 1-jährlichen und des potentiell natürlichen 1-jährlichen Hochwasserabflusses benötigt. Der 1-jährliche Hochwasserabfluss kann unmittelbar aus der Hochwasserregionalisierung entnommen werden. Um auch den Hochwasserabfluss zu ermitteln, wie er einem potentiell natürlichen Zustand entspricht, wurde eine weitere Regressionsanalyse zur Ermittlung der MHQ-Werte durchgeführt. Dabei



**Abb. 7:** Prozentuale Abminderung des  $HQ_{1_{\text{pnat}}}$  gegenüber dem  $HQ_1$ .



**Abb. 6:** Hochwasserlängsschnitt an der Dill.

wurden allerdings zuvor im GIS sämtliche versiegelten Landnutzungsanteile in die Landnutzung „Wiese“ umgewandelt. Aus dieser angenäherten „potenziell natürlichen Landnutzungsverteilung“ wurde ein „potenziell natürlicher“ CN-Wert für alle Einzugsgebiete ermittelt. Mit diesen modifizierten CN-Werten wird das MHQ-Regressionsmodell neu berechnet, was zu einer potenziell natürlichen Index-flood führt. Durch Multiplikation dieser Werte mit den

normierten regionalen Hochwasserquantilen für die Jährlichkeit  $T=1$  erhält man das gesuchte potenziell natürliche 1-jährliche Hochwasser ( $HQ_{1\text{pnat}}$ ). In der Abb. 7 ist die prozentuale Abminderung des  $HQ_{1\text{pnat}}$  gegenüber dem HQ1 für alle Flächen des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnis mit einem Siedlungsanteil von über 5 % dargestellt. Erwartungsgemäß zeigen sich die größten Unterschiede im Hochwasserabfluss bei kleinen Einzugsgebieten.

## 4 Anwendung und Ausblick

Die Ergebnisse der Hochwasserregionalisierung liegen im HLUg in einer Datenbank mit einem Viewer zur Visualisierung vor. Die regionalisierten Hochwasserkenngrößen können für die Erstellung von Hochwasserlängsschnitten und für die Bestimmung von Hochwasserbemessungsgrößen herangezogen werden. Zu beachten sind dabei Unterschiede zwischen regionalisierten Hochwasserwerten und solchen, die unmittelbar an einem Pegel ermittelt werden. Weiterhin ist der Anwendungsbereich für Gebiete kleiner etwa 15 km<sup>2</sup> eingeschränkt, zumal für diese Skala kaum Messwerte in das Regressionsmodell eingehen und zum anderen dann lokale

Besonderheiten, die ggf. nicht in den Gebietskennwerten enthalten sind, einen großen Einfluss auf das Hochwassergeschehen haben können. Unterhalb von Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren sind ebenfalls gesonderte Betrachtungen anzustellen. Für zukünftige Fortführungen der regionalisierten Hochwasserkenngrößen ist dem möglichen Einfluss des Klimawandels Rechnung zu tragen. Extremwertstatistische Verfahren die mit trendbehafteten Serien operieren oder die Berücksichtigung von Ergebnissen aus regionalen Klimaimpaktuntersuchungen bieten sich hierzu an.

## 5 Literatur

- [1] RICHTLINIE 2007/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTES UND DES RATES vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken, Amtsblatt der Europäischen Union, 6.11.2007, L288/27–34.
- [2] BRAHMER, G. UND S. ALTHOFF (2003): Landesweite Darstellung der Mittel- und Niedrigwasserverhältnisse für hessische Gewässer im Hinblick auf die EU Wasserrahmenrichtlinie. Jahresbericht 2002 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Wiesbaden, S. 19–26.
- [3] KILLE K. UND J. GOTTSCHALL (1993): Hochwasserwahrscheinlichkeit in Hessen. Hydrologie in Hessen, Handbuch Teil 1, Wiesbaden, 33 S.
- [4] WILLEMS, W. UND K. STRICKER (2008): Hochwasserregionalisierung für Hessen, Bericht im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, (unveröffentlicht).
- [5] WILLEMS, W. (2008): Statistische Hochwasserregionalisierung mittels erweiterter Index-Flood-Prozedur. Wasserwirtschaft 11 (2008), S. 35–40.