



Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern

KLIWA-Projekt A 2.1.3

*„Analyse zum Langzeitverhalten
der Hochwasserabflüsse“*

KLIWA-Berichte

Heft 2



KLIWA
Klimaveränderung
und Wasserwirtschaft



Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern

KLIWA-Projekt A 2.1.3

*„Analyse zum Langzeitverhalten
der Hochwasserabflüsse“*

KLIWA-Berichte

Heft 2



KLIWA

Klimaveränderung
und Wasserwirtschaft

IMPRESSUM

Herausgeber Arbeitskreis KLIWA
(Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg,
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft,
Deutscher Wetterdienst)
www.kliwa.de

Druck: Oktober 2002

ISBN 3-88251-284-9

Bearbeitung Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik
(Abteilung 4 – Hydrologie), Universität Karlsruhe

Redaktionelle Bearbeitung Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

Ingenieurbüro Dr. Ludwig

Umschlaglayout Stephan Riedlberger – Graphik Design, München

Druck Stork Druck GmbH, 76646 Bruchsal

Umwelthinweis gedruckt auf Recyclingpapier

Bezug über Vertragsauslieferung der LfU bei der
JVA Mannheim – Druckerei
Herzogenriedstr. 111, 68169 Mannheim,
Telefax: (0621)-398-370

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung der Herausgeber unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern

KLIWA-Projekt A 2.1.3 Analyse zum Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	5
1 Aufgabenstellung	9
2 Datengrundlage	10
3 Statistische Grundlagen und Ergebnisdarstellungen.....	14
3.1 Statistische Grundlagen	
3.1.1 Trendberechnung	14
3.1.2 Trendtest nach MANN-KENDALL	15
3.1.3 Bruchpunktanalyse nach MANN-WHITNEY	16
3.1.4 Summenlinienanalyse	16
3.2 Darstellung der Ergebnisse für die einzelnen Pegel	17
3.2.1 Analyse der Jahreshöchstwerte HQ(J)	17
3.2.2 Analyse des Jahresganges der monatlichen Höchstwerte HQ(m).....	20
4 Vergleich der Trendschätzmethoden.....	21
5 Langzeitverhalten der Jahreshöchstwerte des Abflusses	29
5.1 Trendtest nach MANN-KENDALL	29
5.2 Analyse der zeitlichen Veränderung	32
5.3 Analyse des wahrscheinlichen Zeitpunkts einer möglichen Änderung des Abflussverhaltens	37
6 Analyse des mittleren Jahresgangs der Abflüsse	44
6.1 Zeitreihenteilung im Jahr 1964.....	44
6.2 Zeitreihenteilung im Jahr 1974.....	44
6.3 Abflussveränderungen im Jahresgang.....	45
7 Bewertung der Ergebnisse	49
8 Tabellenverzeichnis.....	54
9 Anlagenverzeichnis	75
10 Abbildungsverzeichnis.....	88
11 Kartenverzeichnis	91
12 Literatur	98

Zusammenfassung

In jüngster Vergangenheit traten in verschiedenen Flussgebieten Süddeutschlands außergewöhnliche Hochwasserereignisse auf, die erhebliche Schäden hervorgerufen haben. Diese Vorkommnisse haben insbesondere in der Öffentlichkeit Diskussionen ausgelöst, ob diese Hochwasser als Naturereignisse im Bereich der natürlichen Schwankungen des Klimageschehens liegen oder ob sie als erste Auswirkungen einer bereits im Gang befindlichen Veränderung des Klimas zu betrachten sind. In diesen Diskussionen fehlen bisher jedoch weitgehend die Ergebnisse der statistischen Auswertungen der vorliegenden langjährigen Beobachtungsdaten, also der objektiven hydrologischen Zahlen und Fakten.

Um dieses Defizit zu beseitigen, wurde im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA („Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“) für den Bereich der Bundesländer Baden-Württemberg und Bayern das Langzeitverhalten der an Pegeln beobachteten jährlichen Höchstabflüsse untersucht und bewertet. Dabei kamen statistische Verfahren, auf die sich die Kooperationspartner (Baden-Württemberg, Bayern, Deutscher Wetterdienst) geeinigt haben, zur Anwendung.

Ergänzende Analysen sind vorgesehen. Dabei soll eine jahreszeitliche Betrachtung in Zusammenschau mit dem Niederschlagsgeschehen erfolgen. Zusätzlich ist vorgesehen, neue Methoden, mit denen die in den vorliegenden Zeitreihen vermuteten Langzeitkorrelationen ermittelt und bewertet werden können, einzusetzen, sobald diese Methoden, deren Entwicklung von KLIWA mitinitiiert wurde, anwendungsfähig sind.

Die Untersuchung des Langzeitverhaltens mit den gängigen „klassischen“ Verfahren erstreckte sich primär auf die Ermittlung eventuell vorhandener linearer Trends in den Zeitreihen der jährlichen Höchstabflüsse. Den Trenduntersuchungen lagen die jährlichen Höchstwerte des Abflusses an 107 Pegeln (39 aus Baden-Württemberg und 68 aus Bayern) zugrunde, die über lange Beobachtungszeitreihen verfügen. Daneben wurden noch 51 Pegel mit kürzeren Zeitreihen, d.h. mit Beobachtungsbe-

ginn nach 1932, in die Analyse einbezogen, so dass insgesamt die Zeitreihen von 158 Pegeln untersucht wurden.

Weiterhin wurde zusätzlich bei 52 der Pegel mit langen Beobachtungsreihen untersucht, ob im Jahresgang der monatlichen Höchstwerte Änderungen aufgetreten sind.

Die Ergebnisse zum Langzeitverhalten basieren auf folgenden Datenkollektiven:

- "lange Zeitreihen": 107 Pegel mit unterschiedlichem Beobachtungsbeginn vor 1933 und einheitlichem Beobachtungsende im Jahr 1998. Die Anzahl der Beobachtungsjahre variiert zwischen 67 und 148 Jahren.
- "Zeitreihen ab 1932": 107 Pegel mit einer einheitlichen Jahresreihe 1932 /1998, also einer Beobachtungszeitspanne von 67 Jahren.
- "gesamte Zeitreihen": 158 Pegel mit unterschiedlichem Beobachtungsbeginn und einheitlichem Datenende im Jahr 1998. Die Beobachtungsdauer variiert zwischen 24 und 148 Jahren.

Die Trenduntersuchungen beinhalten eine lineare Trendschätzung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate sowie die Beurteilung der Trendstabilität mit der Methode des rückschreitenden Trends. Die Signifikanz der Trends wurde bewertet mit dem Test nach MANN-KENDALL. Weiterhin ist Bestandteil der Untersuchung die „Bruchpunktanalyse nach MANN-WHITNEY“; sie dient der Analyse des wahrscheinlichen Zeitpunkts einer möglichen Änderung im Abflussverhalten.

Die Analyse des Langzeitverhaltens der Höchstabflüsse erbrachte zusammenfassend folgende Ergebnisse:

- Das **Trendverhalten** der Zeitreihen der jährlichen Scheitelabflüsse hängt von der Länge der einzelnen Zeitreihe bzw. vom betrachteten Zeitfenster ab. Für statistisch zuverlässige Aussagen über das Trendverhalten sind daher möglichst lange Zeitreihen erforderlich, die mindestens 60 bis 70 Beobachtungsjahre umfassen sollten. Liegt die Länge von Zeitreihen darunter, steigt die Variabilität

und die Streubreite des Trends deutlich an. Dabei treten sowohl deutlich negative (abnehmende) als auch große positive (zunehmende) Trendsteigungen auf, die aufgrund der verhältnismäßig kurzen Zeitspannen jedoch als eher zufällig zu bewerten und daher nur sehr eingeschränkt aussagekräftig sind.

Die Auswertung des **rückschreitenden Trends** (bezogen auf das Ende der Beobachtungszeitreihen d.h. das Jahr 1998) zeigt bei den meisten Pegeln ebenfalls eine deutliche Abhängigkeit der Trendaussage vom jeweils gewählten Beobachtungsbeginn. Die Zuverlässigkeit der Trendaussage hängt somit ganz entscheidend von der betrachteten Zeitreihenlänge ab.

- Die Analyse der **Signifikanz des Trendverhaltens** ergab, dass die untersuchten Datenkollektive für die meisten Pegel keinen signifikanten Trend aufweisen. Wahrscheinliche und sehr wahrscheinliche Trends (mit einer Signifikanz nach MANN-KENDALL von $\alpha \geq 90\%$) treten bei den drei untersuchten Kollektiven mit ähnlichen Häufigkeiten (im Mittel ca. 23%) auf. Sehr wahrscheinliche Trends (mit $\alpha \geq 99\%$) ergaben sich bei den „langen Zeitreihen“ lediglich an 10 Pegeln; bei den beiden anderen Kollektiven waren es jeweils 8 Pegel.
- Die **Größe der signifikanten Trends** liegt beim Datenkollektiv „lange Zeitreihen“ bei der Mehrzahl der 31 Pegel (mit einer Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$) in einem Bereich zwischen 0% und +0,75% pro Jahr, bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss MHQ. Hieraus ergibt sich eine gewisse Tendenz zu einer Zunahme der Höchstabflüsse.

Die beiden anderen Datenkollektive zeigen jeweils einen größeren Bereich der Trendsteigungen. Bei der Betrachtung „aller Zeitreihen“ ist am häufigsten (mit ca. 65% der Pegel) der Bereich zwischen -0,25% und +0,75% pro Jahr belegt (Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$).

Größere signifikante Trends mit überwiegend positiven, aber auch negativen Steigungen ergeben sich vor allem dann, wenn die Zeitreihen vergleichsweise kurz sind bzw. wenn nur Teilzeitreihen der letzten Jahrzehnte betrachtet werden. Solchen kurzen Zeitreihen kommt jedoch wegen der Abhängigkeit des Trends von der Beobachtungsdauer nur eine bedingte Aussagekraft zu.

- Die Analyse des **wahrscheinlichen Zeitpunkts** einer möglichen Änderung im Abflussverhalten durch die „Bruchpunktanalyse“ ergab, dass dieser Zeitpunkt am häufigsten in dem Zeitabschnitt zwischen 1975 und 1980 liegen könnte.
- Der mittlere **Jahresgang der monatlichen Höchstwerte** scheint Änderungen im Verhalten der Zeitreihen zu bestätigen. Die mittleren Hochwasserabflüsse sind in der Zeit nach 1974 (gewählt als ein Trennjahr für die Teilung der Zeitreihen) höher als in den früheren Jahren. Diese Aussage beruht jedoch auf einer deutlich kleineren Anzahl von 52 Pegeln, die exemplarisch ausgewählt wurden.

Der mittlere Jahresgang der monatlichen Höchstwerte des Abflusses zeigt, dass die Erhöhung der mittleren Hochwasserabflüsse oftmals nicht gleichmäßig über das Jahr vorhanden ist. Insbesondere die Winter-Monate weisen nach 1974 auf einen Anstieg hin, während die übrigen Monate nahezu unverändert sind. Die Ergebnisse aus der Untersuchung der monatlichen Höchstabflüsse zeigen, dass bei der Beurteilung des Langzeitverhaltens auch die Veränderungen des interannuellen Verhaltens von Bedeutung ist.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind für die Bundesländer Baden-Württemberg und Bayern in Karten farbig dargestellt und erlauben damit eine räumliche Beurteilung des Langzeitverhaltens. Sämtliche Ergebnisse (Trendsteigungen und -signifikanzen sowie Bruchpunkte) zeigen sehr gleichmäßige räumliche Verteilungen. Schwerpunkte,

an denen sich bestimmte Ergebnisse konzentrieren, sind nicht ausgeprägt vorhanden. Ausnahme hiervon sind einige Pegel mit signifikanten Zunahmen der jährlichen Höchstabflüsse, die sich hauptsächlich am Ostrand des Schwarzwalds befinden.

Aufgrund der Ergebnisse lässt sich ableiten, dass eine signifikante, insbesondere flächendeckende Veränderung der jährlichen Höchstabflüsse von langen Zeitreihen derzeit mit den angewandten Analysemethoden nicht nachweisbar ist.

Bei einer eingeeengten Betrachtung auf die letzten 30 bis 40 Jahre, also der Zeitspanne, in der eine gewisse Veränderung der

klimatischen Verhältnisse feststellbar ist, wurde jedoch eine Tendenz zu einem häufigeren Auftreten von Hochwasserereignissen und einer Zunahme der Hochwasserabflüsse in verschiedenen Gebieten beobachtet. Diese Tendenz, die sich für einen solchen Zeitraum statistisch als ein Trend darstellt, wird von der Öffentlichkeit zunehmend als Gefahrenzunahme durch Hochwasser wahrgenommen. Den Ursachen für diese jüngste Entwicklung wird in weiterführenden Untersuchungen unter Einbeziehung der Entwicklung des Niederschlagverhaltens nachzugehen sein. Die weitere Entwicklung des Niederschlags- und Abflussgeschehens wird im Rahmen des „Integrierten Messnetzes KLIWA“ aufmerksam verfolgt und analysiert.



1 Aufgabenstellung

In der jüngsten Vergangenheit traten in den verschiedenen Flussgebieten Deutschlands und auch in den benachbarten Ländern mehrfach Hochwasserereignisse auf, die erhebliche Schäden hervorgerufen haben. Diese Schadensfälle haben insbesondere in der Öffentlichkeit Diskussionen darüber hervorgerufen, ob diese Naturereignisse im Bereich der natürlichen Schwankungen des Klimageschehens liegen oder ob sie als erste Auswirkungen einer bereits in Gang befindlichen Veränderung des Weltklimas zu betrachten sind. In diesen Diskussionen fehlen jedoch oft weitgehend die objektiven hydrologischen Zahlen und Fakten.

Um diesen Mangel für das Gebiet der Länder Baden-Württemberg und Bayern zu beseitigen, wurde ein fachlicher Rahmen für die Zusammenarbeit der Bundesländer Baden-Württemberg und Bayern sowie des Deutschen Wetterdiensts zum Thema "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft" (KLIWA) vereinbart. Durch die gemeinsame länderübergreifende Bearbeitung sollen ausgewählte Fragestellungen zu diesem Themenbereich fachlich abgestimmt und unter Nutzung von Synergien untersucht werden.

Im Rahmen des KLIWA-Vorhabens wurde das Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (IWK) der Universität Karlsruhe beauftragt, länderübergreifend für Baden-Württemberg und Bayern das Langzeitverhalten von Hochwasserabflüssen an ausgewählten Pegeln mit einheitlichen Methoden statistisch zu untersuchen und zu bewerten. Hierzu wurden von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) und dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) Abflusszeitreihen von solchen Pegeln ausgewählt, die einerseits über eine ausreichend lange Beobachtungszeit verfügen und deren Daten andererseits über diese Beobachtungszeit ausreichend gesichert sind und keine größeren anthropogenen Einflüsse aufweisen. Andere Auswahlkriterien wie Einzugsgebietsgröße, Höhenlage oder Landnutzung im Einzugsgebiet waren für die Auswahl nur von nachrangiger Bedeutung.

Für die ausgewählten Zeitreihen sind mit dem Softwarepaket des IWK, das für die Analyse hydrologischer/geophysikalischer Zeitreihen konzipiert wurde, folgende statistische Auswertungen durchgeführt worden:

1. Analyse des linearen Trendverhaltens der Jahreshöchstwerte des Abflusses HQ(J) mit Test der Trendsignifikanz für 41 Pegel aus Baden-Württemberg und 117 Pegel aus Bayern:
 - 1.1 Vergleich der Ergebnisse einer linearen Trendschätzung nach der Methode der Minimierung der Fehlerquadratsumme und der Methode der Minimierung der Fehlerabsolutsumme
 - 1.2 Auswertung des linearen Trends nach der ausgewählten Methode „Fehlerquadratsumme“ für die Trendschätzung für die gesamten Beobachtungsjahre und für die gemeinsam vorliegenden Jahre ab 1932
 - 1.3 Ermittlung und Darstellung des rückschreitenden Trends
 - 1.4 Ermittlung des wahrscheinlichen Zeitpunkts einer Änderung des Abflussverhaltens nach der Bruchpunktanalyse von MANN-WHITNEY
2. Analyse der Jahregänge der Monatshöchstwerte des Abflusses für 30 Pegel aus Baden-Württemberg und 22 Pegel aus Bayern für jeweils 3 verschiedene Zeitabschnitte
3. Darstellung der Ergebnisse in Karten zur flächenhaften Beurteilung der Trends und deren Signifikanz

Der Abschlußbericht des IWK enthält für alle Pegel die Untersuchungsergebnisse in grafischer Darstellung. Der vorliegende KLIWA-Bericht beschreibt das Vorgehen und zeigt die wesentlichen Ergebnisse auf. Die beschriebenen Ergebnisse werden dabei durch wenige ausgewählte grafische Darstellungen beispielhaft ergänzt.



2 Datengrundlage

Das Gebiet der Länder Baden-Württemberg und Bayern wurde für gezielte Untersuchungen im Rahmen von KLIWA nach hydrologischen Gesichtspunkten über die gemeinsame Landesgrenze hinweg in Untersuchungsgebiete, die Teileinzugsgebiete der Hauptgewässer Donau, Elbe, Main, Neckar und Rhein darstellen, aufgeteilt. Für jedes dieser Untersuchungsgebiete wurden repräsentative Pegel ausgewählt. Die Zuordnung dieser Pegel zu diesen Untersuchungsgebieten und ihre wichtigen hydrologischen Angaben sind aus den Tabellen 1a bis 1e ersichtlich.

Für die statistische Analyse des Langzeitverhaltens der Hochwasserabflüsse wurden dem IWK folgende Daten zur Verfügung gestellt:

Jahreshöchstwerte des Abflusses HQ(J)

Zur Untersuchung des Verhaltens der Hochwasserabflüsse wurden für 41 Pegel aus Baden-Württemberg und 117 Pegel aus Bayern die Zeitreihen der Jahreshöchstwerte HQ(J) nach vorgegebenen Kriterien wie Länge der Zeitreihe, Datenzuverlässigkeit und hydrologische Bedeutung ausgewählt (Tabelle 1). Die Lage der Pegel ist in Karte 1 dargestellt. Die Verteilung der Pegel auf die Größenklasse der Einzugsgebiete (Abb. 2.1 und Abb. 2.2) ergibt, dass ein sehr weites Spektrum von Gebietsgrößen betrachtet werden kann. Es reicht von $A_{E_0} = 47,3 \text{ km}^2$ (Pegel Hölzlebruck/Josbach) bis zu $A_{E_0} = 76.653 \text{ km}^2$ (Pegel Achleiten /Donau). Die Mehrzahl der Pegel deckt ein Einzugsgebiet zwischen ca. 100 km^2 und 5.000 km^2 ab. Der Median für die Einzugsgebietsgröße liegt bei ca. $A_{E_0} = 625 \text{ km}^2$ und der Mittelwert bei ca. $A_{E_0} = 3.500 \text{ km}^2$. Eine Klassifizierung nach weiteren Kriterien wie Höhenlage oder Landnutzungsklassen war für die Fragestellung vorerst nicht notwendig.

Wie die Tabellen 1a bis 1e zeigen, weisen die Zeitreihen der HQ(J)-Werte deutlich unterschiedliche Beobachtungslängen auf. Die längsten Zeitreihen beginnen, bezogen jeweils auf das hydrologische Jahr (von November bis Oktober), bereits 1851 für den Pegel Heidelberg/Neckar oder 1881 für den Pegel Neu-Ulm Bad Held/Donau. Das

Ende der Zeitreihen liegt mit Ausnahme von drei Pegeln im Jahre 1998. Die Häufigkeitsverteilung der Pegel auf verschiedene Klassen der Beobachtungs-Zeitspanne zeigen Abb. 2.3 und Abb. 2.4.

Aufgrund dieser Häufigkeitsverteilung wurde vereinbart, dass für die Untersuchung des Langzeitverhaltens der Jahreshöchstwerte folgende drei Kollektive zu betrachten sind:

- alle Pegel mit der jeweils vorliegenden gesamten Beobachtungsreihe (Bezeichnung: "gesamte Zeitreihen", 158 Pegel)
- alle Pegel, die eine gemeinsame Beobachtungszeitreihe von 1932 bis 1997/1998 aufweisen; hierbei konnten 39 Pegel aus Baden-Württemberg und 68 Pegel aus Bayern (insgesamt 107 Pegel) berücksichtigt werden (Bezeichnung: "Zeitreihen ab 1932", 107 Pegel)
- alle Pegel mit den langen Zeitreihen, deren Beobachtungsbeginn im Jahr 1932 oder früher liegt. Diese Zeitreihen entsprechen den "Zeitreihen ab 1932", wobei jedoch bei der Analyse jeweils die gesamten vorliegenden Beobachtungsjahre berücksichtigt wurden (Bezeichnung: "lange Zeitreihen", 107 Pegel).

Monatshöchstwerte des Abflusses HQ (m)

Für die Analyse des Jahresgangs der Monatshöchstwerte HQ(m) wurden die Daten von 30 Pegeln aus Baden-Württemberg und von 22 Pegeln aus Bayern (insgesamt 52 Pegel) bereitgestellt, wobei jedes Untersuchungsgebiet wenigstens mit einem Pegel vertreten sein sollte. Die jeweiligen Zeitspannen sind in den Tabellen 1a bis 1e (rechte Spalte) aufgeführt. Bei der Analyse des Jahresgangs wurden jeweils die gesamte vorliegende Beobachtungsreihe und im Vergleich zum mittleren Jahresgang dazu die Teilreihen von Beobachtungsbeginn bis zum Jahr 1964 bzw. 1974 sowie zwischen 1965 bzw. 1975 und 1998 betrachtet. Diese Trennungsjahre 1964 und 1974 ergaben sich aus der Bruchpunktanalyse.



Flächenhafte georeferenzierte Informationen

Zur flächenhaften Darstellung der wesentlichsten Ergebnisse standen georeferenzierte Informationen über das Gewässernetz, die Lage der Pegel und der Einzugsgebiete sowie weitere gebietsbezogene Daten zur Verfügung. Diese Daten aus Baden-

Württemberg und Bayern wurden mit Hilfe des Geographischen Informationssystems Arc/Info bzw. Arc/View in eine gemeinsame Datenbasis übergeführt, so dass ausgewählte Ergebnisse der statistischen Analyse flächenhaft dargestellt werden können (siehe Karten 1 bis 5).

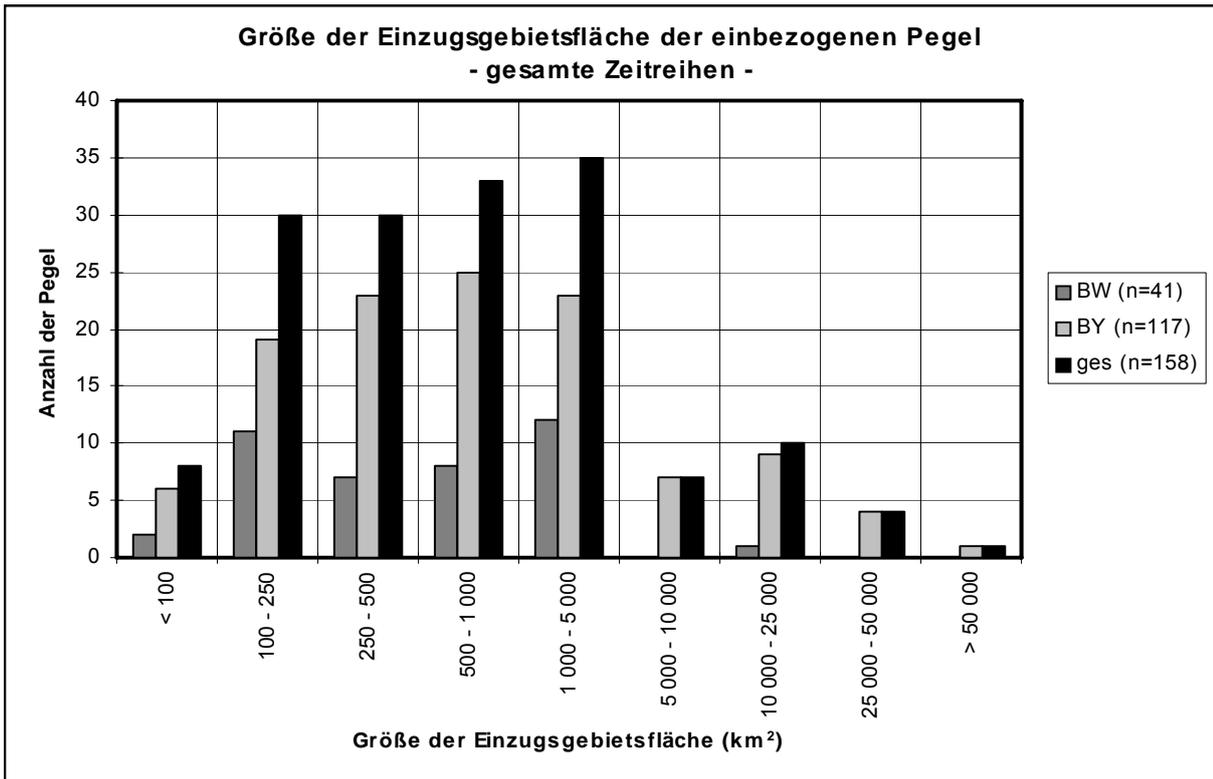


Abb. 2.1: Anzahl der einbezogenen Pegel für verschiedene Klassen der Einzugsgebietsfläche

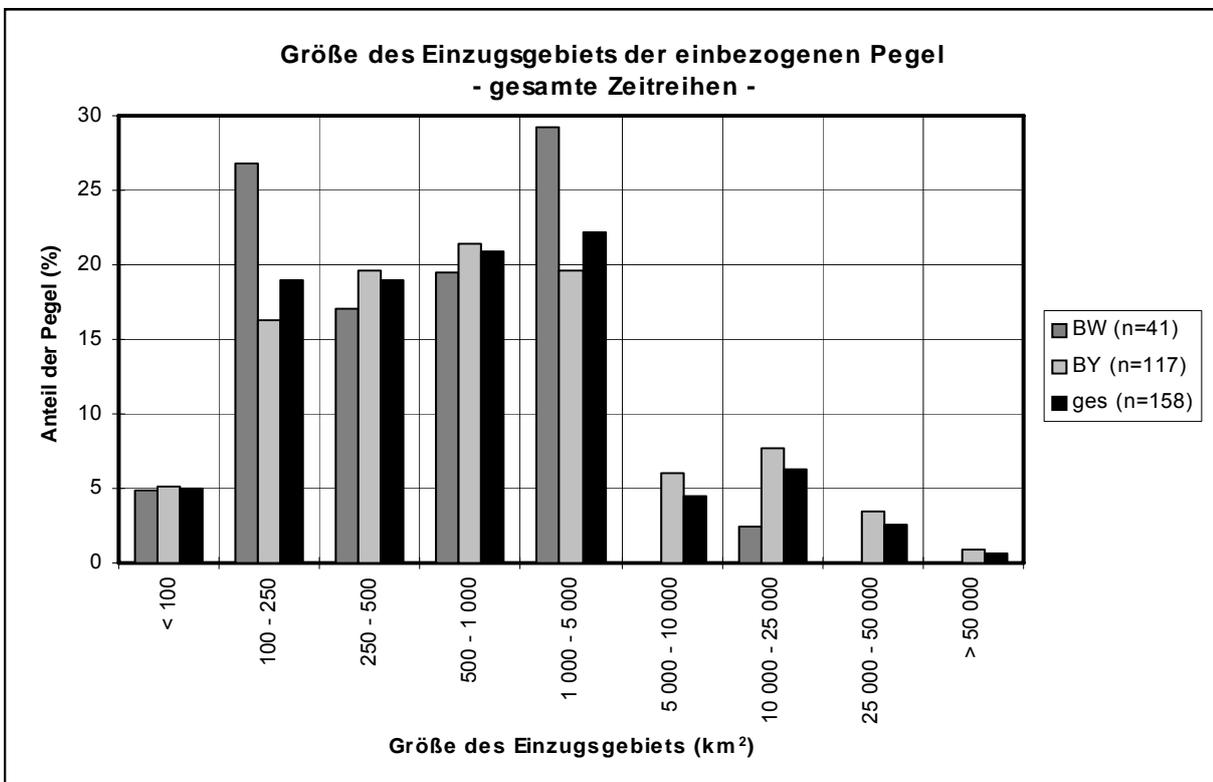


Abb. 2.2: Prozentualer Anteil der einbezogenen Pegel für verschiedene Klassen der Einzugsgebietsfläche

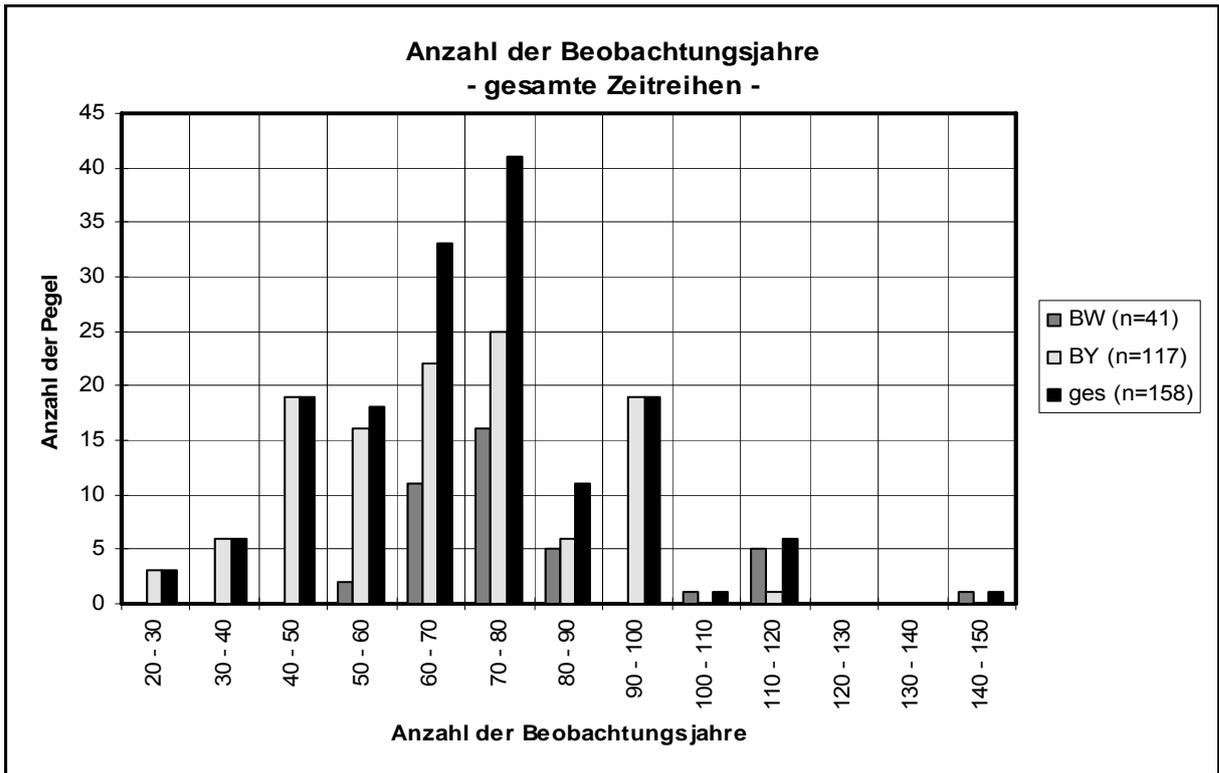


Abb. 2.3: Anzahl der Pegel für verschiedene Klassen der Beobachtungsjahre

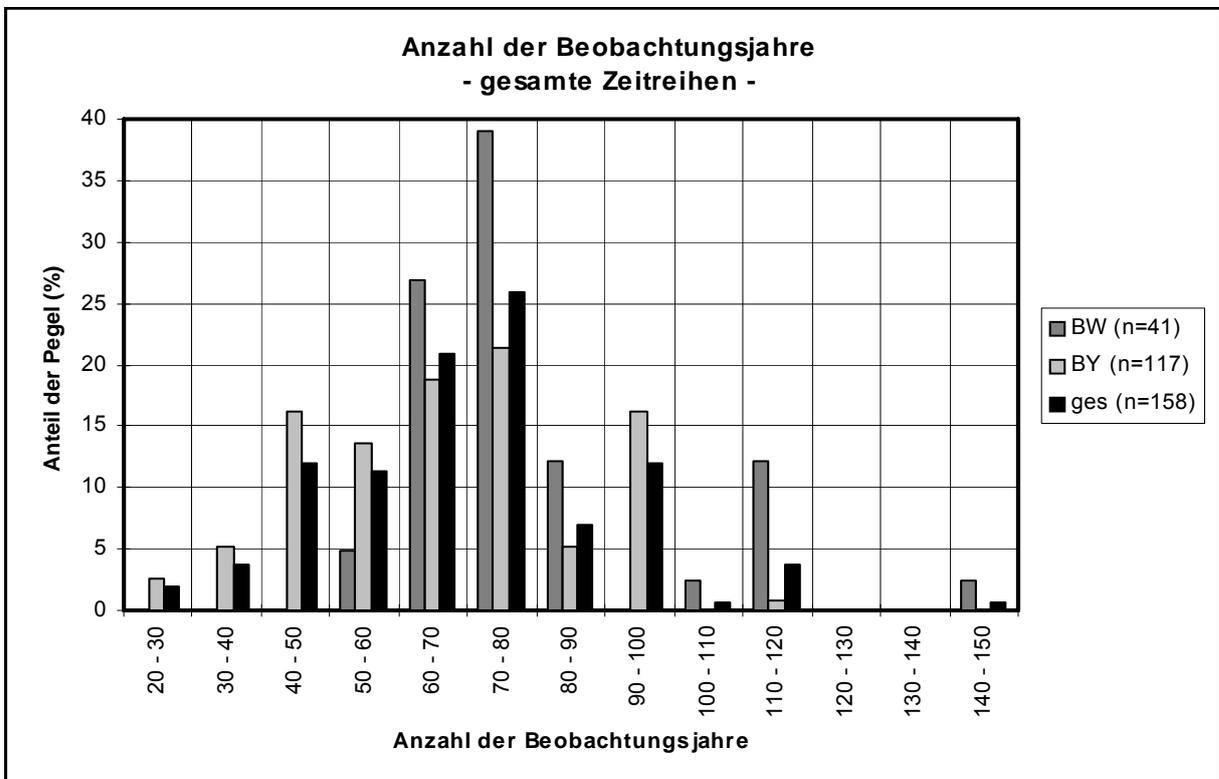


Abb. 2.4: Prozentualer Anteil der einbezogenen Pegel für verschiedene Klassen der Beobachtungsjahre



3 Statistische Grundlagen und Ergebnisdarstellung

3.1 Statistische Methoden

Zur Analyse des Langzeitverhaltens der Hochwasserabflüsse und zur Beurteilung der Ergebnisse wurden folgende statistische Verfahren ausgewählt:

3.1.1 Trendberechnung

Die Berechnung basiert auf der Annahme eines linearen Trends in der jeweils betrachteten Zeitreihe. Die Trendgerade, die für einen linearen Trend steht, ergibt sich über folgende Gleichung:

$$x_t(t) = a + b \cdot t \quad (3.1)$$

mit: $x_t(t)$: linearer Trend
 a, b : Koeffizienten der Trendgeraden

Zwei gängige Methoden zur Ermittlung der Trendgeraden sind nachstehend beschrieben; sie werden in Kapitel 4 ergebnismäßig verglichen, um das besser geeignete Verfahren für die weiteren Untersuchungen anzuwenden.

Die „klassische“ Methode zur Schätzung der Koeffizienten a und b der Trendgeraden stellt die **Methode der kleinsten Fehlerquadrate** ("Fehlerquadratsumme") dar. Hierbei wird die Fehlerquadratsumme SQ (zeitäquidistante Daten mit Zeitschritt Δt) minimiert.

$$\begin{aligned} SQ &= \sum_{i=1}^n (x(i \cdot \Delta t) - x_t(i \cdot \Delta t))^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (x_i - (a + b \cdot i \cdot \Delta t))^2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

mit: SQ : Fehlerquadratsumme
 Δt : Zeitschritt der Daten
 $x(i \cdot \Delta t)$: hydrologische Größe; hier Jahreshöchstwert HQ(J) mit $\Delta t = 1 a$
 n : Anzahl der Zeitschritte (Anzahl der Beobachtungsjahre abzüglich der Anzahl der Jahre mit Datenlücken)

Aus den Ableitungen von Gl. 3.2 nach den

beiden Koeffizienten a und b ergibt sich ein lineares Gleichungssystem, aus dem sich die Koeffizienten a und b wie folgt errechnen lassen:

$$\begin{aligned} a &= \bar{x} - b \cdot \bar{t} \\ b &= \frac{s_{x,t}}{s_t^2} \end{aligned} \quad (3.3)$$

mit: \bar{x} : Mittelwert der hydrologischen Größe x
 \bar{t} : Mittelwert über die Zeit t (Zeitschritte $t_i = i \cdot \Delta t$)
 $s_{x,t}$: Kovarianz zwischen der Größe x und der Zeit t

$$s_{x,t} = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (t_i - \bar{t})$$

s_t^2 : Varianz über die Zeit t

$$s_t^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2$$

n : Anzahl der Zeitschritte
 a : Achsenabschnitt
 b : Trendsteigung

Wie aus Gl. 3.2 erkennbar ist, erhalten bei der Trendschätzung über die Fehlerquadratsumme solche x -Werte, die relativ weit von der mittleren Trendgeraden entfernt liegen, infolge des quadratischen Abweichungsmaßes einen recht hohen Einfluss auf die Fehlerquadratsumme und damit auf die Größe der Koeffizienten a und b .

Zur Schätzung der Trendsteigung b ist auch die **Methode der Fehlerabsolutsumme** gemäß nachstehender Gleichung einsetzbar:

$$\begin{aligned} SA &= \sum_{i=1}^n |x(i \cdot \Delta t) - x_t(i \cdot \Delta t)| \\ &= \sum_{i=1}^n |x_i - (a + b \cdot i \cdot \Delta t)| \end{aligned} \quad (3.4)$$

mit: SA : Fehlerabsolutsumme

Für die Schätzung der beiden Koeffizienten a und b nach der Fehlerabsolutsumme existiert keine analytische Lösung. Deshalb wird hier unter der Bedingung, dass die Trendgerade durch den Mittelwert (\bar{t}, \bar{x}) geht, folgendes Lösungsverfahren eingesetzt:

- Schätzung der Koeffizienten a_q und b_q nach der Methode der Fehlerquadratsumme
- Ermittlung der Fehlerabsolutsumme für die Koeffizienten a_q und b_q
- Iterative Minimierung der Fehlerabsolutsumme über ein Suchverfahren für b mit Startwert b_q
- Ermittlung des Achsenabschnitts a entsprechend Gl 3.3 mit optimalem Steigungsmaß b

Über den **rückschreitenden Trend** kann für eine Zeitreihe beurteilt werden wie sich das Trendverhalten bei konstantem Zeitreihenende als Funktion der Beobachtungslänge verändert. Für die Berechnung des rückschreitenden Trends wird die Schätzung der Trendsteigung schrittweise beginnend bei der gesamten Zeitreihe für den jeweils um ein Jahr verkürzten Zeitreihenbeginn durchgeführt. Hieraus ergibt sich die Trendsteigung als Funktion der Beobachtungslänge der Zeitreihe. Als minimale Zeitreihenlänge wurde eine Zeitspanne von 20 Jahren festgelegt.

Zur vergleichenden Beurteilung des Trendverhaltens der verschiedenen Pegel wurden folgende Trendgrößen ermittelt:

$$\begin{aligned} \text{absoluter Trend} : b_a & \quad [m^3 / s \cdot a] \\ \text{relativer Trend} : b_r = 100 \cdot \frac{b_a}{MHQ} & \quad [\% / a] \end{aligned} \quad (3.5)$$

Die relative Trendgröße gibt die prozentuale Trendänderung einer Pegelzeitreihe pro Jahr, bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss MHQ an. Dieser relative Trend ist geeignet, das Trendverhalten der untersuchten Pegel vergleichend darzustellen und zu bewerten.

3.1.2 Trendtest nach MANN-KENDALL

Als Testverfahren für die Signifikanz des gemäß Abschnitt 3.1.1 berechneten linearen Trends wurde der verteilungsfreie Test nach MANN-KENDALL eingesetzt. Bei diesem Testverfahren ergibt sich zunächst die Summe der Vorzeichen benachbarter Werte aus:

$$Q = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (3.6)$$

mit: Q : Prüfgröße nach MANN-KENDALL
 n : Anzahl der Zeitschritte (Anzahl der Beobachtungsjahre abzüglich der Anzahl der Jahre mit Datenlücken)

Diese Größe Q stellt für $n > 10$ eine normalverteilte Zufallsvariable dar mit:

$$\begin{aligned} \text{Mittelwert} \quad \bar{Q} &= 0 \\ \text{und} \\ \text{Varianz} \quad \sigma_Q^2 &= \frac{1}{18} (n \cdot (n-1) \cdot (2 \cdot n + 5)) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Hieraus ergibt sich die Prüfgröße nach MANN-KENDALL zu:

$$\hat{z} = \frac{Q}{\sigma_Q} \quad (3.8)$$

Diese Prüfgröße ist standardnormalverteilt $N(0,1)$ und kann über die Normalverteilung mit einem zweiseitigen Test auf Signifikanz getestet werden. Geprüft werden hierbei folgende Signifikanzniveaus:

$$\alpha = 99.99\%, 99.9\%, 99.5\%, 99\%, 98\%, 95\%, 90\%, 80\% \text{ und } 50\%$$

Ergibt sich für die Prüfgröße ein Signifikanzniveau von $\alpha < 80\%$, wird der Trend grundsätzlich als nicht signifikant erklärt. Die Signifikanzniveaus erlauben folgende Bewertungen:

$$\begin{aligned} \alpha < 80\% &: \text{nicht signifikant} \\ 80\% \leq \alpha < 90\% &: \text{schwach signifikant} \\ 90\% \leq \alpha < 99\% &: \text{wahrscheinlich signifikant} \\ \alpha \geq 99\% &: \text{sehr wahrscheinlich signifikant} \end{aligned}$$



3.1.3 Bruchpunktanalyse nach MANN-WHITNEY

Die Bruchpunktanalyse nach PETTIT bzw. MANN-WHITNEY stellt einen verteilungsfreien Homogenitätstest für die Zeitreihe dar. Sie liefert als Information den wahrscheinlichsten Zeitpunkt innerhalb einer Zeitreihe, an dem mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eine Änderung vorliegt. Dies bedeutet: weist eine Zeitreihe eine Veränderung im Verhalten auf, so liegt der Zeitpunkt der Veränderung mit der zugehörigen Wahrscheinlichkeit an dem ermittelten Bruchpunkt. Über die Wahrscheinlichkeit bzw. Signifikanz der Änderung selbst wird keine Aussage gemacht.

Die Bruchpunktanalyse erfolgt über folgende Prüfgröße:

$$U_{k,n} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (3.9)$$

$$K_n = \max_{1 \leq k \leq n} |U_{k,n}|$$

mit: K_n : Prüfgröße

$U_{k,n}$: Summe der Vorzeichen

n : Gesamtlänge der Zeitreihe (Anzahl der Zeitschritte)

k : laufender Zeitindex

x : hydrologische Größe

Der wahrscheinlichste Bruchpunkt liegt bei dem Zeitschritt k , für den die Prüfgröße K_n ein Maximum darstellt. Die Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts kann geschätzt werden über:

$$P = 1 - \exp\left(\frac{-6 \cdot K_n^2}{n^3 + n^2}\right) \quad (3.10)$$

Bezüglich der Wahrscheinlichkeit P existieren keine Beurteilungskriterien. In der hier durchgeführten Untersuchung wurden nur Bruchpunkte ausgegeben, für die gilt: $P > 50\%$.

3.1.4 Summenlinienanalyse

Die Summenlinienanalyse stellt die klassische Methode zur Homogenitätsprüfung von Zeitreihen dar. Dabei wird die laufende

Summe einer hydrologischen Größe als Funktion der Zeit aufgetragen. Ist die Zeitreihe homogen, weist die Summenlinie eine eindeutige Steigung (konstanter Mittelwert) über die gesamte Beobachtungszeitspanne auf. Bei inhomogenen Zeitreihen ist ein Wechsel des Steigungsmaßes erkennbar. Dieser Wechsel kann "schleichend" erfolgen und führt beispielsweise zu einer kontinuierlichen einseitigen Über- oder Unterschreitung der mittleren Steigung der Summenlinie. Bei einer "sprunghaften" Veränderung in der Zeitreihe (unterschiedliche Mittelwerte in den Teilzeitreihen) ergeben sich zwei Zeitabschnitte mit deutlich unterschiedlichem Steigungsmaß.

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Abflusszeitreihen bezüglich einer "sprunghaften" Veränderung über die Summenlinie wie folgt getestet:

Aus der Bruchpunktanalyse nach MANN-WHITNEY ergibt sich der wahrscheinlichste Änderungspunkt im Verhalten. Dieser Änderungspunkt teilt die gesamte Zeitreihe in zwei Teilzeitreihen, für die jeweils aus der Summenlinie über eine lineare Regressionsrechnung das Steigungsmaß (Mittelwert) berechnet wird.

$$1. \text{ Regressionsgerade: } y_1 = a_1 + b_1 \cdot x_1$$

$$2. \text{ Regressionsgerade: } y_2 = a_2 + b_2 \cdot x_2$$

(3.11)

mit: x_1, x_2 : summierte Zeiten der beiden Teilzeitreihen

y_1, y_2 : Werte der Summenlinie der beiden Teilzeitreihen

a_i, b_i : Koeffizienten der Regressionsgeraden

Unterschiedliche Steigungsmaße entsprechen dabei unterschiedlichen Mittelwerten in den Teilzeitreihen. Die Änderung des Steigungsmaßes kann über den zweiseitigen Student-Test (t-Test) auf Signifikanz getestet werden:

1. Berechnung der beiden Steigungsmaße b_1 und b_2 der Teilzeitreihen über eine lineare Regressionsrechnung analog zu Gl. 3.3

2. Ermittlung der Prüfgröße:

$$\hat{t} = \frac{|b_1 - b_2|}{\sqrt{\frac{s_{y_1, x_1}^2 \cdot (n_1 - 2) + s_{y_2, x_2}^2 \cdot (n_2 - 2)}{n_1 + n_2 - 4} \cdot \left(\frac{1}{Q_{x_1}} + \frac{1}{Q_{x_2}} \right)}}$$

(3.12)

$$\text{mit: } Q_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.13)$$

$s_{y,x}^2$: Kovarianzen der jeweiligen x- und y-Werte

3. Ermittlung der Testgröße für einen zweiseitigen Test über die t-Verteilung mit:

$$m = n_1 + n_2 - 4 \quad \text{Freiheitsgraden} \quad (3.14)$$

Bei der Anwendung des Testverfahrens wird kein vorgegebenes Signifikanzniveau α verwendet, sondern es wird das Signifikanzniveau ermittelt, für das die Steigungsänderung gerade noch als signifikant erklärt wird. Geprüft werden hierbei folgende Signifikanzniveaus:

$$\alpha = 99.99\%, 99.9\%, 99.5\%, 99\%, 98\%, 95\%, 90\%, 80\% \text{ und } 50\%$$

Ergibt sich für die Steigungsänderung ein Signifikanzniveau von $\alpha < 80\%$ wird die Änderung als nicht signifikant erklärt. Sind in der Zeitreihe Datenlücken vorhanden, werden diese vor der Regressionsrechnung aus der Zeitreihe entfernt. Die Beurteilung der Signifikanz der Änderung erfolgt analog zum Trendtest nach MANN-KENDALL.

3.2 Darstellung der Ergebnisse für die einzelnen Pegel

Für alle ausgewerteten Zeitreihen der Pegel wird eine einheitliche Ergebnisdarstellung verwendet, die folgende Teilergebnisse beinhaltet:

3.2.1 Analyse der Jahreshöchstwerte HQ(J)

Abb. 3.1 zeigt exemplarisch die Ergebnisse der Trendanalyse am Pegel Donauwörth an der Donau über die gesamte Beobachtungsreihe 1901 bis 1998 mit folgenden Informationen:

oberes Diagramm: Zeitreihe der Jahreshöchstwerte des Abflusses HQ(J) mit Kennzeichnung von

- mittlerem Hochwasserabfluss MHQ mit Angabe des Werts in $[m^3/s]$: 721.7
- Trendgerade mit Angabe der jährlichen Abflussänderung (absoluter Trend) in der Diagrammunterschrift in $[m^3/s*a]$: 2.084
- Trendsignifikanz nach MANN-KENDALL in der Diagrammunterschrift
- Kennzeichnung des Bruchpunkts nach MANN-WHITNEY (im Falle einer Wahrscheinlichkeit von $P > 50\%$) mit Angabe des Jahres und der Wahrscheinlichkeit P

mittleres Diagramm: rückschreitender Trend mit

- Trend über die gesamte Zeitreihe (Gesamtrend), dargestellt als Gerade
- rückschreitendem Trend, ermittelt aus mindestens 20 Jahren. Die Trendwerte sind auf der Zeitachse an dem Jahr aufgetragen, an dem die jeweils betrachtete Teilzeitreihe beginnt und bilden die dargestellte Kurve.
- Signifikanzniveau des Trends für $\alpha > 80\%$ nach MANN-KENDALL. Die Höhe des Signifikanzniveaus ist an dem Jahr dargestellt, an dem die jeweils betrachtete Teilzeitreihe beginnt (rechte Achse). Werte $\alpha \leq 80\%$ sind nicht dargestellt.

unteres Diagramm: Summenlinienanalyse mit

- Summenlinie mit Zeitskalierung über das Abflussjahr. Treten in einer Zeitreihe Datenlücken auf, werden diese aus der Zeitreihe entfernt. Die Zeitskalierung wird in solchen Fällen durch eine fortlaufende Nummer der Jahre ersetzt.



- Kennzeichnung des wahrscheinlichen Bruchpunkts nach MANN-WHITNEY
- Angabe des Jahres, in dem der Bruchpunkt nach MANN-WHITNEY liegt und Angabe der Signifikanz der Änderung des Steigungsmaßes nach dem t-Test.
- Darstellung der Regressionsgeraden für die beiden Teilzeitreihen, die sich durch Teilung der Gesamtreihe am Bruchpunkt ergeben.
- Darstellung der Summe des Standardfehlers aus jeweils zwei Regressionsgeraden. Hierbei wird der Zeitpunkt des betrachteten Bruchpunkts kontinuierlich über die gesamte Zeitreihe variiert. Das Minimum dieser Kurve gibt den

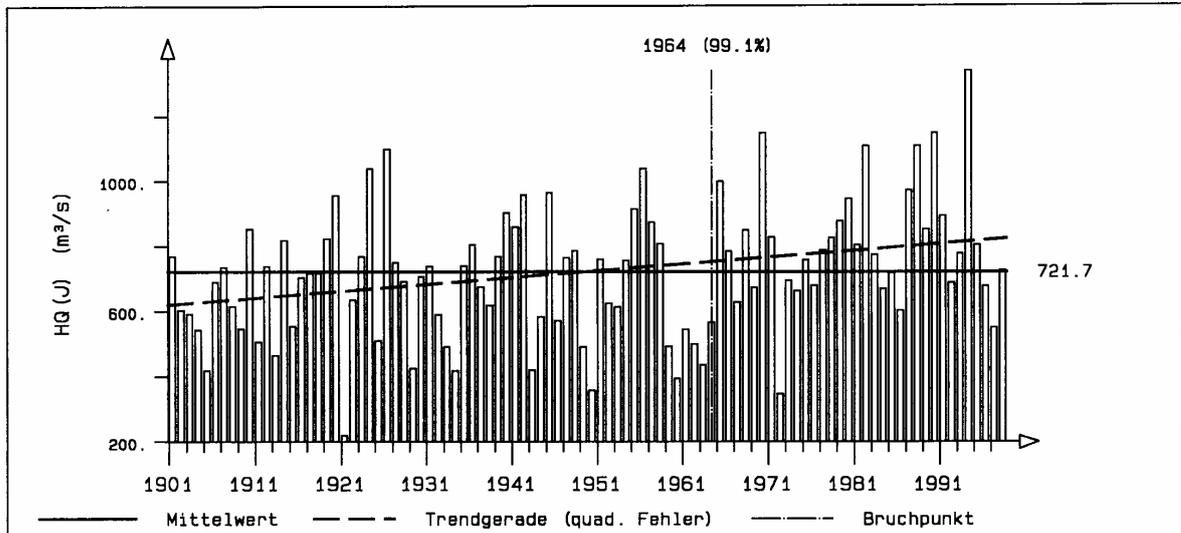
Zeitpunkt der Zeitreihenteilung an, für den sich aus den beiden Regressionsrechnungen der kleinste Standardfehler ergibt.

Im Abschlussbericht des IWK sind die Ergebnisse aller Pegel analog zu Abbildung 3.1 enthalten. Beispielhaft sind dazu in Anlage 1 für acht ausgewählte Pegel, nämlich Berg/Donau, Kempten/Iller, Heitzenhofen/Naab, Hofkirchen/Donau, Schweinfurt/Main, Horb/Neckar, Stein/Kocher und Schweinbach/Kinzig die Untersuchungsergebnisse dargestellt.

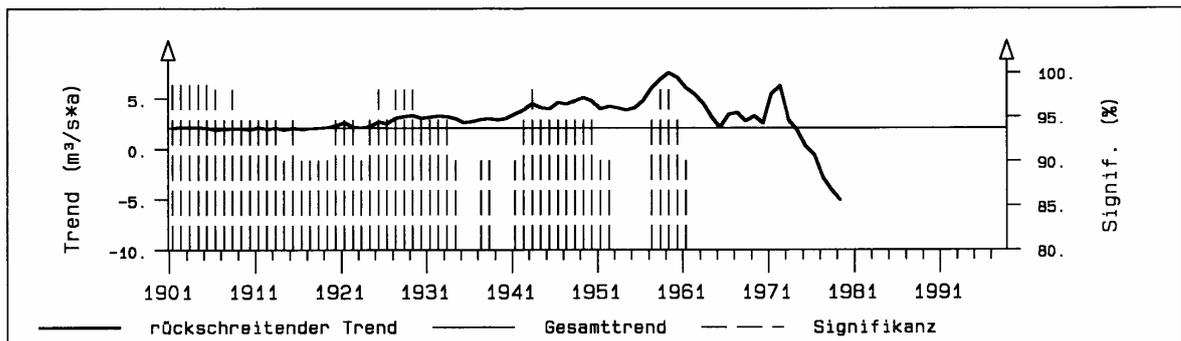
Pegel Donauwörth/Donau

(Pegel-Nr. 1003980)

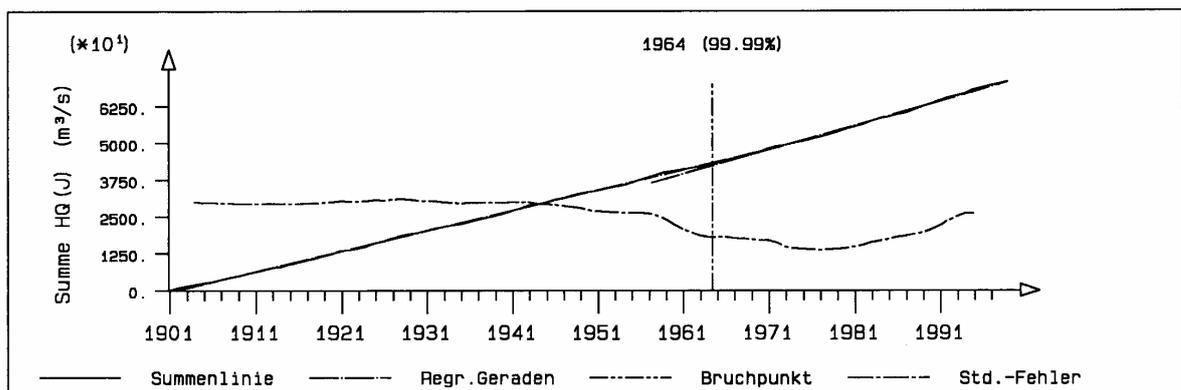
Jährliche Höchstabflüsse HQ (J) 1901-1998 (hydrologisches Jahr)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $2.084 \text{ m}^3/\text{s}\%a$
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 99.5%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

lfd.-Nr.: A-014

Abb. 3.1: Ergebnisdarstellung der Analyse des Langzeitverhaltens der jährlichen Höchstwerte HQ(J)



3.2.2 Analyse des Jahresganges der monatlichen Höchstwerte HQ(m)

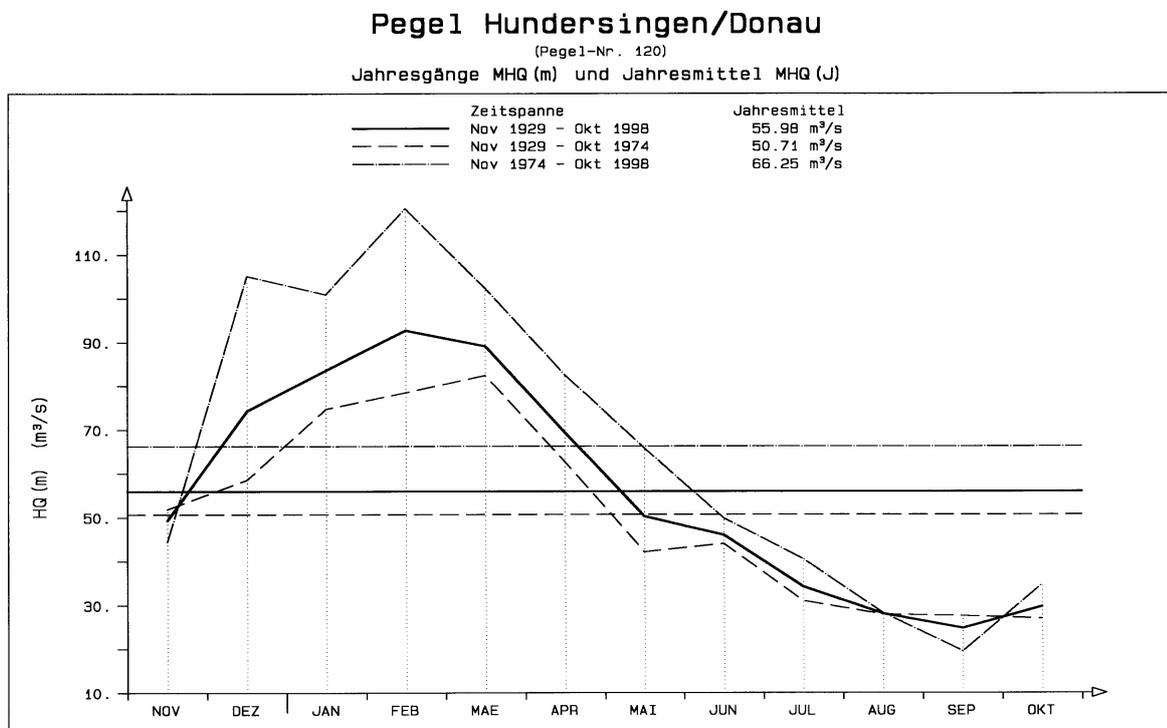
Zur Analyse des Jahresganges der monatlichen Höchstwerte des Abflusses HQ(m) wurden folgende Auswertungen durchgeführt:

- Ermittlung der mittleren monatlichen Höchstwerte MHQ(m) für die einzelnen Monate über die gesamte Zeitreihe und des mittleren Jahreshöchstwertes MHQ(J)
- Ermittlung der mittleren monatlichen Höchstwerte $MHQ_1(m)$ für die einzelnen Monate über die erste Teil-Zeitreihe vom Beginn der Beobachtung bis zum Trennungsjahr 1964 bzw. 1974 und des mittleren Jahreshöchstwertes $MHQ_1(J)$
- Ermittlung der mittleren monatlichen Höchstwerte $MHQ_2(m)$ für die einzelnen Monate über die zweite Teil-Zeitreihe vom Jahr 1965 bzw. 1975 bis zum Jahr 1998 und des mittleren Jahreshöchstwertes $MHQ_2(J)$
- Darstellung der Mittelwerte in einem Diagramm. Ein Test auf Signifikanz der Mittelwertsänderung erfolgte nicht.

Abb. 3.2 zeigt exemplarisch für den Pegel Hundersingen an der Donau die Ergebnisse der Analyse des Jahresganges der monatlichen Höchstwerte mit folgenden Informationen:

- Darstellung des Jahresganges der mittleren monatlichen Höchstwerte MHQ(m) für die drei untersuchten Zeitspannen (Gesamtzeitreihe, Zeitreihe bis 1974 und Zeitreihe ab 1974)
- Darstellung des jeweils zugehörigen mittleren jährlichen Höchstabflusses MHQ(J) mit Angabe des entsprechenden Werts.

Im Abschlußbericht des IWK sind für alle untersuchten Zeitreihen Ergebnisdarstellungen analog zu der Abb. 3.2 enthalten. Beispielhaft sind im Anhang (Anlage 2) die in Kap. 3.2.1 aufgeführten acht Pegel, die die unterschiedlichen Flussgebiete charakterisieren sollen, die zugehörigen grafischen Ergebnisdarstellungen aufgenommen.



1fd.-Nr.: A-005

Abb. 3.2: Ergebnisdarstellung der Analyse des Jahresganges: monatliche Höchstwerte HQ(m) und mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss MHQ(J) für drei unterschiedliche Zeitspannen (Gesamtzeitreihe und Teilreihen für Trennungsjahr 1974)

4 Vergleich der Trendschätzmethoden

Die wesentliche Grundlage für die Beurteilung des Trendverhaltens von Zeitreihen stellt zunächst die Methode der Trendschätzung dar. Hierfür stehen die Trendschätzung nach der Fehlerquadratsumme und die Schätzung nach der Fehlerabsolutsumme zur Wahl. Zur Beurteilung des Einflusses der Trendschätzmethode auf das Ergebnis über das Trendverhalten der Zeitreihen wurden für alle vorliegenden Zeitreihen der Jahreshöchstwerte (158 Pegelzeitreihen über die jeweils vorhandene gesamte Beobachtungszeit und 107 Pegelzeitreihen über die gemeinsam vorhandenen Beobachtungszeit ab 1932) die Trendsteigungen nach beiden Verfahren ermittelt.

Die rechnerischen Ergebnisse für die einzelnen Pegel sind in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellt.

Zur besseren Beurteilung sind die Ergebnisse über alle betrachteten Pegel auch grafisch in den Abbildungen 4.1 und 4.2 dargestellt. Dazu wurde für das Wertepaar eines jeden Pegels ein Punkt in Abb. 4.1 und Abb. 4.2 eingetragen, so dass ein Vergleich der Trendsteigungen, ermittelt über die beiden Schätzverfahren

Fehlerabsolutsumme: Trend(abs)

Fehlerquadratsumme: Trend(quad)

aus der Lage der Punkte zur Winkelhalbierenden möglich ist. Die Trendsteigungen sind dabei jeweils bezogen auf den mittleren Hochwasserabfluss des Pegels MHQ.

Abb. 4.1 zeigt diesen Vergleich für alle vorliegenden Beobachtungsreihen (158 Pegel) und Abb. 4.2 für die gemeinsam ausgewertete Zeitspanne ab 1932 (107 Pegel). Das obere Diagramm enthält jeweils das Ergebnis für alle Pegel unabhängig von der Signifikanz des Trends und das untere Diagramm stellt den Vergleich nur für die Pegel dar, die eine Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$ aufweisen.

Aus Abb. 4.1 und Abb. 4.2 ist deutlich erkennbar, dass das Ergebnis einer Trendschätzung von der Schätzmethode abhängig ist. Die Wertepaare streuen deutlich um die Winkelhalbierende. Es lässt sich zunächst nicht unmittelbar eine Beurteilung

bezüglich der Eignung einer bestimmten Methodik hieraus erkennen. Auffällig ist jedoch, dass bei einigen Pegeln in Abb. 4.1 (gesamte Zeitreihen) sowohl für alle Pegel als auch für die signifikanten (mit $\alpha \geq 80\%$) Pegel die Ergebnisse der Fehlerabsolutsumme weit von den Ergebnissen der Fehlerquadratsumme abweichen.

Abb. 4.3 bis Abb. 4.6 zeigen exemplarisch das unterschiedliche Ergebnis der Trendschätzung an vier ausgewählten Pegeln. Am Pegel Plochingen/Fils (Abb. 4.3) ergibt sich trotz der recht gleichmäßigen Abfolge von großen und kleinen Jahreshöchstwerten über die Methode der Fehlerabsolutsumme ein mehr als doppelt so großes Steigungsmaß im Vergleich zu der Fehlerquadratsumme. Dieses Phänomen kann darauf zurückgeführt werden, dass bei der Fehlerabsolutsumme die große Anzahl der Ereignisse, die kleiner als der mittlere Hochwasserabfluss MHQ sind, das Trendergebnis entscheidend beeinflussen. Am Pegel Hundersingen/Donau (Abb. 4.4) dagegen ergibt die Fehlerabsolutsumme ein geringfügig kleineres Steigungsmaß gegenüber der Fehlerquadratsumme, da bei dieser Schätzmethode die großen Hochwasserereignisse gegen Ende der Beobachtungsreihe ein geringes Gewicht bekommen. Ähnliche Ergebnisse ergeben sich auch für den Pegel Bad Aibling/Glonn (Abb. 4.5) und den Pegel Oberaudorf/Inn (Abb. 4.6). Bei beiden Pegeln ergibt die Fehlerabsolutsumme deutlich höhere Steigungsmaße als die Fehlerquadratsumme.

Auffallend ist bei allen dargestellten Beispielen, dass sich bei der Optimierung der Trendsteigung die Fehlerabsolutsumme lediglich um ein geringes Maß gegenüber der Fehlerabsolutsumme verringert, die sich bei der Trendschätzung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate ergibt. Die entsprechenden Angaben sind in den Abbildungen jeweils unter dem Steigungsmaß angegeben (FAS: Fehlerabsolutsumme). Die Änderungen betragen jeweils weniger als 2%, obwohl das Steigungsmaß sich teilweise verdoppelt.



Diese Tatsache weist darauf hin, dass das Steigungsmaß bei der Trendschätzung sehr sensibel auf die Fehlerabsolutsumme reagiert. In dieser Fehlerabsolutsumme werden die vielen Abweichungen, die zwischen der Trendgeraden und den kleinen Hochwasserereignissen liegen, gleichgewichtig mit den großen Abweichungen berücksichtigt. Die Beurteilung eines Trends sollte sich jedoch verstärkt an den großen Hochwasserereignissen orientieren.

Zur weitergehenden Beurteilung der Trendschätzung ist in Abb. 4.7 und Abb. 4.8 der Trend, getrennt nach den beiden Schätzmethoden, als Funktion der Beobachtungslänge der Pegelzeitreihe dargestellt. Das obere Diagramm gibt hierbei jeweils die Auswertung über alle Pegel und das untere Diagramm die Auswertung für die Pegel mit einer Trendsignifikanz $\alpha \geq 80\%$ wieder. Erwartungsgemäß zeigen die Einzelergebnisse eine recht große Variabilität, wobei jedoch die Streubreite bei der Trendschätzung nach der Fehlerabsolutsumme insbesondere bei den kurzen Zeitreihen deutlich größer ist. Mit zunehmender Beobachtungslänge geht die Variabilität bei beiden Schätzmethoden deutlich zurück. Zeitreihen ab einer Länge von ca. 80 Jahren zeigen

zwischen den beiden Schätzmethoden nur noch geringe Unterschiede. Liegen weniger als ca. 60 bis 70 Beobachtungsjahre vor, ergibt sich bei beiden Verfahren eine deutliche Zunahme der Variabilität des Trendergebnisses. Hierdurch wird bestätigt, dass eine gemeinsame Wertung der ausgewählten Pegel sich auf möglichst lange Zeitreihen stützen sollte.

Zusammenfassend kann aus diesem Vergleich der Trendschätzmethoden festgehalten werden, dass zunächst kein eindeutiges Kriterium für die Wahl einer bestimmten Schätzmethode erkennbar ist. Bei langen Beobachtungszeitreihen liegen die Einzelergebnisse nahe zusammen. Nimmt jedoch die Länge der Beobachtungsreihe ab, weist die Trendschätzung nach der Fehlerabsolutsumme deutlich höhere Streuungen auf. Die Ergebnisse einzelner Pegel weichen teilweise erheblich voneinander ab, obwohl sich die Fehlerabsolutsumme nur geringfügig unterscheidet. Aufgrund dieses Verhaltens wurde vereinbart, dass für die weitere Untersuchung des Trendverhaltens zur Trendschätzung die Methode der **Fehlerquadratsumme** zur Anwendung kommt.

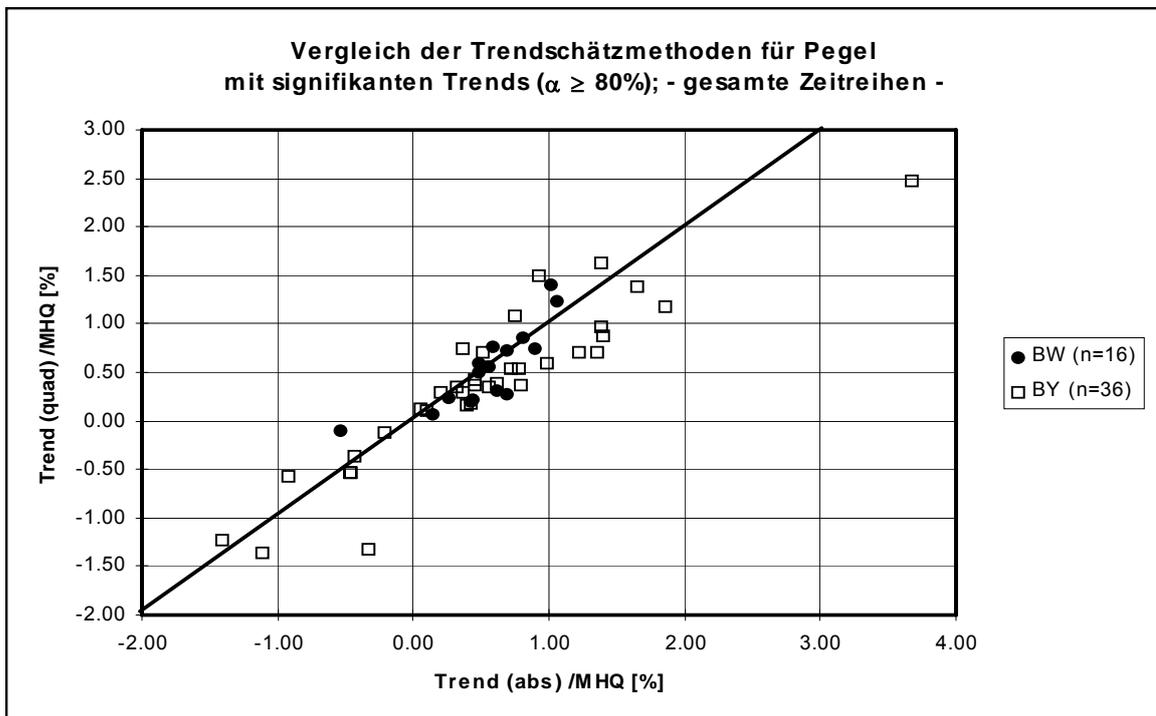
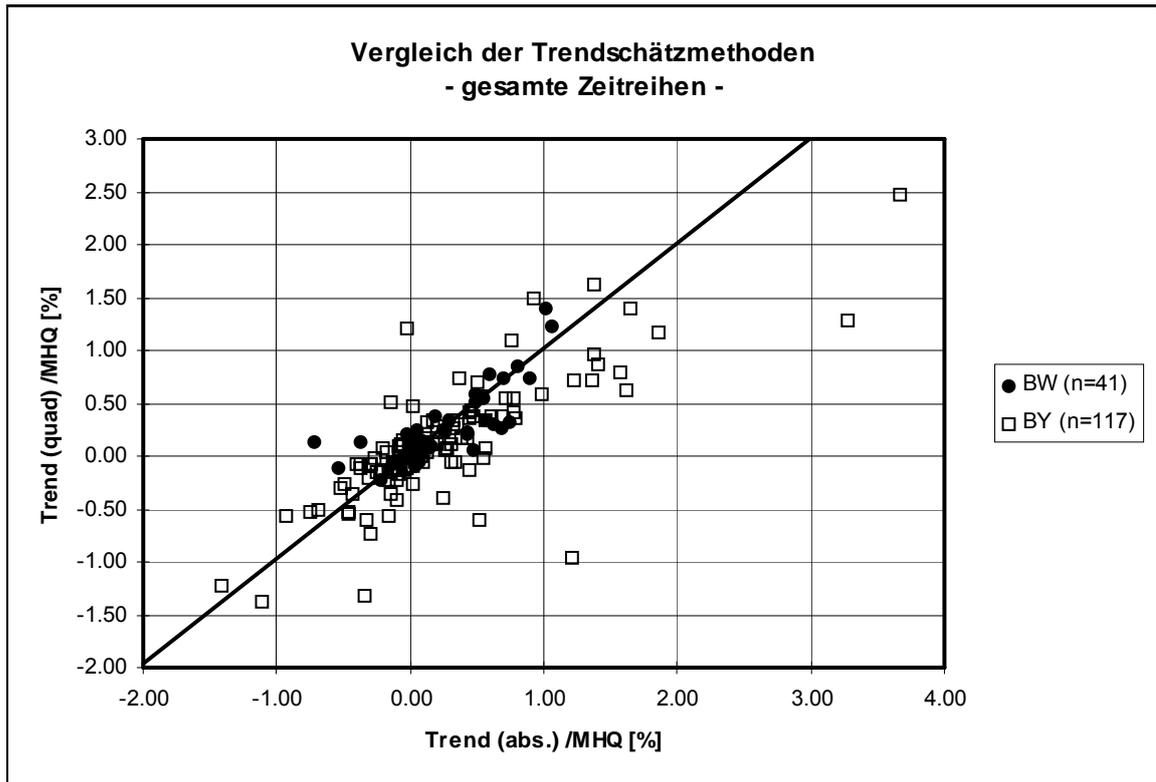


Abb. 4.1: Vergleich der Trends, ermittelt aus dem Kollektiv „gesamte Zeitreihe“ über die Fehlerabsolutsumme "Trend (abs)" und die Fehlerquadratsumme "Trend (quad)", jeweils bezogen auf den mittleren Hochwasserabfluss MHQ
oberes Diagramm: für alle Zeitreihen
unteres Diagramm: für die Zeitreihen mit einer Trendsignifikanz $\alpha \geq 80\%$

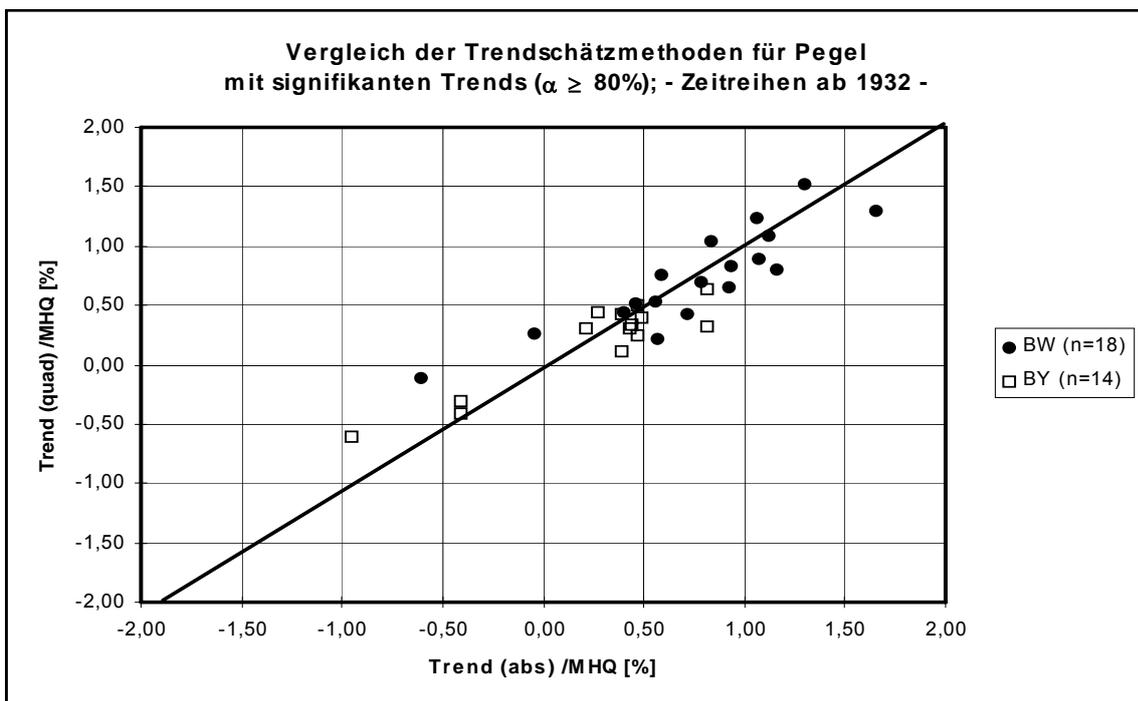
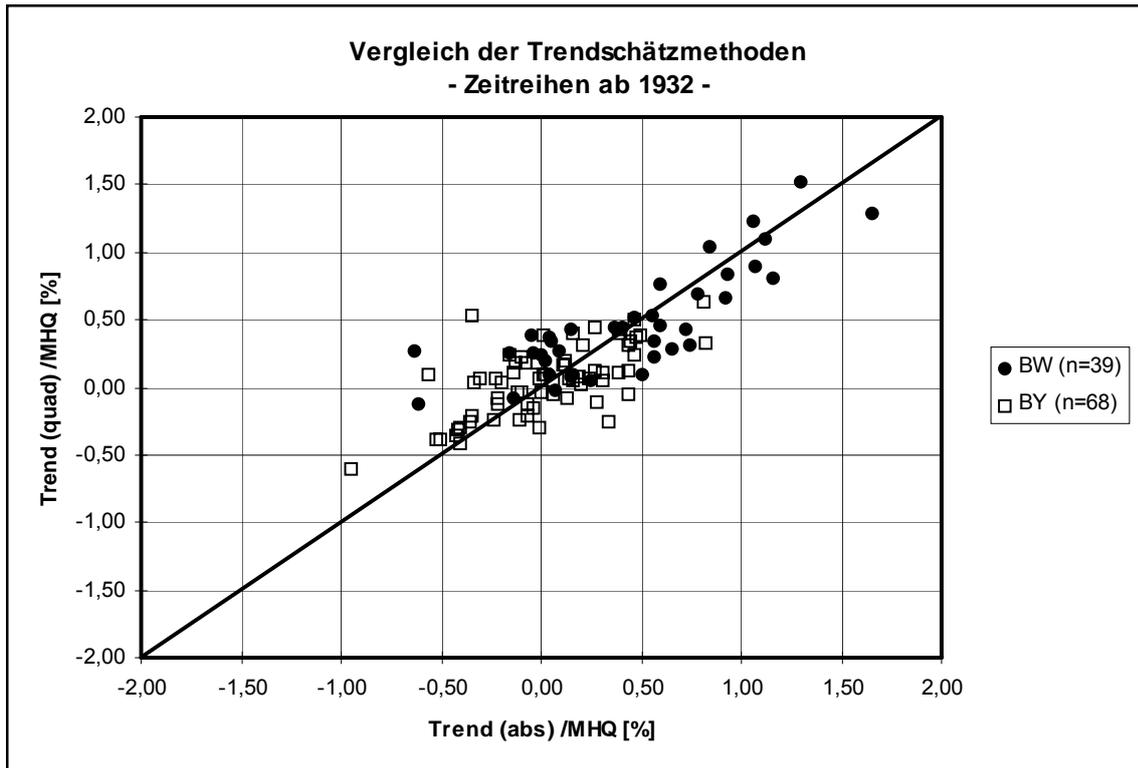


Abb. 4.2: Vergleich der Trends, ermittelt aus dem Kollektiv „Zeitreihen ab 1932“ über die Fehlerabsolutsumme "Trend (abs)" und die Fehlerquadratsumme "Trend (quad)", jeweils bezogen auf den mittleren Hochwasserabfluss MHQ
oberes Diagramm: für alle Zeitreihen
unteres Diagramm: für die Zeitreihen mit einer Trendsignifikanz $\alpha \geq 80\%$

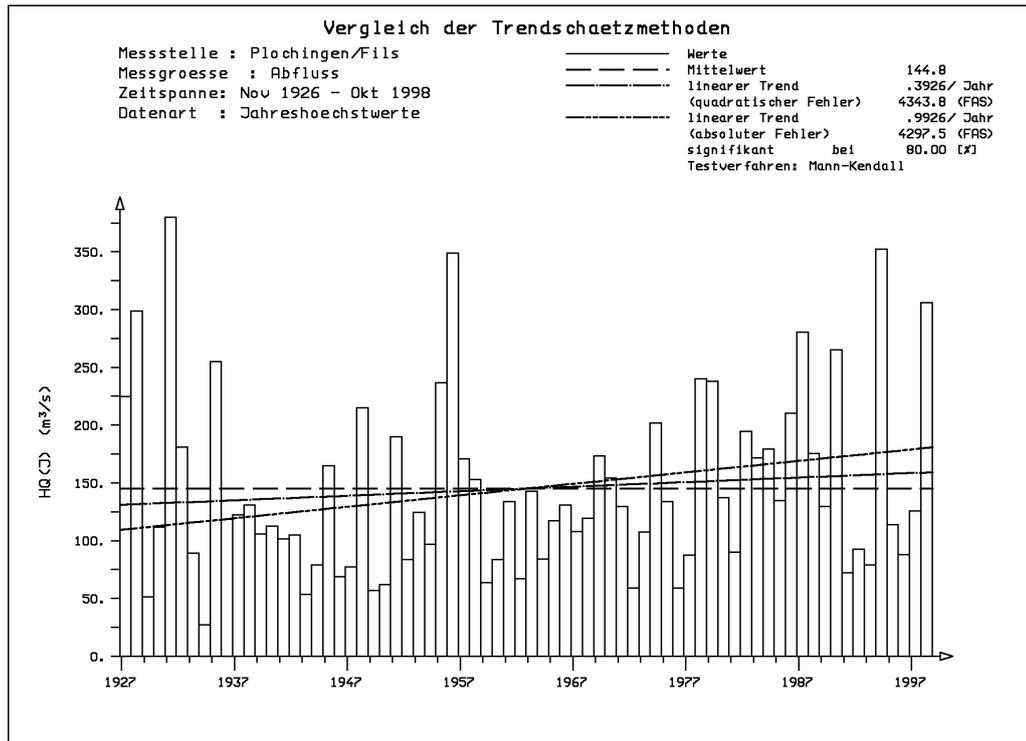


Abb. 4.3 : Vergleich der beiden Methoden zur Trendschätzung am Pegel Plochingen/Fils

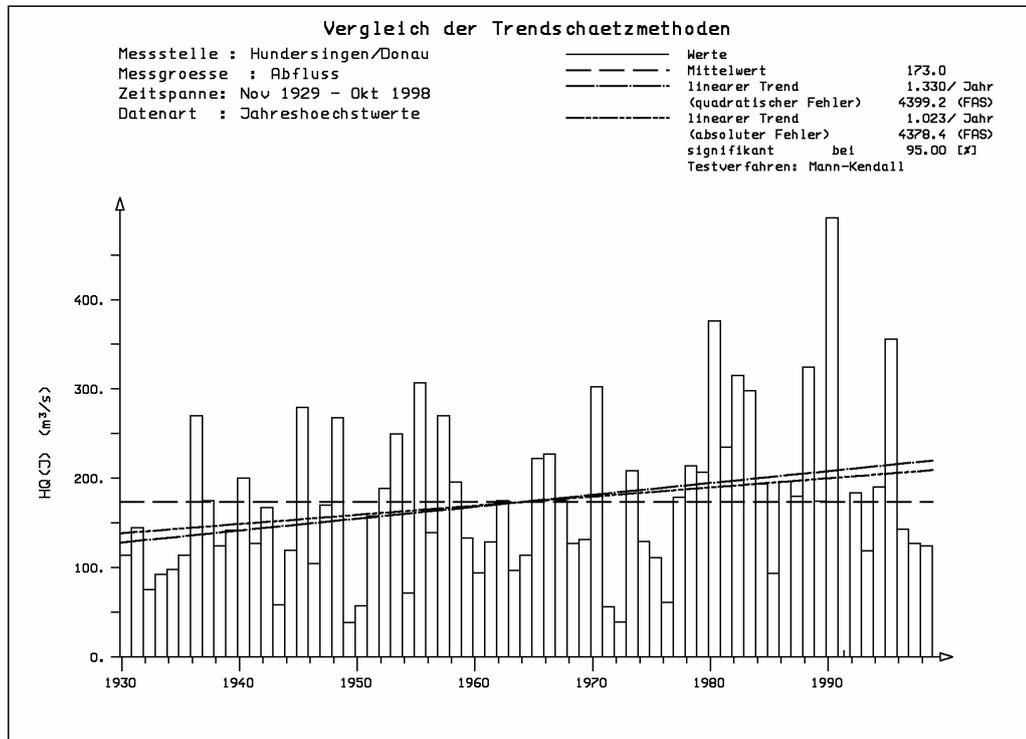


Abb. 4.4 : Vergleich der beiden Methoden zur Trendschätzung am Pegel Hunderringen/Donau

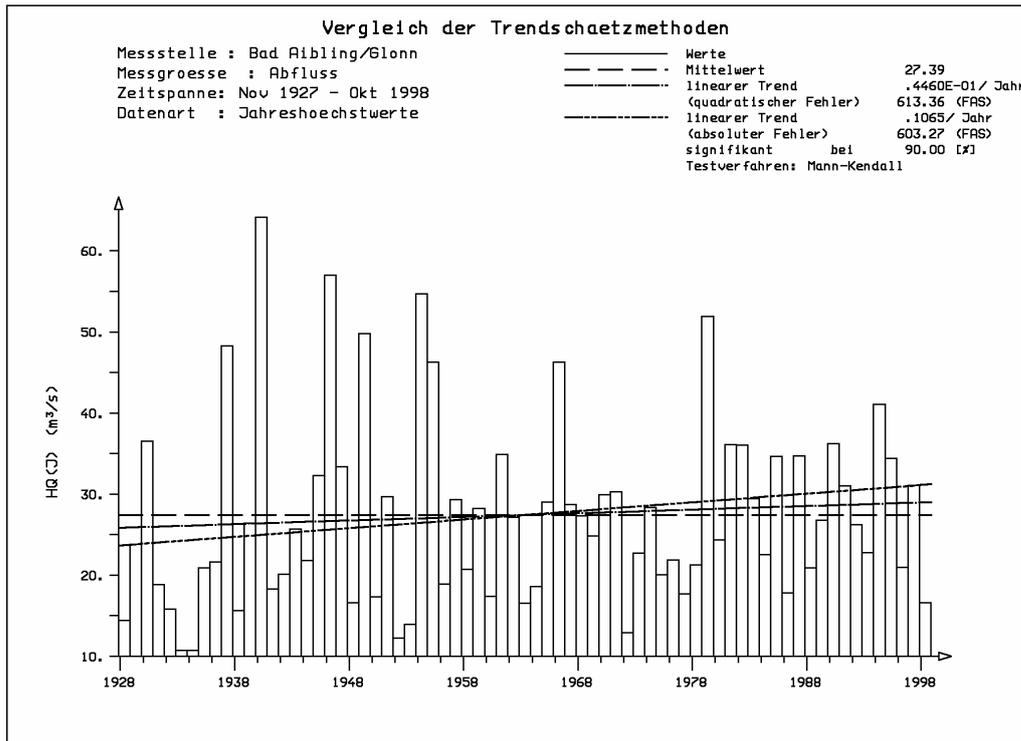


Abb. 4.5: Vergleich der beiden Methoden zur Trendschaetzung am Pegel Bad Aibling/Glonn

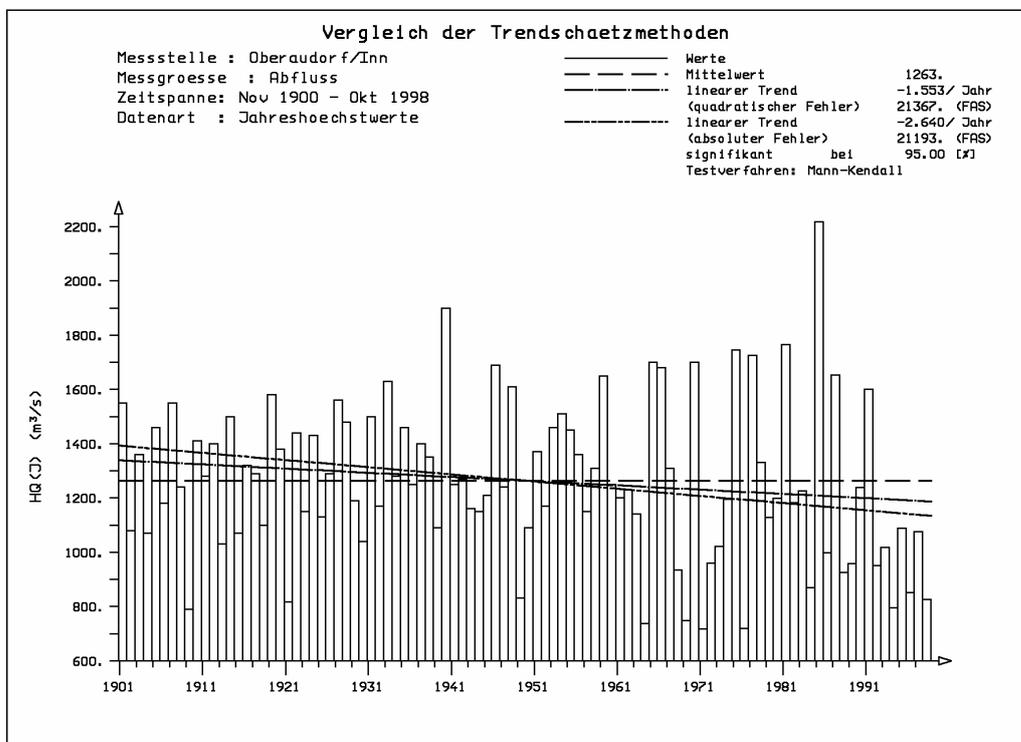


Abb. 4.6: Vergleich der beiden Methoden zur Trendschaetzung am Pegel Oberaudorf/Inn

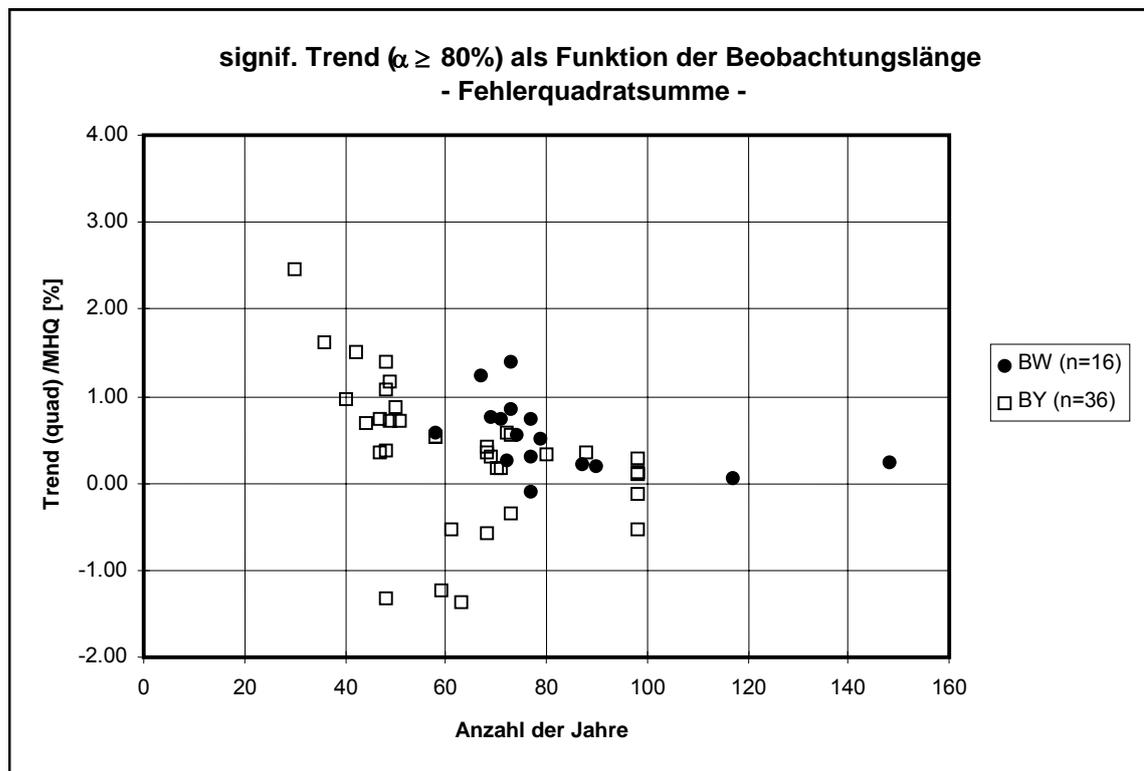
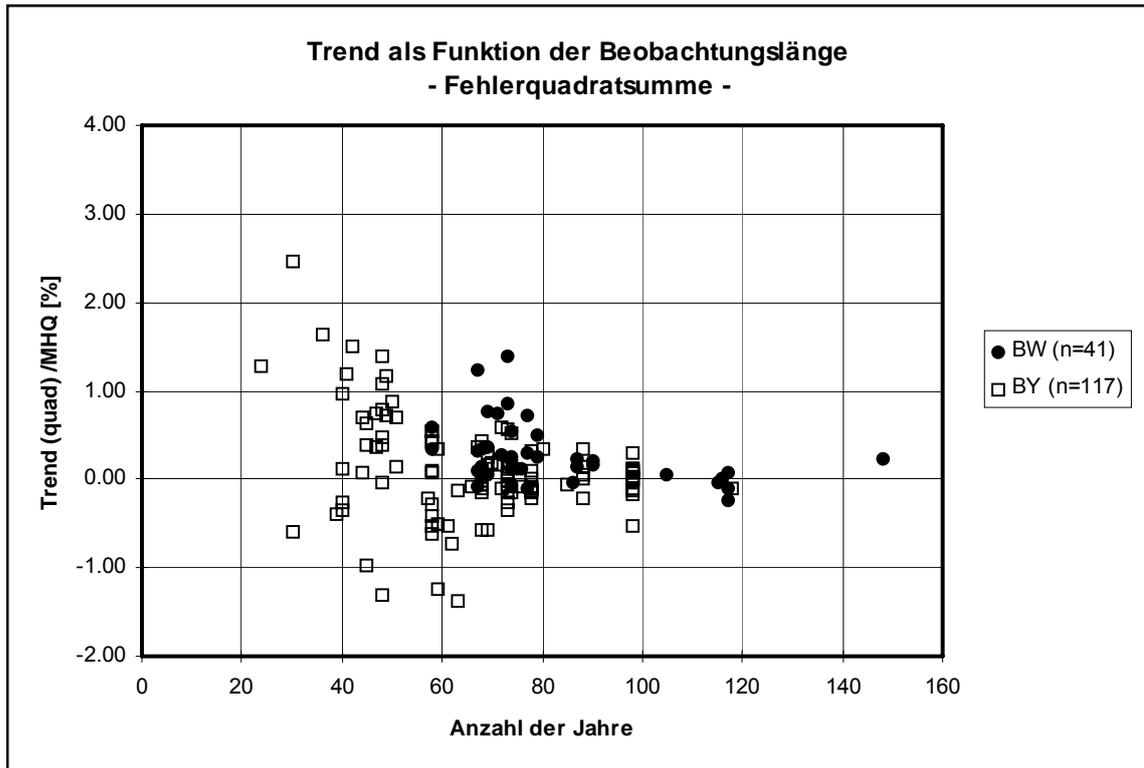


Abb. 4.7: Abhängigkeit des Trends (bezogen auf den mittleren Hochwasserabfluss MHQ) von der Länge der Beobachtungszeitreihe, ermittelt über die Fehlerquadratsumme für alle Zeitreihen (oberes Diagramm) und für die Zeitreihen mit einer Trendsignifikanz $\alpha \geq 80\%$ (unteres Diagramm)

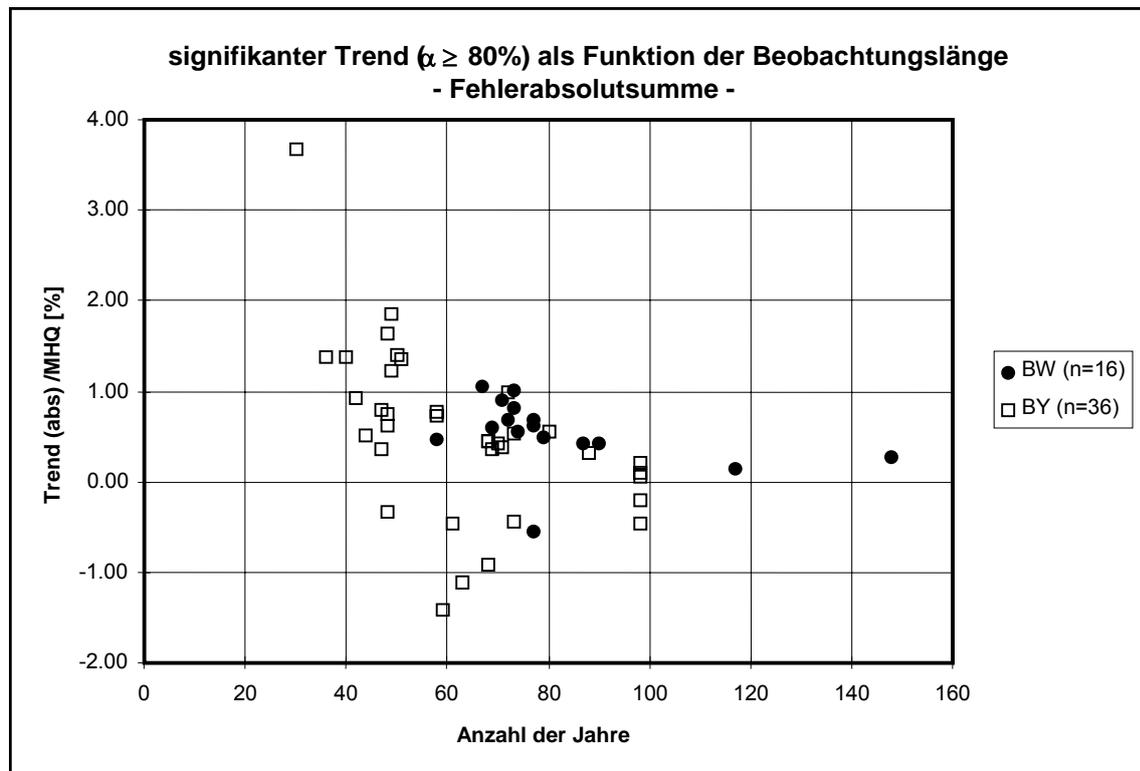
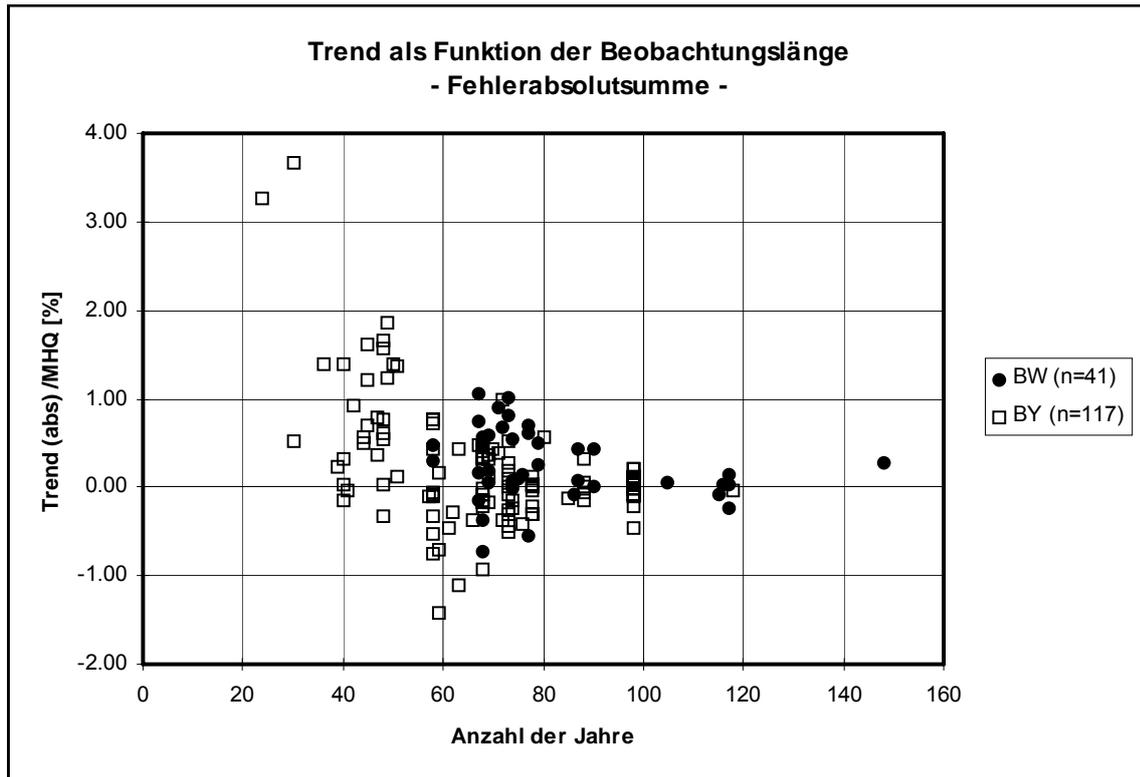


Abb. 4.8: Abhängigkeit des Trends (bezogen auf den mittleren Hochwasserabfluss MHQ) von der Länge der Beobachtungszeitreihe, ermittelt über die Fehlerabsolutsumme für alle Zeitreihen (oberes Diagramm) und für die Zeitreihen mit einer Trendsignifikanz $\alpha \geq 80\%$ (unteres Diagramm)

5 Langzeitverhalten der Jahreshöchstwerte des Abflusses

Die Analyse des Langzeitverhaltens der Jahreshöchstwerte umfasst die Bestimmung des linearen Trends (Trendgerade) für alle Zeitreihen, den Trendtest nach MANN-KENDALL, die Ermittlung des wahrscheinlichen Bruchpunkts nach MANN-WHITNEY und eine Analyse der Häufigkeit der vorhandenen Trendsteigungen. Diese Analysen wurden jeweils durchgeführt für alle vorliegenden Zeitreihen (158 Pegel), für die gemeinsame Beobachtungszeitspanne ab 1932 (107 Pegel) und für die langen Zeitreihen (107 Pegel). In den Anlagen 1.1 bis 1.8 sind die Ergebnisse ausgewählter Pegel („gesamte Zeitreihe“) exemplarisch grafisch dargestellt. Vergleichbare Auswertungen liegen im Abschlussbericht des IWK für alle untersuchten Pegel vor [1].

5.1 Trendtest nach MANN-KENDALL

Zur Analyse des Langzeitverhaltens der Jahreshöchstwerte HQ(J) wurde zunächst mit dem Trendtest nach MANN-KENDALL geprüft, welche Trendsignifikanzen bei den Zeitreihen vorhanden sind. Abb. 5.1 zeigt den prozentualen Anteil der Pegel für die untersuchten Signifikanzniveaus α für die gesamten vorliegenden Zeitreihen („gesamte Zeitreihen“) und für den gemeinsamen Datenbereich ab 1932 („Zeitreihen ab 1932“). Bei diesen Abbildungen wurde jeweils ein Signifikanzniveau von $\alpha < 80\%$ als nicht signifikant erklärt.

Sowohl bei der Betrachtung der gesamten vorliegenden Zeitreihen als auch bei den Zeitreihen, die über die gemeinsame Beobachtungszeitspanne 1932-1997/1998 analysiert wurden, ergibt sich zunächst, dass der überwiegende Anteil der Zeitreihen keinen signifikanten Trend aufweist. Dies betrifft ca. 67% aller Zeitreihen und knapp 70% der Pegel bei der gemeinsamen Datengrundlage ab 1932. Diese Werte liegen für Bayern bei knapp 70% („gesamte Zeitreihen“) und ca. 79% („Zeitreihen ab 1932“). In Baden-

Württemberg ergeben sich bei ca. 61% („gesamte Zeitreihen“) und bei ca. 54% („Zeitreihen ab 1932“) nicht signifikante Trends.

Bei den übrigen Pegeln liegen die Signifikanzniveaus für jeweils zwischen ca. 5% und 11% der Pegel bei $\alpha = 80\%$ und 95% für Baden-Württemberg und Bayern. Höhere Trendsignifikanzen ($\alpha > 90\%$), die aus statistischer Sicht als wahrscheinliche Trends zu werten sind, treten lediglich an einzelnen Pegeln auf. Hiervon betroffen sind bei den gesamten Zeitreihen 9 Pegel (22%) in Baden-Württemberg und 15 Pegel (13%) in Bayern.

Bei den Zeitreihen ab 1932 umfasst dieser hohe Signifikanzbereich 13 Pegel (33%) in Baden-Württemberg und 6 Pegel (9%) in Bayern. Für beide Bundesländer zusammen ergeben sich somit bei 24 Pegel (15%) bei der Betrachtung der jeweiligen Gesamtzeitreihe und 19 Pegel (18%) bei der gemeinen Datenbasis ab 1932 Trends mit einem Signifikanzniveau von $\alpha > 90\%$. Eine detaillierte Aufstellung der Trendsignifikanzen für die gemeinsame Datenbasis zeigt Abb. 5.2a.

Für eine statistische Analyse des Trends sollten möglichst lange Zeitreihen zugrunde gelegt werden. Deshalb ist die Analyse zusätzlich für die Pegel, deren Daten vor 1932 vorliegen („lange Zeitreihen“), durchgeführt worden. In Abb. 5.2 ist die prozentuale Verteilung der Pegel für die verschiedenen Signifikanzniveaus dargestellt. Aus dieser Analyse ergeben sich etwas veränderte Verteilungen. In Baden-Württemberg weisen 9 Pegel (23%) und in Bayern 8 Pegel (12%), insgesamt 17 Pegel (16%), Signifikanzniveaus mit $\alpha > 90\%$ auf. Hieraus wird ebenfalls deutlich, dass die statistische Aussage bezüglich einer Trendsignifikanz deutlich von der Länge der Beobachtungszeitreihe abhängig ist.

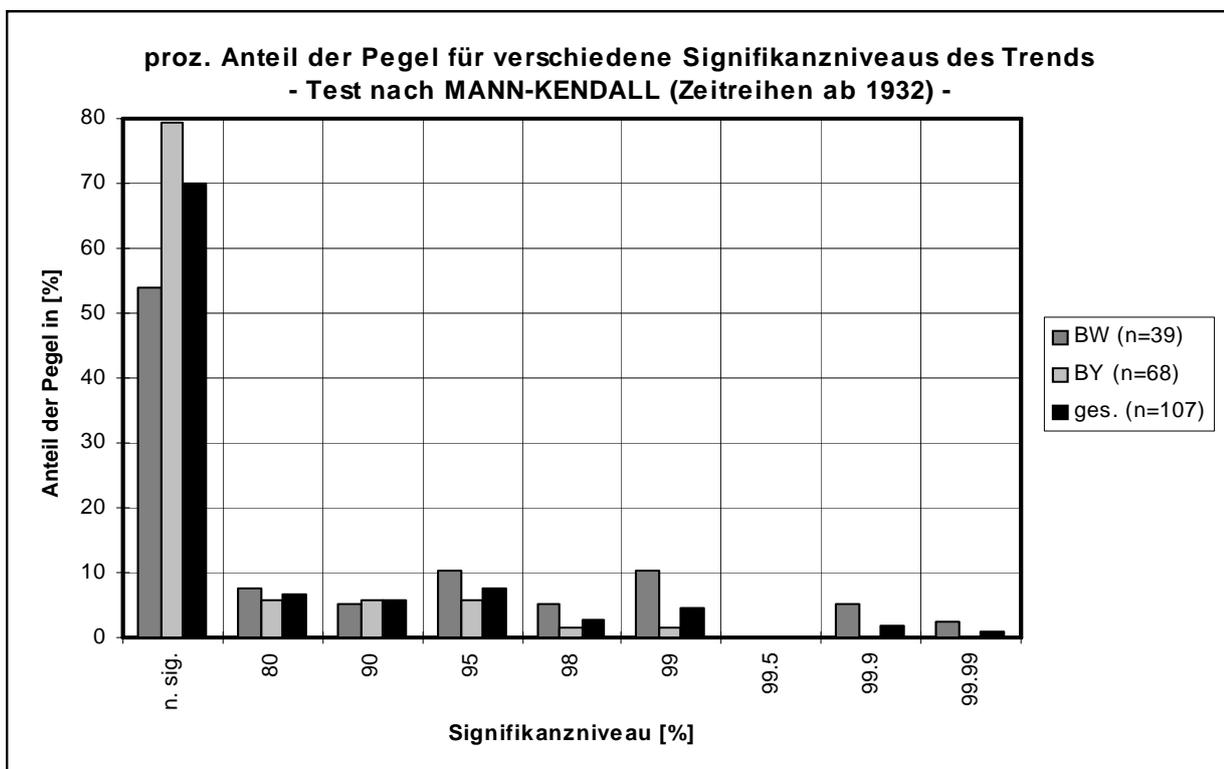
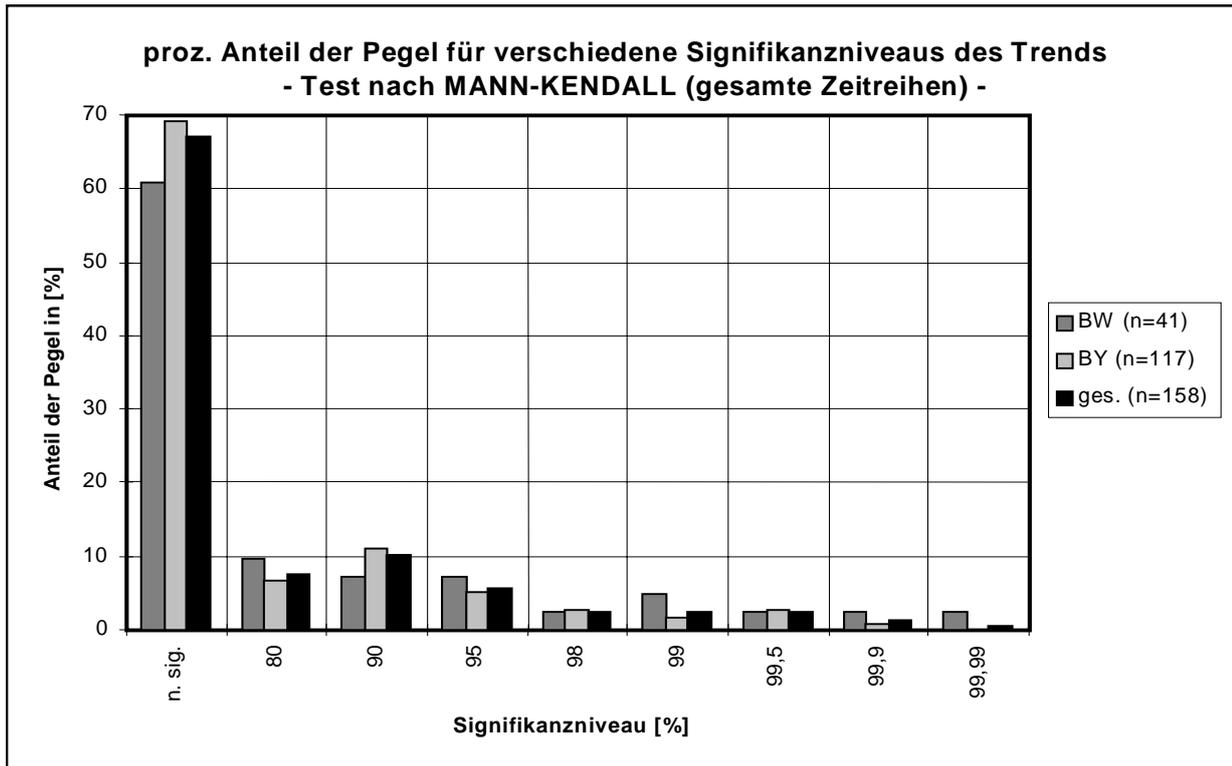


Abb. 5.1: Prozentualer Anteil der Pegel an den verschiedenen Signifikanzniveaus für einen Trend nach dem Trendtest von MANN-KENDALL für „gesamte Zeitreihen“ unabhängig vom Beobachtungsbeginn (oberes Diagramm) und für die gemeinsamen „Zeitreihen ab 1932“ (unteres Diagramm)

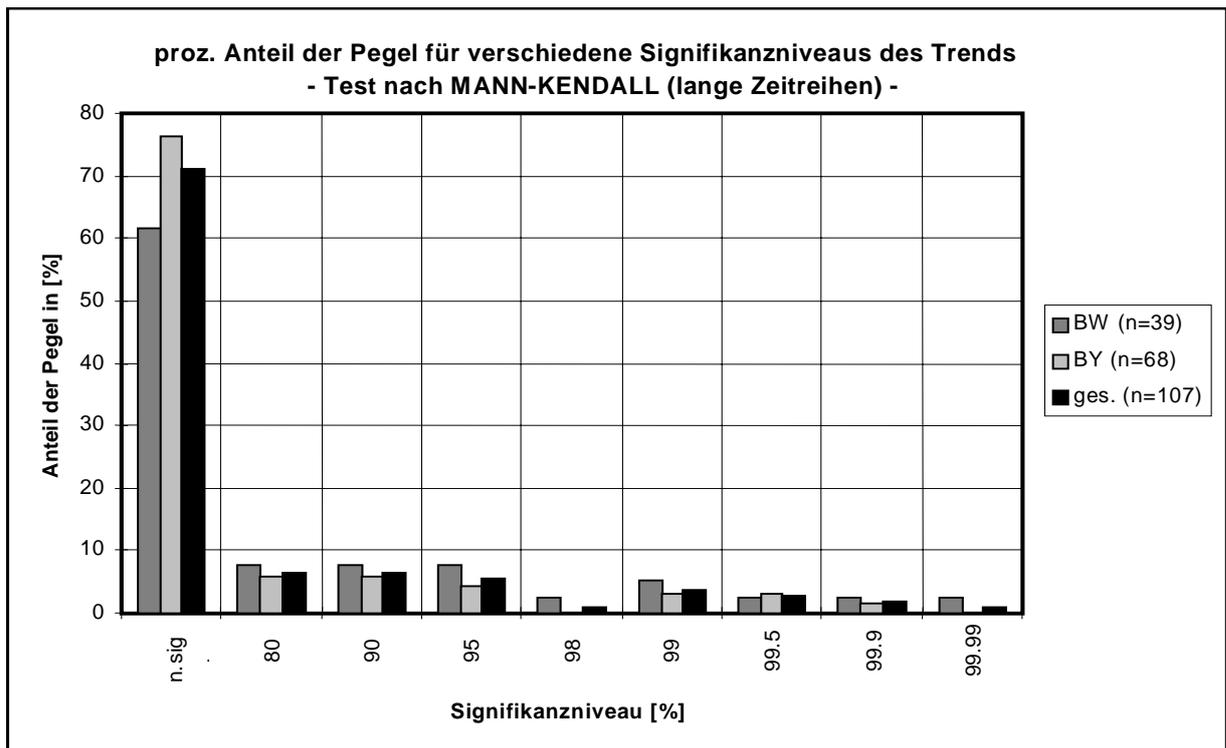


Abb. 5.2: Prozentualer Anteil der Pegel an den verschiedenen Signifikanzniveaus für einen Trend nach dem Trendtest von MANN-KENDALL für die „langen Zeitreihen“, die 1932 oder früher beginnen

Signifikanzniveau α	Anzahl der Pegel bei Zeitreihenbeginn					
	1932			1932 oder früher		
	BW	BY	gesamt	BW	BY	gesamt
ohne Berücks. von α	39	68	107	39	68	107
$\alpha \geq 80\%$	18	14	32	15	16	31
$\alpha \geq 90\%$	15	10	25	12	12	24
$\alpha \geq 95\%$	13	6	19	9	8	17
$\alpha \geq 98\%$	9	2	11	6	5	11
$\alpha \geq 99\%$	7	1	8	5	5	10
$\alpha \geq 99,9\%$	3	0	3	2	1	3
$\alpha \geq 99,99\%$	1	0	1	1	0	1

Abb. 5.2a: Anzahl der Pegel in den unterschiedlichen Klassen der Trendsignifikanz für die Datenkollektive "Zeitreihen ab 1932" und "lange Zeitreihen"



5.2 Analyse der zeitlichen Veränderung

Zur Beurteilung der zeitlichen Veränderung der Jahreshöchstwerte HQ(J) wurde der lineare Trend ermittelt und ausgewertet sowohl für die jeweils vorliegende Beobachtungszeitspanne aller Pegel und für die gemeinsame Zeitspanne ab 1932 als auch über die langen Zeitreihen, die 1932 oder früher beginnen. Als Schätzmethode für die Trendsteigung wurde auf der Grundlage der Auswertungen aus Abschnitt 4 die Methode der Fehlerquadratsumme gewählt. Zur Darstellung der Ergebnisse über alle Pegel wurden die berechneten Trendsteigungen jeweils auf den zugehörigen mittleren jährlichen Hochwasserabfluss MHQ des Pegels bezogen und in Trendklassen eingeteilt. Die Einzelergebnisse für die Pegel sind in den Tabellen 2 und 3 aufgelistet. Die Trendaussage gibt somit die prozentuale Abflussänderung pro Jahr, jeweils bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss MHQ, an. Für die untersuchten Datenkollektive ergaben sich folgende Ergebnisse:

Trendanalyse für die „gesamten Zeitreihen“

Für alle vorliegenden Zeitreihen zeigt Abb. 5.3 die prozentuale Verteilung der Pegel auf verschiedene Trendklassen für die gesamte Zeitspanne (im oberen Diagramm) und für die Pegel mit einer Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$ (im unteren Diagramm). Aus diesen Abbildungen ergibt sich eine gesamte Spannweite für die jährliche Veränderung der Jahreshöchstwerte von rund -1,4% bis ca. +2,5%. Dies bedeutet, dass die größte jährliche Abnahme der Jahreshöchstwerte rund 1,4% des mittleren jährlichen Hochwasserabflusses pro Jahr beträgt. Diese Veränderung wurde ermittelt aus einer Zeitreihenlänge von 63 Jahren und weist eine Signifikanz von $\alpha = 99,5\%$ auf. An diesem Pegel entspricht dies einer Abnahme von ca. $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$ pro Jahr bei $\text{MHQ} = 45,89 \text{ m}^3/\text{s}$. Die mit Abstand größte jährliche Abflusszunahme ergibt sich zu 2,5% des mittleren jährlichen Hochwasserabflusses pro Jahr, ermittelt aus einer Zeitreihenlänge von 30 Jahren mit einer Signifikanz von $\alpha = 90\%$. Dies entspricht an diesem Pegel einer Zunahme von ca.

$1,08 \text{ m}^3/\text{s}$ pro Jahr bei $\text{MHQ} = 43,82 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Pegel mit den größten Trends sind hinsichtlich der möglichen Ursachen noch einer kritischen weitergehenden Untersuchung zu unterziehen.

In Baden-Württemberg ergibt sich eine Spannweite von -0,23% bis +1,4%. Die größte Abnahme (Pegel Zell/Wiese) beträgt 0,23% des mittleren jährlichen Hochwasserabflusses pro Jahr ermittelt aus einer Zeitreihenlänge von 117 Jahren. Der jährliche Trend an diesem Pegel, der jedoch nicht signifikant ist, beträgt somit $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ bei $\text{MHQ}=88,13 \text{ m}^3/\text{s}$. Die größte Abflusszunahme (Pegel Hammereisenbach/Breg) beträgt +1,4%, ermittelt aus 72 Jahren. Dies entspricht einer Zunahme von ca. $0,72 \text{ m}^3/\text{s}$ pro Jahr bei $\text{MHQ}=51,82 \text{ m}^3/\text{s}$. Dieser Trend hat eine Signifikanz von $\alpha=99,99\%$.

Die Trends liegen bei allen Pegeln am häufigsten in einem Bereich zwischen -0,25% und +0,75%. Dieser Bereich beinhaltet ca. 78% aller Pegel ohne Berücksichtigung der Trendsignifikanz. Auffällig ist, dass eine gewisse Tendenz zu positiven Abflussveränderungen vorhanden ist. Von den insgesamt 158 Pegeln weisen ohne Berücksichtigung der Trendsignifikanz 56 Pegel negative und 102 Pegel positive Trendsteigungen auf. Bei den 52 Pegeln mit einer Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$ weisen 9 Pegel eine negative und 43 Pegel eine positive Steigung auf.

Trendanalyse für die „Zeitreihen ab 1932“

In Abb. 5.4 ist die Verteilung der Anzahl der Pegel und deren prozentualen Anteile auf verschiedenen Trendklassen für die Auswertung der gemeinsam vorliegenden Beobachtungszeitspanne ab 1932 dargestellt. Bei der Betrachtung der gemeinsamen Beobachtungszeitspanne über 66 bzw. 67 Jahre treten keine Trendsteigungen mit großen positiven oder negativen Werten auf. Die gesamte Spannweite erstreckt sich zwischen -0,60% und +1,53%. Dies betrifft den Pegel Birnbach/Rott in Bayern mit der größten Abnahme der Jahreshöchstwerte von $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ pro Jahr bei $\text{MHQ} = 132,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Die größte Zunahme ist beim baden-württembergischen Pegel Hammereisenbach/Breg mit $0,69 \text{ m}^3/\text{s}$ pro Jahr bei $\text{MHQ} = 53,1 \text{ m}^3/\text{s}$ vorhanden.

Die Trends liegen bei allen Pegeln am häufigsten zwischen $-0,5\%$ und $+0,5\%$. Dies bedeutet, dass eine leichte Verschiebung der Trendklassen gegenüber der Auswertung über alle Beobachtungszeitreihen um ca. $0,25\%$ in Richtung kleinerer Werte vorhanden ist. Von den insgesamt 107 Pegeln weisen 28 Pegel negative Steigungen und 79 Pegel positive Steigungen auf. Von den insgesamt 107 Pegeln besitzen lediglich 32 Pegel eine Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$. Von diesen 32 Pegeln haben 4 Pegel eine negative und 28 Pegel eine positive Trendsteigung. Eine Zusammenstellung der Anzahl der Pegel mit unterschiedlichen Trendsignifikanzen ist in Abb. 5.2a zusammengestellt.

Eine Tendaussage ist ab einem Signifikanzniveau von $\alpha \geq 90\%$ als wahrscheinlich zu betrachten. In diesem Signifikanzbereich liegen insgesamt 25 Pegel, davon 15 Pegel in Baden-Württemberg und 10 Pegel in Bayern. Lediglich 8 Pegel weisen einen Trend mit $\alpha \geq 99\%$, der als sehr wahrscheinlich anzusehen ist.

Trendanalyse für die „langen Zeitreihen“

Das Ergebnis der Trendanalyse für die langen Zeitreihen, die 1932 oder früher beginnen, ist in Abb. 5.5 dargestellt. Gegenüber

der gemeinsamen Zeitreihenauswertung ab 1932, die sich auf dieselben Pegel erstreckt, ergeben sich dabei folgende Veränderungen. Infolge der verlängerten Zeitreihen (jeweils bis Beobachtungsbeginn) nehmen bei gleicher Spannweite die Trends ab.

Betrachtet man alle Zeitreihen, die 1932 oder früher beginnen, ohne Berücksichtigung der Trendsignifikanz, so weisen von den 107 Pegeln 40 Pegel (37%) eine negative Steigung und 67 Pegel (63%) eine positive Steigung auf. Die Häufigkeiten in den kleinsten Trendklassen nehmen zu. In den Trendklassen ($-0,5\%$ bis $+0,5\%$) treten in Baden-Württemberg 26 Pegel (67%) und in Bayern 51 Pegel (75%) der Pegel auf. Insgesamt umfasst dieser Bereich somit 77 Pegel (72%). Bei der Datenauswertung ab 1932 lagen in diesem Bereich aus Baden-Württemberg 21 Pegel (54%) und aus Bayern 41 Pegel (60%), insgesamt somit 62 Pegel (58%).

Dieses Ergebnis zeigt sehr deutlich, dass bei einer Verlängerung der betrachteten Zeitreihen, die Trends kleiner werden. Damit wird gleichzeitig die Variabilität der Trends, wie bereits Abschnitt 4 erläutert, verkleinert. Die räumliche Zuordnung der Trends mit den zugehörigen Trendsignifikanzen ist in den Karten 2 bis 3 getrennt für die zwei untersuchten Datenkollektive „Zeitreihen ab 1932“ und „gesamte Zeitreihen“ dargestellt.

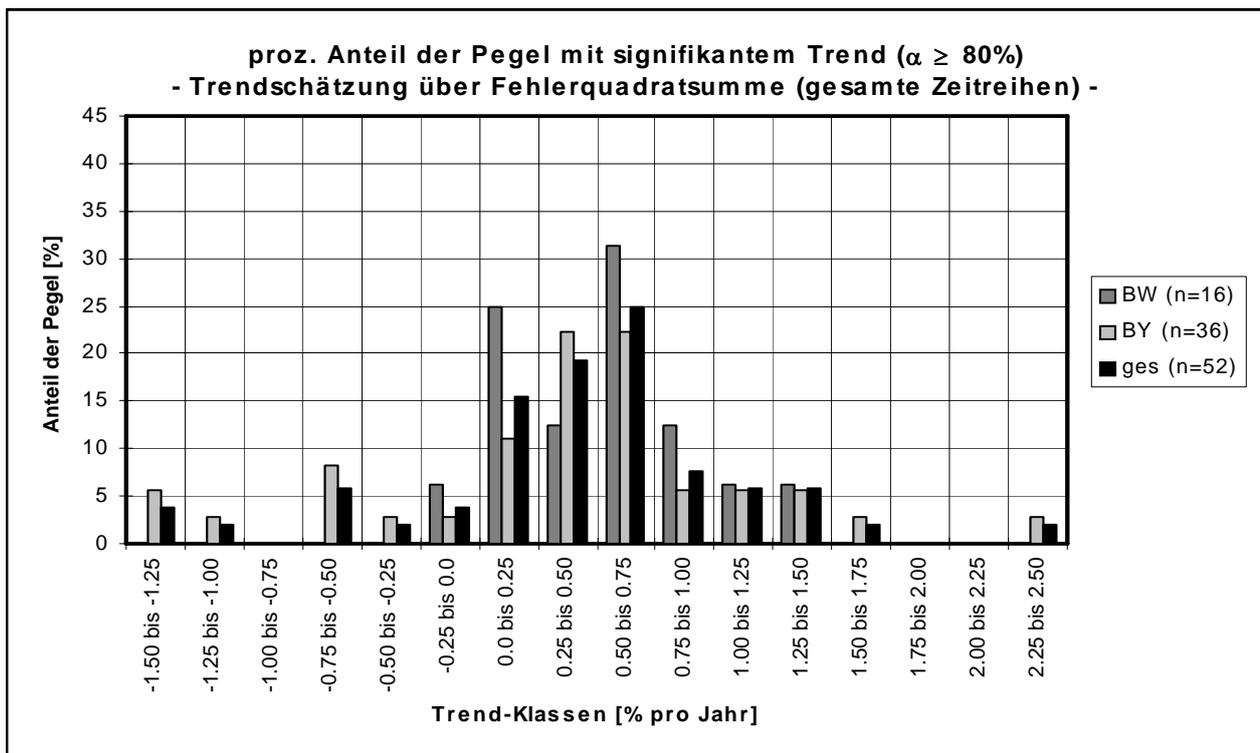
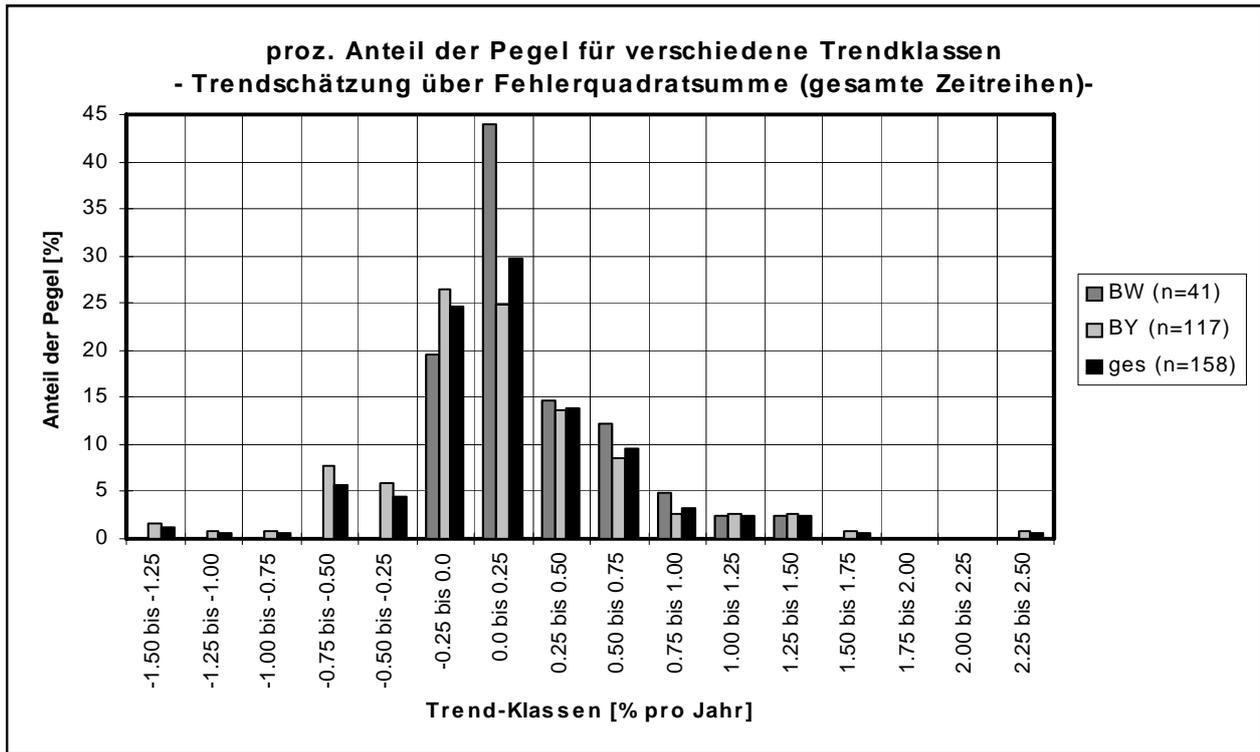


Abb. 5.3: Prozentualer Anteil der Pegel für verschiedene Trendklassen ermittelt aus den „gesamten Zeitreihen“ für alle Pegel (oberes Diagramm) und für die Pegel mit einer Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$ (unteres Diagramm); der Trend entspricht der prozentualen Änderung pro Jahr, bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss MHQ

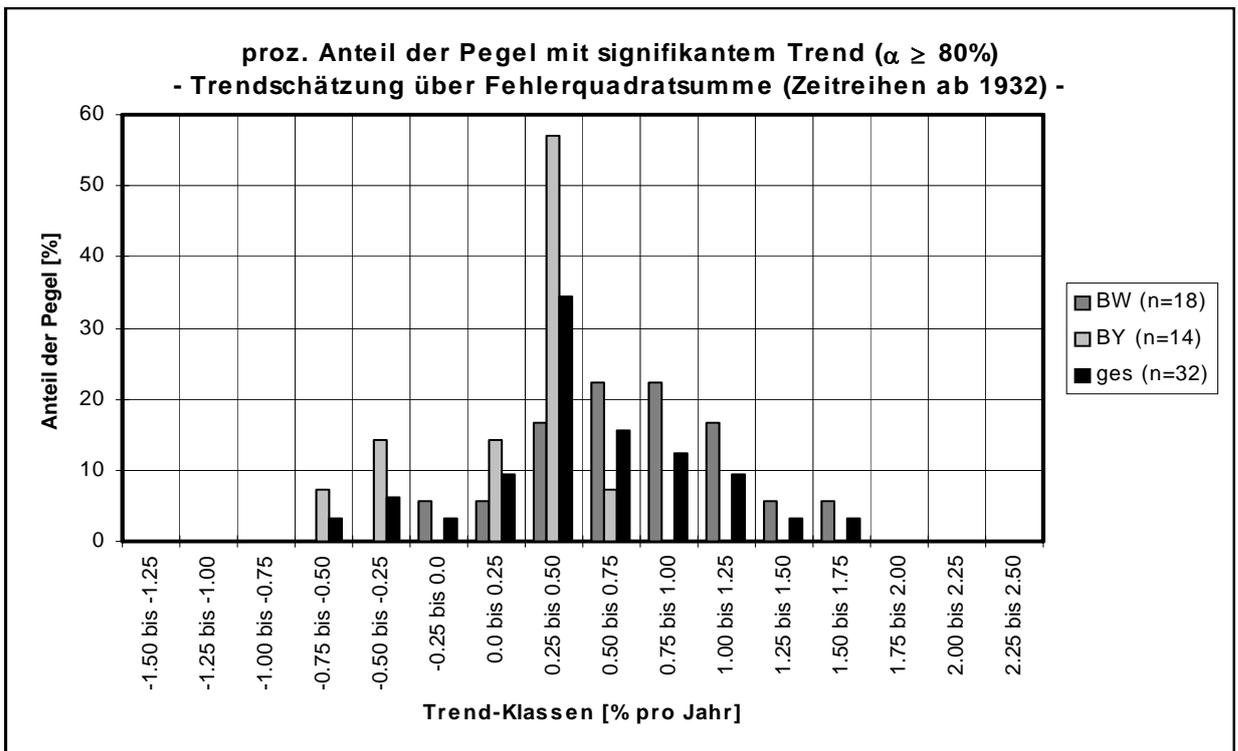
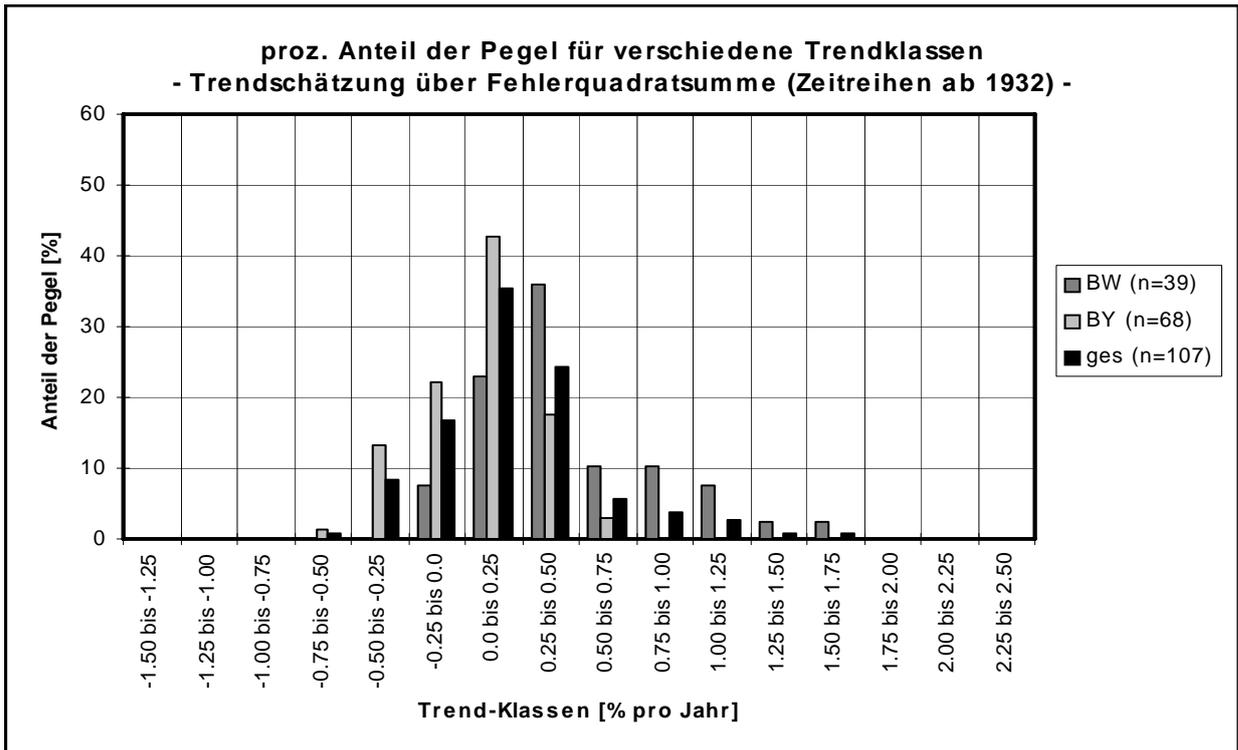


Abb. 5.4: Prozentualer Anteil der Pegel für verschiedene Trendklassen ermittelt aus den „Zeitreihen ab 1932“ für alle Pegel (oberes Diagramm) und für die Pegel mit einer Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$ (unteres Diagramm)
Trendangabe: prozentuale Änderung pro Jahr, bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss MHQ

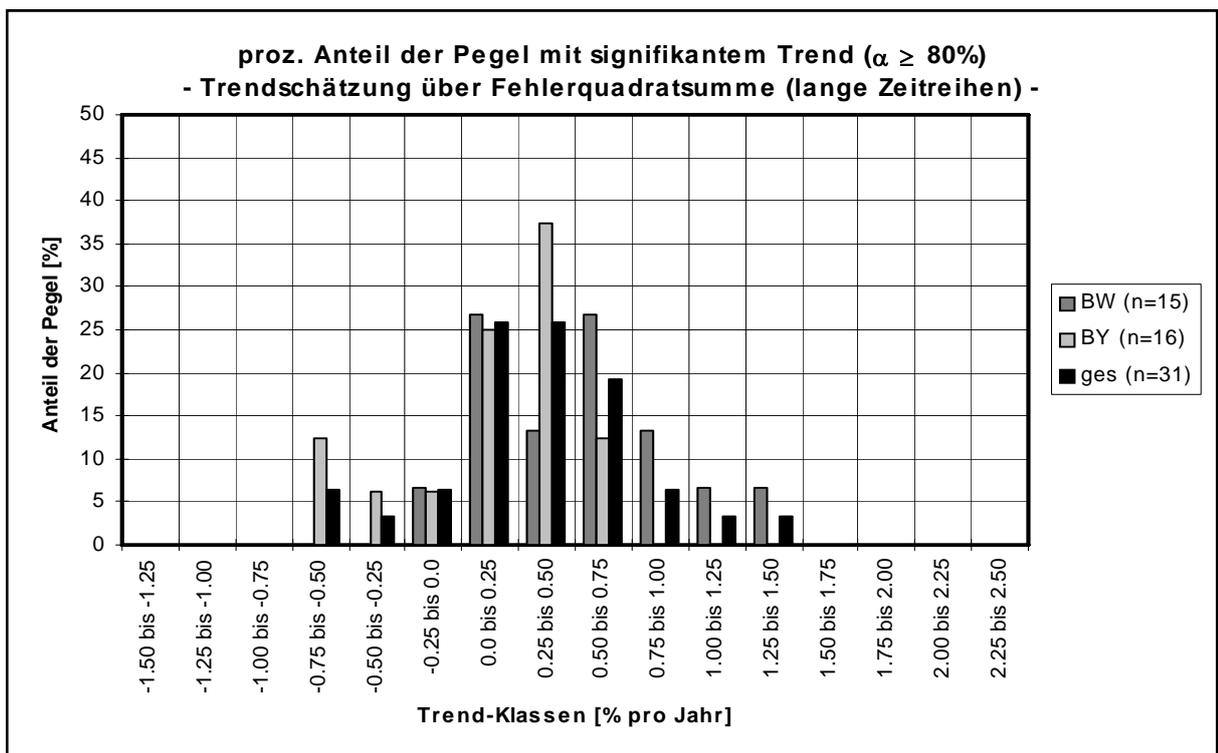
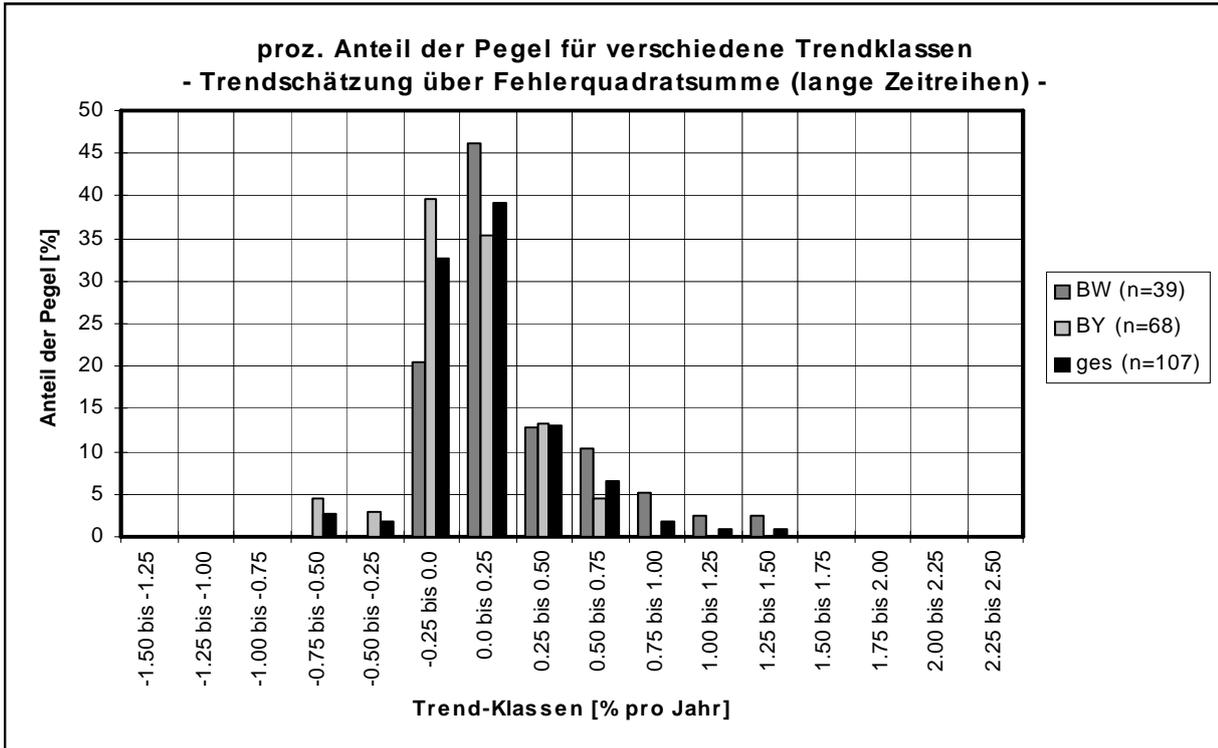


Abb. 5.5: Prozentualer Anteil der Pegel für verschiedene Trendklassen ermittelt aus den „langen Zeitreihen“ mit Beginn vor 1933 für alle Pegel (oberes Diagramm) und für die Pegel mit einer Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$ (unteres Diagramm)
Trendangabe: prozentuale Änderung pro Jahr, bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss MHQ

5.3 Analyse des wahrscheinlichen Zeitpunkts einer möglichen Änderung des Abflussverhaltens

Die Trendanalyse und der Trendtest nach MANN-KENDALL (Kapitel 5.1 und 5.2) haben ergeben, dass nur eine geringe Anzahl von Pegeln in Baden-Württemberg und Bayern einen signifikanten Trend für eine Zu- oder Abnahme der Hochwasserabflüsse aufweisen. Auch Abflusszeitreihen, die keinen signifikanten Trend aufweisen, können jedoch eine Änderung im Abflussverhalten enthalten, die z.B. durch Ungenauigkeiten bei der Abflussermittlung oder Änderungen im Einzugsgebiet oder auch durch Klimaveränderungen hervorgerufen sein könnte. So weisen Abflusszeitreihen oft Zeitspannen auf, in denen das Abflussverhalten vor und nach einem bestimmten Zeitpunkt unterschiedlich ist.

Der Zeitpunkt, an dem ein möglicher Wechsel stattgefunden hat, kann über die "Bruchpunktanalyse nach MANN-WHITNEY" ermittelt werden. Diese Analyse liefert den Zeitpunkt - im Weiteren „Bruchpunkt“ genannt - an dem mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Veränderung des Abflussverhaltens aufgetreten sein könnte. Sie erlaubt jedoch keine Aussage darüber, wodurch eine Änderung verursacht sein könnte und ob die Veränderung in der Zeitreihe statistisch gesichert ist. Die Signifikanz einer möglichen Änderung des Abflussverhaltens zu diesem Zeitpunkt, wird über den Student-Test (t-Test) geprüft. Wenn ein signifikanter Zeitpunkt für eine Änderung des Abflussverhaltens ermittelt wurde, kann im Weiteren den Ursachen dieser Änderung nachgegangen werden.

Zeitreihen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt einen sehr wahrscheinlichen Bruchpunkt aufweisen, zeigen vor und nach diesem Zeitpunkt häufig eine Veränderung im Mittelwert der Zeitreihe. Dies bedeutet, dass sich das Abflussverhalten "sprunghaft" verändert hat. Da jedoch zu erwarten ist, dass eine Veränderung des Abflussverhaltens insbesondere als Folge einer Klimaveränderung als "schleichende" Veränderung allmählich über eine bestimmte Zeitspanne stattfindet, wurde das Trendverhalten und dessen Signifikanz über die gesamte Beob-

achtungszeitspanne analysiert und bewertet.

Analyse für die „gesamten Zeitreihen“

In den Abb. 5.6, Abb. 5.7 und Abb. 5.8 sind das Jahr des wahrscheinlichen Bruchpunkts und die Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts für alle Pegel unter Berücksichtigung der gesamten Beobachtungsjahre dargestellt. Diese Darstellungen zeigen den prozentualen Anteil der Pegel für verschiedene Klassen der betrachteten Größen.

Für die Auswertung des wahrscheinlichen Bruchpunkts in Abb. 5.6 wurden nur solche Werte betrachtet, deren Wahrscheinlichkeit P größer als 50% ist. Das Ergebnis ist aufgetragen für Jahresklassen mit jeweils 5 Jahren, beginnend bei 1910. Bruchpunkte, die in den Jahren vor 1910 auftreten, wurden in die Darstellung nicht übernommen. Dies betrifft die beiden Pegel Zell/Wiese und Neu-Ulm Bad Held/Donau, bei denen jeweils im hydrologischen Jahr 1883 ein äußerst extremes Hochwasser stattgefunden hat.

Ohne Berücksichtigung der beiden genannten Pegel treten bei 35 Pegeln in Baden-Württemberg und bei 109 Pegeln in Bayern Bruchpunkte mit einer Wahrscheinlichkeit von $P > 50\%$ auf. Wie Abb. 5.6 zeigt, häufen sich diese Bruchpunkte in der Jahresklasse zwischen 1975 und 1980. In dieser Klasse befinden sich 19 Pegel (54%) aus Baden-Württemberg und 32 Pegel (29%) aus Bayern; insgesamt somit 51 Pegel (35%). Die restlichen Pegel verteilen sich nahezu über alle Jahresklassen, wobei jedoch eine weitere, jedoch deutlich schwächere Häufung zwischen den Jahren 1945 und 1965 vorhanden ist.

Die Wahrscheinlichkeiten der Bruchpunkte zeigt Abb. 5.7. Hieraus ergibt sich, dass insgesamt 12 Pegel (7,6%) eine Wahrscheinlichkeit von $P < 50\%$ besitzen. Wahrscheinlichkeiten zwischen 50% und 95% treten recht gleichmäßig auf mit im Mittel jeweils knapp 8% pro Jahresklasse (5 Jahre). Eine deutliche Häufung ist jedoch bei der Wahrscheinlichkeitsklasse $P > 95\%$ vorhanden. In dieser Klasse befinden sich



11 Pegel (27%) aus Baden-Württemberg und 25 Pegel (21%) aus Bayern. Somit treten insgesamt bei 36 Pegeln (23%) Bruchpunkte auf, die eine Wahrscheinlichkeit von $P > 95\%$ besitzen.

Diese Aussagen über das Auftreten eines Bruchpunkts und die zugehörige Wahrscheinlichkeit haben jedoch keine Bedeutung bezüglich der Signifikanz einer Änderung des Abflussverhaltens selbst. Wendet man zur Signifikanzprüfung den Student-Test bezüglich der Steigungsänderung in

der Summenlinie an, so ergibt sich aus Abb. 5.8, dass insgesamt mehr als 40% der Pegel keine signifikante Steigungsänderung besitzen. Bei knapp 20% der Pegel sind schwache Zeichen von Veränderungen mit $80\% \leq \alpha \leq 90\%$ vorhanden. Wahrscheinliche Veränderungen ($90\% < \alpha \leq 99\%$) ergeben sich für ca. 15% und sehr wahrscheinliche Veränderungen ($\alpha > 99\%$) für 23,4% der Pegel. Dies betrifft 12 Pegel aus Baden-Württemberg und 25 Pegel aus Bayern.

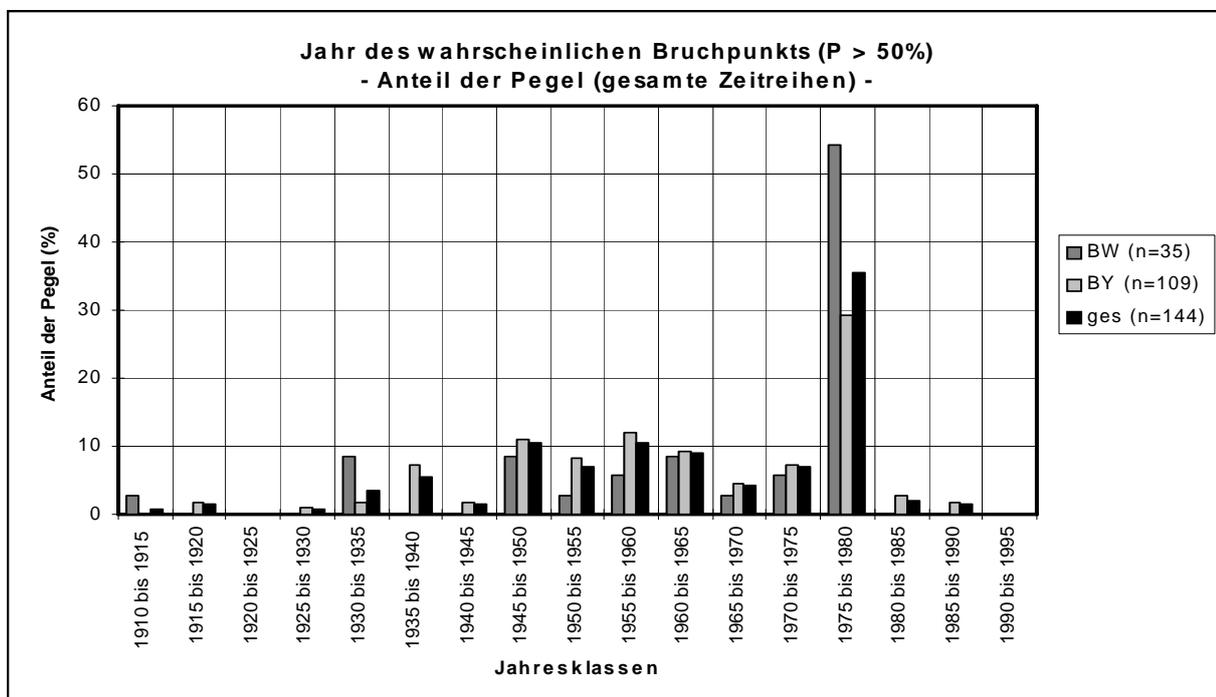


Abb. 5.6: Prozentualer Anteil der Pegel an den Jahresklassen, in denen der wahrscheinliche Bruchpunkt liegt, ermittelt aus allen Pegeln mit der jeweils vorhandenen Beobachtungszeitspanne

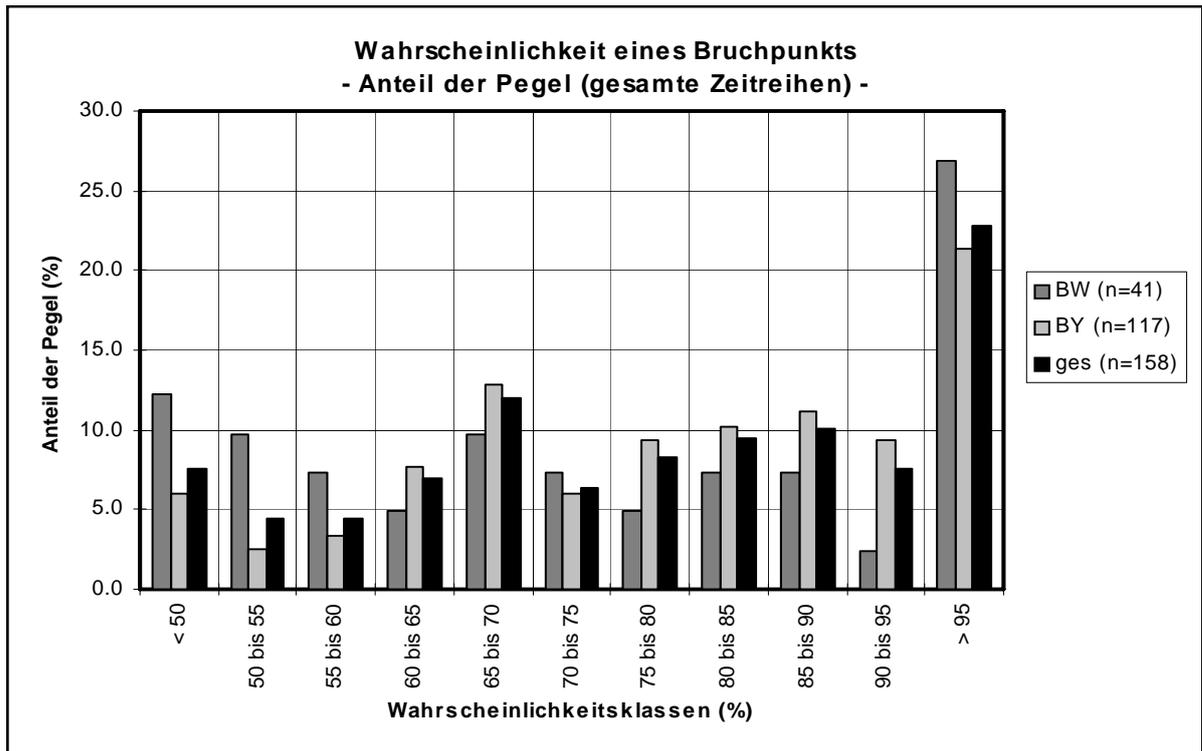


Abb. 5.7: Prozentuale Anteile der Pegel an den verschiedenen Klassen der Wahrscheinlichkeit eines Bruchpunkts, ermittelt aus allen Pegeln mit der jeweils vorhandenen Beobachtungszeitspanne

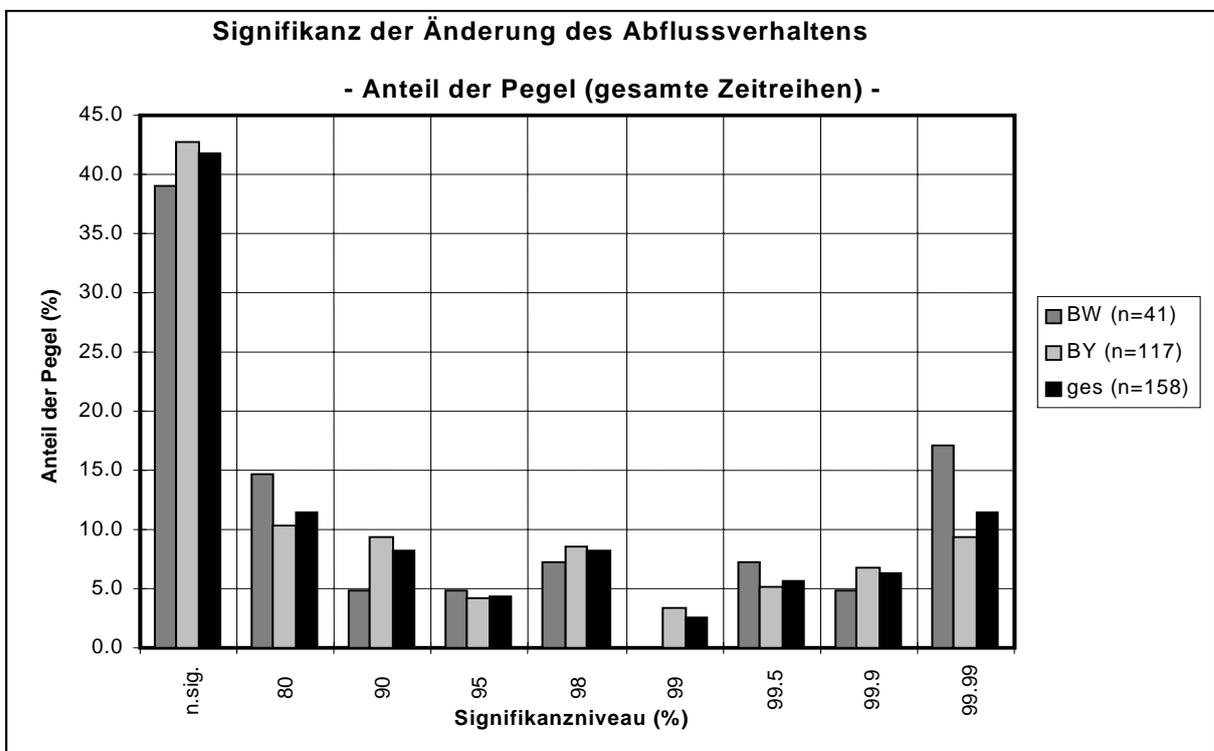


Abb. 5.8: Prozentuale Anteile der Pegel an den verschiedenen Signifikanzniveaus für eine Änderung des Abflussverhaltens, ermittelt aus allen Pegeln mit der jeweils vorhandenen Beobachtungszeitspanne



Analyse für die „Zeitreihen ab 1932“

Die Auswertungen für die gemeinsame Datenbasis ab 1932 sind in Abb. 5.9, Abb. 5.10 und Abb. 5.11 dargestellt. Bei der Analyse des Jahres mit dem wahrscheinlichen Bruchpunkt (Abb. 5.9) zeigt sich ebenfalls eine deutliche Häufung der Pegel in der Jahresklasse zwischen 1975 und 1980. Von den insgesamt 95 Pegeln, die einen Bruchpunkt mit $P > 50\%$ aufweisen, liegen 40 Pegel (42%) in dieser Klasse. Prozentual zeigt sich hierbei ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Bundesländern. In Baden-Württemberg betrifft dies 21 Pegel (64%) und in Bayern 19 Pegel (31%). Die restlichen Jahresklassen sind ähnlich besetzt wie auch bei der Betrachtung der gesamten Datenbasis über alle vorliegenden Pegel. Auch hier zeigt sich eine gewisse Häufung zwischen den Jahren 1940 und 1965.

Auch die Auswertung der Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts zeigt, dass wiederum die Wahrscheinlichkeitsklasse $P > 95\%$ insgesamt am stärksten besetzt ist. Dabei ist

auch hier ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Bundesländern vorhanden. In Baden-Württemberg befinden sich in dieser Klasse 12 Pegel. Dies entspricht einem Anteil von knapp 31%. Von den bayrischen Pegel liegen in dieser Klasse nur 9 Pegel. Dies entspricht einem Anteil von ca. 13%. Dies bedeutet, dass für den Fall, dass eine signifikante Änderung des Abflussverhaltens in den Zeitreihen vorhanden ist, das Jahr der Änderung für die Pegel aus Baden-Württemberg bei einem großen Anteil der Pegel mit hoher Wahrscheinlichkeit angegeben werden kann.

Bezüglich der Signifikanz einer Änderung des Abflussverhaltens (Abb. 5.11) zeigt sich bei der Auswertung der gemeinsamen Datenbasis ab 1932, dass für beide Bundesländer prozentual betrachtet ähnliche Ergebnisse vorliegen. Knapp 40% aller Pegel weisen keine signifikante Veränderung auf. Schwache Zeichen von Veränderungen ($80\% \leq \alpha \leq 90\%$) sind bei ca. 21% der Pegel vorhanden, wahrscheinliche Veränderungen ($90\% < \alpha \leq 99\%$) ergeben sich für ca. 14% der Pegel. Sehr wahrscheinliche Veränderungen ($\alpha > 99\%$) weisen 25% der Pegel auf.

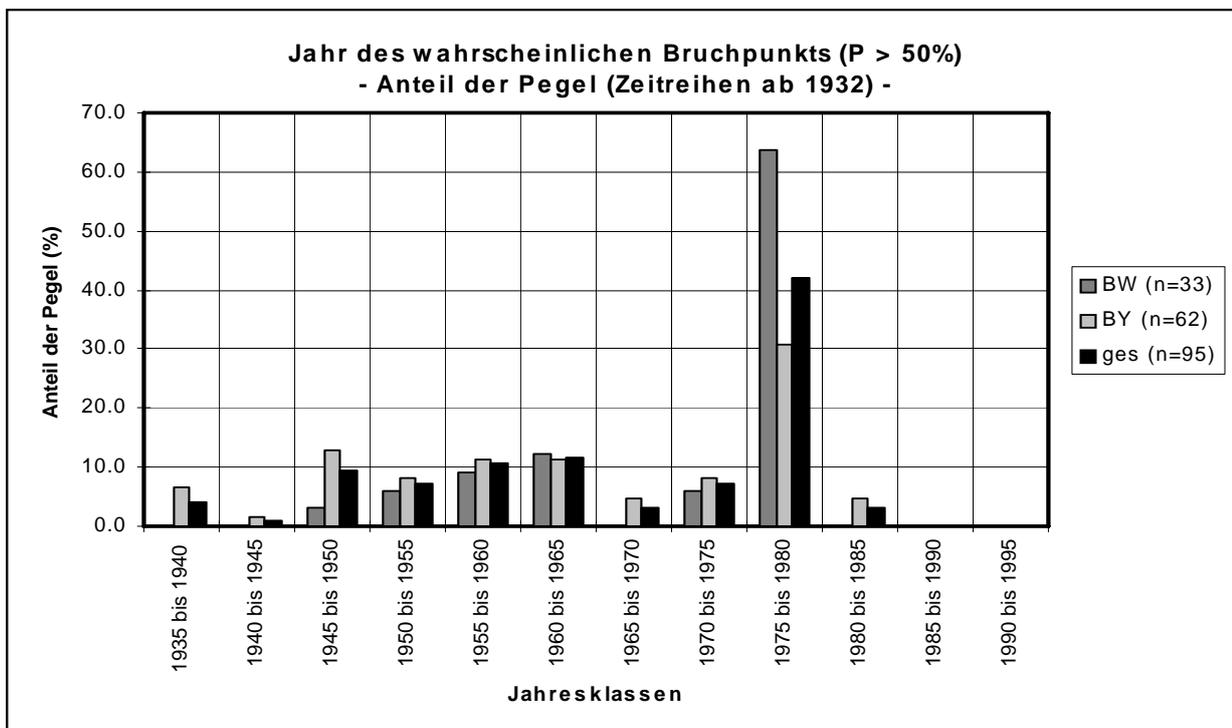


Abb. 5.9: Prozentuale Anteile der Pegel an den Jahresklassen, in denen der wahrscheinliche Bruchpunkt liegt, ermittelt aus der gemeinsamen Datenbasis ab 1932

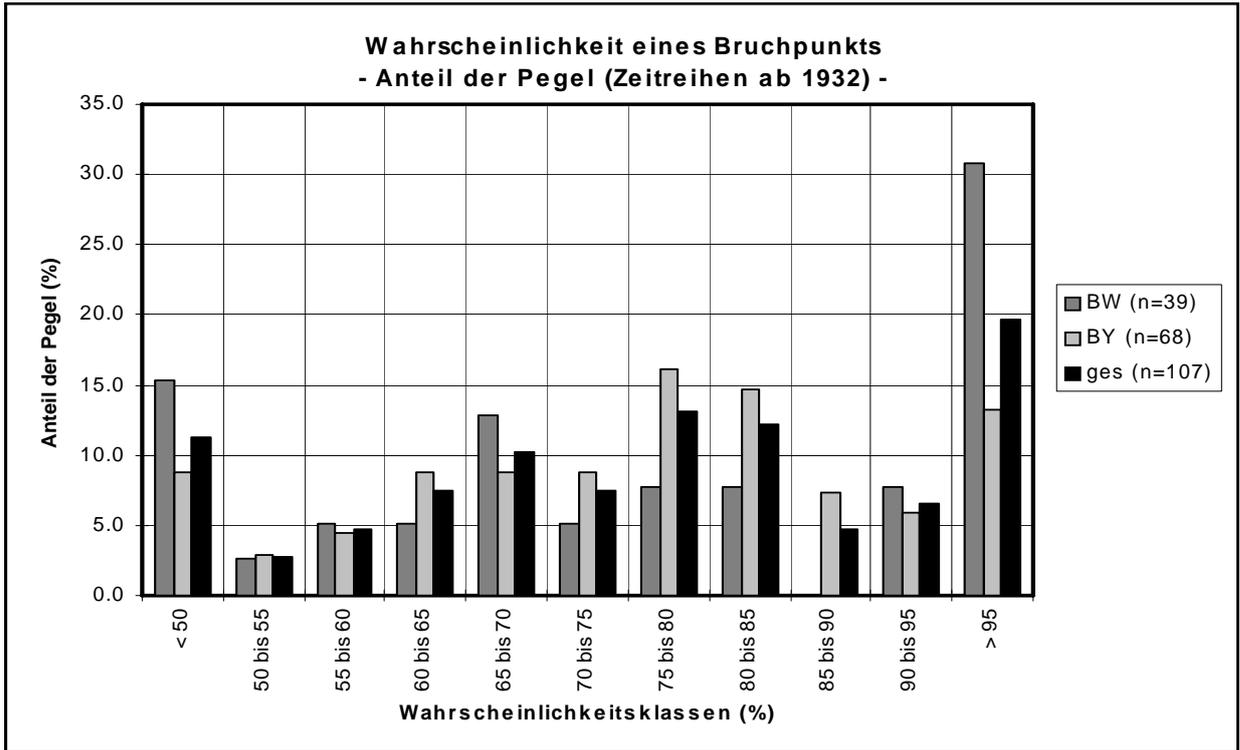


Abb. 5.10: Prozentuale Anteile der Pegel an den verschiedenen Klassen der Wahrscheinlichkeit eines Bruchpunkts, ermittelt aus der gemeinsamen Datenbasis ab 1932

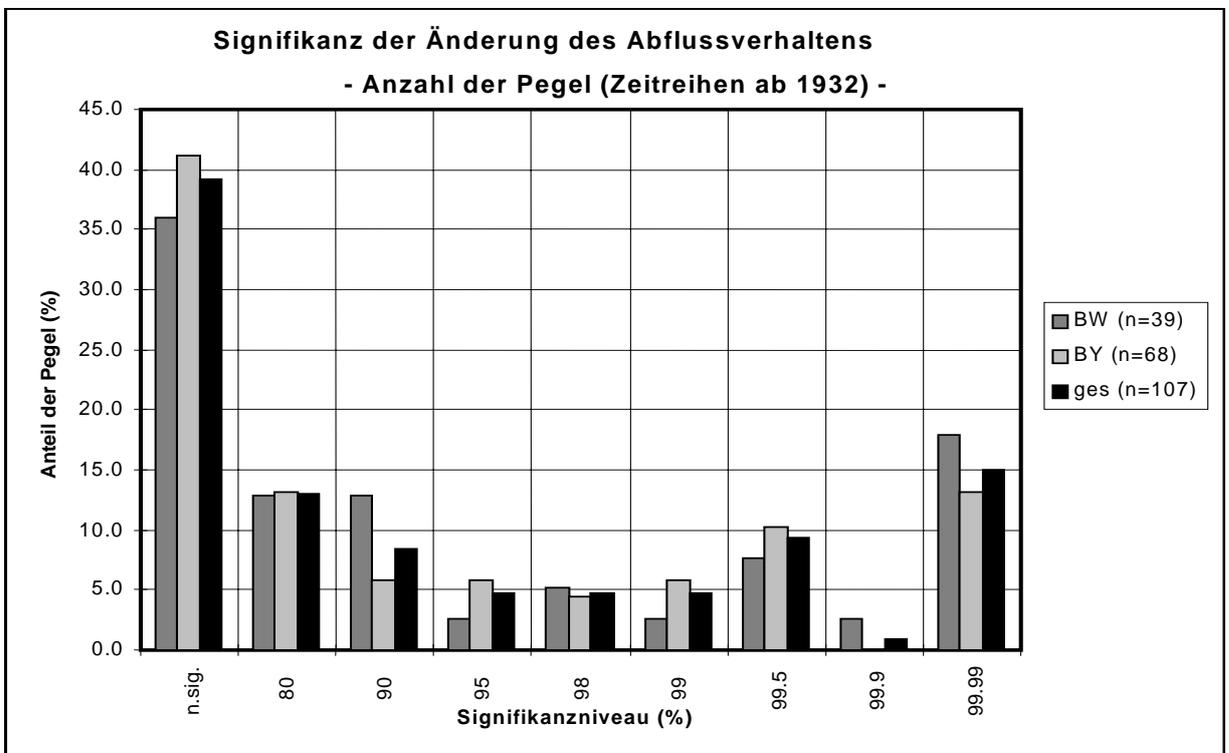


Abb. 5.11: Prozentuale Anteile der Pegel an den verschiedenen Signifikanzniveaus für eine Änderung des Abflussverhaltens, ermittelt aus der gemeinsamen Datenbasis ab 1932



Analyse für die „langen Zeitreihen“

Für die langen Zeitreihen, die 1932 oder früher beginnen, sind die Ergebnisse bezüglich der Jahresklassen, des wahrscheinlichen Bruchpunkts und der Signifikanz der Änderung des Abflussverhaltens in Abb. 5.12, Abb. 5.13 und Abb. 5.14 dargestellt.

Der Bruchpunkt liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von $P > 50\%$ bei 30 Pegeln (32%) wiederum in der Jahresklasse zwischen 1975 und 1980 (Abb. 5.12). In Baden-Württemberg betrifft dies 19 Pegel (58%) und in Bayern 11 Pegel (18%). Die restlichen Pegel verteilen sich ähnlich wie bei der Analyse der gesamten Zeitreihen nahezu über alle Jahresklassen, wobei auch hier eine weitere Häufung zwischen den Jahren 1945 und 1965 vorhanden ist.

Bei der Analyse der Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts zeigen die Ergebnisse für die langen Zeitreihen (Abb. 5.13) ein sehr ähnliches Verhalten. Die Wahrscheinlichkeitsklasse $P > 95\%$ ist wiederum am häufigsten belegt. In Baden-Württemberg befinden sich in dieser Klasse 11 Pegel (28%) und in Bayern 13 Pegel (19%). Insgesamt sind

dies somit 24 Pegel, die einem Anteil von 22,4% entsprechen. Hieraus ergibt sich, dass die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten eines Bruchpunkts in einem bestimmten Jahr bei den drei untersuchten Datenkollektiven sehr ähnliche Ergebnisse aufweisen.

Bei der Signifikanz der Änderung des Abflussverhaltens (Abb. 5.14) zeigt auch dieses Datenkollektiv, dass bei den Pegeln in den beiden Bundesländern nur geringe Unterschiede in der prozentualen Verteilung vorhanden sind. Bei ca. 40% aller Pegel ist keine signifikante Änderung in den Zeitreihen vorhanden. Schwache Zeichen von Veränderungen ($80\% \leq \alpha \leq 90\%$) sind bei ca. 16% der Pegel vorhanden, wahrscheinliche Veränderungen ($90\% < \alpha \leq 99\%$) ergeben sich für ca. 8% der Pegel. Sehr wahrscheinliche Veränderungen ($\alpha > 99\%$) weisen knapp 30% der Pegel auf.

Die räumliche Zuordnung des Jahrs mit dem wahrscheinlichen Bruchpunkt mit der zugehörigen Signifikanz der Änderung des Abflussverhaltens nach dem Student-Test ist in den Karten 4 bis 5 getrennt für die zwei untersuchten Datenkollektive dargestellt.

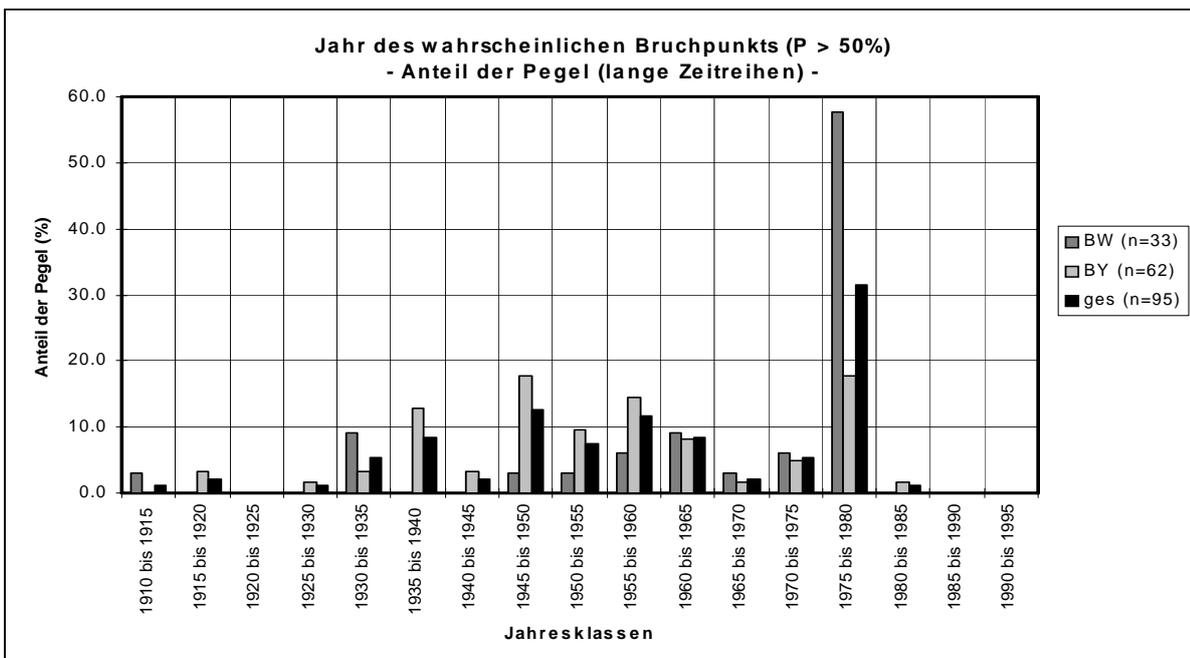


Abb. 5.12: Prozentuale Anteile der Pegel an den Jahresklassen, in denen der wahrscheinliche Bruchpunkt liegt, ermittelt aus den langen Zeitreihen mit Beobachtungsbeginn 1932 oder früher

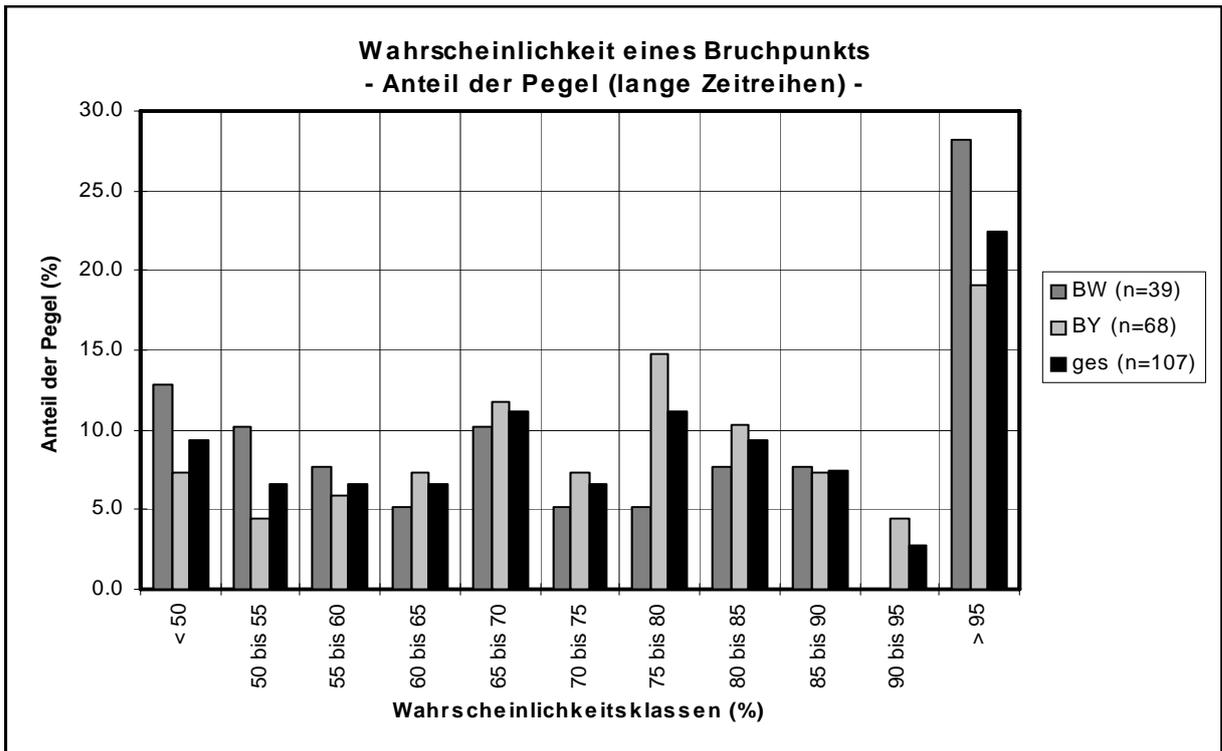


Abb. 5.13: Prozentuale Anteile der Pegel an den verschiedenen Klassen der Wahrscheinlichkeit eines Bruchpunkts, ermittelt aus den langen Zeitreihen mit Beobachtungsbeginn 1932 oder früher

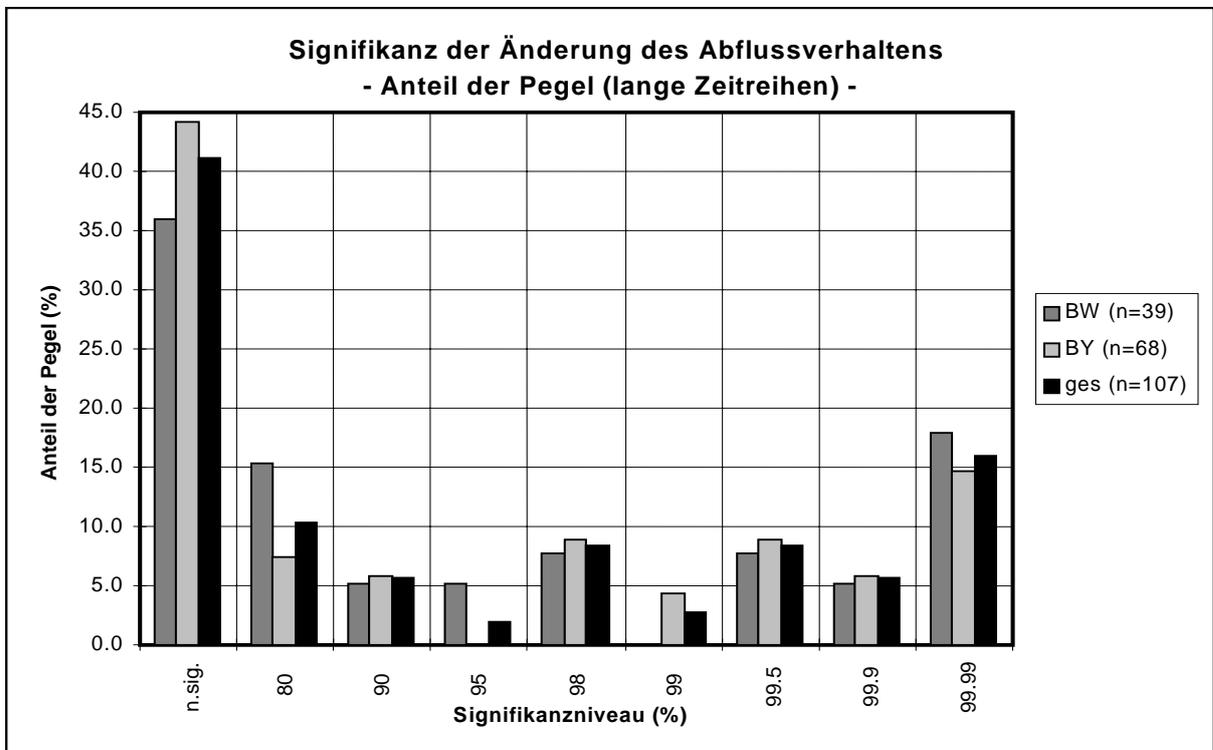


Abb. 5.14: Prozentuale Anteile der Pegel an den verschiedenen Signifikanzniveaus für eine Änderung des Abflussverhaltens, ermittelt aus den langen Zeitreihen mit Beobachtungsbeginn 1932 oder früher



6 Analyse des mittleren Jahresgangs der Abflüsse

Neben den jährlich höchsten Abflüssen HQ(J) der Pegel wurden auch die monatlichen Höchstwerte des Abflusses HQ(m) über eine Betrachtung des mittleren Jahresganges bezüglich langfristiger Veränderungen analysiert. Für diese ergänzende Betrachtung wurden die Zeitreihen der monatlichen Höchstwerte für 30 Pegel in Baden-Württemberg und 22 Pegel in Bayern ausgewählt. Die zugehörigen Beobachtungszeitspannen sind in den Tabellen 1a bis 1e (rechte Spalte) aufgeführt.

Der mittlere Jahresgang der Monatshöchstwerte des Abflusses wurde für die 52 Pegel aus Baden-Württemberg und Bayern jeweils für die gesamte Beobachtungszeitspanne ermittelt und mit zwei Teilzeitreihen, die sich durch Trennung der Gesamtreihe an einem festgelegten Jahr ergeben, verglichen.

6.1 Zeitreihenteilung im Jahr 1964

Zur Trennung der Zeitreihen wurde zunächst das Jahr 1964 untersucht. Die hieraus abgeleiteten Analysen sind in der Tabelle 4 zusammengestellt.

Abb. 6.1 zeigt die Ergebnisse für die Teilung der Zeitreihen im Jahr 1964 und Abb. 6.2 diejenigen für das Jahr 1974. Dabei ist jeweils für verschiedene Abweichungsklassen die Häufigkeit bzw. der prozentuale Anteil der Pegel für die

- prozentuale Abweichung der Teilzeitreihe vor 1964 bzw. 1974
- prozentuale Abweichung der Teilzeitreihe nach 1964 bzw. 1974

von der Gesamtreihe dargestellt.

Für beide Trennungsjahre zeigen die Häufigkeitsverteilungen, dass jeweils die Teilzeitreihe vor dem Trennungsjahr bei den meisten Pegeln kleinere mittlere Jahreswerte aufweist als die Teilzeitreihe nach dem Trennungsjahr. Bei der Zeitreihentrennung im Jahr 1964 ergibt sich für die 1. Teilzeitreihe eine Spannweite von -17,8% (Pegel Berghausen/Pfinz) und +12,8% (Pegel Riegel/ Leopoldskanal). Diese Pegel liegen beide in Baden-Württemberg. In Bayern ergibt sich für die erste Teilzeitreihe

eine Spannweite von -17% (Pegel Vilsbiburg/Große Vils) bis +5,8% (Pegel Landsberg/Lech). Bei der 2. Teilzeitreihe verschiebt sich generell die Häufigkeitsverteilung um eine Klasse, so dass für Baden-Württemberg eine Spannweite von -4,8% (Pegel Jagstzell/Jagst) bis +19,9% (Pegel Berghausen/Pfinz) und für Bayern von -11% (Pegel Landsberg/Lech) bis +12,4% (Pegel Vilsbiburg/Große Vils) vorhanden ist.

Für alle Pegel zusammen ergeben sich die häufigsten Abweichungen (23 Pegel; 44%) für die 1. Teilzeitreihe in der Klasse (-5 bis 0). Diese Pegel weisen somit kleinere Mittelwerte im Vergleich zur Gesamtreihe auf. Bei der 2. Teilzeitreihe liegen die häufigsten Abweichungen in den beiden Klassen (0 bis +10). In diesen Klassen liegen 34 Pegel (65%). Diese Ergebnisse zeigen, dass nach 1964 ein deutlich höherer mittlerer Hochwasserabfluss vorhanden ist.

6.2 Zeitreihenteilung im Jahr 1974

Darüber hinaus ergab sich jedoch aus der Analyse des wahrscheinlichsten Bruchpunkts in der Zeitreihe der Jahreshöchstwerte, dass am häufigsten ein Bruchpunkt in der Jahresklasse von 1975 bis 1980 vorhanden ist. Deshalb wurden zusätzlich die Auswertungen auch mit einer Zeitreihentrennung im Jahr 1974 durchgeführt. Die entsprechenden Werte sind in der Tabelle 5 zusammengestellt.

Legt man das Jahr der Zeitreihentrennung auf 1974 wird dieser Effekt noch verstärkt. Die Spannweite der Abweichungen der Mittelwerte der 1. Teilzeitreihe vom Mittelwert der Gesamtreihe ist konzentriert auf die Klassen (-15 bis +5). Die größten Abweichungen treten in Baden-Württemberg auf mit -14,3% (Pegel Berghausen/Pfinz) und +2% (Pegel Jagstzell/Jagst) und in Bayern mit -12,6% (Pegel Vilsbiburg/Große Vils) und +3,5% (Pegel Landsberg/Lech). Die häufigsten Pegel liegen in der Klasse (-5 bis 0) mit der Anzahl 14 (47%) aus Baden-Württemberg und 12 (55%) aus Bayern. Insgesamt liegen somit 26 Pegel (50%) in dieser am häufigsten belegten Klasse.

Bei der 2. Teilzeitreihe liegt die Gesamtspannweite der Abweichungen zwischen -4,3% (Pegel Jagstzell/Jagst) und +28,6% (Pegel Berghausen/Pfinz) für Baden-Württemberg und zwischen -10,9% (Pegel Landsberg/Lech) und +18,3% (Pegel Vilsbiburg/Große Vils) für Bayern. Die häufigsten Abweichungen liegen in der Klasse (5 bis 10) mit 13 Pegeln (48%) aus Baden-Württemberg und 8 Pegel (36%) aus Bayern. Insgesamt ist somit die häufigste Klasse mit 21 Pegeln (43%) belegt.

6.3 Abflussveränderungen im Jahresgang

Die Auswertungen haben gezeigt, dass diese Abflussveränderungen nicht gleichmäßig über das Jahr verteilt auftreten. Sowohl bei der Zeitreihentrennung im Jahr 1964 als auch im Jahr 1974 ist die größere Abflussveränderung bei den meisten Pegeln in den Monaten vorhanden, in denen abhängig vom vorliegenden Abflussregime verstärkt große Hochwasserereignisse auftreten.

Für eine detaillierte Analyse müsste deshalb die hier durchgeführte Jahresbetrachtung auf Halbjahre bzw. auf Quartale erweitert werden, wobei vorwiegend die Monate mit den höchsten Abflüssen gesondert zu betrachten wären.

Die Ergebnisse der Tabellen 4 und 5 sind auch graphisch ausgewertet. Beispielhaft sind für das Trennungsjahr 1974 die verschiedenen Flussgebiete durch ausgewählte Pegel mit dem Jahresgang aus Anlage 2.1 bis 2.8 ersichtlich. Die Jahresgänge lassen sehr deutlich das jeweilige Abflussregime erkennen. Die Mittelgebirgsflüsse weisen in den Wintermonaten, die alpin geprägten Flüsse wie Iller in den Sommermonaten erhöhte Abflüsse auf. Der Jahresgang der Donau am Pegel Hofkirchen (Anlage 2.4) zeigt schließlich zwei abflussstärkere Perioden, die ihre Ausprägung besonders durch das unterschiedliche Abflussverhalten der nördlichen und südlichen Donauzuflüsse erfahren.

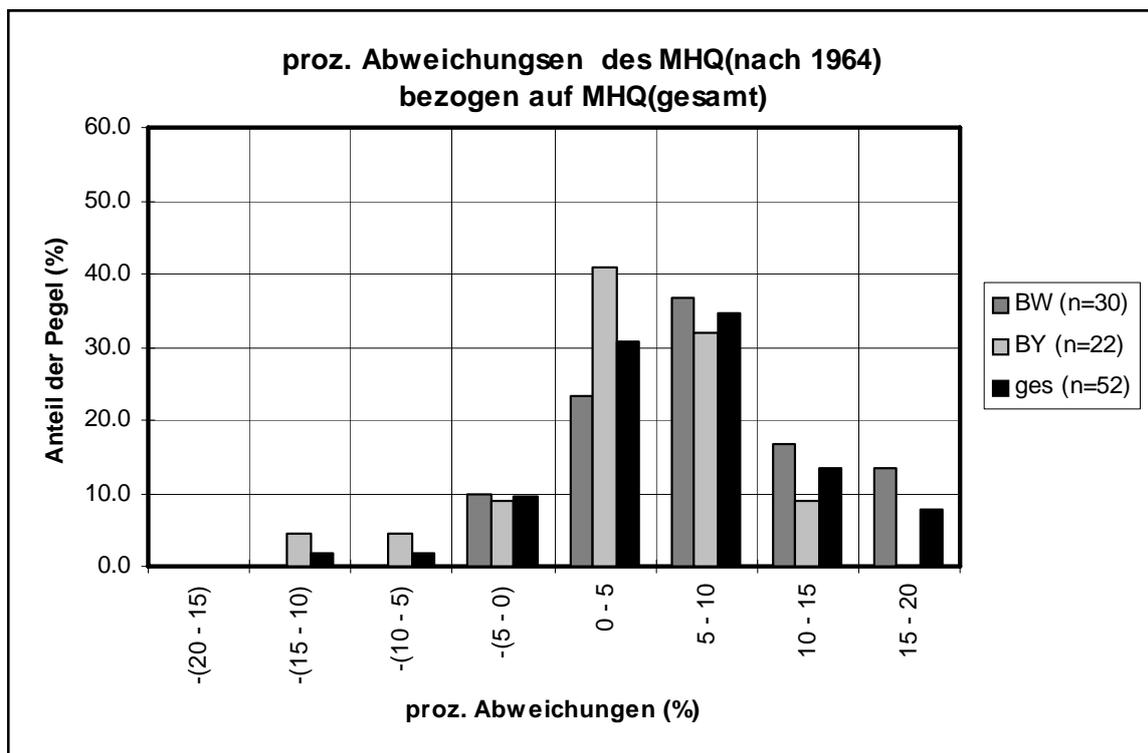
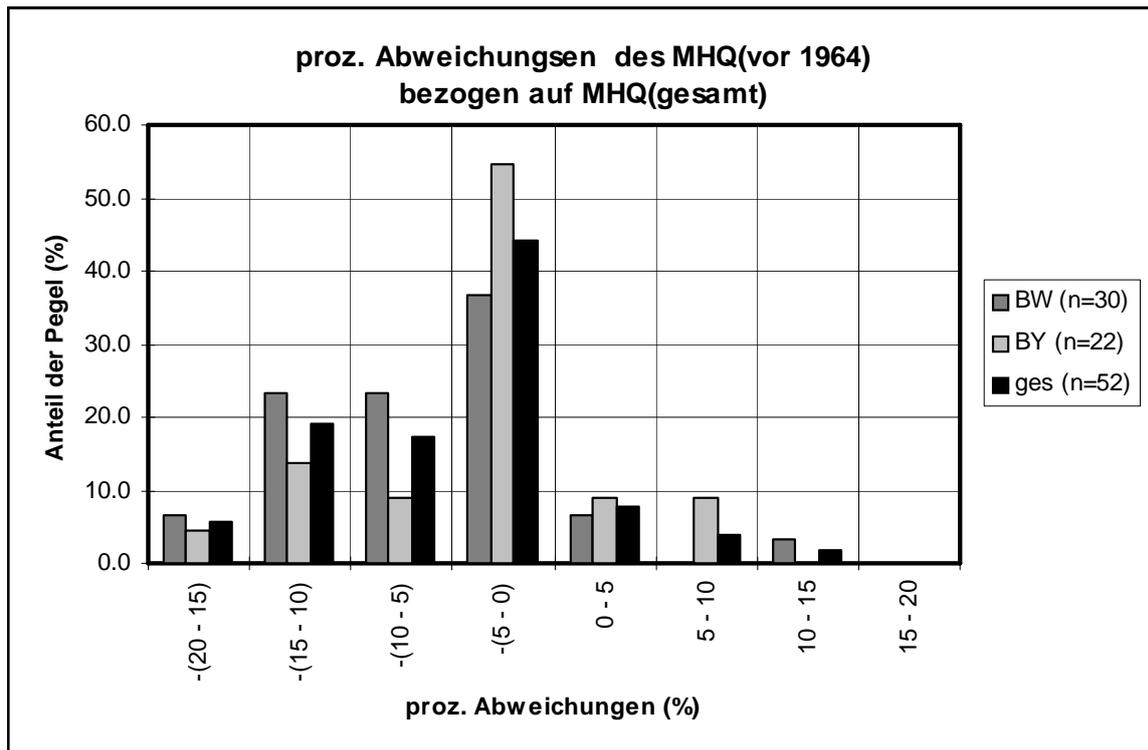


Abb. 6.1: Verteilung des Anteils der Pegel mit prozentualen Abweichungen der jährlich mittleren Hochwasserabflüsse MHQ der Teilzeitreihe vor 1964 (oberes Diagramm) und nach 1964 (unteres Diagramm), bezogen auf den MHQ-Wert der Gesamtzeitreihe

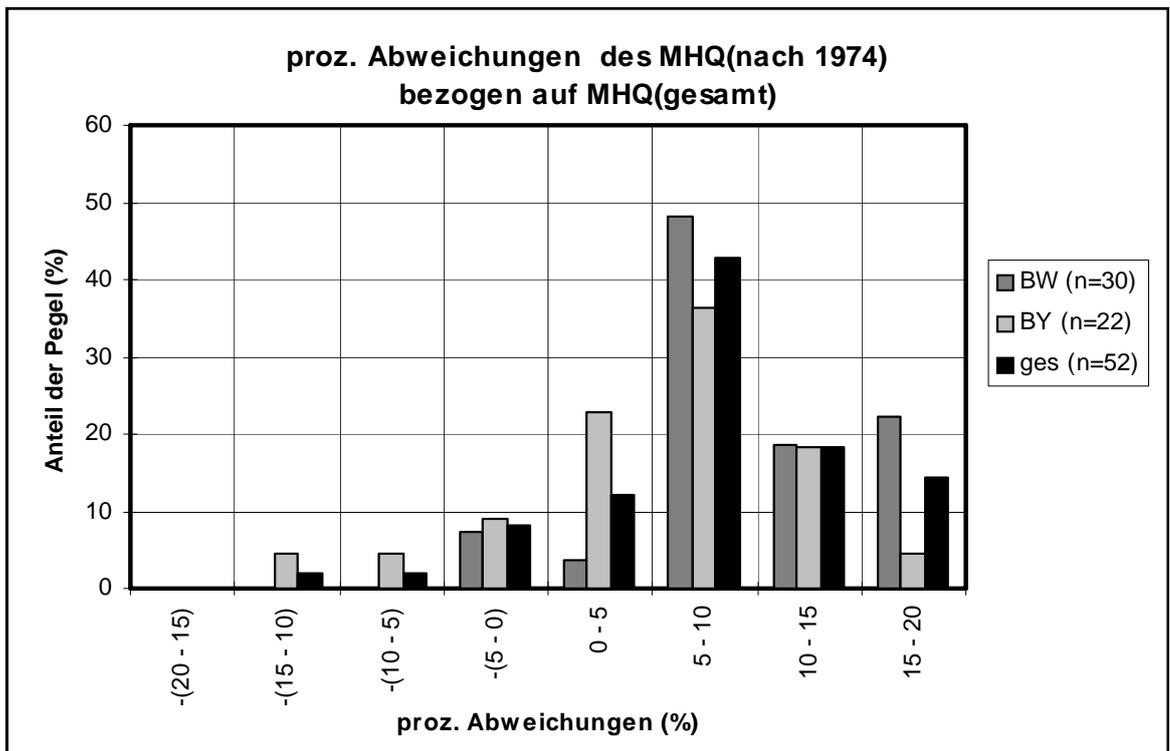
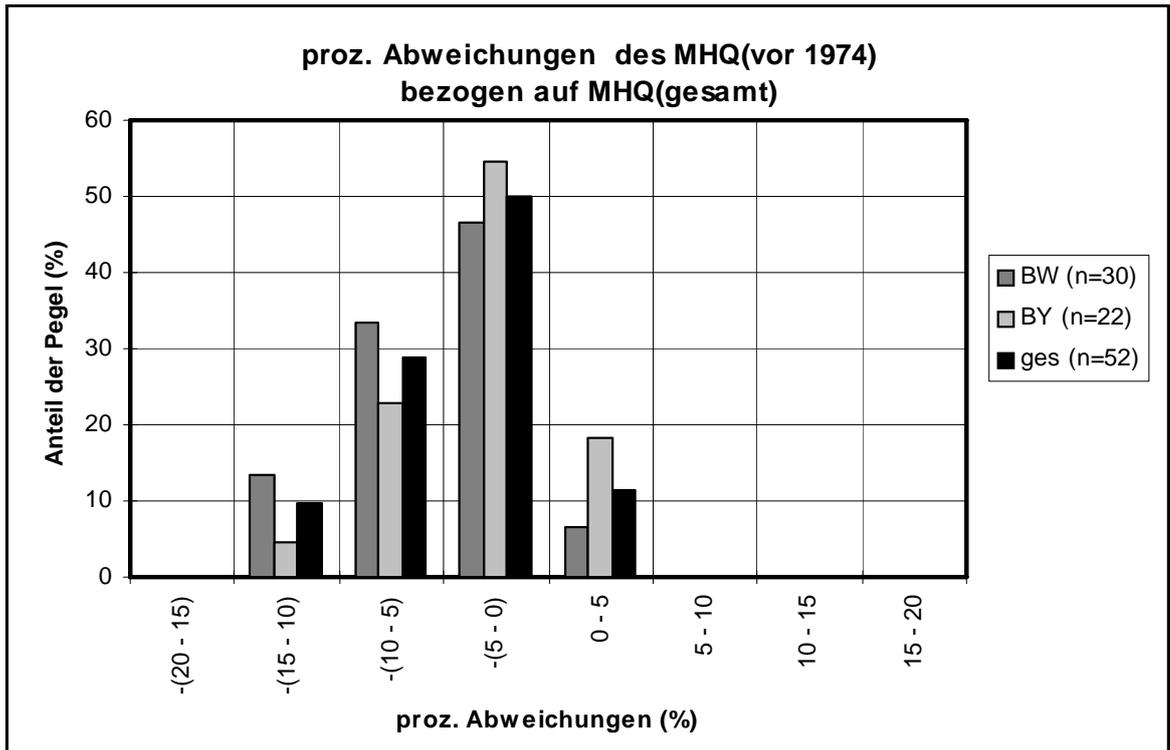


Abb. 6.2: Verteilung des Anteils der Pegel mit prozentualen Abweichungen der jährlich mittleren Hochwasserabflüsse MHQ der Teilzeitreihe vor 1974 (oberes Diagramm) und nach 1974 (unteres Diagramm), bezogen auf den MHQ-Wert der Gesamtzeitreihe



7 Bewertung der Ergebnisse

Zur Untersuchung des Langzeitverhaltens der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern wurden ausgewählte Pegel mit langen Zeitreihen statistisch analysiert. Betrachtet wurde dabei zunächst der lineare Trend der Jahreshöchstwerte mit Berechnung der Trendsteigung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate („Fehlerquadratsumme“). Zur Begründung der Wahl dieser Schätzmethode ging ein Vergleich der Trendschätzung zwischen den Verfahren nach der „Fehlerabsolutsumme“ und der „Fehlerquadratsumme“ voraus.

Dieser Vergleich zeigte deutlich, dass die Trendschätzung über die „Fehlerabsolutsumme“ einerseits deutlich größere Streuungen in den Trendsteigungen hervorruft als die „Fehlerquadratsumme“ und andererseits sehr stark von den kleinen Hochwasserereignissen, die deutlich unterhalb des jährlichen mittleren Hochwasserabflusses MHQ liegen, beeinflusst ist; das Verfahren „Fehlerabsolutsumme“ wurde daher für die zu untersuchenden Fragestellungen als weniger geeignet angesehen und nicht weiter berücksichtigt.

Der lineare Trend wurde für alle ausgewählten Zeitreihen („gesamte Zeitreihen“, 158 Pegel), für die gemeinsamen „Zeitreihen ab 1932“ (107 Pegel) und für die „langen Zeitreihen“ (107 Pegel), die 1932 oder früher beginnen, ermittelt. Die statistische Prüfung der Trendsignifikanz erfolgte mit dem Test nach MANN-KENDALL.

Abflusszeitreihen, die keinen signifikanten Trend aufweisen, können eine Änderung im Abflussverhalten enthalten, die z.B. durch Ungenauigkeiten bei der Abflussermittlung oder Änderungen im Einzugsgebiet oder auch durch Klimaveränderungen hervorgerufen sein kann. So weisen Abflusszeitreihen oft Zeitspannen auf, in denen das Abflussverhalten vor und nach einem bestimmten Zeitpunkt unterschiedlich ist. Dieser Zeitpunkt wurde mit dem Verfahren „Bruchpunktanalyse nach MANN-WHITNEY“ mit der zugehörigen Wahrscheinlichkeit ermittelt. Für diesen Zeitpunkt, im Weiteren „Bruchpunkt“ genannt, wurde anschließend das Summenlinienverfahren zur Prüfung der Si-

gnifikanz eventuell vorhandener Änderungen im Abflussverhalten eingesetzt. Dabei wurde geprüft, ob sich die beiden Steigungen der Regressionsgeraden, angepasst an die beiden Teilsummenlinien, signifikant unterscheiden.

Weiterhin wurden für insgesamt 52 Pegel die monatlichen Höchstwerte des Abflusses analysiert. Ziel dieser Untersuchung war vor allem ein Vergleich dieser Höchstwerte für unterschiedliche Teilzeitreihen. Eine Unterteilung in einzelne Monate mit einer Prüfung des saisonalen zeitlichen Verhaltens der Zeitreihen erfolgte in dieser Betrachtung nicht.

Die Ergebnisse der statistischen Analyse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Einfluss der Zeitreihenlänge auf die Trendergebnisse

Die ausgewerteten Abflussreihen weisen eine große Spannweite in der Länge der Beobachtungszeitspanne auf. Die kürzeste Datenreihe umfasst 24 Jahre (Pegel Sachsenheim/Wern) und die längste Reihe 148 Jahre (Pegel Heidelberg-Karlstor/Neckar). Um den Einfluss der Beobachtungslänge auf das Trendverhalten aufzeigen zu können, wurde für jede Pegelzeitreihe der rückwärtige Trend, jeweils bezogen auf das Ende der Zeitreihe, ermittelt. Die Ergebnisdarstellungen sind exemplarisch für 8 ausgewählte Pegel in der Anlage 1 enthalten.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Trendsteigungen und auch die Trendsignifikanzen bei den meisten Pegeln sehr stark vom gewählten Zeitreihenbeginn abhängig sind. Je nach gewähltem Zeitreihenbeginn wird über eine gewisse Zeitspanne ein hoch signifikanter Trend ausgewiesen. Beispielsweise ergibt sich für den Pegel Hofkirchen/Donau bei einer Trendbetrachtung ab 1901 kein signifikanter Trend. Wird die Zeitreihe jedoch verkürzt auf 1957, zeigt die Zeitreihe einen positiven Trend mit einer Signifikanz von $\alpha = 90\%$. Diese Signifikanz steigt bei weiterer Verkürzung der Zeitreihe an und erreicht ungefähr 1959 ein Maximum mit $\alpha = 99\%$. Danach ist ein signifikanter

Trend nur noch für die Teilreihe 1971-1998 vorhanden.

Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass die Trendaussage ganz entscheidend von der betrachteten Zeitreihenlänge abhängig ist. Eine ungünstige Zeitreihenlänge liegt dann vor, wenn am Zeitreihenbeginn und -ende gegensätzliche Ereignisgrößen (große bzw. kleine Hochwasserabflüsse) vorhanden sind.

Der Einfluss der Zeitreihenlänge auf das Trendverhalten wird auch aus den Auswertungen in Kapitel 4 deutlich. Trägt man die Trendsteigung als Funktion der Anzahl der Länge der Beobachtungsjahre auf, so steigt die Variabilität der Trendsteigungen mit abnehmender Jahresanzahl enorm an (z.B. Abb. 4.7). Ab einer Zeitreihenlänge von ca. 60 bis 70 Jahren wird die Variabilität deutlich kleiner, so dass gesichertere Aussagen möglich werden. Um den Einfluss der Zeitreihenlänge mit in die Bewertung der Ergebnisse einbeziehen zu können, wurden alle statistischen Analysen sowohl für die gesamten vorliegenden Zeitreihen der 158 Pegel als auch für 107 Pegel über die gemeinsame Zeitspanne ab 1932 durchgeführt. Zusätzlich wurden gesondert die 107 Pegel mit den langen Zeitreihen, die 1932 oder früher beginnen, jeweils über die gesamte Zeitreihenlänge betrachtet.

Analyse der Trendsignifikanz

Bei der Analyse des Langzeitverhaltens der Jahreshöchstwerte des Abflusses wurde zunächst die Trendsignifikanz nach dem Testverfahren von MANN-KENDALL ermittelt. Hieraus ergibt sich, dass sowohl bei der Betrachtung der „gesamten Zeitreihen“ als auch bei den „Zeitreihen ab 1932“ und den „langen Zeitreihen“ nur ein geringer Anteil der Pegel statistisch gesicherte Trends aufweist. Wahrscheinliche und sehr wahrscheinliche Trends mit einer Signifikanz von $\alpha > 90\%$ treten bei der Auswertung aller Zeitreihen nur an 24 Pegel von den untersuchten 158 Pegel auf. Dies entspricht einem Anteil von 15,2%.

Bei der gemeinsamen Datenbasis ab 1932 ergibt sich diese Trendsignifikanz an 19 von 107 Pegeln (17,8%) und an 17 Pegeln (15,9%) bei Betrachtung der „langen Zeitrei-

hen“. Sehr wahrscheinliche Trends mit $\alpha > 99\%$ treten bei der Auswertung der „langen Zeitreihen“ lediglich bei 6 Pegeln und bei den beiden anderen Auswertungen lediglich an 3 Pegeln auf. Bei der Auswertung der „Zeitreihen ab 1932“ sind dies die Pegel Hammereisenbach/Breg ($\alpha = 99,99\%$), Pfäffingen/Ammer ($\alpha = 99,9\%$) und Hopfau/Glatt ($\alpha = 99,9\%$) aus Baden-Württemberg. Betrachtet man die langen Zeitreihen dieser Pegel, so nimmt die Signifikanz am Pegel Pfäffingen/Ammer auf $\alpha = 90\%$ ab. Dagegen steigt die Signifikanz am Pegel Landsberg/Lech in Bayern von $\alpha = 80\%$ auf $\alpha = 99,9\%$ an.

Bei der Auswertung aller Zeitreihen ohne Berücksichtigung der Beobachtungslänge ergeben sich somit wahrscheinliche Trends mit $\alpha > 90\%$ an 24 Pegel von den untersuchten 158 Pegel (15,2%). Sehr wahrscheinliche Trends sind an 7 Pegeln (4,4%) vorhanden. Hiervon betroffen sind neben den bereits genannten Pegeln an Breg, Glatt und Lech die Pegel Hohenkammer/Glonn ($\alpha = 99,5\%$), Gerbertshaus/Schussen ($\alpha = 99,5\%$), Donauwörth/Donau ($\alpha = 99,5\%$) und Vilsbiburg/Große Vils. Alle Pegel weisen eine Zeitreihenlänge mit mindestens 73 Jahren auf und gehören somit zu der Datenbasis der langen Zeitreihen.

Analyse der Trendsteigungen

Zur gemeinsamen Bewertung der Trendsteigungen über alle Pegel wurden die ermittelten Trendsteigungen prozentual bezogen auf den zugehörigen jährlich mittleren Hochwasserabfluss MHQ. Über alle 158 Pegel und Zeitreihen ergibt sich für diesen prozentualen Trend eine gesamte Spannweite von -1,4% und +2,5%. Dies bedeutet, die größte Abflussabnahme beträgt somit 1,4% des zugehörigen jährlich mittleren Hochwasserabflusses und die größte Zunahme 2,5% des mittleren Werts pro Jahr. Die häufigsten Trends liegen im Bereich zwischen -0,25% und +0,75%. Dieser Bereich beinhaltet ca. 78% der Pegel ohne Berücksichtigung der Trendsignifikanz. Mit Berücksichtigung der Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$ liegen in diesem Trendbereich 34 von den 52 Pegeln (65,4%). Hieraus ergibt sich bei summarischer Betrachtung eine gewisse Tendenz zu



positiven (steigenden) Veränderungen in den Zeitreihen, da jeweils die positiven Trends stärker besetzt sind.

Bei der Analyse der gemeinsamen Datenbasis ab 1932 („Zeitreihen ab 1932“) nimmt für den prozentualen Trend die gesamte Spannweite ab auf den Bereich zwischen -0,60% und +1,53%. Die häufigsten Trends treten in dem Bereich zwischen -0,50% und +0,50% auf, der 91 von 107 Pegeln (85,1%) ohne Berücksichtigung der Trendsignifikanz enthält. Mit Berücksichtigung der Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$ liegen in diesem Bereich 17 von 32 Pegel (53%). Bei diesen signifikanten Trends konzentrieren sich die Ergebnisse auf den Bereich +0,25% bis +0,50% mit 11 von 32 Pegeln (34%). Betrachtet man die „langen Zeitreihen“ nehmen bei den signifikanten Trends die häufigsten Werte tendenziell wiederum etwas ab. Mit jeweils 25,8% der Pegel sind die Trendklassen zwischen 0% und +0,25 und zwischen +0,25% und +0,50% sowie mit 19,4% die Klasse zwischen +0,50% und +0,75% besetzt. Diese Bereiche umfassen somit ca. 70% der Pegel mit einer Trendsignifikanz $\alpha \geq 80\%$.

Die Analyse des Trendverhaltens zeigt somit, dass lediglich wenige Pegel in Bayern und Baden-Württemberg Trends aufweisen, die aus statistischer Sicht eine ausgeprägte zeitliche Veränderung belegen. Die Trends bei den Pegeln mit signifikantem Trend, wobei jedoch das Signifikanzniveau sehr niedrig angesetzt wurde, weisen mit Ausnahme weniger Pegel nur kleine Steigungsmaße auf.

Analyse des wahrscheinlichen Zeitpunkts einer möglichen Änderung des Abflussverhaltens

Änderungen in Zeitreihen werden häufig dadurch hervorgerufen, dass die Gesamtzeitreihe in Teilzeitreihen eingeteilt werden kann, für die unterschiedliches Verhalten als auch unterschiedliche statistische Kennwerte (z.B. Mittelwerte) gültig sind. Um dieses Phänomen für die Pegel in Baden-Württemberg und Bayern zu prüfen, wurde über die „Bruchpunktanalyse nach MANN-WHITNEY“ der Zeitpunkt ermittelt, im Weiteren „Bruchpunkt“ genannt, an dem mit einer

bestimmten Wahrscheinlichkeit eine Veränderung des Abflussverhaltens in der Zeitreihe auftritt. Die Ergebnisse dieser Analysen sind nachstehend qualitativ zusammengefasst.

Diese Analyse zeigt, dass bei den meisten Zeitreihen eine Veränderung in den Jahren zwischen 1975 und 1980 vorhanden ist. Bei der Betrachtung aller Zeitreihen ergibt die Bruchpunktanalyse, dass bei 144 von 158 Pegel (91,1%) mit einer Wahrscheinlichkeit von $P > 50\%$ ein Bruchpunkt vorhanden ist. Von diesen 144 Pegeln liegt der Bruchpunkt bei 51 Pegeln (35,4%) zwischen 1975 und 1980. Dieser Anteil liegt in Baden-Württemberg mit 54,3% deutlich höher als in Bayern mit 29,4%. Bei der gemeinsamen Zeitreihenbewertung ab 1932 ergibt sich bei 95 von 107 Pegeln (88,8%) ein Bruchpunkt mit einer Wahrscheinlichkeit von $P > 50\%$. Hiervon liegt der Bruchpunkt insgesamt bei 40 Pegeln (42,1%) in den Jahren zwischen 1975 und 1980. Für Baden-Württemberg sind es 63,6% und für Bayern 30,6%. Dies lässt vermuten, dass insbesondere innerhalb dieser Jahre eine Veränderung im Abflussverhalten der entsprechenden Einzugsgebiete stattgefunden hat.

Der Test der Steigungsänderung mit einem Student-Test über das Summenlinienverfahren zeigt, dass insgesamt über 144 Pegel mit einem Bruchpunkt bei 42 Pegeln (29,2%) keine signifikante Veränderung mit $\alpha < 80\%$ vorhanden ist. Signifikanzen mit $\alpha > 90\%$ (wahrscheinliche Veränderungen) liegen bei 60 Pegeln (41,7%) und sehr wahrscheinliche Veränderungen mit $\alpha > 99\%$ bei 37 Pegeln (25,7%) vor. Bei der gemeinsamen Datengrundlage ab 1932 mit 107 Pegeln ergeben sich bei den 95 Pegeln mit Bruchpunkt keine signifikanten Veränderungen mit $\alpha \geq 80\%$ bei 30 Pegeln (31,6%). Signifikanzen mit $\alpha > 90\%$ (wahrscheinliche Veränderungen) liegen bei 42 Pegeln (44,2%) und sehr wahrscheinliche Veränderungen mit $\alpha > 99\%$ bei 27 Pegeln (28,4%) vor.

Bei den langen Zeitreihen weisen 95 von 107 Pegel einen Bruchpunkt auf mit einer Häufung ebenfalls in den Jahren zwischen 1975 und 1980. Hiervon zeigen 44 Pegel (41,1%) eine nicht signifikante Änderung.

Signifikanzen mit $\alpha > 90\%$ (wahrscheinliche Veränderungen) liegen bei 46 Pegeln (48,4%) und sehr wahrscheinliche Veränderungen mit $\alpha > 99\%$ bei 32 Pegeln (33,7%) vor.

Analyse des mittleren Jahresgangs der Monatshöchstwerte

Zur Beurteilung des mittleren Jahresgangs der Monatshöchstwerte wurden für 52 Pegel Graphiken erstellt mit jeweils den mittleren Monatswerten für drei unterschiedliche Zeitspannen. Betrachtet wurde dabei die Gesamtzeitreihe im Vergleich zu den beiden Teilzeitreihen, die sich durch Teilung der Gesamtzeitreihe an einem festgelegten Bruchpunkt ergeben. Als Trennungsjahr ist einmal das Jahr 1964, daneben auch noch das Jahr 1974 verwendet. Das Jahr 1974 ergab sich dabei aufgrund der Auswertung der wahrscheinlichen Bruchpunkte als untere Grenze der Klassen zwischen 1975 und 1980, in der die meisten Bruchpunkte vorhanden waren.

Statistisch analysiert wurden bei den Pegeln die jährlich mittleren Höchstwerte des Abflusses, die sich aus den drei Zeitreihen (Gesamtzeitreihe und Teilzeitreihen vor und nach dem Bruchpunkt) ableiten lassen. Zur Bewertung der Ergebnisse wurde zunächst die Differenz der jährlich mittleren Höchstabflüsse der beiden Teilzeitreihen zu dem zugehörigen jährlich mittleren Hochwasserabfluss der Gesamtzeitreihe ermittelt. Bildet man anschließend das Verhältnis von dieser Differenz zu dem zugehörigen Mittelwert der Gesamtzeitreihe, so kann für die ausgewerteten Pegel eine Häufigkeitsverteilung aufgestellt werden.

Sowohl bei der Zeitreihentrennung im Jahr 1964 als auch im Jahr 1974 ergibt sich für die prozentualen Abweichungen der Mittelwerte der Teilzeitreihen zu dem Gesamtmittelwerte für die Teilzeitreihe vor dem Bruchpunkt eine deutlich linksschiefe Häufigkeitsverteilung und für die Teilzeitreihe nach dem Bruchpunkt eine deutlich rechtsschiefe Verteilung. Dies bedeutet, dass jeweils die jährlich mittleren Höchstabflüsse vor dem Trennungsjahr überwiegend deutlich kleiner sind als nach dem Trennungsjahr. Dieser Effekt

ist bei der Datentrennung im Jahr 1974 ausgeprägter.

Betrachtet man die zugehörigen mittleren Jahresgänge der betrachteten Pegel (beispielhaft in den Anlagen 2.1 bis 2.8), so ergibt sich, dass die Erhöhung nicht gleichmäßig über das Jahr verteilt ist. Bei den meisten Pegeln ergibt sich in den Monaten mit den hohen Monatsmittelwerten eine deutliche Zunahme. Dagegen sind in den Monaten mit den kleineren Monatsmittelwerten oftmals nur geringe Veränderungen vorhanden.

Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass bei den hier betrachteten 52 Pegeln eine zeitliche Veränderung im Jahresgang vorhanden ist. Dazu sind weitere Untersuchungen angezeigt.

Räumliche Beurteilung der Ergebnisse

Zur räumlichen Beurteilung der Ergebnisse und zur Bewertung des analysierten Trendverhaltens sind im Anhang Karten mit folgenden Inhalten beigefügt:

- Karte 1: Räumliche Verteilung aller 158 einbezogenen Pegel und der Pegel mit einer Beobachtungszeitspanne mindestens ab 1932.
- Karte 2: Prozentuale Trendänderung, bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss und Signifikanz des Trends nach MANN-KENDALL („lange Zeitreihen“ mit Beobachtungsbeginn 1932 und früher)
- Karte 3: Prozentuale Trendänderung, bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss und Signifikanz des Trends nach MANN-KENDALL („gesamte Zeitreihen“, alle einbezogene Pegel)
- Karte 4: Jahr des wahrscheinlichen Zeitpunkts einer Änderung des Abflussverhaltens („lange Zeitreihen“, mit Beobachtungsbeginn 1932 und früher) mit Angabe der Signifikanz
- Karte 5: Jahr des wahrscheinlichen Zeitpunkts einer Änderung des Abflussverhaltens („gesamte Zeitreihen“, alle einbezogene Pegel) mit Angabe der Signifikanz



Bei den Karten 2 bis 5 ist zu beachten, dass das Ergebnis der Pegelauswertung immer über das Einzugsgebiet des Pegels kenntlich gemacht ist. Liegen in einem übergeordneten Flussgebiet mehrere Pegel, deren Einzugsgebiete sich überlappen, ist jeweils das Ergebnis des Einzelpegels aus der Kennzeichnung des Zwischeneinzugsgebiets erkennbar.

Sowohl die Darstellung der prozentualen Trendänderungen (Karten 2 bis 3) als auch die Darstellung des Jahrs mit dem wahrscheinlichsten Zeitpunkt einer möglichen

Abflussänderung (Karten 4 bis 5) zeigen sehr gleichmäßige räumliche Verteilungen.

Schwerpunkte, an denen sich bestimmte Ergebnisse konzentrieren, sind nicht ausgeprägt vorhanden. Insbesondere bei den prozentualen Trendänderungen und den zugehörigen Trendsicherheiten ist eine gleichmäßige Verteilung über Baden-Württemberg und Bayern vorhanden. Ausnahme hiervon ist jedoch der östliche Rand des Schwarzwaldes. Hier treten gehäuft hohe positive Trends und auch hohe Trendsicherheiten auf.

Schlussfolgerungen

Die statistische Analyse des Langzeitverhaltens der Hochwasserabflüsse hat gezeigt, dass die Trendberechnung und auch die Trendsignifikanzen in hohem Maße von der betrachteten Zeitreihenlänge abhängig sind. Generell kann jedoch erkannt werden, dass die überwiegende Mehrzahl der untersuchten Pegel keine oder nur sehr schwache Trends signifikanz aufweisen. Die Trendsteigungen weisen bei den meisten Pegeln nur geringe Werte auf. Ausnahme hiervon sind einige Pegel mit signifikanten positiven Steigungen, die sich hauptsächlich am Ost- und Südost-Rand des Schwarzwaldes befinden. Signifikante negative Veränderungen treten vereinzelt in Bayern auf.

Generell lässt sich aufgrund der vorliegenden Ergebnisse ableiten, dass eine signifikante, insbesondere flächendeckende Ver-

änderung in den Hochwasserabflüssen nicht vorhanden ist, also auch Auswirkungen der sich abzeichnenden globalen Klimaveränderung in den Zeitreihen der jährlichen Höchstabflüsse bisher nicht nachweisbar sind. Bei der Betrachtung der letzten 30 bis 40 Jahre wurde jedoch eine Tendenz zu einem häufigeren Auftreten von Hochwasserereignissen festgestellt, der weiter nachgegangen werden muss.

Bemerkenswert ist schließlich, dass sich das jahreszeitliche Verhalten der monatlichen Höchstabflüsse verschoben hat: im Winterhalbjahr treten ab den 70er Jahren höhere Monatswerte auf als in der Zeit davor. Daher sind weitere Untersuchungen angezeigt, um die saisonalen Veränderungen gezielter erfassen zu können; insbesondere ist dabei das Verhalten der Starkniederschläge einzubeziehen.



8 Tabellenverzeichnis

Seite

Einbezogene Pegel mit Zuordnung zu den Untersuchungsgebieten

Tabelle 1a: Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet der Donau mit Angabe der einbezogenen Pegel und ihrer verfügbaren Datenbestände.....	55
Tabelle 1b: Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet der Elbe mit Angabe der einbezogenen Pegel und ihrer verfügbaren Datenbestände.....	57
Tabelle 1c: Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet des Mains mit Angabe der einbezogenen Pegel und ihrer verfügbaren Datenbestände.....	58
Tabelle 1d: Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet des Neckars mit Angabe der einbezogenen Pegel und ihrer verfügbaren Datenbestände.....	59
Tabelle 1e: Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet des Rheins mit Angabe der einbezogenen Pegel und ihrer verfügbaren Datenbestände.....	60

Ergebnisse der Trendberechnungen

Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse der Trendberechnungen für die „gesamte Zeitreihen“	61
Tabelle 3: Zusammenstellung der Ergebnisse der Trendberechnungen für die „Zeitreihe ab 1932“	67

Jahresgang der Monatshöchstwerte HQ(m)

Tabelle 4: Zusammenstellung der Kennwerte für die Analyse des Jahresganges der Monatshöchstwerte HQ(m), Zeitreihentrennung 1964	71
Tabelle 5: Zusammenstellung der Kennwerte für die Analyse des Jahresganges der Monatshöchstwerte HQ(m), Zeitreihentrennung 1974	73

Anmerkung:

Verschiedene Angaben zu den einzelnen Pegeln in den Tabellen 2 bis 5 können aus der Tabelle 1 entnommen werden; die Zuordnung ist über die laufende Nummer und/oder den Pegelnamen möglich.



lfd. Nr.	Pegel-Nr.	Standort des Pegels	Name des Gewässers	Flussgebiet	A _{E,O} [km ²]	Zeitspanne HQ(J)	HQ(m)
Untersuchungsgebiet D1: Donau oberhalb Lauchert							
1	105	Kirchen-Hausen	Donau	Donau	766.7	1922 - 1998	1923 - 1998
2	168	Beuron	Donau	Donau	1 320.0	1926 - 1998	1926 - 1998
3	1139	Hammereisenbach	Breg	Donau	158.0	1926 - 1998	1926 - 1998
4	1120	Unterschmeien	Schmiecha	Donau	150.40	1925 - 1998	
Untersuchungsgebiet D2: Donau unterhalb Lauchert bis oberhalb Iller							
5	120	Hundersingen	Donau	Donau	2 629.2	1930 - 1998	1930 - 1998
6	125	Berg	Donau	Donau	4 036.8	1930 - 1998	1930 - 1998
7	1159	Mengen (Add.)	Ablach	Donau	441.72	1931 - 1998	1931 - 1998
Untersuchungsgebiet D3: Iller							
8	1140100	Sonthofen	Iller	Donau	387.91	1901 - 1998	
9	1140200	Kempten	Iller	Donau	954.64	1901 - 1998	1901 - 1998
10	6140500	Wiblingen	Iller mit Kanal	Donau	2073.8	1901 - 1998	
11	1141200	Oberstdorf	Stillach	Donau	81.26	1952 - 1998	
12	1142520	Reckenberg	Osterach	Donau	126.67	1933 - 1998	
Untersuchungsgebiet D4: Donau unterhalb Iller bis oberhalb Lech							
13	1002630	Neu-Ulm/Bad Held	Donau	Donau	7 587.88	1881 - 1998	1926 - 1999
14	1003980	Donauwörth	Donau	Donau	15 091.96	1924 - 1998	
15	1158400	Waldstetten	Günz	Donau	593.87	1955 - 1998	
16	1160900	Offingen	Mindel	Donau	948.57	1941 - 1998	1941 - 1998
17	1192400	Pfaffenhofen	Zusam	Donau	505.07	1932 - 1998	
Untersuchungsgebiet D5: Lech							
18	1200200	Lechbruck	Lech	Donau	1 713.92	1951 - 1998	
19	1200300	Landsberg	Lech	Donau	2 286.94	1901 - 1998	1901 - 1998
20	1200600	Augsburg	Lech	Donau	3 802.87	1960 - 1998	
21	1218300	Pfronten/Ried	Vils	Donau	112.97	1911 - 1998	
22	1240500	Biessenhofen	Wertach	Donau	450.65	1901 - 1998	1921 - 1998
23	1244500	Hörmanshofen	Geltnach	Donau	95.26	1938 - 1998	
Untersuchungsgebiet D6: Wörnitz und Altmühl							
24	1180500	Gerolfingen	Wörnitz	Donau	586.13	1963 - 1998	
25	1180900	Harburg	Wörnitz	Donau	1 568.62	1940 - 1998	1940 - 1998
26	1340280	Thann	Altmühl	Donau	327.35	1969 - 1998	
27	1340610	Treuchtlingen	Altmühl	Donau	980.52	1941 - 1998	
28	1340720	Eichstätt	Altmühl	Donau	1 396.81	1941 - 1998	
29	1346500	Mettendorf	Schwarzach	Donau	303.73	1931 - 1998	
Untersuchungsgebiet D7: Donau unterhalb Lech bis oberhalb Naab							
30	1004600	Ingolstadt	Donau	Donau	20 052.57	1901 - 1998	
31	1005300	Kelheim	Donau	Donau	23 019.24	1901 - 1998	1924 - 1998
32	1320850	Manching Bahnbr.	Paar	Donau	1 215.23	1926 - 1998	
33	1332200	Aunkofen	Abens	Donau	368.03	1925 - 1998	

Tabelle 1a: Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet der Donau mit Angabe der einbezogenen Pegel und ihrer verfügbaren Datenbestände



Ifd. Nr.	Pegel-Nr.	Standort des Pegels	Name des Gewässers	Flussgebiet	A _{E,O} [km ²]	Zeitspanne	
						HQ(J)	HQ(m)
Untersuchungsgebiet D8: Naab							
34	1400230	Unterköblitz	Naab	Donau	2 010.38	1941 - 1998	
35	1400800	Heitzenhofen	Naab	Donau	5 431.64	1921 - 1998	1921 - 1998
36	1412400	Erbendorf	Fichtelnaab	Donau	182.15	1931 - 1998	
37	1420900	Wildenau	Haidenaab	Donau	714.46	1941 - 1998	
38	1436200	Böhmischbruck	Pfreimd	Donau	483.32	1931 - 1998	
39	1440800	Warnbach	Schwarzach	Donau	821.57	1941 - 1998	
40	1460400	Amberg	Vils	Donau	437.93	1949 - 1998	
Untersuchungsgebiet D9: Regen							
41	1520230	Chamerau	Regen	Donau	1 356.53	1930 - 1998	
42	1520850	Regenstauf	Regen	Donau	2 660.25	1901 - 1998	1901 - 1998
43	1521200	Teisnach	Schwarzer Regen	Donau	626.63	1931 - 1998	
44	1522800	Kötzting	Weißer Regen	Donau	224.36	1948 - 1998	
45	1524300	Furth i.W.	Chamb	Donau	276.58	1951 - 1998	
Untersuchungsgebiet D10: Donau unterhalb Naab bis oberhalb Isar							
46	1006200	Schwabelweis	Donau	Donau	35 449.63	1901 - 1998	
47	1007800	Pfelling	Donau	Donau	37 757.18	1901 - 1998	
48	1540800	Schönach	Große Laber	Donau	406.69	1954 - 1998	
Untersuchungsgebiet D11: Isar							
49	1600070	Mittenwald	Isar	Donau	404.04	1926 - 1998	
50	1600400	Bad Tölz/KW	Isar	Donau	1 558.76	1926 - 1998	
51	6600570	München	Isar mit Stadtbächen	Donau	2136.0	1959 - 1998	
52	1600700	Landshut/Birket	Isar mit Ausleitung	Donau	7 915.42	1959 - 1998	1926 - 1998
53	1600850	Plattling	Isar mit Mühlbäche	Donau	8 435.03	1926 - 1998	1926 - 1998
54	1640200	Garmisch	Loisach	Donau	393.52	1926 - 1998	
55	1640490	Schlehdorf	Loisach	Donau	640.42	1926 - 1998	
56	1640700	Kochel	Loisach	Donau	684.93	1911 - 1998	
57	1660500	Fürstenfeldbruck	Amper	Donau	1 230.25	1921 - 1998	
58	1660700	Inkofen	Amper	Donau	3 075.62	1926 - 1998	1926 - 1998
59	1661070	Oberammergau	Ammer	Donau	113.63	1921 - 1998	
60	1661300	Weilheim	Ammer	Donau	607.39	1926 - 1998	
61	1666500	Leutstetten	Würm	Donau	329.37	1921 - 1998	
62	1668600	Hohenkammer	Glonn	Donau	390.08	1936 - 1998	
Untersuchungsgebiet D12: Vils und Rott							
63	1720420	Rottersdorf	Vils	Donau	727.67	1940 - 1998	
64	1720750	Grafenmühle	Vils	Donau	1 435.94	1940 - 1998	
65	1721500	Vilsbiburg	Große Vils	Donau	319.67	1927 - 1998	1940 - 1998
66	1880640	Birnbach	Rott	Donau	861.38	1931 - 1998	

Tabelle 1a: Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet der Donau mit Angabe der einbezogenen Pegel und ihrer verfügbaren Datenbestände (Fortsetzung)



Ifd. Nr.	Pegel-Nr.	Standort des Pegels	Name des Gewässers	Flussgebiet	A _{E,O} [km ²]	Zeitspanne	
						HQ(J)	HQ(m)
Untersuchungsgebiet D13: Alz und Salzach							
67	1840500	Altenmarkt	Alz	Donau	1 552.17	1931 - 1998	
68	1845400	Staudach	Tiroler Achen	Donau	951.88	1921 - 1998	1921 - 1998
69	1848350	Stein	Traun	Donau	367.36	1926 - 1998	
70	1848600	Siegsdorf	Weißer Traun	Donau	181.99	1926 - 1998	
71	1848750	Wernleiten	Rote Traun	Donau	91.19	1919 - 1998	
72	1860600	Burghausen	Salzach	Donau	6 649.0	1901 - 1998	1901 - 1998
73	1862200	Ilsank	Ramsauer Ache	Donau	122.48	1931 - 1998	
74	1864200	Unterjettenberg	Saalach	Donau	927.32	1901 - 1998	
75	1866600	Brodhausen	Sur	Donau	123.76	1951 - 1998	
Untersuchungsgebiet D14: Inn							
76	1800040	Oberaudorf	Inn	Donau	9 714.85	1901 - 1998	1901 - 1998
77	1800500	Eschlbach	Inn	Donau	13 345.86	1931 - 1998	
78	1800800	Passau/Ingling	Inn	Donau	26 062.72	1901 - 1998	
79	6800200	Rosenheim	Mangfall mit Hammerbach	Donau	1099.0	1941 - 1997	
80	6820600	Bad Aibling	Mangfall mit Triftbach	Donau	780.0	1928 - 1997	
81	1824200	Stauden	Leitzach	Donau	111.70	1941 - 1998	1941 - 1998
82	1826300	Bad Aibling	Glonn	Donau	149.25	1928 - 1998	
83	1834600	Anger	Attel	Donau	252.95	1951 - 1998	
84	1838450	Engfurt	Isen	Donau	547.03	1951 - 1998	
Untersuchungsgebiet D15: Donau unterhalb Isar und oberhalb Inn							
85	1008800	Hofkirchen	Donau	Donau	47 609.56	1901 - 1998	1901 - 1998
86	1009400	Achleiten	Donau	Donau	76 653.0	1901 - 1998	
87	1740600	Kalteneck	Ilz	Donau	759.95	1921 - 1998	
88	1742500	Eberhardsreuth	Mitternacher Ohe	Donau	112.97	1951 - 1997	
89	1746400	Fürsteneck	Wolfsteiner Ohe	Donau	370.07	1951 - 1998	

Tabelle 1a: Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet der Donau mit Angabe der einbezogenen Pegel und ihrer verfügbaren Datenbestände (Fortsetzung)

Ifd. Nr.	Pegel-Nr.	Standort des Pegels	Name des Gewässers	Flussgebiet	A _{E,O} [km ²]	Zeitspanne	
						HQ(J)	HQ(m)
Untersuchungsgebiet E1: Elbe							
90	5320150	Marktleuthen	Eger	Elbe	114.64	1937 - 1998	
91	5600150	Hof	Sächsische Saale	Elbe	523.03	1921 - 1998	1921 - 1998
92	5616150	Hölle	Selbitz	Elbe	213.08	1948 - 1998	

Tabelle 1b: Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet der Elbe mit Angabe der einbezogenen Pegel und ihrer verfügbaren Datenbestände



Ifd. Nr.	Pegel-Nr.	Standort des Pegels	Name des Gewässers	Flussgebiet	A _{E,O} [km ²]	Zeitspanne	
						HQ(J)	HQ(m)
Untersuchungsgebiet M1: Main oberhalb Regnitz							
93	2400600	Schwüritz	Main	Main	2 418.68	1941 - 1998	1941 - 1998
94	2401000	Kemmern	Main	Main	4 223.84	1931 - 1998	
95	2411050	Bad Berneck	Weißer Main	Main	54.29	1930 - 1998	
96	2412300	Bayreuth	Roter Main	Main	340.28	1925 - 1998	
97	2414300	Unterlangenstadt	Rodach	Main	713.87	1931 - 1998	
98	2416220	Coburg	Itz	Main	346.34	1950 - 1998	
99	2418600	Leucherhof	Baunach	Main	380.52	1930 - 1998	
Untersuchungsgebiet M2: Regnitz							
100	2420900	Pettstadt	Regnitz	Main	6 992.00	1923 - 1998	1923 - 1998
101	2421110	Neumühle	Rednitz	Main	1 846.64	1911 - 1998	
102	2421710	Rasch	Schwarzach	Main	210.58	1921 - 1998	
103	2422300	Hohenstadt	Pegnitz	Main	488.50	1911 - 1998	
104	2422500	Nürnberg	Pegnitz	Main	1 197.58	1911 - 1998	
105	2423850	Erlangen	Schwabach	Main	188.79	1936 - 1998	
106	2424200	Muggendorf	Wiesent	Main	660.12	1957 - 1998	
107	2426300	Laufmühle	Aisch	Main	956.04	1927 - 1998	
108	2429250	Röbersdorf	Reiche Ebrach	Main	277.13	1914 - 1998	
Untersuchungsgebiet M3: Main unterhalb Regnitz bis oberhalb Fränkische Saale							
109	2401220	Trunstadt	Main	Main	11 984.97	1926 - 1998	
110	2402200	Schweinfurt	Main	Main	12 689.93	1901 - 1998	1901 - 1998
111	2404200	Würzburg	Main	Main	13 995.76	1901 - 1998	
112	2438500	Sachsenheim	Wern	Main	599.80	1975 - 1998	
Untersuchungsgebiet M4: Fränkische Saale							
113	2440600	Bad Kissingen	Fränkische Saale	Main	1 576.22	1930 - 1998	
114	2440900	Wolfsmünster	Fränkische Saale	Main	2 120.89	1931 - 1998	1931 - 1998
115	2443250	Schweinhof	Brend	Main	111.11	1955 - 1998	
116	2444100	Poppenlauer	Lauer	Main	150.92	1969 - 1998	
117	2448100	Bad Brückenau	Sinn	Main	86.88	1954 - 1998	
118	2448300	Gemünden	Sinn	Main	619.72	1959 - 1998	
Untersuchungsgebiet M5: Tauber							
119	2460100	Bockenfeld	Tauber	Main	74.11	1954 - 1998	
120	212	Bad Mergentheim	Tauber	Main	1 017.40	1894 - 1998	1930 - 1998
Untersuchungsgebiet M6: Main unterhalb Fränkische Saale bis oberhalb Kinzig							
121	2405000	Steinbach	Main	Main	17 878.46	1941 - 1998	
122	2406400	Kleinheubach	Main	Main	21 491.16	1941 - 1998	
123	2471900	Bürgstadt	Erf	Main	248.62	1958 - 1998	
124	2472200	Weilbach	Mud	Main	394.26	1950 - 1998	
125	2475200	Rück	Elsava	Main	143.63	1951 - 1998	

Tabelle 1c: Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet des Mains mit Angabe der einbezogenen Pegel und ihrer verfügbaren Datenbestände



Ifd. Nr.	Pegel-Nr.	Standort des Pegels	Name des Gewässers	Flussgebiet	A _{E,O} [km ²]	Zeitspanne	
						HQ(J)	HQ(m)
Untersuchungsgebiet N1: Neckar oberhalb Fils							
126	409	Oberndorf	Neckar	Neckar	694.30	1930 - 1998	1930 - 1998
127	411	Horb	Neckar	Neckar	1 117.50	1932 - 1998	1932 - 1998
128	4410	Hopfau	Glatt	Neckar	202.30	1928 - 1998	1928 - 1998
129	417	Pfäffingen	Ammer	Neckar	133.99	1912 - 1998	
130	422	Riederich	Erms	Neckar	159.84	1922 - 1998	
Untersuchungsgebiet N2: Enz							
131	4422	Pforzheim	Enz	Neckar	1 477.30	1932 - 1998	
132	36056	Pforzheim	Würm	Neckar	417.10	1931 - 1998	
133	427	Plochingen	Neckar	Neckar	3 994.60	1920 - 1998	1920 - 1998
Untersuchungsgebiet N3: Neckar; unterhalb Fils bis oberhalb Kocher							
134	4427	Plochingen	Fils	Neckar	702.10	1927 - 1998	
135	431	Schorndorf	Rems	Neckar	418.67	1932 - 1998	
136	1470	Neustadt	Rems	Neckar	567.20	1923 - 1998	1923 - 1998
Untersuchungsgebiet N4: Kocher							
137	3498	Kocherstetten	Kocher	Neckar	1 281.30	1925 - 1998	1925 - 1998
138	3465	Stein	Kocher	Neckar	1 929.40	1884 - 1998	1884 - 1998
Untersuchungsgebiet N5: Jagst							
139	3422	Jagstzell	Jagst	Neckar	326.60	1922 - 1998	1922 - 1998
140	477	Dörzbach	Jagst	Neckar	1 029.50	1924 - 1998	1924 - 1998
141	3470	Untergriesheim	Jagst	Neckar	1 826.00	1925 - 1998	1925 - 1998
142	478	Sennfeld	Seckach	Neckar	213.60	1931 - 1998	1931 - 1998
Untersuchungsgebiet N6: Neckar unterhalb Jagst							
143	492	Heidelberg-Karlstor	Neckar	Neckar	13 787.11	1851 - 1998	
144	4421	Mosbach	Elz	Neckar	155.00	1931 - 1998	1931 - 1998

Tabelle 1d: Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet des Neckars mit Angabe der einbezogenen Pegel und ihrer verfügbaren Datenbestände



Ifd. Nr.	Pegel-Nr.	Standort des Pegels	Name des Gewässers	Flussgebiet	A _{E,O} [km ²]	Zeitspanne	
						HQ(J)	HQ(m)
Untersuchungsgebiet R1: Rhein oberhalb Konstanz							
145	2340	Gießen	Argen	Bodensee	652.00	1932 - 1998	1932 - 1998
146	2360	Gerbertshaus	Schussen	Bodensee	789.60	1920 - 1998	1920 - 1998
Untersuchungsgebiet R2: Rhein unterhalb Konstanz bis unterhalb Wiese							
147	357	Oberlauchringen	Wutach	Hochrhein	617.00	1912 - 1998	1912 - 1998
148	361	Hölzlebruck	Josbach	Hochrhein	47.33	1925 - 1998	
149	3304	Zell	Wiese	Hochrhein	209.00	1882 - 1998	1928 - 1998
Untersuchungsgebiet R3: Rhein unterhalb Wiese bis oberhalb Kinzig							
150	382	Gutach	Elz	Oberrhein	302.85	1941 - 1998	
151	388	Riegel	Leopoldskanal	Oberrhein	1 106.70	1882 - 1998	1930 - 1996
152	61139	Ebnet	Dreisam	Oberrhein	257.20	1941 - 1998	
Untersuchungsgebiet R4: Rhein, unterhalb Kinzig bis unterhalb Murg							
153	3326	Schenkenzell	Kinzig	Oberrhein	76.40	1909 - 1998	1909 - 1998
154	390	Schwaibach	Kinzig	Oberrhein	957.10	1882 - 1998	1914 - 1995
155	60626	Hinterlehengericht	Schiltach	Oberrhein	105.94	1913 - 1998	1913 - 1998
156	392	Oberwolfach	Wolf	Oberrhein	126.15	1909 - 1998	
157	1301	Rotenfels	Murg	Oberrhein	468.80	1883 - 1998	1917 - 1998
Untersuchungsgebiet R5: Rhein, unterhalb Murg bis oberhalb Neckar							
158	60682	Berghausen	Pfinz	Oberrhein	235.00	1925 - 1998	1925 - 1998

Tabelle 1e: Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet des Rheins mit Angabe der einbezogenen Pegel und ihrer verfügbaren Datenbestände

lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Mittlere jährlicher Hochwasserabfluss MHQ [m ³ /s]	Trend-Signif. nach Mann-Kendall [%]	Trend/Jahr (%) Fehlerabsolutsumme	Trend/Jahr (%) Fehlerquadratsumme	Jahr des wahrsch. Bruchpunkts	Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts	Signifikanz der Trendänderung (%)
1	D1	Kirchen-Hausen	Donau	128,5	98	0,69	0,73	1976	97,2	99,99
2	D1	Beuron	Donau	134,7	95	0,81	0,85	1976	99,2	99,99
3	D1	Hammereisenbach	Breg	51,82	99,99	1,02	1,40	1976	99,96	99,5
4	D1	Unterschmeien	Schmiecha	8,99	n. sig.	0,03	0,11	1976	65,8	n. sig.
5	D2	Hundersingen	Donau	173,0	95	0,59	0,77	1976	97,8	99,99
6	D2	Berg	Donau	200,1	n. sig.	0,19	0,37	1976	81,5	98
7	D2	Mengen (Add.)	Ablach	28,96	n. sig.	0,47	0,06	-	-	-
8	D3	Sonthofen	Iller	185,8	n. sig.	0,09	0,06	1918	96,1	n. sig.
9	D3	Kempten	Iller	368,5	n. sig.	0,12	0,03	1953	81,0	n. sig.
10	D3	Wiblingen	Iller mit Kanal	456,1	n. sig.	-0,08	-0,16	1940	87,4	99,9
11	D3	Oberstdorf	Stillach	29,96	80	0,79	0,36	1975	85,0	n. sig.
12	D3	Reckenberg	Osterach	76,02	n. sig.	-0,37	-0,07	-	-	-
13	D4	Neu-Ulm Bad Held	Donau	586,8	n. sig.	-0,05	-0,11	1901	62,7	n. sig.
14	D4	Donauwörth	Donau	721,7	99,5	0,20	0,29	1964	99,1	99,99
15	D4	Waldstetten	Günz	63,45	98	0,51	0,70	1974	99,0	90
16	D4	Offingen	Mindel	64,22	90	0,72	0,55	1951	95,6	95
17	D4	Pfaffenhofen	Zusam	28,60	n. sig.	0,48	0,37	1980	65,9	n. sig.
18	D5	Lechbruck	Lech	354,8	80	0,61	0,38	1964	94,3	90
19	D5	Landsberg	Lech	493,9	99,9	-0,46	-0,54	1949	99,997	99,99
20	D5	Augsburg	Lech	549,2	n. sig.	0,24	-0,40	1964	61,2	n. sig.
21	D5	Pfronten Ried	Vils	55,07	99	0,32	0,35	1963	99,1	90
22	D5	Biessenhofen	Wertach	119,5	80	0,10	0,10	1918	95,4	n. sig.
23	D5	Hörmanshofen	Geltnach	30,82	90	-0,46	-0,54	1971	85,6	n. sig.
24	D6	Gerolfingen	Wörnitz	83,54	95	1,38	1,63	1978	95,9	98
25	D6	Harburg	Wörnitz	144,7	n. sig.	0,17	0,34	1978	71,1	99,99
26	D6	Thann	Altmühl	43,82	90	3,67	2,47	1977	89,8	80
27	D6	Treuchtlingen	Altmühl	56,02	n. sig.	-0,33	-0,61	1988	63,3	n. sig.
28	D6	Eichstätt	Altmühl	65,86	n. sig.	-0,52	-0,29	1990	61,6	n. sig.
29	D6	Mettendorf	Schwarzach	28,37	n. sig.	-0,18	0,04	-	-	-
30	D7	Ingolstadt	Donau	1084	n. sig.	0,03	-0,02	-	-	-
31	D7	Kelheim	Donau	1120	n. sig.	-0,08	0,00	1957	52,4	98
32	D7	Manching Bahnbr.	Paar	33,16	n. sig.	0,18	0,13	1938	85,6	n. sig.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse der Trendanalysen für das Datenkollektiv "gesamten Zeitreihen"



lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Mittlere jährlicher Hochwasserabfluss MHQ [m ³ /s]	Trend-Signif. nach Mann-Kendall [%]	Trend/Jahr (%) Fehlerabsolutsumme	Trend/Jahr (%) Fehlerquadratsumme	Jahr des wahrsch. Bruchpunkts	Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts	Signifikanz der Trendänderung (%)
33	D7	Aunkofen	Abens	27,11	n. sig.	-0,15	0,52	1958	83,3	98
34	D8	Unterköblitz	Naab	159,3	n. sig.	0,44	0,42	1978	94,3	99
35	D8	Heitzenhofen	Naab	307,3	n. sig.	-0,31	-0,21	1948	93,5	99
36	D8	Erbendorf	Fichtelnaab	32,98	95	0,46	0,43	1978	96,3	98
37	D8	Wildenau	Haidenaab	59,13	n. sig.	-0,10	-0,41	1970	90,3	80
38	D8	Böhmischbruck	Pfreimd	43,77	n. sig.	0,31	-0,06	1977	78,1	80
39	D8	Warnbach	Schwarzach	54,99	n. sig.	-0,74	-0,52	1970	81,4	95
40	D8	Amberg	Vils	28,49	90	1,40	0,87	1978	95,4	n. sig.
41	D9	Chamerau	Regen	217,8	80	0,36	0,30	1964	95,9	99,5
42	D9	Regenstauf	Regen	302,1	n. sig.	0,08	0,00	1977	69,0	n. sig.
43	D9	Teisnach	Schwarzer Regen	136,3	n. sig.	-0,15	-0,15	1948	82,4	n. sig.
44	D9	Kötzting	Weißer Regen	48,58	n. sig.	0,11	0,14	1953	69,2	n. sig.
45	D9	Furth i.W.	Chamb	46,75	98	1,65	1,39	1977	97,7	98
46	D10	Schwabelweis	Donau	1477	n. sig.	0,07	0,08	1977	61,1	80
47	D10	Pfelling	Donau	1467	n. sig.	0,05	0,11	1977	72,8	90
48	D10	Schönach	Große Laber	19,28	n. sig.	1,21	-0,97	1978	94,0	n. sig.
49	D11	Mittenwald	Isar	54,01	n. sig.	0,01	0,07	1939	75,0	n. sig.
50	D11	Bad Tölz KW	Isar	235,3	n. sig.	0,02	-0,26	1981	63,5	95
51	D11	München	Isar mit Stadtbächen	402,4	n. sig.	-0,14	-0,35	1985	68,9	98
52	D11	Landshut Birket	Isar m. Ausl.	521,2	n. sig.	0,31	0,12	1973	87,6	n. sig.
53	D11	Plattling	Isar mit Mühlbächen	546,2	n. sig.	0,10	-0,05	1973	79,8	n. sig.
54	D11	Garmisch u. d. P.	Loisach	93,53	n. sig.	-0,08	-0,14	1948	53,1	n. sig.
55	D11	Schlehdorf	Loisach	136,0	90	-0,43	-0,36	1949	80,2	n. sig.
56	D11	Kochel	Loisach	131,3	n. sig.	0,05	0,05	1927	68,6	n. sig.
57	D11	Fürstenfeldbruck	Amper	59,19	n. sig.	0,02	0,10	1935	61,1	n. sig.
58	D11	Inkofen	Amper	137,7	n. sig.	0,27	0,05	1938	69,7	n. sig.
59	D11	Oberammergau	Ammer	48,24	n. sig.	0,02	-0,10	-	-	-
60	D11	Weilheim	Ammer	153,0	n. sig.	-0,49	-0,26	1981	71,7	n. sig.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse der Trendanalysen für das Datenkollektiv "gesamten Zeitreihen" (Fortsetzung)

lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Mittlere jährlicher Hochwasserabfluss MHQ [m ³ /s]	Trend-Signif. nach Mann-Kendall [%]	Trend/Jahr (%) Fehlerabsolutsumme	Trend/Jahr (%) Fehlerquadratsumme	Jahr des wahrsch. Bruchpunkts	Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts	Signifikanz der Trendänderung (%)
61	D11	Leutstetten	Würm	7,88	n. sig.	0,00	0,00	1977	65,5	n. sig.
62	D11	Hohenkammer	Glonn	45,89	99,5	-1,11	-1,37	1961	99,7	99,9
63	D12	Rottersdorf	Vils	82,53	95	-1,41	-1,23	1958	96,0	98
64	D12	Grafenmühle	Vils	129,1	n. sig.	-0,70	-0,51	1959	72,2	95
65	D12	Vilsbiburg	Große Vils	52,95	99,5	0,99	0,59	1935	95,0	n. sig.
66	D12	Birnbach	Rott	132,8	90	-0,93	-0,56	1959	98,3	99,99
67	D13	Altenmarkt	Alz	142,9	n. sig.	-0,02	-0,11	-	-	-
68	D13	Staudach	Tiroler Achen	339,3	n. sig.	-0,30	-0,08	1962	51,6	80
69	D13	Stein	Traun	172,4	n. sig.	-0,30	-0,08	1959	67,0	98
70	D13	Siegsdorf	Weißer Traun	94,40	99	0,53	0,56	1952	97,8	80
71	D13	Wernleiten	Rote Traun	48,95	95	0,56	0,34	1952	98,1	80
72	D13	Burghausen	Salzach	1372	n. sig.	0,03	0,11	1953	74,0	99,5
73	D13	Ilsank	Ramsauer Ache	35,61	90	0,45	0,37	1953	84,7	n. sig.
74	D13	Unterjettenberg	Saalach	358,2	n. sig.	-0,01	0,13	1939	70,0	n. sig.
75	D13	Brodhausen	Sur	39,49	80	-0,34	-1,31	1968	96,6	95
76	D14	Oberaudorf	Inn	1263	95	-0,21	-0,12	1967	96,1	90
77	D14	Eschelbach	Inn	1446	n. sig.	0,28	0,08	1973	62,4	99,9
78	D14	Passau Ingling	Inn	2943	n. sig.	0,04	0,01	-	-	-
79	D14	Rosenheim	Mangfall mit Hammerb.	1383	n. sig.	-0,10	-0,23	1959	67,2	80
80	D14	Bad Aibling Will. Br.	Mangfall mit Triftbach	129,3	80	0,43	0,17	1953	83,3	n. sig.
81	D14	Stauden	Leitzach	39,31	80	0,77	0,54	1953	89,3	n. sig.
82	D14	Bad Aibling	Glonn	27,39	90	0,39	0,16	1978	79,4	n. sig.
83	D14	Anger	Attel	43,85	n. sig.	0,02	0,47	1978	87,6	90
84	D14	Engfurt	Isen	83,02	n. sig.	0,55	-0,03	1980	79,2	80
85	D15	Hofkirchen	Donau	1828	80	0,06	0,13	1938	87,7	98
86	D15	Achleiten	Donau	4065	n. sig.	0,20	0,11	1939	79,2	99,5
87	D15	Kalteneck	Ilz	138,4	n. sig.	0,12	0,32	1974	84,0	98
88	D15	Eberhardsreuth	Mitternacher Ohe	26,68	90	0,36	0,74	1966	96,5	n. sig.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse der Trendanalysen für das Datenkollektiv "gesamten Zeitreihen" (Fortsetzung)



lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Mittlere jährlicher Hochwasserabfluss MHQ [m ³ /s]	Trend-Signif. nach Mann-Kendall [%]	Trend/Jahr (%) Fehlerabsolutsumme	Trend/Jahr (%) Fehlerquadratsumme	Jahr des wahrsch. Bruchpunkts	Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts	Signifikanz der Trendänderung (%)
89	D15	Fürsteneck	Wolfsteiner Ohe	72,55	90	0,76	1,09	1965	94,7	80
90	E1	Marktleuthen	Eger	20,16	n. sig.	-0,29	-0,74	1948	89,7	90
91	E1	Hof	Sächsische Saale	55,99	n. sig.	-0,04	-0,13	1950	59,5	n. sig.
92	E1	Hölle	Selbitz	36,74	90	1,36	0,71	1974	95,5	80
93	M1	Schwüribitz	Main	300,4	n. sig.	0,77	0,41	1978	94,1	99,9
94	M1	Kemmern	Main	377,6	n. sig.	-0,21	0,08	1978	86,8	99,99
95	M1	Bad Berneck	Weißer Main	12,20	n. sig.	0,32	0,26	1978	75,4	90
96	M1	Bayreuth	Roter Main	60,08	n. sig.	-0,25	-0,15	1956	69,2	99
97	M1	Unterlangenstadt	Rodach	129,1	n. sig.	0,34	-0,06	1948	59,8	n. sig.
98	M1	Coburg	Itz	46,78	95	1,23	0,72	1965	98,1	80
99	M1	Leucherhof	Baunach	25,79	n. sig.	-0,16	-0,57	1942	98,4	n. sig.
100	M2	Pettstadt	Regnitz	325,7	n. sig.	-0,41	-0,08	1958	78,6	99,99
101	M2	Neumühle	Rednitz	99,87	n. sig.	0,00	0,00	1958	59,7	99,99
102	M2	Rasch	Schwarzach	33,22	n. sig.	-0,22	-0,15	1937	96,6	99,9
103	M2	Hohenstadt	Pegnitz	27,79	n. sig.	-0,16	-0,23	1950	94,3	99,99
104	M2	Nürnberg	Pegnitz	59,34	n. sig.	-0,05	0,15	1956	65,8	99,5
105	M2	Erlangen	Schwabach	26,57	n. sig.	0,44	-0,13	1977	68,1	90
106	M2	Muggendorf	Wiesent	33,61	98	0,92	1,50	1978	98,6	90
107	M2	Laufermühle	Aisch	64,82	n. sig.	-0,37	-0,11	1958	72,7	99,99
108	M2	Röbersdorf	Reiche Ebrach	17,66	n. sig.	-0,14	-0,05	1942	79,3	99,5
109	M3	Trunstadt	Main	644,7	n. sig.	-0,26	-0,02	1948	87,1	99
110	M3	Schweinfurt	Main	630,2	n. sig.	0,00	0,00	1948	58,6	99,9
111	M3	Würzburg	Main	634,7	n. sig.	-0,10	-0,11	1948	75,9	99,99
112	M3	Sachsenheim	Wern	15,41	n. sig.	3,27	1,28	1979	86,2	n. sig.
113	M4	Bad Kissingen	Fränkische Saale	112,4	n. sig.	0,11	0,16	1965	64,5	99,5
114	M4	Wolfsmünster	Fränkische Saale	139,6	n. sig.	-0,08	0,11	1978	77,1	99,99
115	M4	Schweinhof	Brend	30,19	n. sig.	0,57	0,07	-	-	-

Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse der Trendanalysen für das Datenkollektiv "gesamten Zeitreihen" (Fortsetzung)

lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Mittlere jährlicher Hochwasserabfluss MHQ [m ³ /s]	Trend-Signif. nach Mann-Kendall [%]	Trend/Jahr (%) Fehlerabsolutsumme	Trend/Jahr (%) Fehlerquadratsumme	Jahr des wahrsch. Bruchpunkts	Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts	Signifikanz der Trendänderung (%)
116	M4	Poppenlauer	Lauer	16,13	n. sig.	0,51	-0,60	1979	68,2	n. sig.
117	M4	Bad Brückenau	Sinn	20,17	n. sig.	0,69	0,38	1960	87,9	n. sig.
118	M4	Gemünden Lachsfangsteg	Sinn	57,42	90	1,38	0,96	1978	93,3	n. sig.
119	M5	Bockenfeld	Tauber	14,74	n. sig.	1,61	0,62	1978	84,5	n. sig.
120	M5	Bad Mergentheim	Tauber	100,3	n. sig.	0,05	0,05	-	-	-
121	M6	Steinbach	Main	748,1	n. sig.	-0,06	0,09	1978	68,3	99,9
122	M6	Kleinheubach	Main	830,9	n. sig.	-0,09	0,09	1978	69,4	99,9
123	M6	Bürgstadt	Erf	26,86	n. sig.	-0,03	1,20	1977	84,5	n. sig.
124	M6	Weilbach	Mud	52,26	90	1,86	1,17	1977	94,1	90
125	M6	Rück	Elsava	8,71	n. sig.	1,57	0,79	1977	84,7	n. sig.
126	N1	Oberndorf	Neckar	123,1	n. sig.	0,06	0,06	1977	52,7	n. sig.
127	N1	Horb	Neckar	204,7	n. sig.	0,16	0,10	1976	75,1	90
128	N1	Hopfau	Glatt	85,42	99,9	0,89	0,74	1977	99,3	95
129	N1	Pfäffingen	Ammer	10,84	90	0,43	0,22	1962	98,8	80
130	N1	Riederich	Erms	21,43	95	0,62	0,30	1964	97,0	n. sig.
131	N2	Pforzheim	Enz	163,4	99	1,06	1,23	1976	99,2	99,99
132	N2	Pforzheim	Würm	30,59	n. sig.	0,57	0,35	1962	73,0	99,9
133	N3	Plochingen	Neckar	435,1	n. sig.	0,25	0,25	1934	63,6	n. sig.
134	N3	Plochingen	Fils	144,8	80	0,69	0,27	1977	90,0	95
135	N3	Schorndorf	Rems	112,7	n. sig.	0,74	0,32	1950	69,9	99,5
136	N3	Neustadt	Rems	114,3	n. sig.	0,14	0,11	1977	57,3	n. sig.
137	N4	Kocherstetten	Kocher	233,7	n. sig.	-0,02	0,21	1980	57,5	n. sig.
138	N4	Stein	Kocher	298,1	n. sig.	-0,07	-0,03	1912	50,8	98
139	N5	Jagstzell	Jagst	52,27	90	-0,54	-0,11	1958	98,6	80
140	N5	Dörzbach	Jagst	161,2	n. sig.	0,10	0,11	1978	57,8	n. sig.
141	N5	Untergriesheim	Jagst	197,1	n. sig.	0,05	0,25	1978	68,2	80
142	N5	Sennfeld	Seckach	38,67	n. sig.	-0,72	0,13	1970	53,2	99,99
143	N6	Heidelberg-Karlstor	Neckar	1140	99	0,27	0,23	1934	88,3	99,99
144	N6	Mosbach	Elz	48,03	n. sig.	-0,37	0,13	1958	66,1	80
145	R1	Gießen	Argen	237,2	n. sig.	-0,14	-0,07	-	-	-
146	R1	Gerbertshaus	Schussen	85,65	99,5	0,49	0,51	1953	99,8	90

Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse der Trendberechnungen für die "gesamten Zeitreihen"



lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Mittlere jährlicher Hochwasserabfluss MHQ [m ³ /s]	Trend-Signif. nach Mann-Kendall [%]	Trend/Jahr (%) Fehlerabsolutsumme	Trend/Jahr (%) Fehlerquadratsumme	Jahr des wahrsch. Bruchpunkts	Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts	Signifikanz der Trendänderung (%)
147	R2	Oberlauchringen	Wutach	105,5	n. sig.	0,08	0,15	1979	77,3	80
148	R2	Hölzlebruck	Josbach	15,39	n. sig.	0,07	-0,05	1977	54,4	n. sig.
149	R2	Zell	Wiese	88,13	n. sig.	-0,23	-0,23	1892	82,8	98
150	R3	Gutach	Elz	96,05	80	0,48	0,59	1950	93,2	n. sig.
151	R3	Riegel	Leopoldskanal	173,4	80	0,14	0,07	1934	83,0	n. sig.
152	R3	Ebnet	Dreisam	58,42	n. sig.	0,30	0,35	1950	71,2	n. sig.
153	R4	Schenkenzell	Kinzig	33,51	80	0,43	0,20	1972	89,2	99,9
154	R4	Schwaibach	Kinzig	300,9	n. sig.	0,03	-0,10	-	-	-
155	R4	Hinterlehengericht	Schiltach	30,73	n. sig.	-0,08	-0,03	-	-	-
156	R4	Oberwolfach	Wolf	74,95	n. sig.	0,01	0,17	1972	62,0	80
157	R4	Rotenfels	Murg	260,8	n. sig.	0,02	0,00	1976	74,6	99,5
158	R5	Berghausen	Pfinz	30,92	90	0,55	0,55	1977	96,6	99,99

Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse der Trendanalysen für das Datenkollektiv "gesamten Zeitreihen" (Fortsetzung)

lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Mittlere jährlicher Hochwasserabfluss MHQ [m ³ /s]	Trend-Signif. nach Mann-Kendall [%]	Trend/Jahr (%) Fehlerabsolutsumme	Trend/Jahr (%) Fehlerquadratsumme	Jahr des wahrsch. Bruchpunkts	Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts	Signifikanz der Trendänderung (%)
1	D1	Kirchen-Hausen	Donau	131,0	99	1,07	0,90	1976	97,2	99,99
2	D1	Beuron	Donau	134,9	99	1,12	1,09	1976	99,4	99,99
3	D1	Hammereisenbach	Breg	53,08	99,99	1,30	1,53	1976	99,9	99,5
4	D1	Unterschmeien	Schmiecha	9,05	n. sig.	0,04	0,09	1976	64,3	n. sig.
5	D2	Hundersingen	Donau	174,3	95	0,59	0,76	1976	97,4	99,99
6	D2	Berg	Donau	201,4	n. sig.	0,05	0,34	1976	78,6	98
7	D2	Mengen (Add.)	Ablach	28,86	n. sig.	0,51	0,09	-	-	-
8	D3	Sonthofen	Iller	184,8	n. sig.	0,06	0,06	1961	60,7	n. sig.
9	D3	Kempten	Iller	368,3	n. sig.	0,16	0,05	1953	80,9	n. sig.
10	D3	Wiblingen	Iller mit Kanal	441,0	n. sig.	-0,07	-0,22	1981	70,4	n. sig.
13	D4	Neu-Ulm Bad Held	Donau	563,8	n. sig.	0,19	0,08	1963	72,1	n. sig.
14	D4	Donauwörth	Donau	743,2	95	0,27	0,44	1964	97,7	99,99
17	D4	Pfaffenhofen	Zusam	28,60	n. sig.	0,48	0,37	1980	65,9	n. sig.
19	D5	Landsberg	Lech	449,4	80	-0,41	-0,41	1950	97,8	99,5
21	D5	Pfronten Ried	Vils	57,25	90	0,21	0,31	1963	96,4	80
22	D5	Biessenhofen	Wertach	124,0	n. sig.	-0,01	-0,30	1957	73,8	80
29	D6	Mettendorf	Schwarzach	28,38	n. sig.	-0,33	0,04	-	-	-
30	D7	Ingolstadt	Donau	1078	n. sig.	0,00	-0,04	1957	61,0	95
31	D7	Kelheim	Donau	1118	n. sig.	-0,10	-0,03	1957	66,2	99,5
32	D7	Manching Bahnbr.	Paar	33,55	n. sig.	0,24	0,06	1938	76,4	n. sig.
33	D7	Aunkofen	Abens	27,58	n. sig.	-0,34	0,53	1958	83,0	99,99
35	D8	Heitzenhofen	Naab	298,7	n. sig.	-0,12	-0,04	1948	75,6	n. sig.
36	D8	Erbendorf	Fichtelnaab	33,08	95	0,39	0,43	1978	95,9	98
38	D8	Böhmischbruck	Pfreimd	43,66	n. sig.	0,44	-0,05	1977	81,1	80
41	D9	Chamerau	Regen	218,3	80	0,43	0,31	1964	95,5	99,5
42	D9	Regenstauf	Regen	301,0	n. sig.	0,44	0,12	1977	87,3	95
43	D9	Teisnach	Schwarzer Regen	134,7	n. sig.	0,06	-0,05	1974	82,7	90
46	D10	Schwabelweis	Donau	1480	n. sig.	0,12	0,16	1977	71,3	99
47	D10	Pfelling	Donau	1479	n. sig.	0,12	0,20	1977	78,1	99
49	D11	Mittenwald	Isar	55,16	n. sig.	-0,21	-0,12	-	-	-

Tabelle 3: Zusammenstellung der Ergebnisse der Trendanalysen für das Datenkollektiv "Zeitreihe ab 1932"



lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Mittlere jährlicher Hochwasserabfluss MHQ [m ³ /s]	Trend-Signif. nach Mann-Kendall [%]	Trend/Jahr (%) Fehlerabsolutsumme	Trend/Jahr (%) Fehlerquadratsumme	Jahr des wahrsch. Bruchpunkts	Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts	Signifikanz der Trendänderung (%)
53	D11	Plattling	Isar mit Mühlbächen	546,5	n. sig.	0,12	-0,07	1973	81,3	n. sig.
54	D11	Garmisch u. d. P.	Loisach	94,10	n. sig.	-0,11	-0,24	-	-	-
55	D11	Schlehdorf	Loisach	134,4	n. sig.	-0,42	-0,36	1981	62,7	n. sig.
56	D11	Kochel	Loisach	135,2	n. sig.	-0,41	-0,30	1949	53,4	n. sig.
57	D11	Fürstenfeldbruck	Amper	60,74	n. sig.	-0,07	-0,13	-	-	-
58	D11	Inkofen	Amper	138,1	n. sig.	0,31	0,04	1938	62,7	n. sig.
59	D11	Oberammergau	Ammer	49,23	n. sig.	-0,50	-0,38	1970	63,0	n. sig.
60	D11	Weilheim	Ammer	153,7	n. sig.	-0,53	-0,39	1981	76,1	80
61	D11	Leutstetten	Würm	7,85	n. sig.	-0,01	0,06	1977	73,2	n. sig.
65	D12	Vilsbiburg	Große Vils	55,12	95	0,82	0,33	1978	86,6	n. sig.
66	D12	Birnbach	Rott	132,9	90	-0,95	-0,60	1959	98,2	99,99
67	D13	Altenmarkt	Alz	143,4	n. sig.	-0,04	-0,15	-	-	-
68	D13	Staudach	Tiroler Achen	333,9	n. sig.	-0,20	0,04	-	-	-
69	D13	Stein	Traun	174,3	n. sig.	-0,35	-0,21	1959	80,9	98
70	D13	Siegsdorf	Weißer Traun	96,57	95	0,46	0,50	1973	94,0	90
71	D13	Wernleiten	Rote Traun	48,86	98	0,81	0,63	1952	98,7	n. sig.
72	D13	Burghausen	Salzach	1367	90	0,49	0,39	1953	92,5	99,5
73	D13	Ilsank	Ramsauer Ache	35,78	80	0,44	0,34	1953	80,6	n. sig.
74	D13	Unterjettenberg	Saalach	362,7	n. sig.	-0,02	0,18	1939	78,6	n. sig.
76	D14	Oberaudorf	Inn	1255	99	-0,41	-0,31	1967	97,3	99
77	D14	Eschelbach	Inn	1443	n. sig.	0,31	0,10	1973	66,8	99,99
78	D14	Passau Ingling	Inn	2933	n. sig.	0,20	0,02	1939	70,4	80
80	D14	Bad Aibling Will. Br.	Mangfall mit Triftbach	128,8	90	0,46	0,24	1953	85,6	n. sig.
82	D14	Bad Aibling	Glonn	27,63	80	0,39	0,11	1978	78,8	n. sig.
85	D15	Hofkirchen	Donau	1866	n. sig.	0,01	0,09	1978	68,1	90
86	D15	Achleiten	Donau	4111	n. sig.	0,27	0,13	1939	76,4	80
87	D15	Kalteneck	Ilz	139,6	n. sig.	0,01	0,38	1974	85,8	99,5
91	E1	Hof	Sächsische Saale	56,21	n. sig.	-0,24	-0,24	1948	75,4	n. sig.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Ergebnisse der Trendanalysen für das Datenkollektiv "Zeitreihe ab 1932" (Fortsetzung)

lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Mittlere jährlicher Hochwasserabfluss MHQ [m ³ /s]	Trend-Signif. nach Mann-Kendall [%]	Trend/Jahr (%) Fehlerabsolutsumme	Trend/Jahr (%) Fehlerquadratsumme	Jahr des wahrsch. Bruchpunkts	Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts	Signifikanz der Trendänderung (%)
94	M1	Kemmern	Main	376,2	n. sig.	-0,14	0,12	1978	88,5	99,99
95	M1	Bad Berneck	Weißer Main	12,07	n. sig.	0,40	0,40	1978	81,9	90
96	M1	Bayreuth	Roter Main	58,39	n. sig.	0,02	0,10	1979	66,5	98
97	M1	Unterlangenstadt	Rodach	129,7	n. sig.	0,27	-0,11	1948	66,5	n. sig.
99	M1	Leucherhof	Baunach	24,72	n. sig.	0,34	-0,25	1942	92,8	n. sig.
100	M2	Pettstadt	Regnitz	317,3	n. sig.	-0,12	0,18	1958	60,0	99,99
101	M2	Neumühle	Rednitz	97,26	n. sig.	-0,16	0,24	1977	54,8	99,99
102	M2	Rasch	Schwarzach	31,26	n. sig.	0,16	0,41	1977	95,1	99,99
103	M2	Hohenstadt	Pegnitz	27,17	n. sig.	-0,36	-0,25	1950	90,4	99,5
104	M2	Nürnberg	Pegnitz	60,56	n. sig.	-0,30	0,07	1948	75,6	80
107	M2	Laufermühle	Aisch	63,30	n. sig.	-0,56	0,10	1977	61,0	99
108	M2	Röbersdorf	Reiche Ebrach	17,17	n. sig.	-0,10	0,23	1980	77,4	95
109	M3	Trunstadt	Main	638,7	n. sig.	-0,23	0,07	1948	77,1	95
110	M3	Schweinfurt	Main	623,7	n. sig.	0,14	0,07	1979	59,0	80
111	M3	Würzburg	Main	619,7	n. sig.	-0,22	-0,09	1948	60,0	80
113	M4	Bad Kissingen	Fränkische Saale	112,5	n. sig.	0,11	0,16	1965	65,9	99,5
114	M4	Wolfsmünster	Fränkische Saale	138,6	n. sig.	-0,08	0,18	1978	81,3	99,99
120	M5	Bad Mergentheim	Tauber	99,43	n. sig.	0,15	0,42	1977	64,6	n. sig.
126	N1	Oberndorf	Neckar	124,2	n. sig.	0,07	-0,02	-	-	-
127	N1	Horb	Neckar	204,7	n. sig.	0,16	0,10	1976	75,1	90
128	N1	Hopfau	Glatt	85,78	99,9	0,93	0,84	1977	99,4	98
129	N1	Pfäffingen	Ammer	10,15	99,9	1,65	1,29	1962	99,9	90
130	N1	Riederich	Erms	21,88	95	0,57	0,22	1964	95,3	n. sig.
131	N2	Pforzheim	Enz	163,4	99	1,06	1,23	1976	99,2	99,99
132	N2	Pforzheim	Würm	30,06	80	0,56	0,53	1962	82,1	99,9
133	N3	Plochingen	Neckar	440,6	n. sig.	-0,16	0,25	1977	53,0	90
134	N3	Plochingen	Fils	139,7	95	0,78	0,70	1977	95,4	99
135	N3	Schorndorf	Rems	112,7	n. sig.	0,74	0,32	1950	69,9	99,5
136	N3	Neustadt	Rems	112,1	n. sig.	0,56	0,35	1977	71,3	n. sig.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Ergebnisse der Trendanalysen für das Datenkollektiv "Zeitreihe ab 1932" (Fortsetzung)



lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Mittlere jährlicher Hochwasserabfluss MHQ [m ³ /s]	Trend-Signif. nach Mann-Kendall [%]	Trend/Jahr (%) Fehlerabsolutsumme	Trend/Jahr (%) Fehlerquadratsumme	Jahr des wahrsch. Bruchpunkts	Wahrscheinlichkeit des Bruchpunkts	Signifikanz der Trendänderung (%)
137	N4	Kocherstetten	Kocher	231,7	n. sig.	0,04	0,37	1980	66,5	n. sig.
138	N4	Stein	Kocher	288,2	n. sig.	-0,05	0,38	1977	81,1	80
139	N5	Jagstzell	Jagst	52,05	90	-0,61	-0,12	1958	97,5	80
140	N5	Dörzbach	Jagst	159,7	n. sig.	0,09	0,26	1978	68,4	n. sig.
141	N5	Untergriesheim	Jagst	195,0	n. sig.	0,37	0,45	1978	76,6	80
142	N5	Sennfeld	Seckach	38,12	n. sig.	-0,63	0,27	-	-	-
143	N6	Heidelberg-Karlstor	Neckar	1263	n. sig.	0,60	0,46	-	-	-
144	N6	Mosbach	Elz	47,48	n. sig.	0,00	0,25	1958	57,3	90
145	R1	Gießen	Argen	237,2	n. sig.	-0,14	-0,07	-	-	-
146	R1	Gerbertshaus	Schussen	88,51	95	0,40	0,44	1956	97,5	90
147	R2	Oberlauchringen	Wutach	101,7	98	1,16	0,81	1951	94,1	80
148	R2	Hölzlebruck	Josbach	14,91	80	-0,04	0,26	1951	70,7	n. sig.
149	R2	Zell	Wiese	83,43	n. sig.	0,02	0,20	1976	66,2	99,5
151	R3	Riegel	Leopoldskanal	174,7	n. sig.	0,15	0,08	-	-	-
153	R4	Schenkenzell	Kinzig	33,08	98	0,92	0,66	1972	94,1	99,99
154	R4	Schwaibach	Kinzig	286,6	n. sig.	0,65	0,28	1977	69,9	95
155	R4	Hinterlehengericht	Schiltach	30,53	n. sig.	0,25	0,06	1971	55,2	80
156	R4	Oberwolfach	Wolf	74,94	80	0,72	0,42	1964	81,9	n. sig.
157	R4	Rotenfels	Murg	253,9	90	0,46	0,51	1976	91,2	99,99
158	R5	Berghausen	Pfinz	30,03	99	0,84	1,04	1976	98,4	99,99

Tabelle 3: Zusammenstellung der Ergebnisse der Trendanalysen für das Datenkollektiv "Zeitreihe ab 1932" (Fortsetzung)

lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Zeitspanne	Jahr TJ der Datentrennung	MHQ (gesamt) (m ³ /s)	MHQ (vor TJ) (m ³ /s)	MHQ (nach TJ) (m ³ /s)	MHQ (vor TJ) / MHQ (gesamt)	MHQ (nach TJ) / MHQ (gesamt)
1	D1	Kirchen-Hausen	Donau	1923 - 1998	1964	40,59	36,70	45,14	0,90	1,11
2	D1	Beuron	Donau	1926 - 1998	1964	36,63	30,72	43,37	0,84	1,18
3	D1	Hammereisenbach	Breg	1926 - 1998	1964	15,73	13,44	18,20	0,85	1,16
5	D2	Hundersingen	Donau	1930 - 1998	1964	55,98	49,02	63,32	0,88	1,13
6	D2	Berg	Donau	1930 - 1998	1964	72,60	66,39	78,91	0,91	1,09
7	D2	Mengen (Add.)	Ablach	1931 - 1998	1964	9,77	9,12	10,42	0,93	1,07
9	D3	Kempton	Iller	1901 - 1998	1964	159,41	155,17	167,39	0,97	1,05
13	D4	Neu-Ulm Bad Held	Donau	1926 - 1998	1964	272,01	259,78	285,80	0,96	1,05
16	D4	Offingen	Mindel	1941 - 1998	1964	27,82	24,12	30,21	0,87	1,09
19	D5	Landsberg	Lech	1901 - 1998	1964	179,46	189,92	159,77	1,06	0,89
22	D5	Biessenhofen	Wertach	1921 - 1998	1964	51,55	54,28	48,02	1,05	0,93
25	D6	Harburg	Wörnitz	1940 - 1998	1964	36,94	33,66	39,25	0,91	1,06
31	D7	Kelheim	Donau	1924 - 1998	1964	581,50	569,92	595,46	0,98	1,02
35	D8	Heitzenhofen	Naab	1921 - 1998	1964	105,19	106,34	103,69	1,01	0,99
42	D9	Regenstauf	Regen	1901 - 1998	1964	105,47	103,61	108,99	0,98	1,03
52	D11	Landshut Birket	Isar mit Ausleitung	1926 - 1998	1964	20,38	19,65	21,22	0,96	1,04
53	D11	Plattling	Isar mit Mühlbäche	1926 - 1998	1964	276,93	274,90	279,26	0,99	1,01
58	D11	Inkofen	Amper	1926 - 1998	1964	68,30	65,17	71,89	0,95	1,05
65	D12	Vilsbiburg	Große Vils	1940 - 1998	1964	14,07	11,68	15,82	0,83	1,12
68	D13	Staudach	Tiroler Achen	1921 - 1998	1964	117,10	116,42	117,99	0,99	1,01
72	D13	Burghausen	Salzach	1901 - 1998	1964	561,06	547,49	586,60	0,98	1,05
76	D14	Oberaudorf	Inn	1901 - 1998	1964	526,01	523,18	531,33	0,99	1,01
81	D14	Stauden	Leitzach	1941 - 1998	1964	12,65	11,04	13,78	0,87	1,09
85	D15	Hofkirchen	Donau	1901 - 1998	1964	1006,48	987,83	1041,58	0,98	1,03
91	E1	Hof	Sächsische Saale	1921 - 1998	1964	18,70	18,86	18,49	1,01	0,99
93	M1	Schwüritz	Main	1941 - 1998	1964	87,30	78,94	93,20	0,90	1,07
100	M2	Pettstadt	Regnitz	1923 - 1998	1964	115,32	110,83	120,73	0,96	1,05
110	M3	Schweinfurt	Main	1901 - 1998	1964	224,42	215,38	242,51	0,96	1,08

Tabelle 4: Zusammenstellung der Kennwerte für die Analyse des Jahresganges der Monatshöchstwerte HQ(m), Zeitreihentrennung 1964



lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Zeitspanne	Jahr TJ der Datentrennung	MHQ (gesamt) (m ³ /s)	MHQ (vor TJ) (m ³ /s)	MHQ (nach TJ) (m ³ /s)	MHQ (vor TJ) / MHQ (gesamt)	MHQ (nach TJ) / MHQ (gesamt)
114	M4	Wolfsmünster	Fränkische Saale	1931 - 1998	1964	40,66	34,83	45,63	0,86	1,12
120	M5	Bad Mergentheim	Tauber	1930 - 1998	1964	27,04	26,06	28,02	0,96	1,04
126	N1	Oberndorf	Neckar	1930 - 1998	1964	35,72	31,72	39,08	0,89	1,09
127	N1	Horb	Neckar	1932 - 1998	1964	59,98	53,95	65,68	0,90	1,10
128	N1	Hopfau	Glatt	1928 - 1998	1964	23,97	20,43	27,74	0,85	1,16
133	N3	Plochingen	Neckar	1920 - 1998	1964	152,31	136,78	172,86	0,90	1,13
136	N3	Neustadt	Rems	1923 - 1998	1964	33,85	30,69	37,70	0,91	1,11
137	N4	Kocherstetten	Kocher	1925 - 1998	1964	67,73	63,95	72,16	0,94	1,07
138	N4	Stein	Kocher	1884 - 1998	1964	85,40	81,83	94,05	0,96	1,10
139	N5	Jagstzell	Jagst	1922 - 1998	1964	15,69	16,29	14,94	1,04	0,95
140	N5	Dörzbach	Jagst	1924 - 1998	1964	45,46	43,12	48,23	0,95	1,06
141	N5	Untergriesheim	Jagst	1925 - 1998	1964	57,89	55,73	60,43	0,96	1,04
142	N5	Sennfeld	Seckach	1931 - 1998	1964	8,94	9,06	8,81	1,01	0,99
144	N6	Mosbach	Elz	1931 - 1998	1964	11,04	10,79	11,29	0,98	1,02
145	R1	Gießen	Argen	1932 - 1998	1964	89,28	82,41	95,73	0,92	1,07
146	R1	Gerbertshaus	Schussen	1920 - 1998	1964	34,05	30,57	38,64	0,90	1,13
147	R2	Oberlauchringen	Wutach	1912 - 1998	1964	31,46	30,52	32,89	0,97	1,05
149	R2	Zell	Wiese	1928 - 1998	1964	28,53	27,98	29,09	0,98	1,02
151	R3	Riegel	Leopoldskanal	1930 - 1998	1964	61,43	69,28	63,87	1,13	1,04
153	R4	Schenkenzell	Kinzig	1909 - 1998	1964	9,94	9,57	10,57	0,96	1,06
154	R4	Schwaibach	Kinzig	1914 - 1998	1964	86,64	83,13	92,37	0,96	1,07
155	R4	Hinterlehengericht	Schiltach	1913 - 1998	1964	9,91	9,42	10,59	0,95	1,07
157	R4	Rotenfels	Murg	1917 - 1998	1964	78,59	77,27	80,40	0,98	1,02
158	R5	Berghausen	Pfinz	1925 - 1998	1964	9,52	7,83	11,41	0,82	1,20

Tabelle 4: Zusammenstellung der Kennwerte für die Analyse des Jahresganges der Monatshöchstwerte HQ(m), Zeitreihentrennung 1964 (Fortsetzung)

lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Zeitspanne	Jahr TJ der Datentrennung	MHQ (gesamt) (m ³ /s)	MHQ (vor TJ) (m ³ /s)	MHQ (nach TJ) (m ³ /s)	MHQ (vor TJ) / MHQ (gesamt)	MHQ (nach TJ) / MHQ (gesamt)
1	D1	Kirchen-Hausen	Donau	1923 - 1998	1974	40,59	37,19	47,30	0,92	1,17
2	D1	Beuron	Donau	1926 - 1998	1974	36,63	32,49	45,06	0,89	1,23
3	D1	Hammereisenbach	Breg	1926 - 1998	1974	15,73	14,11	18,87	0,90	1,20
5	D2	Hundersingen	Donau	1930 - 1998	1974	55,98	50,71	66,25	0,91	1,18
6	D2	Berg	Donau	1930 - 1998	1974	72,60	68,31	80,57	0,94	1,11
7	D2	Mengen (Add.)	Ablach	1931 - 1998	1974	9,77	9,30	10,65	0,95	1,09
9	D3	Kempton	Iller	1901 - 1998	1974	159,41	155,94	170,11	0,98	1,07
13	D4	Neu-Ulm Bad Held	Donau	1926 - 1998	1974	272,01	263,78	288,47	0,97	1,06
16	D4	Offingen	Mindel	1941 - 1998	1974	27,82	25,76	30,56	0,93	1,10
19	D5	Landsberg	Lech	1901 - 1998	1974	179,46	185,82	159,86	1,04	0,89
22	D5	Biessenhofen	Wertach	1921 - 1998	1974	51,55	52,89	48,53	1,03	0,94
25	D6	Harburg	Wörnitz	1940 - 1998	1974	36,94	33,35	42,02	0,90	1,14
31	D7	Kelheim	Donau	1924 - 1998	1974	581,50	568,05	610,06	0,98	1,05
35	D8	Heitzenhofen	Naab	1921 - 1998	1974	105,19	105,29	104,95	1,00	1,00
42	D9	Regenstauf	Regen	1901 - 1998	1974	105,47	103,35	112,02	0,98	1,06
52	D11	Landshut Birket	Isar mit Ausleitung	1926 - 1998	1974	20,38	20,19	20,77	0,99	1,02
53	D11	Plattling	Isar mit Mühlbäche	1926 - 1998	1974	276,93	273,61	283,71	0,99	1,02
58	D11	Inkofen	Amper	1926 - 1998	1974	68,30	65,65	73,70	0,96	1,08
65	D12	Vilsbiburg	Große Vils	1940 - 1998	1974	14,07	12,30	16,64	0,87	1,18
68	D13	Staudach	Tiroler Achen	1921 - 1998	1974	117,10	115,07	121,67	0,98	1,04
72	D13	Burghausen	Salzach	1901 - 1998	1974	561,06	550,40	593,92	0,98	1,06
76	D14	Oberaudorf	Inn	1901 - 1998	1974	526,01	524,74	529,91	1,00	1,01
81	D14	Stauden	Leitzach	1941 - 1998	1974	12,65	11,70	13,99	0,92	1,11
85	D15	Hofkirchen	Donau	1901 - 1998	1974	1006,48	988,89	1060,71	0,98	1,05
91	E1	Hof	Sächsische Saale	1921 - 1998	1974	18,70	18,96	18,12	1,01	0,97
93	M1	Schwüritz	Main	1941 - 1998	1974	87,30	81,19	95,95	0,93	1,10
100	M2	Pettstadt	Regnitz	1923 - 1998	1974	115,32	111,18	124,12	0,96	1,08
110	M3	Schweinfurt	Main	1901 - 1998	1974	224,42	217,64	247,22	0,97	1,10

Tabelle 5: Zusammenstellung der Kennwerte für die Analyse des Jahresganges der Monatshöchstwerte HQ(m), Zeitreihentrennung 1974



lfd.-Nr.	Untersuchungs-Gebiet	Standort	Gewässer	Zeitspanne	Jahr TJ der Datentrennung	MHQ (gesamt) (m ³ /s)	MHQ (vor TJ) (m ³ /s)	MHQ (nach TJ) (m ³ /s)	MHQ (vor TJ) / MHQ (gesamt)	MHQ (nach TJ) / MHQ (gesamt)
114	M4	Wolfsmünster	Fränkische Saale	1931 - 1998	1974	40,66	37,50	45,78	0,92	1,13
120	M5	Bad Mergentheim	Tauber	1930 - 1998	1974	27,04	25,77	29,38	0,95	1,09
126	N1	Oberndorf	Neckar	1930 - 1998	1974	35,72	33,37	39,20	0,93	1,10
127	N1	Horb	Neckar	1932 - 1998	1974	59,98	55,27	68,27	0,92	1,14
128	N1	Hopfau	Glatt	1928 - 1998	1974	23,97	21,31	29,11	0,89	1,21
133	N3	Plochingen	Neckar	1920 - 1998	1974	152,31	140,79	178,71	0,92	1,17
136	N3	Neustadt	Rems	1923 - 1998	1974	33,85	31,45	38,99	0,93	1,15
137	N4	Kocherstetten	Kocher	1925 - 1998	1974	67,73	64,77	73,87	0,96	1,09
138	N4	Stein	Kocher	1884 - 1998	1974	85,40	82,59	96,38	0,97	1,13
139	N5	Jagstzell	Jagst	1922 - 1998	1974	15,69	16,00	15,02	1,02	0,96
140	N5	Dörzbach	Jagst	1924 - 1998	1974	45,46	43,64	49,27	0,96	1,08
141	N5	Untergriesheim	Jagst	1925 - 1998	1974	57,89	56,18	61,45	0,97	1,06
142	N5	Sennfeld	Seckach	1931 - 1998	1974	8,94	9,06	8,72	1,01	0,98
144	N6	Mosbach	Elz	1931 - 1998	1974	11,04	10,73	11,60	0,97	1,05
145	R1	Gießen	Argen	1932 - 1998	1974	89,28	84,25	98,11	0,94	1,10
146	R1	Gerbertshaus	Schussen	1920 - 1998	1974	34,05	31,26	40,50	0,92	1,19
147	R2	Oberlauchringen	Wutach	1912 - 1998	1974	31,46	30,59	33,71	0,97	1,07
149	R2	Zell	Wiese	1928 - 1998	1974	28,53	28,17	29,18	0,99	1,02
151	R3	Riegel	Leopoldskanal	1930 - 1998	1974	61,43	59,48	65,63	0,97	1,07
153	R4	Schenkenzell	Kinzig	1909 - 1998	1974	9,94	9,62	10,86	0,97	1,09
154	R4	Schwaibach	Kinzig	1914 - 1998	1974	86,64	82,46	98,73	0,95	1,14
155	R4	Hinterlehengericht	Schiltach	1913 - 1998	1974	9,91	9,32	11,37	0,94	1,15
157	R4	Rotenfels	Murg	1917 - 1998	1974	78,59	75,56	85,73	0,96	1,09
158	R5	Berghausen	Pfinz	1925 - 1998	1974	9,52	8,16	12,24	0,86	1,29

Tabelle 5: Zusammenstellung der Kennwerte für die Analyse des Jahresganges der Monatshöchstwerte HQ(m), Zeitreihentrennung 1974 (Fortsetzung)



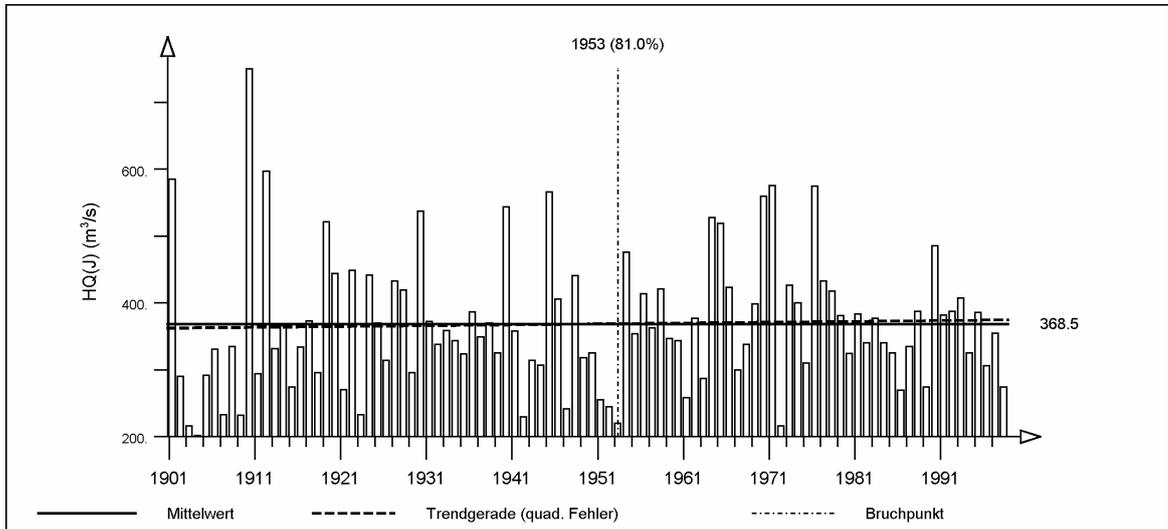
9 Anlagenverzeichnis

	Seite
Anlage 1 Ergebnisdarstellungen „Langzeitverhalten der jährlichen Höchstabflüsse“	
Anlage 1.1: Pegel Berg/Donau, gesamte Zeitreihe	76
Anlage 1.2: Pegel Kempten/Iller, gesamte Zeitreihe	77
Anlage 1.3: Pegel Heitzenhofen/Naab, gesamte Zeitreihe	78
Anlage 1.4: Pegel Hofkirchen/Donau, gesamte Zeitreihe	79
Anlage 1.5: Pegel Schweinfurt/Main, gesamte Zeitreihe	80
Anlage 1.6: Pegel Horb/Neckar, gesamte Zeitreihe	81
Anlage 1.7: Pegel Stein/Kocher, gesamte Zeitreihe	82
Anlage 1.8: Pegel Schwaibach/Kinzig, gesamte Zeitreihe	83
Anlage 2: Ergebnisdarstellungen „Jahresgang monatlicher Höchstabflüsse HQ(m)“	
Anlage 2.1: Pegel Berg/Donau, Trennungsjahr 1974	84
Anlage 2.2: Pegel Kempten/Iller, Trennungsjahr 1974	84
Anlage 2.3: Pegel Heitzenhofen/Naab, Trennungsjahr 1974	85
Anlage 2.4: Pegel Hofkirchen/Donau, Trennungsjahr 1974	85
Anlage 2.5: Pegel Schweinfurt/Main, Trennungsjahr 1974	86
Anlage 2.6: Pegel Horb/Neckar, Trennungsjahr 1974	86
Anlage 2.7: Pegel Stein/Kocher, Trennungsjahr 1974	87
Anlage 2.8: Pegel Schwaibach/Kinzig, Trennungsjahr 1974	87

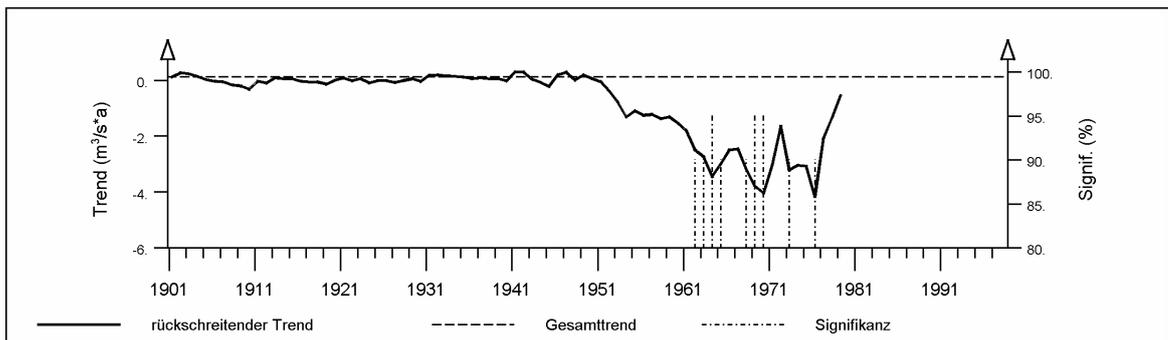
Pegel Kempten/Iller

(Pegel-Nr. 1140200)

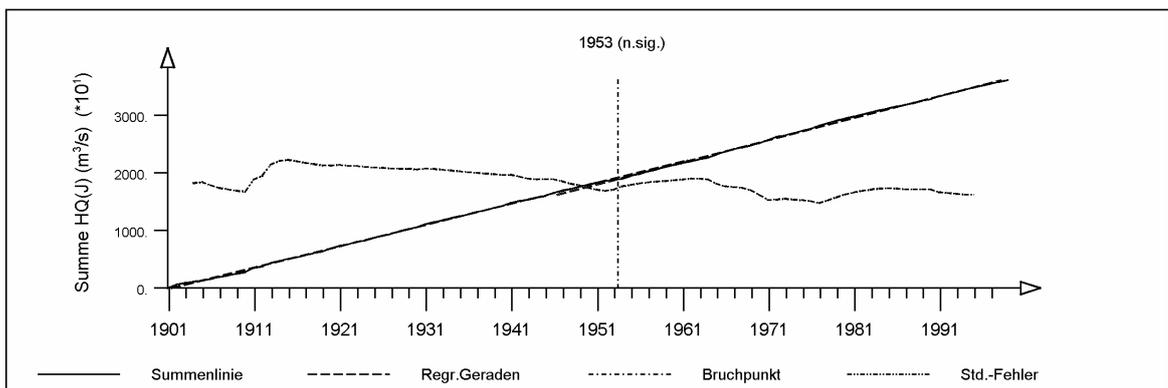
Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1901-1998 (hydrologisches Jahr)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $0.123 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 50%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
und Verlauf der Summe des Standardfehlers

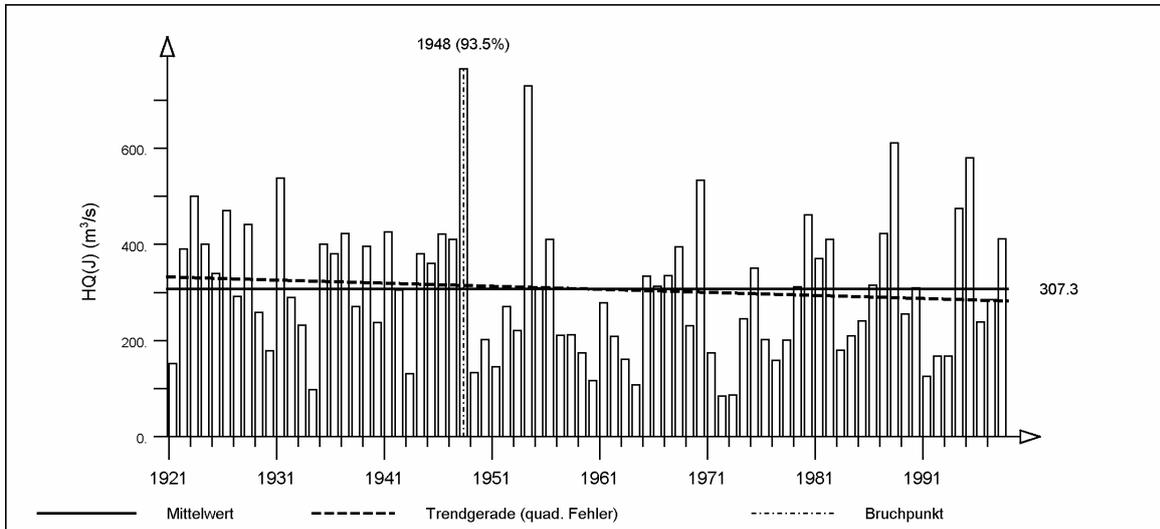
lfd.-Nr.: D-009



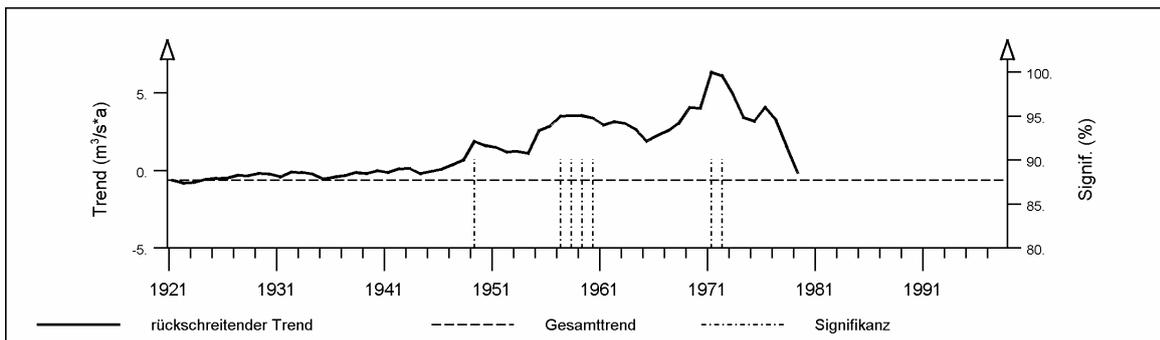
Pegel Heitzenhofen/Naab

(Pegel-Nr. 1400800)

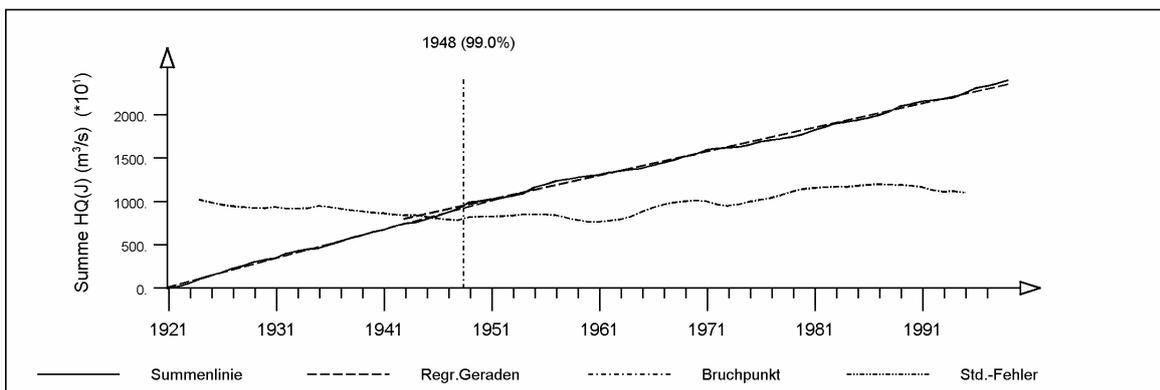
Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1921-1998 (hydrologisches Jahr)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-0.639 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 50%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

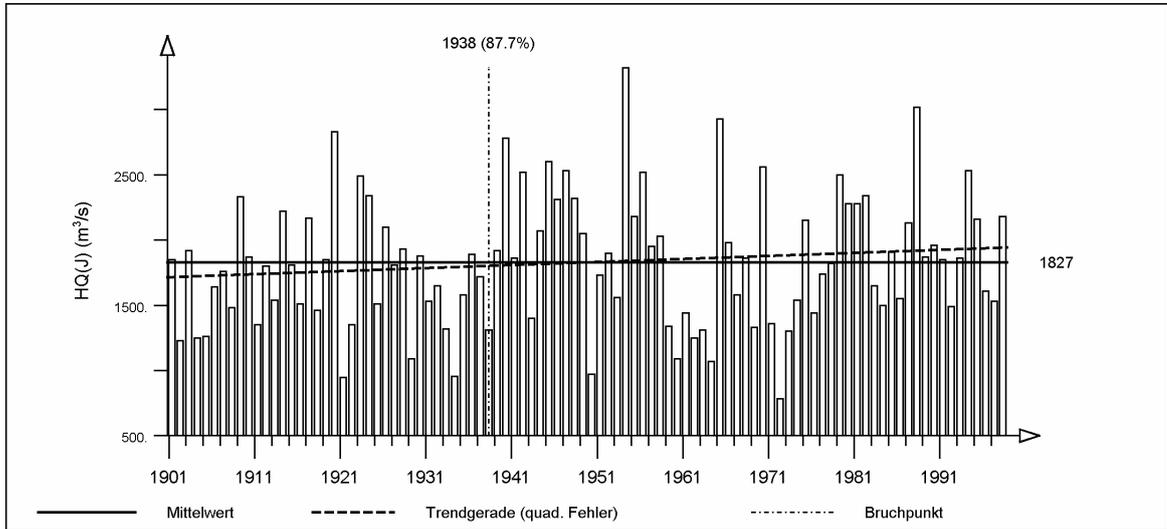
lfd.-Nr.: D-035

Anlage 1.3: Ergebnisdarstellung „Langzeitverhalten der jährlichen Höchstabflüsse“
 Pegel Heitzenhofen/Naab, gesamte Zeitreihe

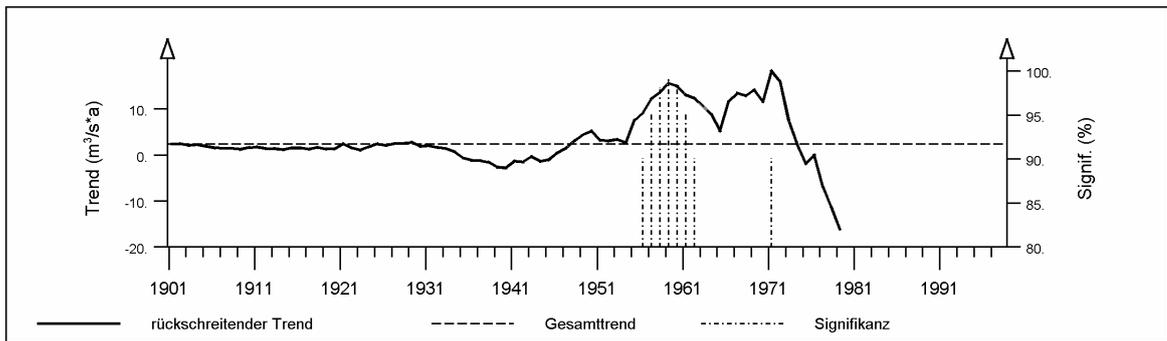
Pegel Hofkirchen/Donau

(Pegel-Nr. 1008800)

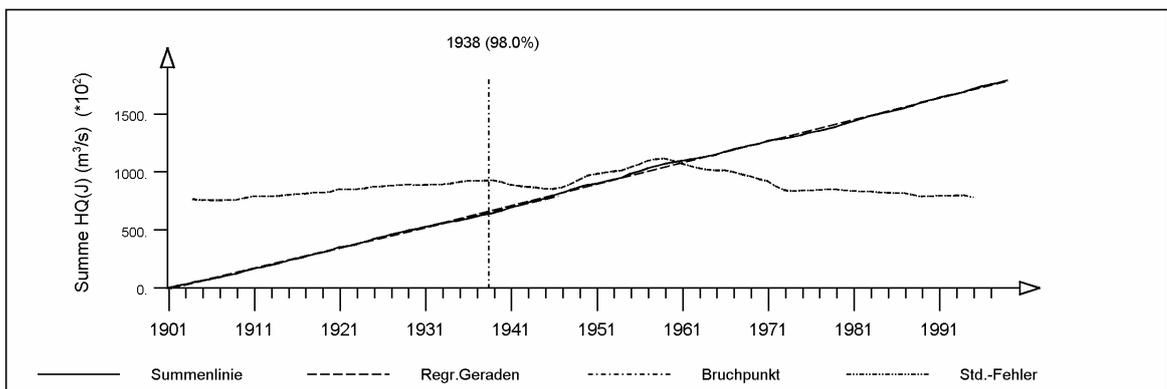
Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1901-1998 (hydrologisches Jahr)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $2.332 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 80%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
und Verlauf der Summe des Standardfehlers

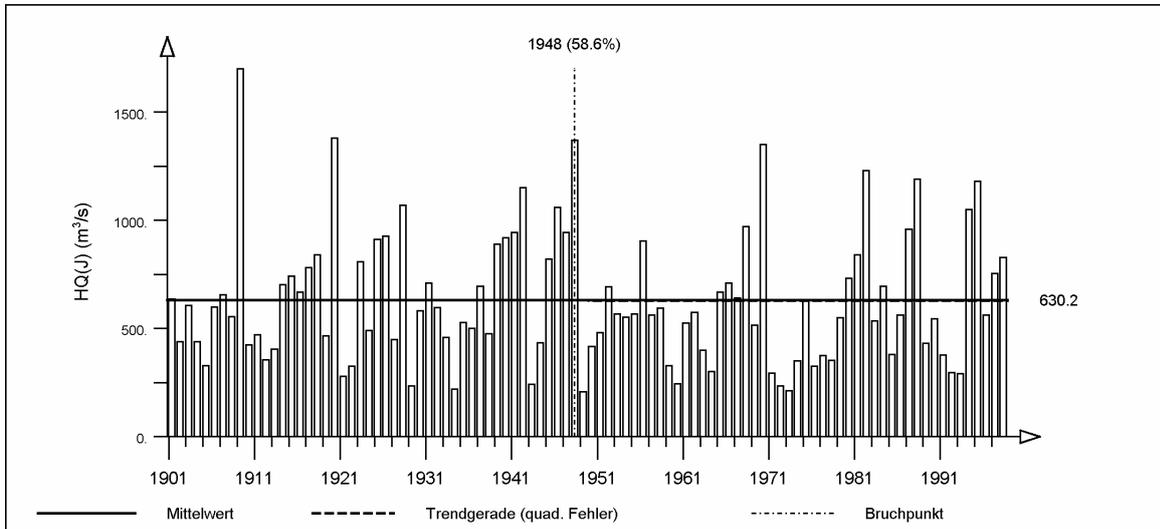
lfd.-Nr.: D-085



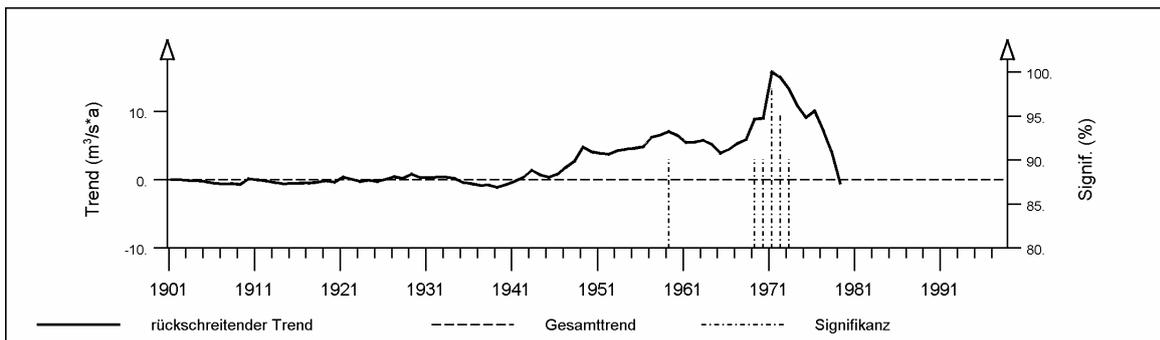
Pegel Schweinfurt/Main

(Pegel-Nr. 2402200)

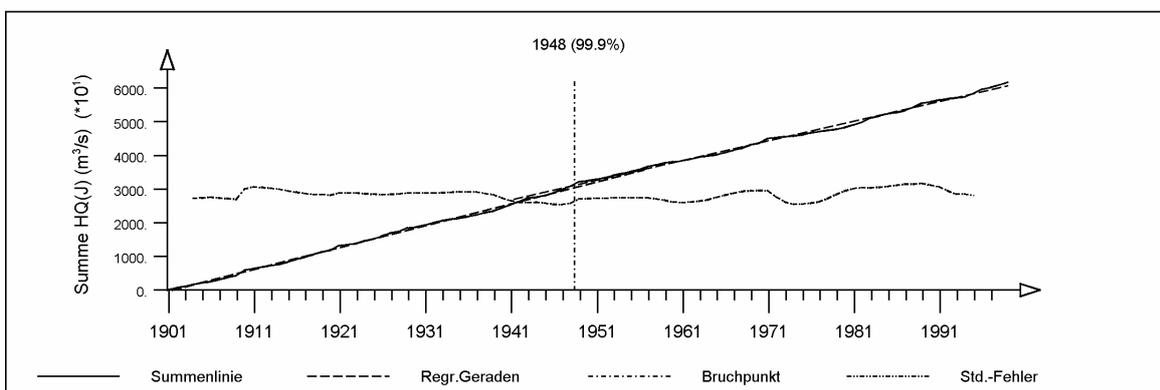
Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1901-1998 (hydrologisches Jahr)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-0.029 \text{ m}^3/\text{s}^* \text{a}$
 (Trend nicht signifikant nach Mann-Kendall)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

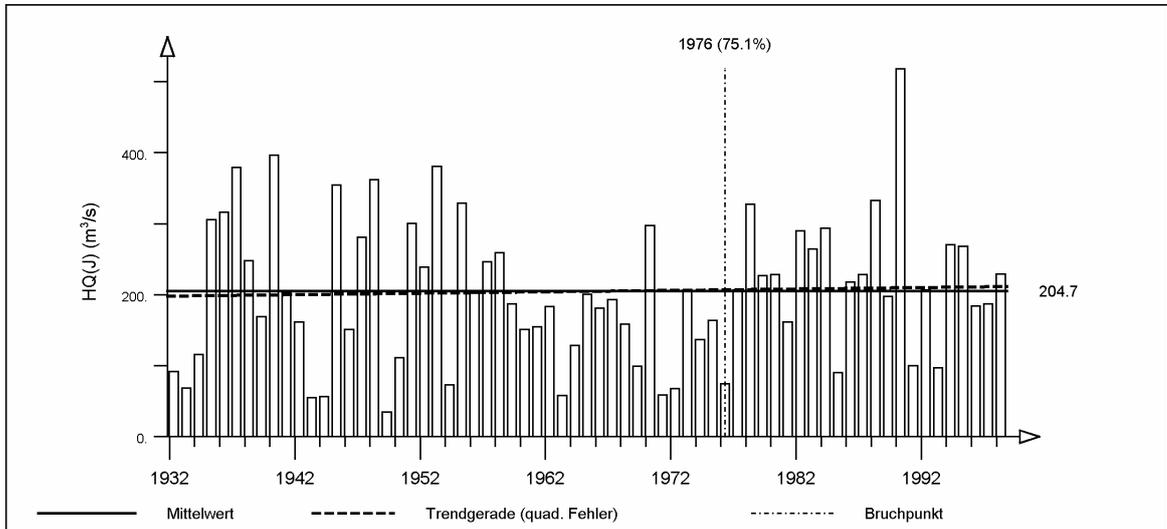
lfd.-Nr.: D-110

Anlage 1.5: Ergebnisdarstellung „Langzeitverhalten der jährlichen Höchstabflüsse“
 Pegel Schweinfurt/Main, gesamte Zeitreihe

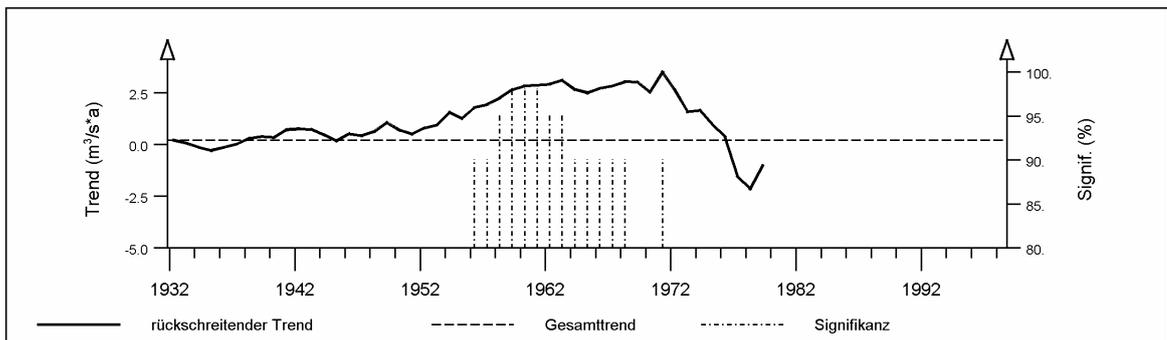
Pegel Horb/Neckar

(Pegel-Nr. 411)

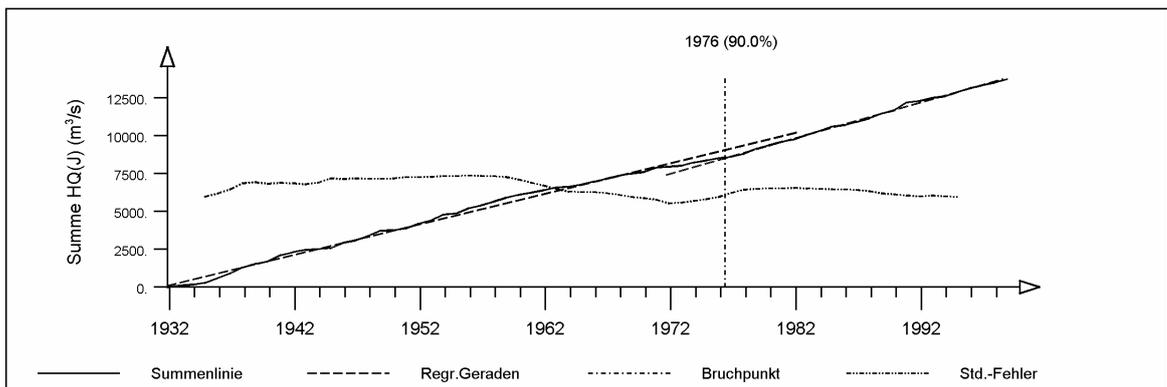
Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1932-1998 (hydrologisches Jahr)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $0.202 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend nicht signifikant nach Mann-Kendall)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
und Verlauf der Summe des Standardfehlers

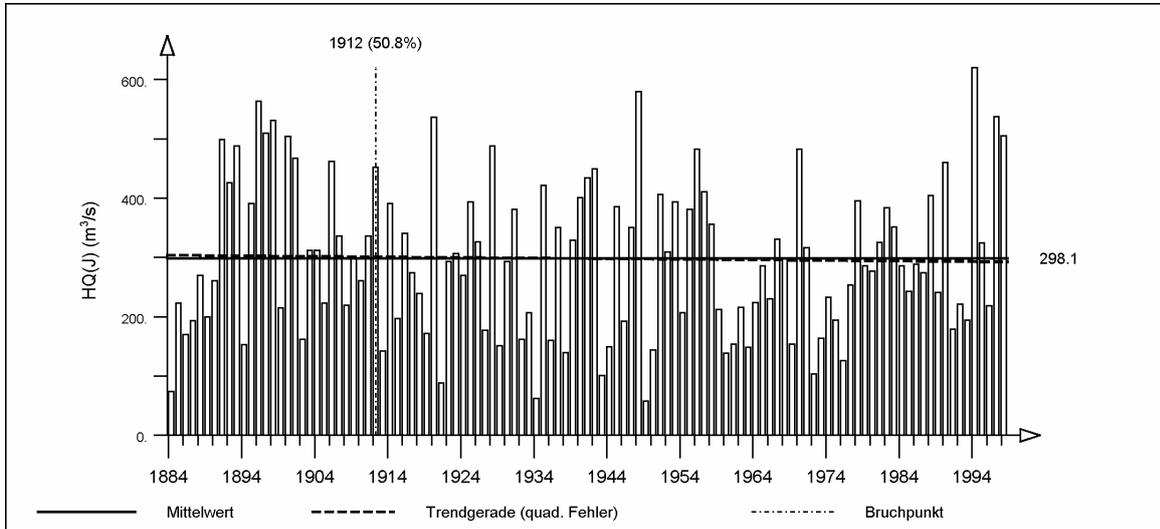
lfd.-Nr.: D-127



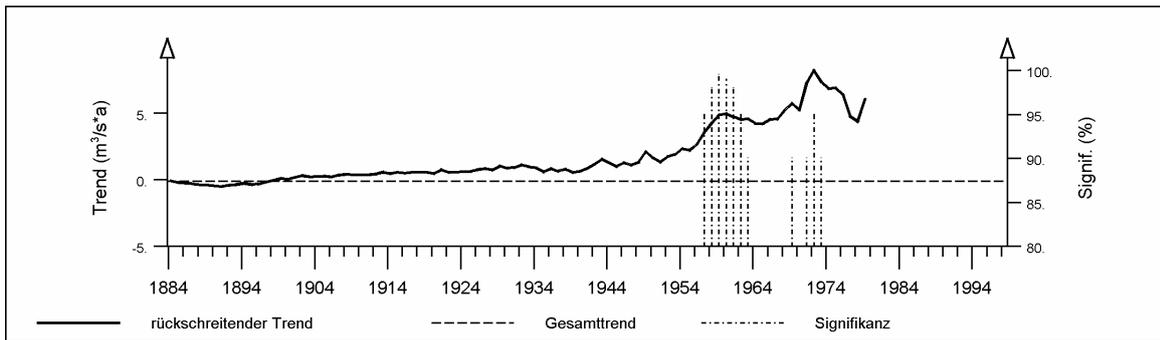
Pegel Stein/Kocher

(Pegel-Nr. 3465)

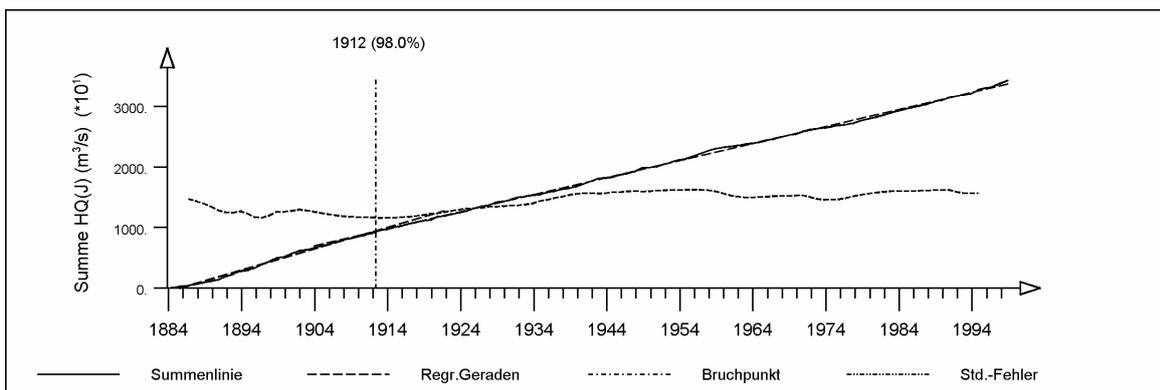
Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1884-1998 (hydrologisches Jahr)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-0.095 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend nicht signifikant nach Mann-Kendall)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



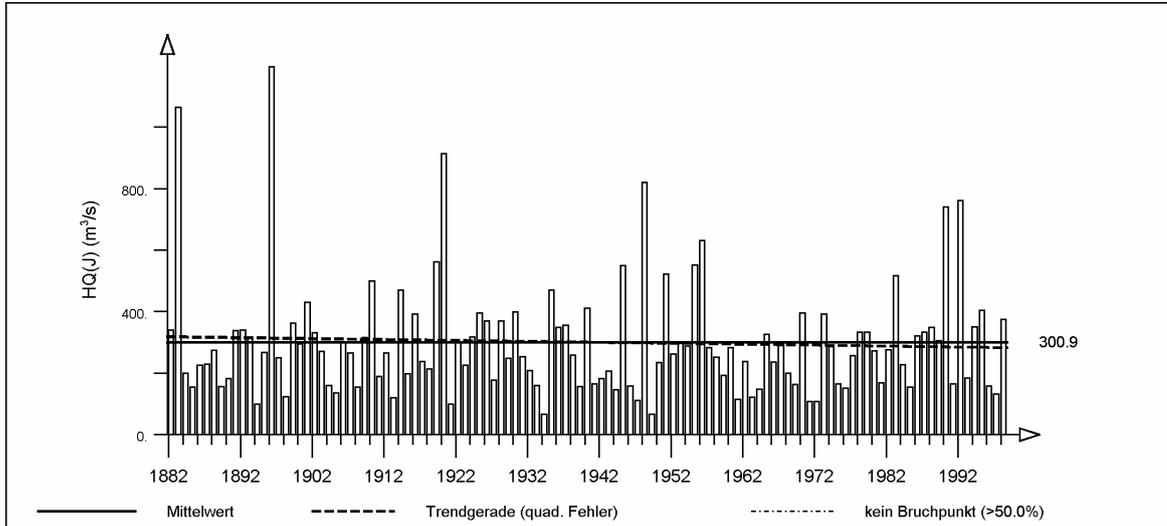
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
und Verlauf der Summe des Standardfehlers

lfd.-Nr.: D-138

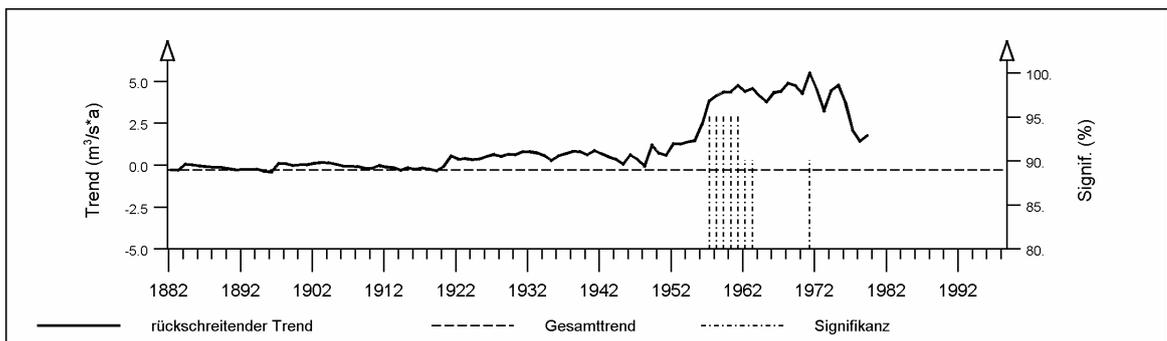
Pegel Schwaibach/Kinzig

(Pegel-Nr. 390)

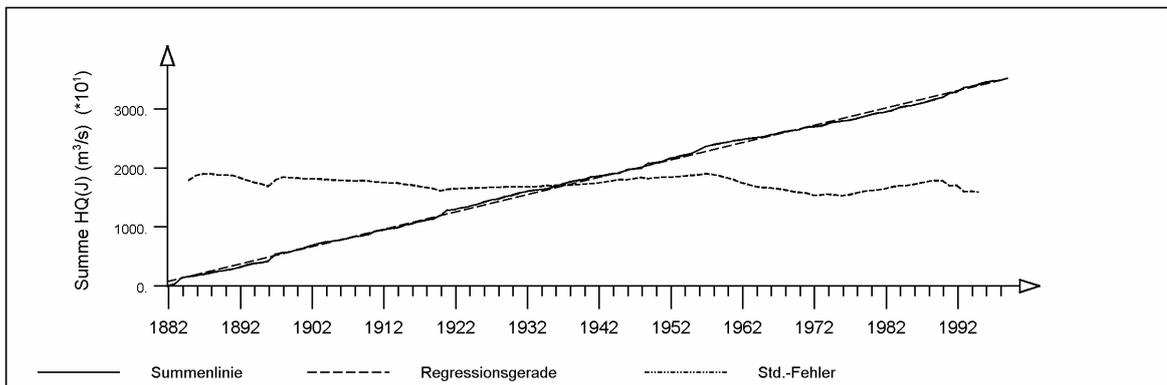
Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1882-1998 (hydrologisches Jahr)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-0.300 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend nicht signifikant nach Mann-Kendall)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



Summenlinie mit Regressionsgerade
und Verlauf der Summe des Standardfehlers

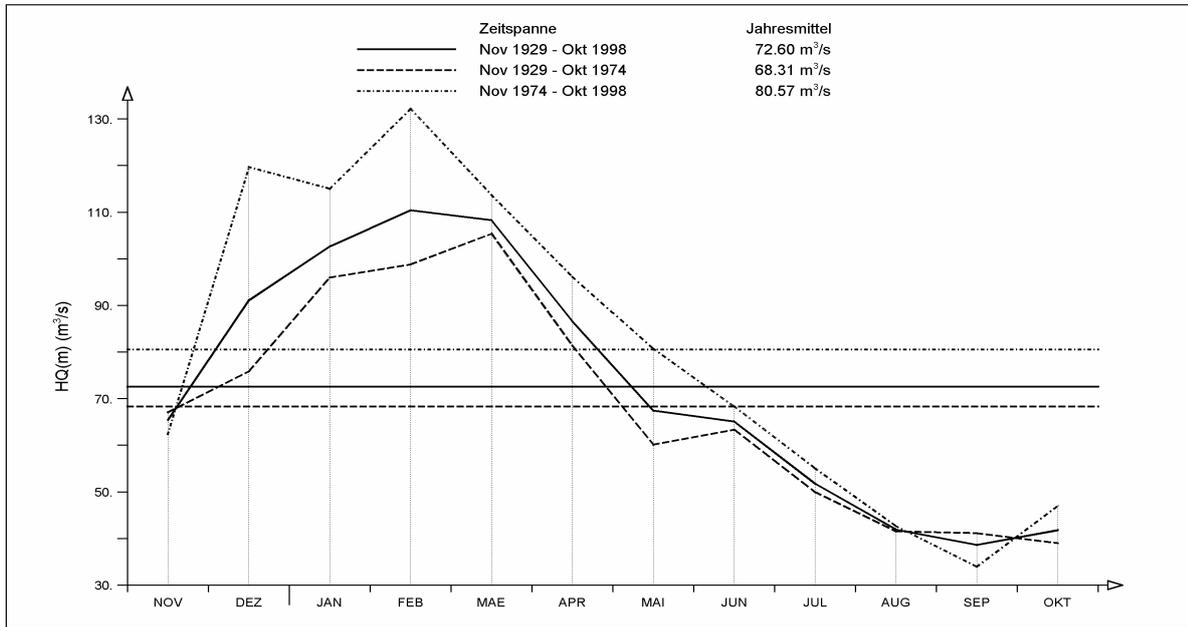
Ifd.-Nr.: D-154



Pegel Berg/Donau

(Pegel-Nr. 125)

Jahresgänge MHQ(m) und Jahresmittel MHQ(J)



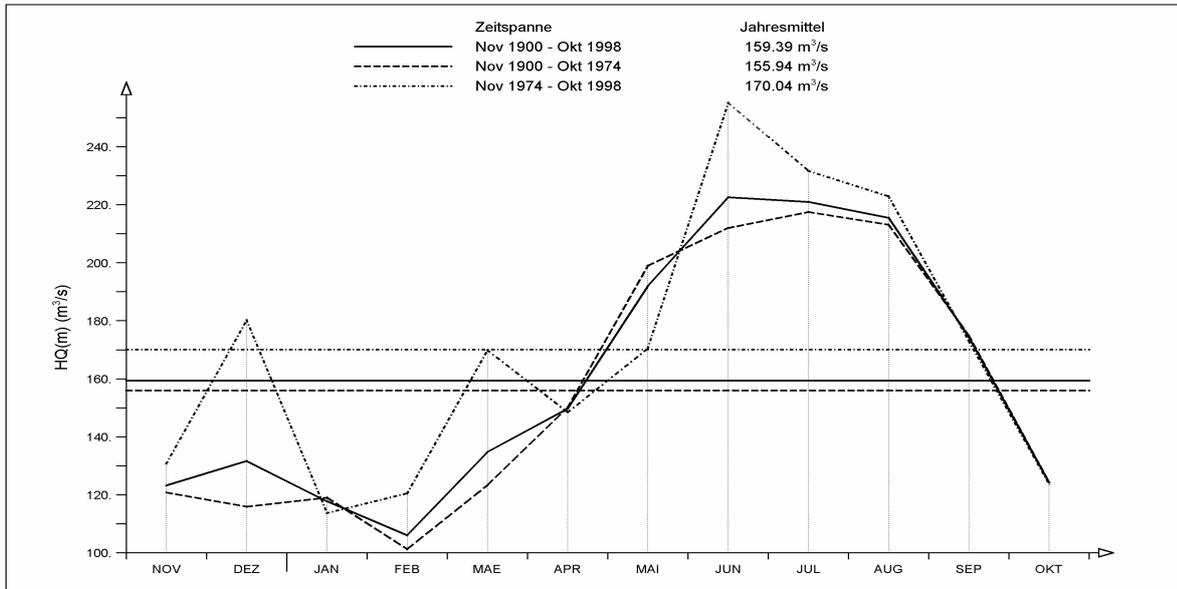
lfd.-Nr.: H-006

Anlage 2.1: Ergebnisdarstellung „Jahresgang monatlicher Höchstabflüsse HQ(m)“ Pegel Berg/Donau, Trennungsjahr 1974

Pegel Kempten/Iller

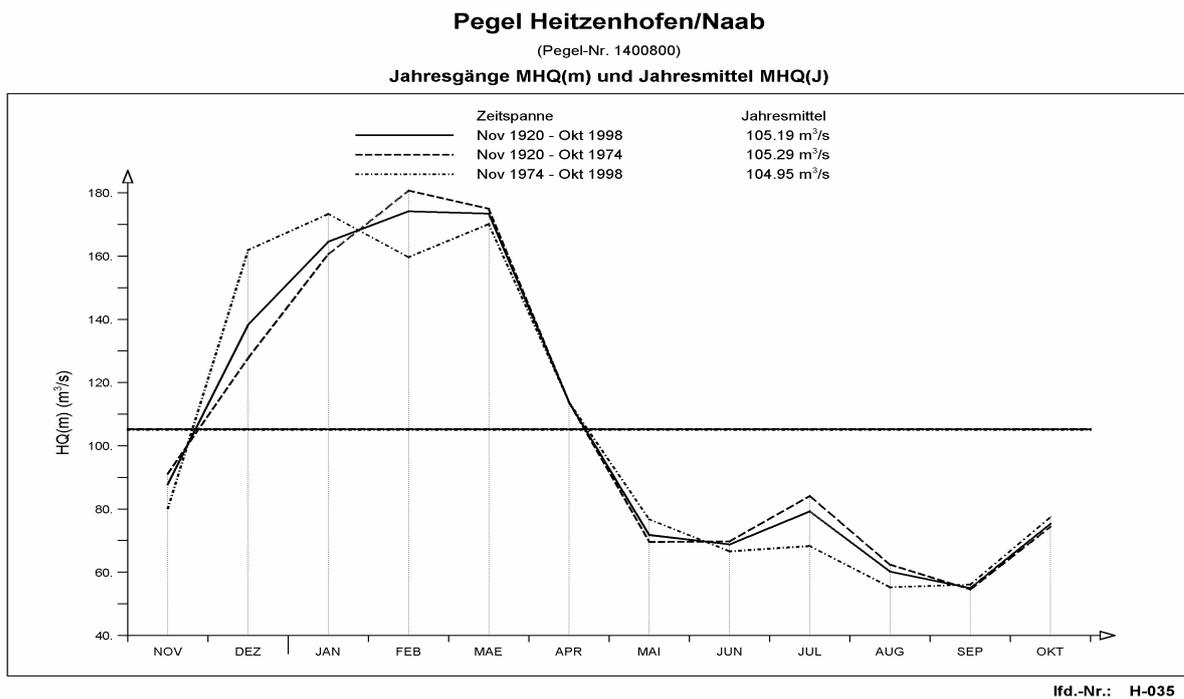
(Pegel-Nr. 1140200)

Jahresgänge MHQ(m) und Jahresmittel MHQ(J)

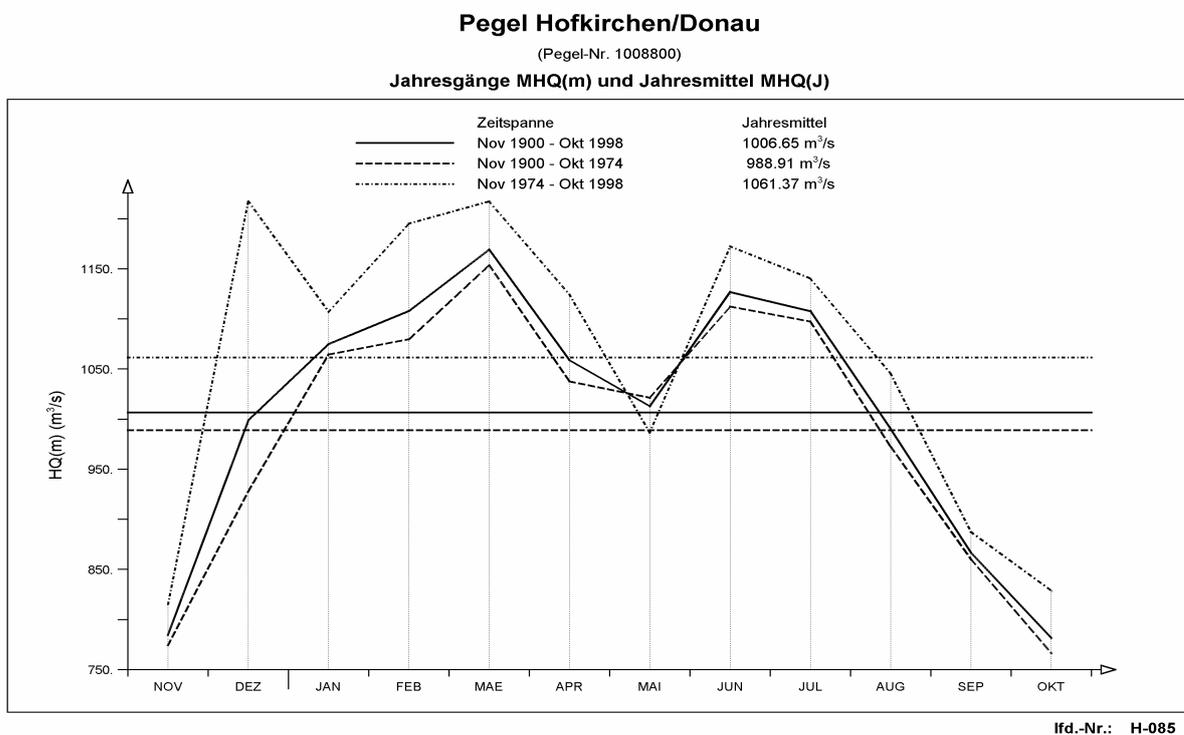


lfd.-Nr.: H-009

Anlage 2.2: Ergebnisdarstellung „Jahresgang monatlicher Höchstabflüsse HQ(m)“ Pegel Kempten/Iller, Trennungsjahr 1974



Anlage 2.3: Ergebnisdarstellung „Jahresgang monatlicher Höchstabflüsse HQ(m)“
Pegel Heitzenhofen/Naab, Trennungsjahr 1974



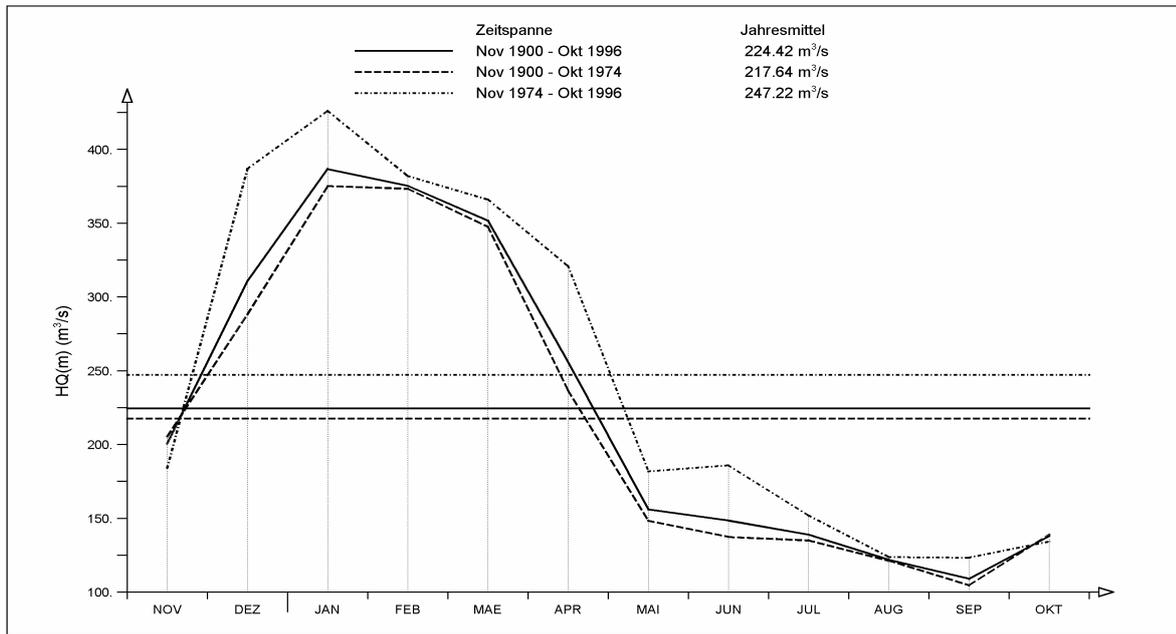
Anlage 2.4: Ergebnisdarstellung „Jahresgang monatlicher Höchstabflüsse HQ(m)“
Pegel Hofkirchen/Donau, Trennungsjahr 1974



Pegel Schweinfurt/Main

(Pegel-Nr. 2402200)

Jahresgänge MHQ(m) und Jahresmittel MHQ(J)



lfd.-Nr.: H-110

Anlage 2.5: Ergebnisdarstellung „Jahresgang monatlicher Höchstabflüsse HQ(m)“ Pegel Schweinfurt/Main, Trennungsjahr 1974

Pegel Horb/Neckar

(Pegel-Nr. 411)

Jahresgänge MHQ(m) und Jahresmittel MHQ(J)



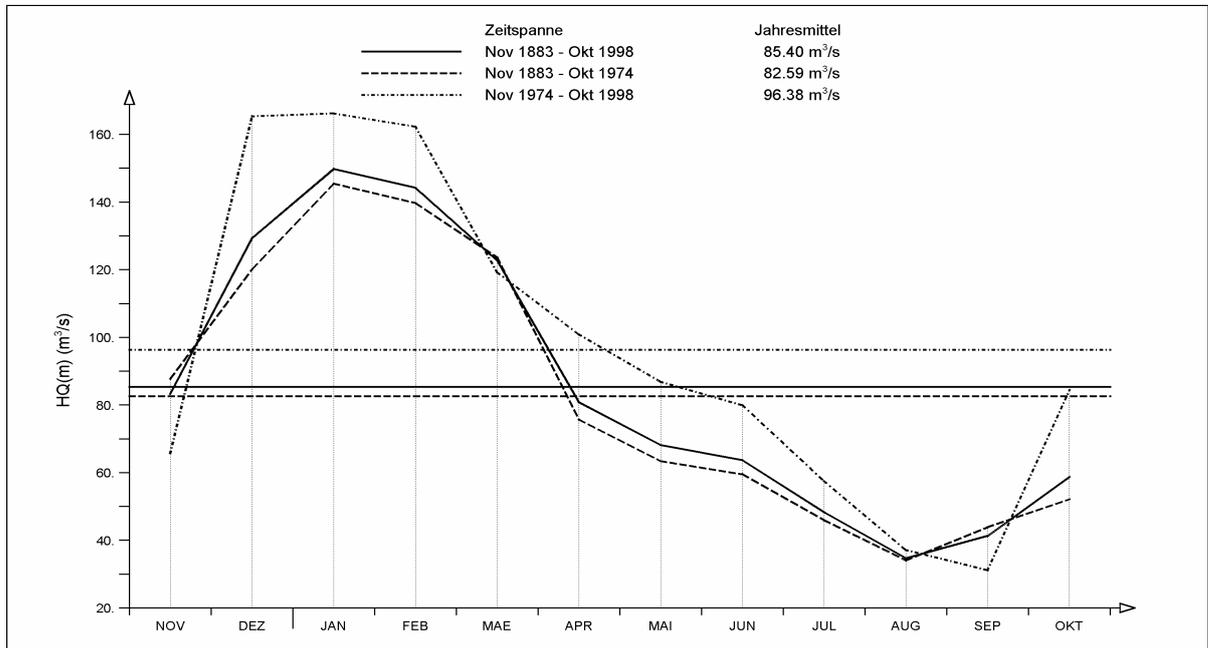
lfd.-Nr.: H-127

Anlage 2.6: Ergebnisdarstellung „Jahresgang monatlicher Höchstabflüsse HQ(m)“ Pegel Horb/Neckar, Trennungsjahr 1974

Pegel Stein/Kocher

(Pegel-Nr. 37696/3465)

Jahresgänge MHQ(m) und Jahresmittel MHQ(J)



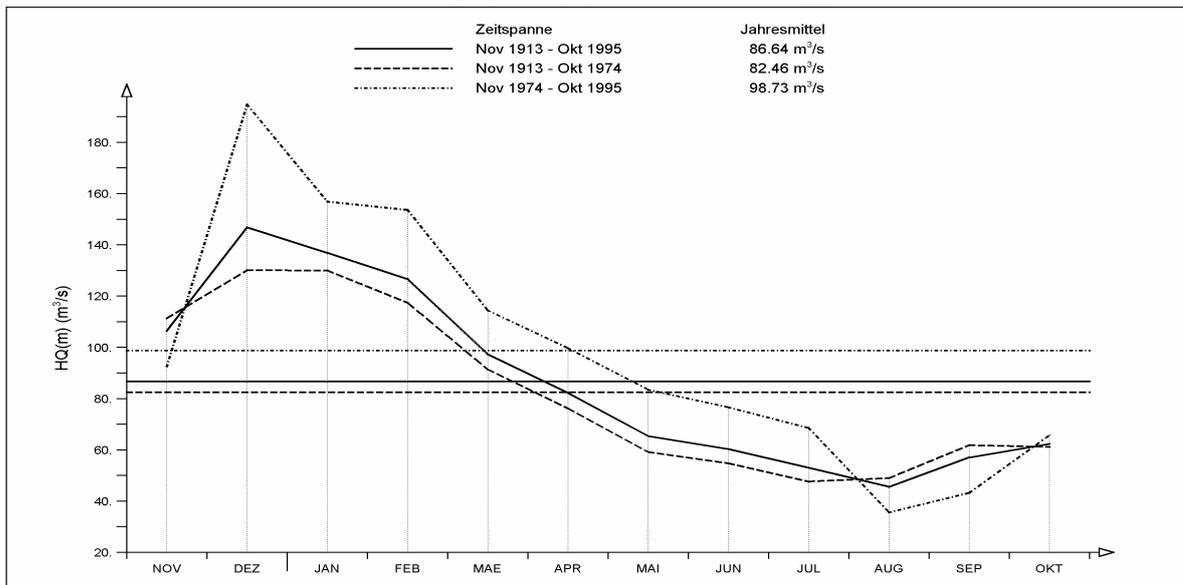
lfd.-Nr.: H-138

Anlage 2.7: Ergebnisdarstellung „Jahresgang monatlicher Höchstabflüsse HQ(m)“
Pegel Stein/Kocher, Trennungsjahr 1974

Pegel Schwaibach/Kinzig

(Pegel-Nr. 390)

Jahresgänge MHQ(m) und Jahresmittel MHQ(J)



lfd.-Nr.: H-154

Anlage 2.8: Ergebnisdarstellung „Jahresgang monatlicher Höchstabflüsse HQ(m)“
Pegel Schwaibach/Kinzig, Trennungsjahr 1974



10 Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 2.1: Anzahl der einbezogenen Pegel für verschiedene Klassen der Einzugsgebietsfläche.....	12
Abb. 2.2: Prozentualer Anteil der einbezogenen Pegel für verschiedene Klassen der Einzugsgebietsfläche.....	12
Abb. 2.3: Anzahl der Pegel für verschiedene Klassen der Beobachtungsjahre.....	13
Abb. 2.4: Prozentualer Anteil der einbezogenen Pegel für verschiedene Klassen der Beobachtungsjahre.....	13
Abb. 3.1: Ergebnisdarstellung der Analyse des Langzeitverhaltens der jährlichen Höchstwerte HQ(J).....	19
Abb. 3.2: Ergebnisdarstellung der Analyse des Jahresgangs: monatliche Höchstwerte HQ(m) und mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss MHQ(J) für drei unterschiedliche Zeitspannen (Gesamtreihe und Teilreihen für Trennungsjahr 1974)	20
Abb. 4.1: Vergleich der Trends, ermittelt aus der gesamten vorliegenden Beobachtungszeitreihe über die Fehlerabsolutsumme "Trend(abs)" und die Fehlerquadratsumme "Trend(quad)", jeweils bezogen auf den mittleren Hochwasserabfluss MHQ	23
Abb. 4.2: Vergleich der Trends, ermittelt aus der gemeinsam vorliegenden Beobachtungszeitreihe ab 1932 über die Fehlerabsolutsumme "Trend(abs)" und die Fehlerquadratsumme "Trend(quad)", jeweils bezogen auf den mittleren Hochwasserabfluss MHQ	24
Abb. 4.3: Vergleich der beiden Methoden zur Trendschätzung am Pegel Plochingen/Fils	25
Abb. 4.4: Vergleich der beiden Methoden zur Trendschätzung am Pegel Hundersingen/Donau.....	25
Abb. 4.5: Vergleich der beiden Methoden zur Trendschätzung am Pegel Bad Aibling/Glonn.....	26
Abb. 4.6: Vergleich der beiden Methoden zur Trendschätzung am Pegel Oberaudorf/Inn	26
Abb. 4.7: Abhängigkeit des Trends (bezogen auf den mittleren Hochwasserabfluss MHQ) von der Länge der Beobachtungszeitreihe, ermittelt über die Fehlerquadratsumme für alle Zeitreihen (oberes Diagramm) und für alle Zeitreihen mit einer Trendsignifikanz $\alpha \geq 80\%$ (unteres Diagramm).....	27
Abb. 4.8: Abhängigkeit des Trends (bezogen auf den mittleren Hochwasserabfluss MHQ) von der Länge der Beobachtungszeitreihe, ermittelt über die Fehlerabsolutsumme für alle Zeitreihen (oberes Diagramm) und für die Zeitreihen mit einer Trendsignifikanz $\alpha \geq 80\%$ (unteres Diagramm)	28

Abb. 5.1:	Prozentualer Anteil der Pegel für verschiedene Signifikanzniveaus nach dem Trendtest von MANN-KENDALL für alle Zeitreihen unabhängig vom Beobachtungsbeginn (oberes Diagramm) und für die gemeinsamen Zeitreihen ab 1932 (unteres Diagramm)	30
Abb. 5.2:	Prozentualer Anteil der Pegel an den verschiedenen Signifikanzniveaus für einen Trend nach dem Trendtest von MANN-KENDALL für die langen Zeitreihen, die 1932 oder früher beginnen	31
Abb. 5.2a:	Anzahl der Pegel in den unterschiedlichen Klassen der Trendsignifikanz für die Datenkollektive "Zeitreihen ab 1932" und "lange Zeitreihen"	31
Abb. 5.3:	Prozentualer Anteil der Pegel für verschiedene Trendklassen ermittelt aus den gesamten Zeitreihen für alle Pegel (oberes Diagramm) und für die Pegel mit einer Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$ (unteres Diagramm); der Trend entspricht der prozentualen Änderung pro Jahr, bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss MHQ	34
Abb. 5.4:	Prozentualer Anteil der Pegel für verschiedene Trendklassen ermittelt aus den Zeitreihen ab 1932 für alle Pegel (oberes Diagramm) und für die Pegel mit einer Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$ (unteres Diagramm); der Trend entspricht der prozentualen Änderung pro Jahr, bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss MHQ	35
Abb. 5.5:	Prozentualer Anteil der Pegel für verschiedene Trendklassen ermittelt aus den Zeitreihen mit Beginn vor 1933 für alle Pegel (oberes Diagramm) und für die Pegel mit einer Trendsignifikanz von $\alpha \geq 80\%$ (unteres Diagramm); der Trend entspricht der prozentualen Änderung pro Jahr, bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss MHQ.....	36
Abb. 5.6:	Verteilung Anzahl der Pegel (oberes Diagramm) und deren prozentuale Anteile (unteres Diagramm) auf Jahresklassen, in denen der wahrscheinliche Bruchpunkt liegt, ermittelt aus allen Pegeln mit der jeweils vorhandenen Beobachtungszeitspanne	38
Abb. 5.7:	Prozentuale Anteile der Pegel an den verschiedenen Klassen der Wahrscheinlichkeit eines Bruchpunkts, ermittelt aus allen Pegeln mit der jeweils vorhandenen Beobachtungszeitspanne	39
Abb. 5.8:	Prozentuale Anteile der Pegel an den verschiedenen Signifikanzniveaus für eine Trendänderung, ermittelt aus allen Pegeln mit der jeweils vorhandenen Beobachtungszeitspanne	39
Abb. 5.9:	Prozentuale Anteile der Pegel an den Jahresklassen, in denen der wahrscheinliche Bruchpunkt liegt, ermittelt aus der gemeinsamen Datenbasis ab 1932	40



Abb. 5.10:	Prozentuale Anteile der Pegel an den verschiedenen Klassen der Wahrscheinlichkeit eines Bruchpunkts, ermittelt aus der gemeinsamen Datenbasis ab 1932.....	41
Abb. 5.11:	Prozentuale Anteile der Pegel an den verschiedenen Signifikanzniveaus für eine Trendänderung, ermittelt aus der gemeinsamen Datenbasis ab 1932	41
Abb. 5.12:	Prozentuale Anteile der Pegel an den Jahresklassen, in denen der wahrscheinliche Bruchpunkt liegt, ermittelt aus den langen Zeitreihen mit Beobachtungsbeginn 1932 oder früher	42
Abb. 5.13:	Prozentuale Anteile der Pegel an den verschiedenen Klassen der Wahrscheinlichkeit eines Bruchpunkts, ermittelt aus den langen Zeitreihen mit Beobachtungsbeginn 1932 oder früher.....	43
Abb. 5.14:	Prozentuale Anteile der Pegel an den verschiedenen Signifikanzniveaus für eine Trendänderung, ermittelt aus den langen Zeitreihen mit Beobachtungsbeginn 1932 oder früher.....	43
Abb. 6.1:	Verteilung des Anteils der Pegel mit prozentualen Abweichungen der jährlich mittleren Hochwasserabflüsse MHQ der Teilzeitreihe vor 1964 (oberes Diagramm) und nach 1964 (unteres Diagramm) bezogen auf den MHQ-Wert der Gesamtzeitreihe	46
Abb. 6.2:	Verteilung des Anteils der Pegel mit prozentualen Abweichungen der jährlich mittleren Hochwasserabflüsse MHQ der Teilzeitreihe vor 1974 (oberes Diagramm) und nach 1974 (unteres Diagramm) bezogen auf den MHQ-Wert der Gesamtzeitreihe	47

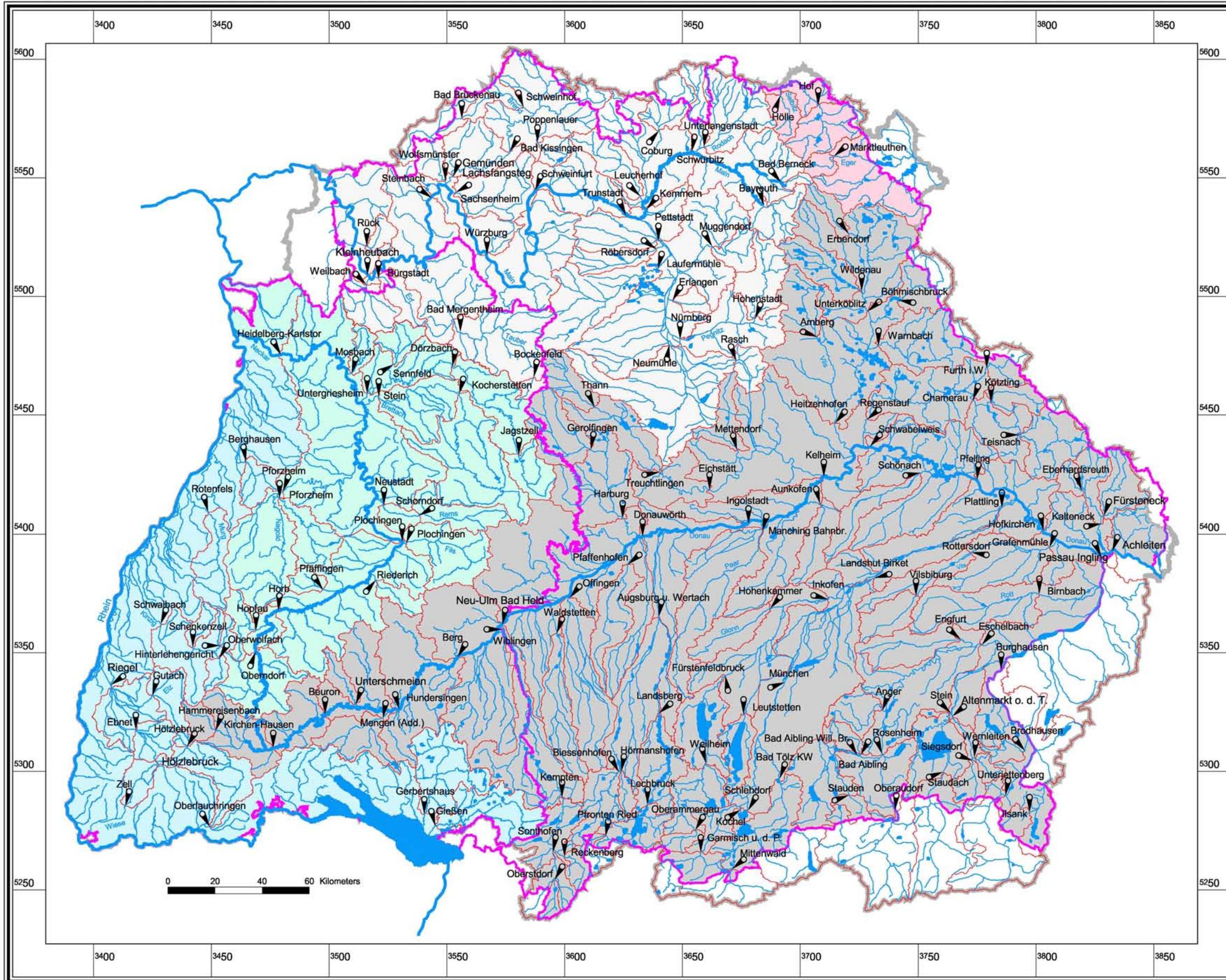


11 Kartenverzeichnis

Karte 1:	Einbezogene Pegel	93
Karte 2:	Prozentuale Trendänderung bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss und Signifikanz des Trends nach Mann-Kendall („lange Zeitreihen“, mit Beobachtungsbeginn 1932 und früher)	94
Karte 3:	Prozentuale Trendänderung bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss und Signifikanz des Trends nach Mann-Kendall („gesamte Zeitreihen“, alle einbezogenen Pegel)	95
Karte 4:	Jahr des wahrscheinlichen Bruchpunkts mit Signifikanz der Änderung des Abflussverhaltens („lange Zeitreihen“, mit Beobachtungsbeginn 1932 und früher)	96
Karte 5:	Jahr des wahrscheinlichen Bruchpunkts mit Signifikanz der Änderung des Abflussverhaltens („gesamte Zeitreihen“, alle einbezogenen Pegel)	97

Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse HQ(J)

Karte 1: Einbezogene Pegel



IWK
 Institut für Wasserwirtschaft
 und Kulturtechnik
 Abteilung Hydrologie
 Universität Karlsruhe (TH)

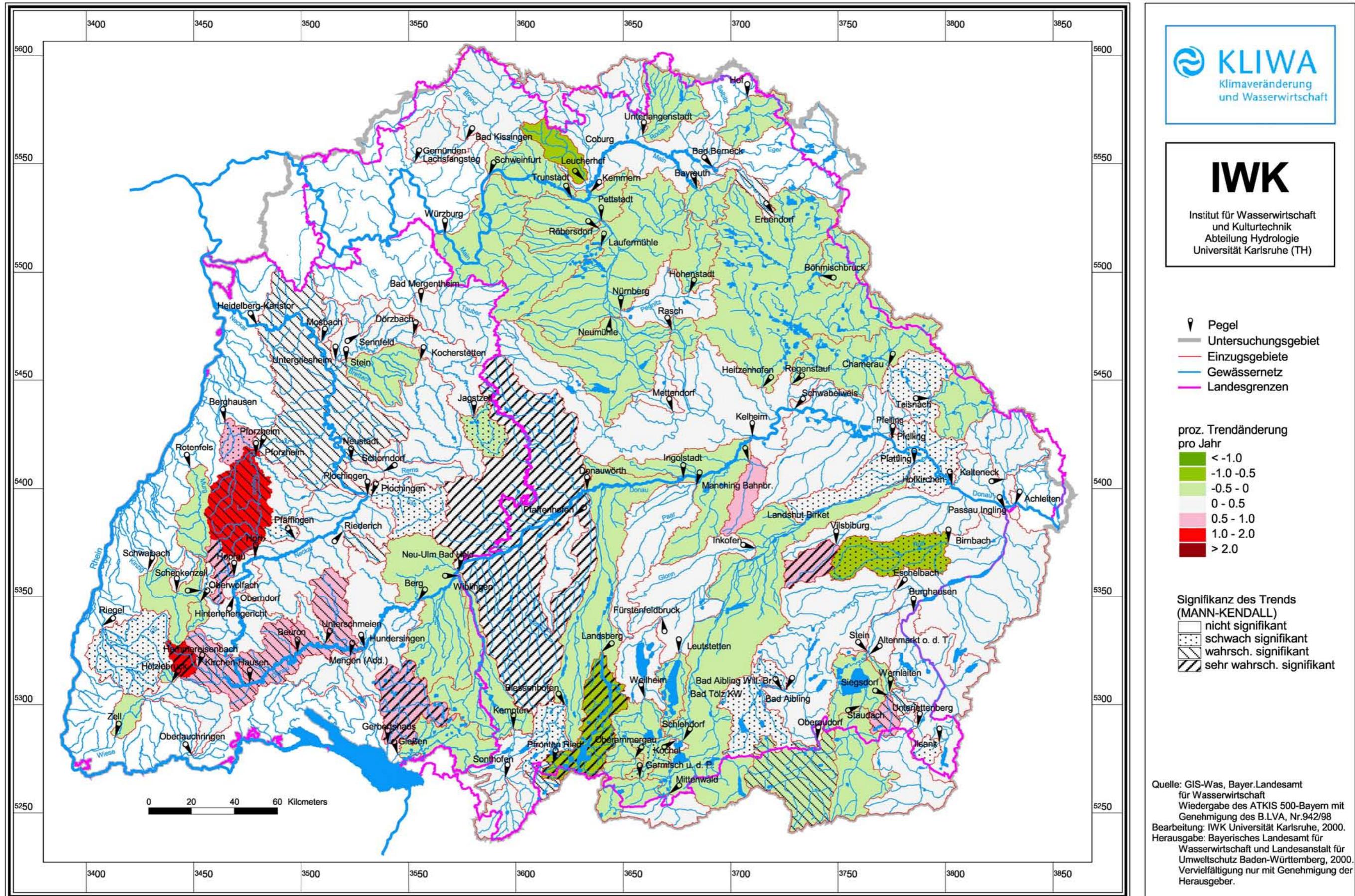
- Pegel
- Untersuchungsgebiet
- Einzugsgebiete
- Gewässernetz
- Landesgrenzen

- Flussgebiete
- Donau
 - Elbe
 - Main
 - Neckar
 - Rhein

Quelle: GIS-Was, Bayer.Landesamt für Wasserwirtschaft
 Wiedergabe des ATKIS 500-Bayern mit Genehmigung des B.LVA, Nr.942/98
 Bearbeitung: IWK Universität Karlsruhe, 2000.
 Herausgabe: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 2000.
 Vervielfältigung nur mit Genehmigung der Herausgeber.

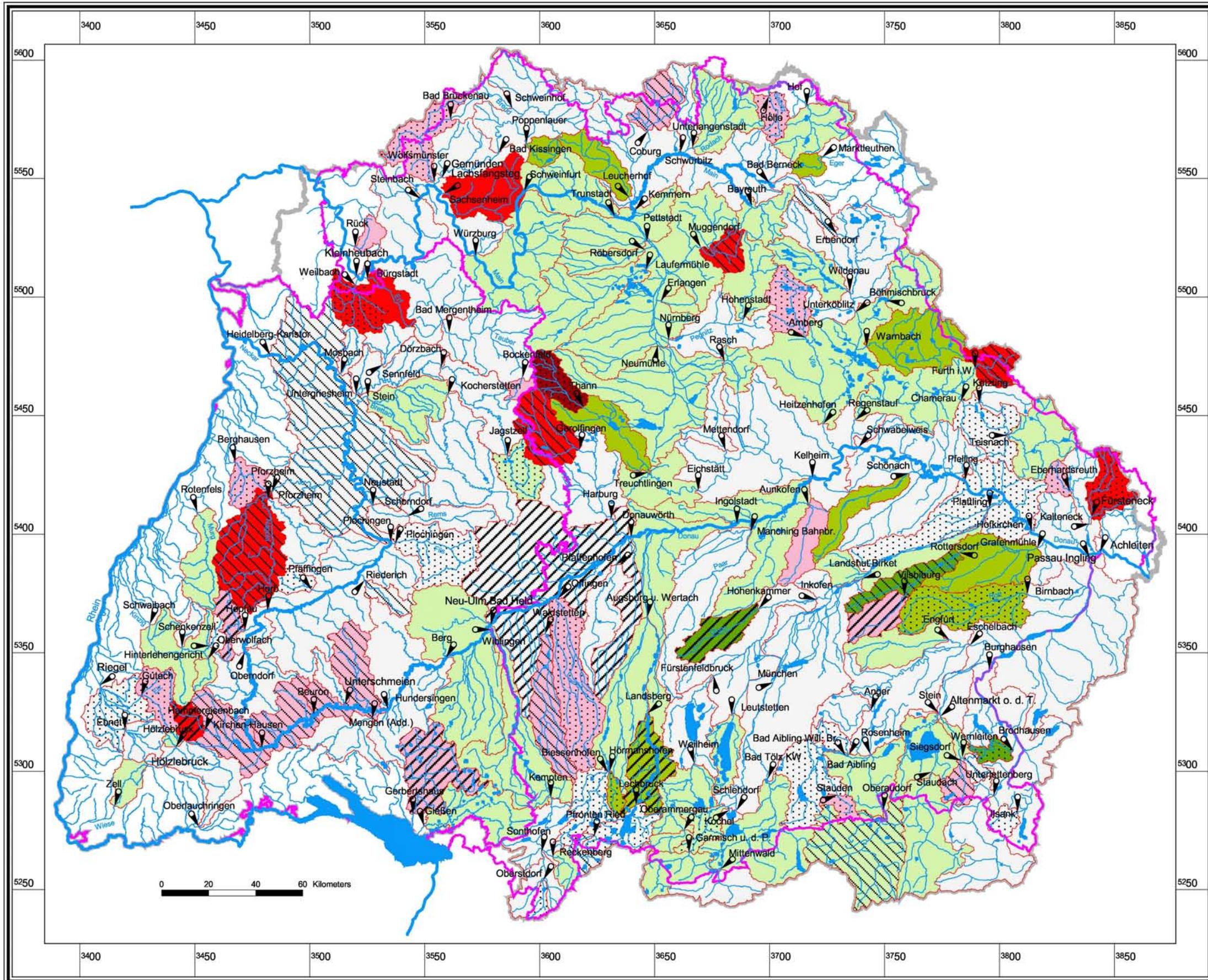
Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse HQ(J)

Karte 2: Prozentuale Trendänderung bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss und Signifikanz des Trends nach Mann-Kendall (lange Zeitreihen mit Beobachtungsbeginn 1932 und früher)



Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse HQ(J)

Karte 3: Prozentuale Trendänderung bezogen auf den mittleren jährlichen Hochwasserabfluss und Signifikanz des Trends nach Mann-Kendall "gesamte Zeitreihen" (alle einbezogenen Pegel)



IWK
 Institut für Wasserwirtschaft
 und Kulturtechnik
 Abteilung Hydrologie
 Universität Karlsruhe (TH)

- 📍 Pegel
- ▭ Untersuchungsgebiet
- Einzugsgebiete
- Gewässernetz
- Landesgrenzen

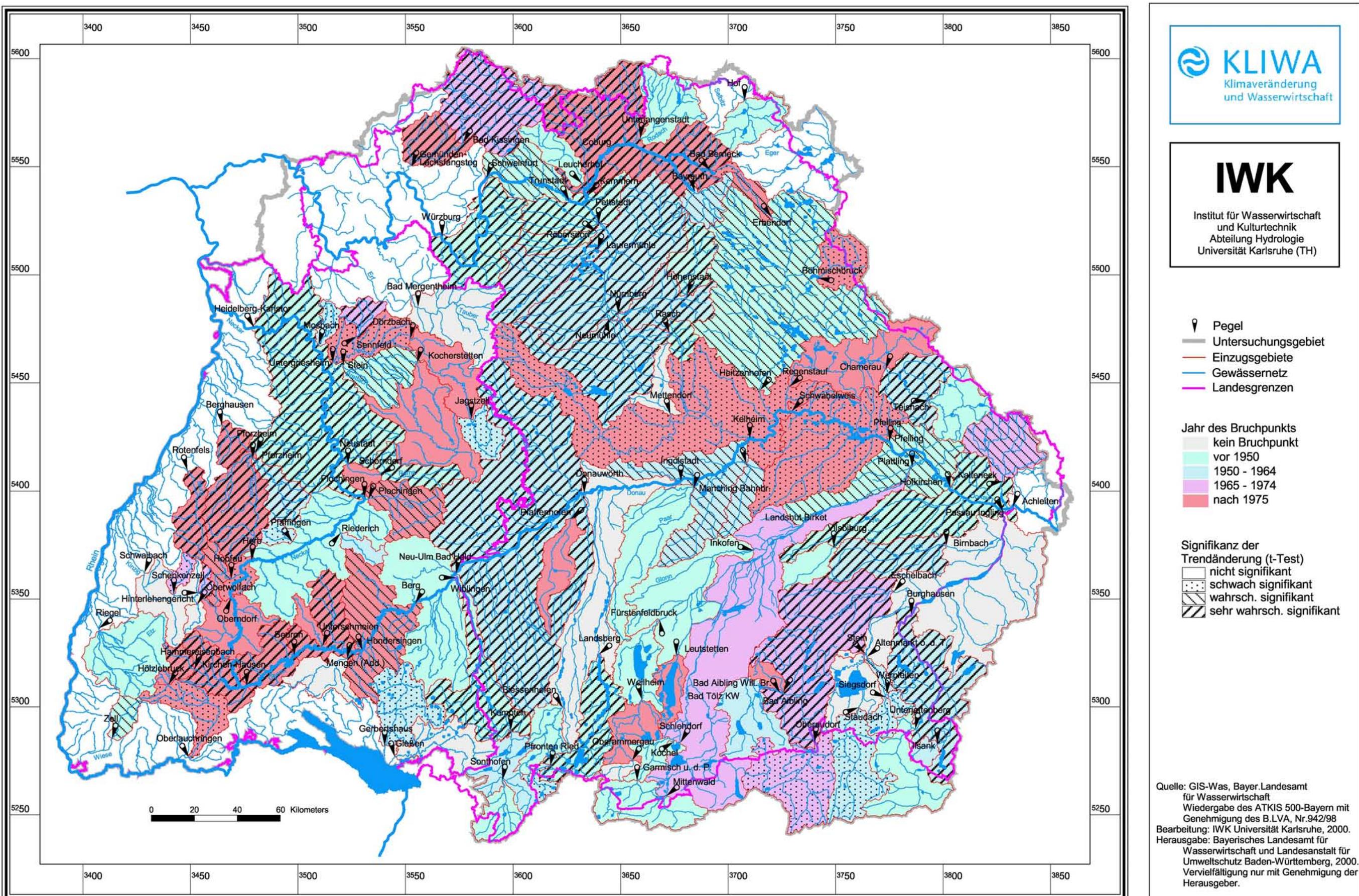
- proz. Trendänderung pro Jahr
- <math>< -1.0</math>
 - 1.0 -0.5
 - 0.5 - 0
 - 0 - 0.5
 - 0.5 - 1.0
 - 1.0 - 2.0
 - > 2.0

- Signifikanz des Trends (MANN-KENDALL)
- ▭ nicht signifikant
 - schwach signifikant
 - wahrsch. signifikant
 - sehr wahrsch. signifikant

Quelle: GIS-Was, Bayer.Landesamt für Wasserwirtschaft
 Wiedergabe des ATKIS 500-Bayern mit Genehmigung des B.LVA, Nr.942/98
 Bearbeitung: IWK Universität Karlsruhe, 2000.
 Herausgabe: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 2000.
 Vervielfältigung nur mit Genehmigung der Herausgeber.

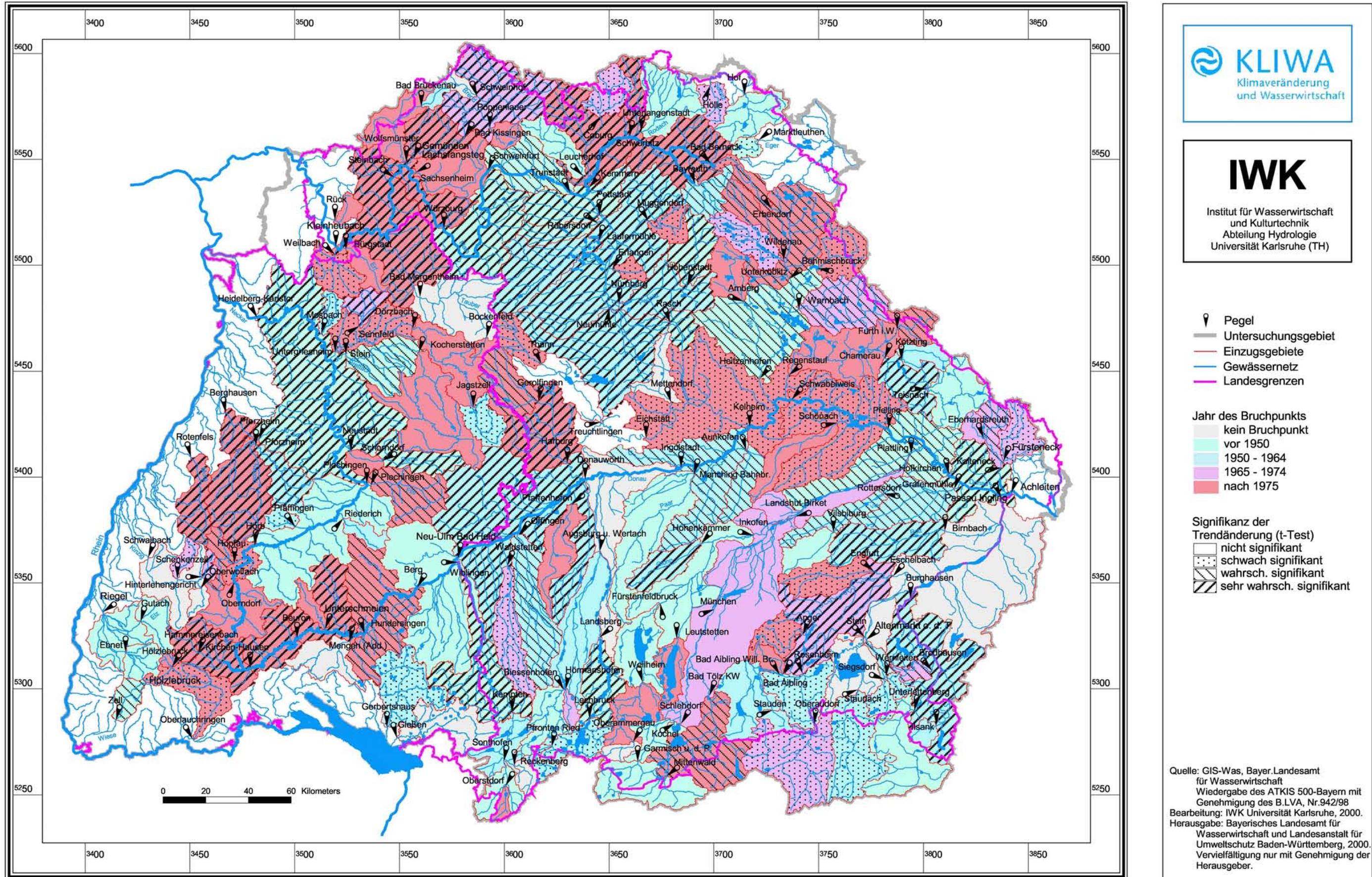
Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse HQ(J)

Karte 4: Jahr des wahrscheinlichen Zeitpunkts einer Änderung des Abflussverhaltens (lange Zeitreihen mit Beobachtungsbeginn 1932 und früher) mit Angabe der Signifikanz



Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse HQ(J)

Karte 5: Jahr des wahrscheinlichen Zeitpunktes einer Änderung des Abflussverhaltens (gesamte Zeitreihen, alle einbezogene Pegel) mit Angabe der Signifikanz





12 Literatur

- [1] Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse an ausgewählten Pegeln in Baden-Württemberg und Bayern Abschlußbericht zu KLIWA-Projekt A 2.1.3 der Universität Karlsruhe, Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, 2001