

# **Trends der mittleren und extremen Abflüsse in der Steiermark**

Diplomarbeit

zur Erlangung der  
Mag<sup>a</sup>.rer.nat  
am Institut für Geographie und Raumforschung  
der Karl-Franzens-Universität Graz

vorgelegt von

**Prettenhofer Agnes**

Betreuer:

AO. Univ.– Prof. Dr. Gerhard-Karl LIEB  
Institut für Geographie und Raumforschung

Graz, 2004

An dieser Stelle erkläre ich, die vorliegende Arbeit allein und ohne fremde Hilfe und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur verfasst zu haben.

Prettenhofer Agnes

## **Vorwort**

Der Hauptgrund für die Wahl dieser Diplomarbeit besteht darin, durch Zufall einen Aushang über ebendiese Arbeit rechtzeitig gesehen zu haben.

Für die Diplomarbeit stand für mich schon recht früh nur ein physiogeographisches Thema zur Debatte. „Trends der mittleren und extremen Abflüsse in der Steiermark“ gefiel mir von der Grundidee sehr gut, es ist interessant, aktuelle Arbeiten in der Art und Weise gibt es noch nicht und es stellt eine Herausforderung dar.

Als positiv zu bewerten ist auch, dass die Arbeit von der Fachabteilung 19A in Auftrag gegeben ist. So ist es möglich gewesen stets einen hohen Praxisbezug zu haben. Die Messfahrten vermittelten ein realistisches Bild über Abflussmessungen und mit welchen Schwierigkeiten man umzugehen lernen muss.

## **Danksagung**

Großer Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, Anton und Margarethe Prettenhofer, die in all den Jahren meines Studiums zuerst mit Geduld und dann schon eher mit Zweifeln mein Weiterkommen beobachtet haben. Danke auch an Martin und an meine „Frau Kollegin“ Sandra B. für ihre Aufmunterungen in einer Zeit, in der Hilfe Not tat.

Dankbar bin ich auch für den Zufall, zu dieser Diplomarbeit gekommen zu sein. Ein Aushang für ebendiese Diplomarbeit am Anschlagbrett machte mich neugierig, und alles Weitere folgte.

Ich bedanke mich bei Prof. Lieb, der mir bei den Formalitäten rund um die Diplomarbeit sehr half. Bedanken möchte ich mich auch bei Prof. Wakonigg und Prof. Lazar, die mein Interesse an der Physiogeographie geweckt und stets aufrechterhalten haben.

Der Auftraggeber dieser Diplomarbeit ist das Amt der Steiermärkischen Landesregierung.

Dank für die direkte Unterstützung bei der Diplomarbeit gilt DI Dr. Robert Schatzl von der Fachabteilung 19A – Wasserwirtschaftliche Planung und Hydrographie, Referat 1 - Hydrographie. Es war eine sehr gute Zusammenarbeit, bei der ich auch Einblick in den beruflichen Alltag erhalten habe. Vielen Dank!

Ein Danke gilt auch Dr. J. Ihringer von der Universität Karlsruhe.

Zuletzt bedanke ich mich bei all meinen Freunden, die mich mit Geduld und einer bewundernswerten Ausdauer und Regelmäßigkeit schon seit über einem Jahr ständig fragen, wann ich denn endlich „fertig“ sei. Nun, es ist soweit, vielen Dank für euer Interesse!

## **Zusammenfassung**

Ziel dieser Arbeit ist Trends der mittleren und extremen Abflüsse in der Steiermark aufzuzeigen (Mittelwerte des Abflusses, Hochwasser und Niedrigwasser). Anhand von langen Reihen monatlicher und jährlicher Abflussdaten sollen mit Hilfe statistischer Auswerteverfahren mögliche Veränderungen im Abflussverhalten nachgewiesen werden.

Die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg erarbeitete bereits im Jahre 2002 eine Trendanalyse für ihr Bundesland (LUFT et al., 2002). An der Universität Karlsruhe wurde ein EDV-Programmpaket entwickelt, speziell für die Analyse von hydrologischen und geophysikalischen Zeitreihen.

Die Trendanalyse der Abflüsse in der Steiermark ist nach dem Vorbild von Baden-Württemberg durchgeführt worden. So ist auch das Softwarepaket von der Universität Karlsruhe erworben worden.

Zu Beginn der Arbeit werden die untersuchten Pegel beschrieben. Danach folgt die Datenprüfung der Zeitreihen. Die eigentliche Trendanalyse beinhaltet einige verschiedene statistische Arbeitsmethoden: der Trend selbst wird berechnet (Steigungsmaß über die Jahre oder pro Jahr), die Bruchpunkte oder der wahrscheinliche Zeitpunkt der Trendänderung und schließlich werden alle Pegelinzugsgebiete der Steiermark miteinander verglichen. Als Endergebnis werden 3 Karten gezeigt, die die Trendänderungen über die Beobachtungsjahre für den mittleren Abfluss, Hochwasser und für Niedrigwasser darstellen.

Das Ergebnis ist, dass das Langzeitverhalten der Abflüsse steiermarkweit kein einheitliches Verhalten zeigt.

Inwieweit das Niederschlagsverhalten und daraus resultierend das Abflussverhalten durch klimatische Änderungen geprägt ist, kann aufgrund dieser Arbeit nicht beurteilt werden. Die Diplomarbeit kann als ein Versuch einer Einführung in diese komplexe Thematik gesehen werden.

# **Trends in mean and extreme streamflows in Styria**

## **Summary**

This compilation aims to analyse the effective parameters of streamflow, like monthly and annual means, as well as flood runoff and low water in order to identify variations and trends in possibly long time series in Styria.

This work was done in cooperation with the university of Karlsruhe and the State of Baden-Württemberg. After Luft et al. 2002 had investigated trends in mean and extreme streamflows in Baden Württemberg the idea was born to do the same analysis in Styria because of the importance of world wide water balance.

This thesis is a commissioned work of the Styrian central government of hydrography. The person in charge is Mr. Dr. Robert Schatzl.

The paper starts with the election of the most practical level control stations with long time series of measurement. The datas were checked on steadiness. The main analyses were done with a special software program of the university of Karlsruhe. So we got results on trends, the moment of trend changing, water regimes with changing look and at last a trend comparison of all catchment areas of Styria.

The long term pattern of streamflow is not uniform throughout the country. Whether the precipitation pattern and the streamflow is already influenced by climate change cannot yet be proven by the approach of this work.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	3
Zusammenfassung.....	5
Trends in mean and extreme streamflows in Styria .....	6
Summary .....	6
1. Einleitung und Zielsetzung.....	10
2. Vorbereitungsarbeiten der Trendanalyse.....	12
2.1. Allgemeines zu Abflussmessungen in der Steiermark .....	13
2.1.1. Durchflussmessungen.....	13
2.1.2. Untersuchte Pegel-Einzugsgebiete .....	14
2.1.3. Definition von Zeitreihen.....	16
2.1.4. Pegel-Einzugsgebiete mit erfüllten Kriterien für Zeitreihen .....	17
2.2. Voruntersuchungen zur Konsistenz der Abflusszeitreihen.....	19
2.2.1. Testen auf Normalverteilung: .....	19
2.2.2. Testen mit dem Ausreißertest nach DIXON.....	20
2.2.3. Ergebnisse aus den Testverfahren .....	20
2.2.4. Ausreißer: Messfehler oder Naturereignis .....	24
3. Untersuchungen auf Veränderungen im Jahresgang .....	28
3.1. Bruchpunktanalyse .....	28
3.2. Analyse der Jahresregime .....	30
3.2.1. Definition Abflussregime .....	31
3.2.2. Ergebnisse der Auswertung der Jahresgänge .....	34
3.2.3. Mögliche Ursachen.....	44
4. Trendanalyse.....	48
4.1. Allgemeines zu Trendberechnungen .....	48
4.2. Ergebnisse der Trendanalyse .....	50
4.2.1. Trendanalyse der mittleren jährlichen Abflüsse.....	53
4.2.2. Trendanalyse der jährlichen Hochwasserabflüsse.....	55
4.2.3. Trendanalyse der jährlichen Niederwasserabflüsse .....	56
4.2.4. Trendanalyse einzelner Monate.....	57

<b>5. Trendänderungen.....</b>	<b>58</b>
<b>5.1. Änderungen nach dem Bruchpunkt .....</b>	<b>61</b>
<b>6. Ergebnisse der Trendberechnungen.....</b>	<b>64</b>
<b>6.1. Analyse der mittleren jährlichen Abflüsse.....</b>	<b>64</b>
<b>6.1.1. Trendverhalten der mittleren monatlichen Abflüsse.....</b>	<b>65</b>
<b>6.1.2. Jahrgang der mittleren monatlichen Abflüsse .....</b>	<b>65</b>
<b>6.1.2. Mittlere Abflüsse einzelner Monate.....</b>	<b>65</b>
<b>6.1.4. Mögliche Ursachen .....</b>	<b>66</b>
<b>6.2. Analyse der Hochwasserabflüsse .....</b>	<b>67</b>
<b>6.2.1. Trendverhalten der jährlichen Höchstabflüsse.....</b>	<b>67</b>
<b>6.2.2. Jahrgang der jährlichen Höchstabflüsse .....</b>	<b>68</b>
<b>6.2.3. Höchstabflüsse einzelner Monate .....</b>	<b>68</b>
<b>6.3. Analyse der Niederwasserabflüsse.....</b>	<b>70</b>
<b>6.3.1. Trendverhalten der jährlichen Niederwasserabflüsse.....</b>	<b>70</b>
<b>6.3.2. Jahrgang der jährlichen Niederwasserabflüsse .....</b>	<b>71</b>
<b>4.3.3. Niederwasserabflüsse einzelner Monate .....</b>	<b>72</b>
<b>7. Schlussfolgerungen.....</b>	<b>73</b>
<b>8. Literatur- und Quellenverzeichnis .....</b>	<b>80</b>
<b>8.1. Literatur .....</b>	<b>80</b>
<b>8.2. Internet-Zitate .....</b>	<b>82</b>
<b>9. Anhang .....</b>	<b>84</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchte Pegel der Steiermark (Pegel/Gewässer) .....	16
Abbildung 2: Testen auf Normalverteilung am Pegel LEOBEN von 1948 bis 2002 .....	21
Abbildung 3: Ausreißertest nach DIXON am Pegel Leoben .....	22
Abbildung 4: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflüsse NQ(M) am Pegel Obertraun .....	32
Abbildung 5: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflüsse MQ(M) am Pegel Wildalpen .....	33
Abbildung 6: Mittlere jährliche Abflüsse MQ(J) am Pegel Tillmitsch an der Laßnitz .....	50
Abbildung 7: Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) am Pegel Liezen an der Enns .....	51
Abbildung 8: Jährliche Niederwasserabflüsse NQ(J) am Pegel Lieboch an der Kainach .....	52
Abbildung 9: Bruchpunktanalyse für die Jahresreihe NQ(J) am Pegel Lieboch .....	59
Abbildung 10: Trendanalyse am Pegel Lieboch für die Jahresreihe NQ(J) .....	60
Abbildung 11: Trendanalyse am Pegel Liezen für die Jahresreihe HQ(J) .....	61
Abbildung 12: Relativer linearer Trend in % der mittleren monatlichen Abflüsse MQ(J) .....	64
Abbildung 13: Relativer linearer Trend in % der jährlichen Höchstabflüsse HQ(J) .....	67
Abbildung 14: Trendanalyse am Pegel Anger .....	69
Abbildung 15: Relativer linearer Trend in % der mittleren monatlichen Abflüsse NQ(J) .....	70
Abbildung 16: linearer Trend am Pegel Leoben NQ(J) mit Bruchpunkt im Jahr 1975 .....	72

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: untersuchte Pegel Einzugsgebiete .....	15
Tabelle 2: korrigierte Zeitreihen mit homogenen Beobachtungszeiträumen .....	18
Tabelle 3: Ergebnisse von Normalverteilung und Ausreißertest nach DIXON .....	23
Tabelle 4: Ergebnisse der Bruchpunktanalyse nach Monatswerten .....	29
Tabelle 5: Zusammengefasste korrigierte Bruchpunkte .....	30
Tabelle 6: Auswertung der mittleren monatlichen Abflüsse MQ(M) .....	36
Tabelle 7: Auswertung der monatlichen Höchstabflüsse HQT(M) .....	39
Tabelle 8: Auswertung der monatlichen Niedrigabflüsse NQT(M) .....	42
Tabelle 9: Errechnete Trends für alle MQ(J) Pegel .....	53
Tabelle 10: Errechnete Trends für alle HQ(J) Pegel .....	55
Tabelle 11: Errechnete Trends für alle NQ(J) Pegel .....	56
Tabelle 12: Errechnete Trends für einzelne ausgewählte Monate .....	57
Tabelle 13: Bruchpunktanalyse mit Jahreswerten und der Wahrscheinlichkeit auf Trendänderung .....	58
Tabelle 14: Ergebnisse der linearen Trendberechnung mit Bruchpunkten für MQ, HQ und NQ Jahresreihen .....	62
Tabelle 15: Bruchpunktanalyse einzelner Monatsreihen .....	63
Tabelle 16: Gesamtergebnis der Trendberechnungen .....	73

# 1. Einleitung und Zielsetzung

In den Medien wird immer öfter von Klimaänderungen berichtet. Nach heutigem Erkenntnisstand ist aufgrund des Treibhauseffektes in den nächsten 100 Jahren mit einem Temperaturanstieg von 1,4 bis 5,8° K zu rechnen (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, IPPC Bericht, 2001).

Es folgt ein kurzer Auszug aus diesem Bericht: „Die durchschnittliche Höhe des Meeresspiegels ist weltweit gestiegen. Gezeitenmessungen ergeben, dass die weltweite durchschnittliche Höhe des Meeresspiegels im 20. Jahrhundert zwischen 0,1 und 0,2 Metern gestiegen ist. Auf den Kontinenten der mittleren und höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre haben Niederschläge mit jedem Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts sehr wahrscheinlich um 0,5 % bis 1 % zugenommen. In den mittleren und höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre ist die Häufigkeit heftiger Niederschläge in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts um 2 % bis 4 % angestiegen. Über den Landflächen mittlerer und höherer Breiten hat die Wolkenbedeckung in etwa um 2 % zugenommen. In den meisten Gebieten besteht ein Zusammenhang zwischen dieser Entwicklung und der beobachteten Abnahme der täglichen Temperaturschwankungen.“

Ein Temperaturanstieg führt allgemein zu einer Intensivierung des Wasserkreislaufs, was sich in erhöhten Niederschlags- und Verdunstungsraten äußern kann. Mögliche Veränderungen sind aber auch am Ausmaß von Hochwasserereignissen und an Niedrigwasser erkennbar.

In jüngster Vergangenheit sind in einigen Flussgebieten der Steiermark Hochwässer aufgetreten (Enns, im August 2002). Parallel zu Hochwasserereignissen kam es zu großen Sommertrockenheiten mit Niedrigwasser (gut ersichtlich 2003), ab etwa Anfang Mai wurden großteils die langjährigen Minima erreicht oder gar unterschritten (Hydrographischer Dienst Steiermark, 2003).

Sind dies bereits Anzeichen für eine Klimaänderung? Liegt eine Intensivierung des Wasserkreislaufs vor?

Um eine Antwort auf diese Fragen zu erhalten müssen komplexe Untersuchungen des Wasserkreislaufs durchgeführt werden.

Stark vereinfacht versteht man unter Wasserkreislauf die durch die Sonne angetriebenen Zustands- und Ortsveränderungen des Wassers. Der Wasserkreislauf ist der Weg des Wassers vom Meer über die Verdunstung, den atmosphärischen Wasserdampftransport und den Niederschlag zum Land sowie über die Flüsse zum Meer. (FANK, 2002). Quantitativ wird der Wasserkreislauf in der **Wasserbilanzgleichung** beschrieben:

$$P = E + R + \Delta S$$

(P Precipitation (Niederschlag), E Evapotranspiration (Verdunstung), R Runoff (Abfluss),  $\Delta S$  Änderung Storage (Speicherung)).

Um eine einigermaßen exakte Aussage über die Veränderungen im hydrologischen Verhalten der Steiermark treffen zu können, müssten alle Komponenten des Wasserkreislaufs gesondert untersucht werden. Die vereinfachte Form der Bilanzgleichung  $P = E + R$  (das umlaufende Wasservolumen und die Wasserreserven in den Speichern bleiben langfristig gleich) wäre schon ausreichend, ist hinsichtlich der Bearbeitung aber sehr aufwendig. Alle Teilbereiche der Wasserbilanzgleichung sind eigene wissenschaftliche Teilbereiche, die spezielles Expertenwissen voraussetzen.

Zum Niederschlagsverhalten in der Steiermark liegt bereits eine Arbeit vor: Die Niederschlagsverhältnisse der Steiermark in den letzten 100 Jahren (Hydrographischer Dienst Steiermark, 2002). In diesem Bericht werden langjährige Niederschlagsdaten der Steiermark (1901 bis 2000) mit den aktuellen Jahresniederschlagssummen des Jahres 2001 verglichen. Die Kernaussage dieser Arbeit ist, dass lediglich in der Obersteiermark an den Stationen Gößl, Mürzsteg und Oberwölz ein positives Trendverhalten vorliegt, alle übrigen Stationen (Schladming, Hieflau, Bruck an der Mur, Vorau, St. Johann bei Herberstein, Kirchbach, Ligist, Stainz, Graz) hingegen durchwegs einen negativen Trend zeigen. Südlich der Mur- Mürz Furche ist bis auf Kirchbach an sämtlichen untersuchten Stationen der bisher registrierte langjährige Minimalwert unterschritten worden.

Daraus ließe sich schließen, dass der Trend in Bezug auf die Abflüsse in etwa gleichartig sein müsste. Für das Abflussverhalten der Flüsse in der Steiermark gibt es noch keine objektive Bewertung, es liegt keine bekannte Trendanalyse vor. Diese Arbeit kann als ein erster Schritt für derartige Analysen des Abflussverhaltens angesehen werden.

Ziel dieser Arbeit ist nun, Veränderungen im Abflussverhalten der Flüsse in der Steiermark festzustellen und mögliche langfristige Trends aufzuzeigen.

Erst wenn etwaige Trends bekannt sind, können Ursachen ausgeforscht und dahingehende wasserwirtschaftliche Maßnahmen getroffen werden. Die Ursachenforschung wäre interessant für eine eventuell folgende Diplom- oder Doktorarbeit, in diesen Ausführungen soll aber nicht näher darauf eingegangen werden, da das eigentliche Thema ja der Trend ist.

Die Trends werden mit Abflussmittelwerten, aber auch mit Extremwerten (höchster Abfluss im Monat, Tagesmittelwert und niedrigster Abfluss im Monat, Tagesmittelwert) berechnet.

Die Hauptaufgabe der vorliegenden Diplomarbeit ist die Berechnung eines linearen Trends für Jahresreihen von Abflüssen in der Steiermark.

Die Arbeitsmethodik dieser Diplomarbeit lässt sich in Teilbereiche unterteilen: Datenbeschaffung, Zeitreihenanalyse und Rechercharbeiten für eine Interpretation der Ergebnisse. Die Abflussdaten sowie Karten sind von der FA 19A bereitgestellt worden. Die Hauptaufgabe ist die Zeitreihenanalyse mit Trendauswertung. Sämtliche Berechnungen sind mit dem eigens von der Universität Karlsruhe entwickelten Softwarepaket für hydrologische - geophysikalische Zeitreihen durchgeführt worden. Abbildungen (Diagramme) sind mit dem Programm Adobe Photoshop 5.5 nachbearbeitet worden.

Die größten Schwierigkeiten bei der Bewältigung der Arbeitsaufgabe lagen bei der Einarbeitung in das Softwarepaket und in die fachspezifische Statistik.

## **2. Vorbereitungsarbeiten der Trendanalyse**

Dem Titel der Diplomarbeit ist bereits zu entnehmen, dass es sich bei dem zu untersuchenden Gebiet um die Steiermark handelt. Die Steiermark besteht hydrologisch gesehen aus 4 Flusssystemen: Traun, Enns, Mur und Raab. Die Einzugsgebiete dieser Flüsse sollen möglichst gut erfasst werden, um steiermarkweit eine gute flächenmäßige Abdeckung zu erhalten. So ist es sinnvoll auch Teileinzugsgebiete zu bearbeiten.

Für ein besseres Verständnis der folgenden Ausführungen wird einleitend Grundlegendes zur Thematik Abfluss erklärt.

## **2.1. Allgemeines zu Abflussmessungen in der Steiermark**

### **2.1.1. Durchflussmessungen**

Wasserstandsmessungen sind in der Steiermark schon gegen Ende des 19. Jahrhunderts durchgeführt worden. Diese Messungen zeigen aber keine Regelmäßigkeit in ihrer Durchführung. An einigen Pegeln sind Umrechnungsschlüssel angegeben um von Wasserstandswerten in cm zu Abflusswerten in  $\text{m}^3/\text{s}$  zu gelangen (ungenau). Abflussmessungen werden in der Steiermark erst ab dem Jahr 1951 mit einheitlichem Messstandard und chronologisch fortlaufend betrieben. Die Messungen erfolgen an eigenen Pegelstationen. Zur kontinuierlichen Aufzeichnung des Wasserstands sind Schwimmerschreibpegel oder Druckluftpegel in Verwendung.

Ziel der Durchflussmessung (Abfluss) ist es, das Dargebot an Oberflächenwasser in ausgewählten Flussquerschnitten zu bestimmen (DYCK u. PESCHKE, 1995). Als Abfluss wird der gesamte Volumenfluss je Zeiteinheit, der das Einzugsgebiet ober- bzw. unterirdisch durch den Abflussquerschnitt oder an anderer Stelle unterirdisch verlässt, verstanden. Im Gegensatz dazu wird unter dem Begriff Durchfluss der Volumenfluss, der je Zeiteinheit durch einen Oberflächengewässerquerschnitt fließt, verstanden (DYCK u. PESCHKE 1995).

Streng genommen behandelt die Diplomarbeit Durchflussmessungen. In der Literatur werden die Begriffe Durchfluss und Abfluss sehr großzügig und nur selten definitionsgemäß richtig verwendet, beziehungsweise liegen verschiedene Definitionen vor: Unter dem Abfluss versteht man in der Hydrologie das Wasservolumen, das pro Zeiteinheit einen definierten oberirdischen Fließquerschnitt (Abflussquerschnitt) durchfließt. Gelegentlich wird auch der Begriff Durchfluss verwendet (BAUMGARTNER und LIEBSCHER, 1996). In dieser Arbeit sollen die Begriffe Durchfluss und Abfluss als gleichwertig betrachtet werden und sich jeweils auf den oberirdischen Querschnitt der Wassermenge beziehen (in Anlehnung an die Arbeit von Baden-Württemberg).

Der Durchfluss (Q) kennzeichnet in der Hydrologie das Wasservolumen, welches pro Zeiteinheit einen definierten oberirdischen Fließquerschnitt durchfließt ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

Früher wurde die Wasserführung eines fließenden Gewässers durch den Wasserstand in cm gekennzeichnet. Da der Wasserstand nichts über die Wasserführung (Menge) aussagt, ist man dazu übergegangen, die Wasserführung eines oberirdischen Fließgewässers durch den Durchfluss zu kennzeichnen.

Durchfluss- oder Abflussmessungen erfassen die in der Sekunde den Abflussquerschnitt durchfließende Wassermenge. Die Bestimmung der Abflusswerte erfolgt über die Messung des Wasserstandes und dessen Umrechnung zum Abfluss aufgrund der Wasserstand-Abfluss-Beziehung (Schlüsselkurve), die an jeder Messstation gesondert ermittelt werden muss (FANK, 2002). Der Durchfluss errechnet sich durch die Multiplikation von Fließgeschwindigkeit  $v$  mit der Gewässerquerschnittsfläche  $A$ . Als Maßeinheit werden üblicherweise  $\text{m}^3/\text{s}$  oder auch  $\text{l/s}$  verwendet.

### **2.1.2. Untersuchte Pegel-Einzugsgebiete**

Steiermarkweit gibt es über 220 Pegelstationen des Hydrographischen Dienstes. Für die eigentliche Trenduntersuchung wurden 12 Pegel mit Teileinzugsgebieten ausgewählt. Tabelle 1 enthält die Größe der jeweiligen Einzugsgebiete, Pegel, Gewässer und Zeitspanne der Beobachtung. Die Pegel sollen einen möglichst langen Beobachtungszeitraum aufweisen, von guter Qualität sein und die Landesfläche gut repräsentieren.

Die 12 Pegel erfassen mit rund  $13.699 \text{ km}^2$  flächenmäßig 83 % der gesamten Landesfläche (Fläche der Steiermark:  $16388 \text{ km}^2$ ). Die Pegeldata sind den Jahrbüchern des hydrographischen Dienstes entnommen. Ab 1951 liegen Abflusswerte in digitaler Form vor, alle Werte vor 1951 sind aus den Jahrbüchern erarbeitet (1888 – 1950 sind händisch durchgesehen worden, teilweise sind Wasserstände in cm über Schlüsselkurven in  $\text{m}^3/\text{s}$  umgerechnet worden).

Nr.	Messstellennr.	Pegel / Gewässer	AE km <sup>2</sup>	Zeitspanne			Zeitreihe in Jahren		
				MQ(M)	HQT(M)	NQT(M)	MQ(M)	HQT(M) NQT(M)	
<b>Traungebiet</b>									
1	205 104	Obertraun / Traun	334,40	1948 - 2002	1951 - 1999	1951 - 1999	55	49	
<b>Ennsgebiet</b>									
2	210 799	Liezen / Enns	2116,20	1948 - 2002	1951 - 2002	1951 - 2002	55	52	
3	210 898	Wildalpen / Salza	592,30	1951 - 2002	1951 - 2002	1951 - 2002	52	52	
<b>Murgebiet</b>									
4	211 185	Leoben / Mur	531,24	1909 - 1913 1918 - 1920 1948 - 2002	1951 - 2002	1951 - 2002	63	52	
5	211 573	Graz / Mur	6988,90	1966 - 2002	1966 - 2002	1966 - 2002	37	37	
6	211 227	Neuberg / Mürz	231,50	1961 - 2002	1961 - 2002 das Jahr 1997 fehlt	1961 - 2002	41	41	
7	211 342	Lieboch / Kainach	756,20	1912, 1913 1921, 1922 1925, 1926 1950 - 2002	1951 - 2002	1951 - 2002	59	52	
8	211 441	Tillmitsch / Laßnitz	272,20	1961 - 2002	1961 - 2002 die Jahre 1971 - 1973 fehlen	1961 - 2002	39	39	
9	211 458	Leibnitz / Sulm	1102,50	1912, 1913 1949 - 2002	1951 - 2002	1951 - 2002	56	52	
<b>Raabgebiet</b>									
10	210 989	Feldbach / Raab	689,40	1922 - 1926 1930, 1931 1949 - 2002	1951 - 2002	1951 - 2002	61	52	
11	211 029	Anger / Feistritz	408,00	1961 - 2001	1961 - 2001	1961 - 2001	41	41	
12	211 003	Wörth / Lafnitz	439,40	1961 - 2002	1961 - 2002	1961 - 2002	42	42	
		Summe AE km <sup>2</sup>	13 699,00				Durchschnitt	50,08	46,75

**Tabelle 1: untersuchte Pegel Einzugsgebiete mit tatsächlich beobachteten Jahren und gesamter Beobachtungsdauer, MQ(M) Monatsmittelabfluss, HQT(M) höchster Abfluss im Monat, Tagesmittelwert, NQT(M) niedrigster Abfluss im Monat, Tagesmittelwert (Datenquelle: Hydrographischer Dienst Steiermark), Quelle: Eigenentwurf**

Die längsten Zeitreihen umfassen 63 Jahre, die kürzesten 37 Jahre, das Mittel liegt beim Monatsmittelabfluss bei 50 Jahren und bei den höchsten und niedrigsten Abflüssen im Monat nach Tagesmittelwerten bei 47 Jahren.

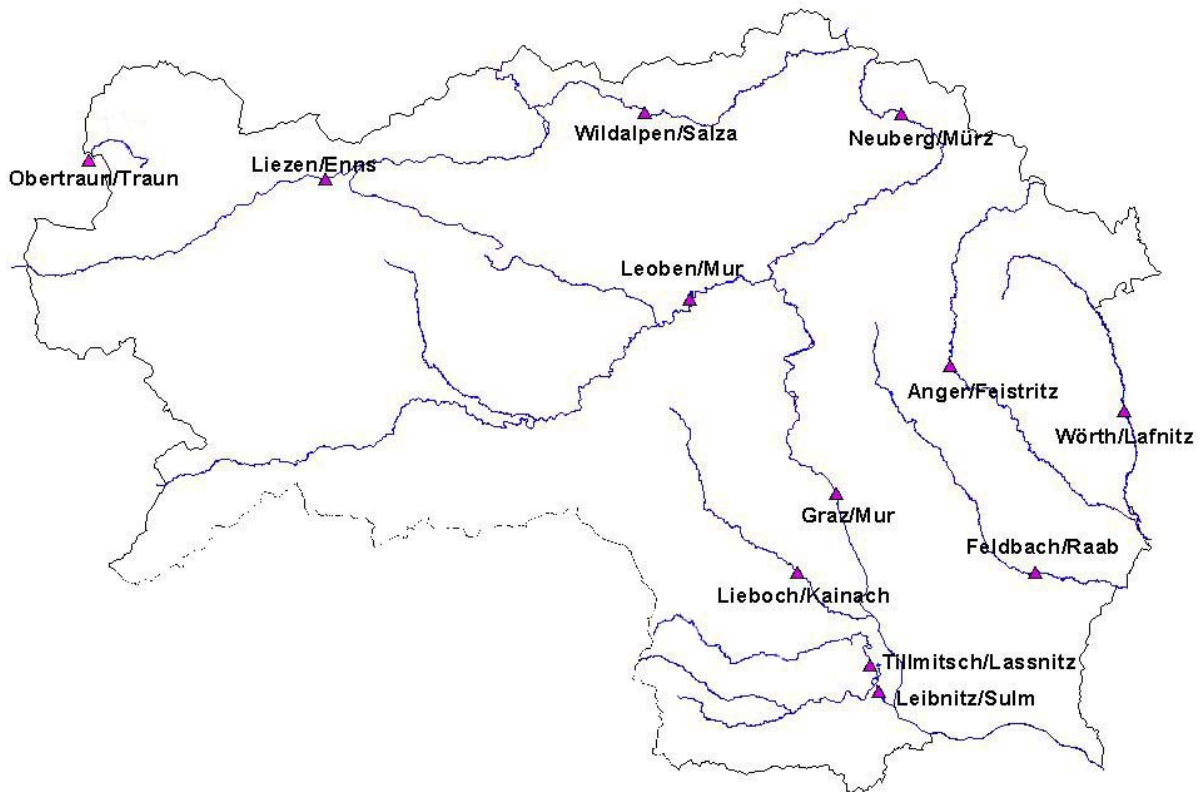


Abbildung 1: Untersuchte Pegel der Steiermark (Pegel/Gewässer), (Datenquelle: Hydrographischer Dienst), Quelle: Eigentwurf

### 2.1.3. Definition von Zeitreihen

Bei den Rohdaten handelt es sich um Zeitreihen. Es folgt eine kurze Erläuterung zur Thematik Zeitreihen: Eine Zeitreihe ist ein Datenkollektiv vom Umfang  $n$ , das sich der Reihe nach auf die diskreten Zeitschritte  $t_i$  bezieht. Unter einer diskreten Datenreihe versteht man Werte, die sich auf äquidistante Zeiten  $t_i$  beziehen, damit können feste Zeitpunkte, aber auch Zeitintervalle gemeint sein (SCHÖNWIESE, 1992).

Die Zeitschritte können konstant, unregelmäßig oder stetig sein. Ein Beispiel für stetige Zeitreihen liefern kontinuierliche Messgeräte. Pegelschreiber an Flüssen liefern prinzipiell stetige Daten. Will man nun aus dieser Reihe etwa Wochenmittelwerte errechnen, muss man die Datenreihe diskretisieren, also eine bestimmte Anzahl an Stützstellen einfügen und aus den so gebildeten Intervallen Mittelwerte bilden (MILLONIG u. WEBER, 1996). Bei den Zeitreihen der Diplomarbeit handelt es sich um stetige diskretisierte Zeitreihen.



Bevor eine Zeitreihe ausgewertet wird, sollte man sich die Qualität der Daten ansehen. Nur wenn bestimmte Kriterien erfüllt sind, können Zeitreihen wirklich aussagekräftige Ergebnisse liefern. Die beiden wichtigsten Kriterien sind eine lückenlose Beobachtung und Homogenität. (MILLONIG u. WEBER, 1996).

#### **2.1.4. Pegel-Einzugsgebiete mit erfüllten Kriterien für Zeitreihen**

Aufgrund der Definition von Zeitreihen stellt sich heraus, dass einige Messdaten nicht verwendet werden können. In manchen Fällen sind zu große Lücken in der Beobachtung vorhanden. Die Inhomogenitäten sind zu groß (z. B. der Pegel Lieboch: 1912 und 1913 wurde beobachtet, erst im Jahr 1921 und 1922 erfolgten weitere Messungen, ganze 9 Jahre fehlen, auch die Jahre 1926 bis 1950 sind nicht vorhanden, es wurden keine Messungen durchgeführt).

Bei den Vorbereitungsarbeiten zur Diplomarbeit sind die Jahrbücher des hydrographischen Dienstes vor 1950 bis zu den ältesten Exemplaren um 1890 durchgesehen worden. Die Idee war etwaige „alte“ Messdaten bei der Trendberechnung zu verwenden. Dies erwies sich aber als Trugschluss: Erstens sind die Beobachtungen zu lückenhaft, zweitens sollen Messstandort und Messinstrument während der Beobachtung unverändert gleich bleiben, was sich bei fast 100 Jahren als unwahrscheinlich herausstellt. Es liegt weder Homogenität noch Konsistenz vor, die Kriterien für Zeitreihen sind unter diesen Bedingungen nicht gegeben.

Für die Arbeit in der Steiermark wäre es wünschenswert gewesen, längere Beobachtungsreihen zu haben, aber dies war leider nicht der Fall, da keine brauchbaren Messungen vor 1950 vorhanden sind.

Tabelle 2 zeigt die korrigierten Zeitreihen mit nun lückenlosen Messungen. Die durchschnittliche Beobachtungszeit verkürzt sich von zuvor 50,08 Jahren auf nun 48,16 Jahren.

				Zeitspanne			Zeitreihe in Jahren		
Nr.	Messstellennr.	Pegel / Gewässer	A <sub>E</sub> km <sup>2</sup>	MQ(M)	HQT(M)	NQT(M)	MQ(M)	HQT(M) NQT(M)	
<b>Traungebiet</b>									
1	205 104	Obertraun / Traun	334,40	1948 - 2002	1951 - 1999	1951 - 1999	55	49	
<b>Ennsgebiet</b>									
2	210 799	Liezen / Enns	2116,20	1948 - 2002	1951 - 2002	1951 - 2002	55	52	
3	210 898	Wildalpen / Salza	592,30	1951 - 2002	1951 - 2002	1951 - 2002	52	52	
<b>Murgebiet</b>									
4	211 185	Leoben / Mur	531,24	1948 - 2002	1951 - 2002	1951 - 2002	55	52	
5	211 573	Graz / Mur	6988,90	1966 - 2002	1966 - 2002	1966 - 2002	37	37	
6	211 227	Neuberg / Mürz	231,50	1961 - 2002	1961 - 2002	1961 - 2002 das Jahr 1997 fehlt	41	41	
7	211 342	Lieboch / Kainach	756,20	1950 - 2002	1951 - 2002	1951 - 2002	53	52	
8	211 441	Tillmitsch / Laßnitz	272,20	1961 - 2002	1961 - 2002	1961 - 2002 die Jahre 1971 - 1973 fehlen	39	39	
9	211 458	Leibnitz / Sulm	1102,50	1949 - 2002	1951 - 2002	1951 - 2002	54	52	
<b>Raabgebiet</b>									
10	210 989	Feldbach / Raab	689,40	1949 - 2002	1951 - 2002	1951 - 2002	54	52	
11	211 029	Anger / Feistritz	408,00	1961 - 2001	1961 - 2001	1961 - 2001	41	41	
12	211 003	Wörth / Lafnitz	439,40	1961 - 2002	1961 - 2002	1961 - 2002	42	42	
		Summe A <sub>E</sub> km <sup>2</sup>	13 699,00				Durchschnitt	48,16	46,75

**Tabelle 2: korrigierte Zeitreihen mit homogenen Beobachtungszeiträumen, (Datenquelle: Hydrographischer Dienst Steiermark), Quelle: Eigentwurf**

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der Darstellung der Jahressgänge der mittleren monatlichen Abflüsse und der extremen monatlichen Abflüsse, Hoch- und Niedrigwasser, sowie der Berechnung linearer Trends für die Jahresreihen.

Gerechnet wird mit den Abflussgrößen:

MQ(M) Monatsmittelabfluss

HQT(M) höchster Abfluss im Monat, Tagesmittelwert

NQT(M) niedrigster Abfluss im Monat, Tagesmittelwert.

Diese Auswahl der Grunddaten ist sinnvoll, da nur Monatswerte in das Softwareprogramm eingegeben werden können. Diese Monatswerte werden programmspezifisch in Jahreswerte umgerechnet.

## **2.2. Voruntersuchungen zur Konsistenz der Abflusszeitreihen**

Die Beobachtungsdauer der Pegel ist bereits korrigiert worden, nun sollen noch die eigentlichen Messdaten einer Prüfung auf Konsistenz unterzogen werden.

Das EDV-Softwarepaket hat für diese Untersuchungen einen eigenen Programmpunkt TESTEN. Mit Hilfe dieses Unterprogramms können Zeitreihen auf unterschiedliche Art geprüft werden. Für Konsistenzprüfungen dieser Arbeit werden die Zeitreihen einerseits auf Normalverteilung untersucht und zusätzlich wird noch der Ausreißertest nach Dixon (DYCK, 1980) durchgeführt. So können mögliche falsche Messdaten ausfindig gemacht und bei Bedarf durch Fehlwerte gekennzeichnet werden.

### **2.2.1. Testen auf Normalverteilung:**

Normalverteilungen sind symmetrisch und glockenförmig und für sie gilt, dass zwischen dem Mittelwert plus der Standardabweichung  $s$  und dem Mittelwert minus  $s$  ca. 2/3 aller Werte liegen (genau 68,26 %). Erweitert man diesen Bereich auf den Mittelwert plus/minus der doppelten Standardabweichung, befinden sich in diesem Bereich ca. 95 % aller Werte.

(Die Summe der quadrierten Abweichungen aller Messwerte vom arithmetischen Mittel, dividiert durch die Anzahl aller Messwerte, ergibt die Varianz  $= s^2$ . Die Wurzel aus der Varianz ergibt die Standardabweichung  $s$ . (BORTZ, 1999)).

Unter der Annahme, dass die Zeitreihe einer Normalverteilung entspricht, kann getestet werden, ob für ein vorgegebenes Signifikanzniveau auffällige Werte in der Zeitreihe enthalten sind. (Unter Signifikanzniveau wird die Größe der maximal tolerierbaren Irrtumswahrscheinlichkeit verstanden. Die üblichen Größen für das Signifikanzniveau sind  $\alpha=5\%$  oder sogar  $\alpha=1\%$ , BORTZ, 1999).

Ein Vergleich der ermittelten Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  mit dem zuvor festgelegten Signifikanzniveau  $\alpha$  zeigt, ob das Ergebnis der Untersuchung signifikant ( $p \leq \alpha$ ) oder nicht signifikant ( $p \geq \alpha$ ) ist.

### **2.2.2. Testen mit dem Ausreißertest nach DIXON**

Eine zweite Möglichkeit die Zeitreihen auf Konsistenz zu prüfen, ist der Ausreißertest nach DIXON (DYCK, 1980). Gearbeitet wird hier auch mit dem Programm TESTEN. Schrittweise wird überprüft, ob der jeweils zu testende Wert (größter Wert, kleinster Wert oder Wert mit größtem Abstand zum Mittelwert) der Zeitreihe innerhalb oder außerhalb des Signifikanzbereiches liegt.

( $2,58 \cdot$  Standardabweichung entspricht einem Signifikanzniveau von 99 % oder einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 %).

Anders als beim ersten Test mit Normalverteilung wird beim Test nach DIXON ein Ausreißer durch Ermittlung von Mittelwert und Standardabweichung ohne Berücksichtigung des zu testenden Wertes berechnet (Anwenderhandbuch zum Softwarepaket).

### **2.2.3. Ergebnisse aus den Testverfahren**

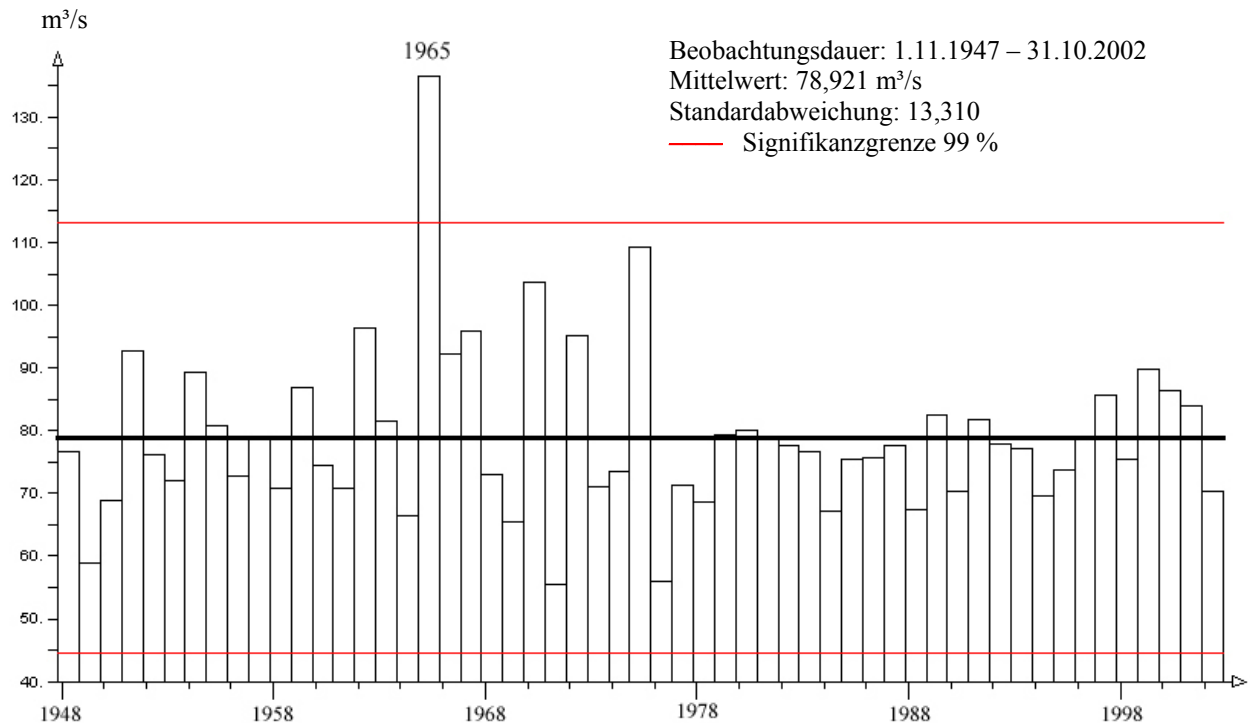
Bei beiden durchgeführten Testverfahren erhält man als Ergebnis einerseits Diagramme und andererseits Protokolle mit den berechneten Ergebnissen. Zuerst sollen nun zwei Diagramme als Beispiel für alle Pegel gezeigt werden: Die Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse des Tests auf Normalverteilung am Pegel Leoben und Abbildung 3 die Ergebnisse des Ausreißertests nach Dixon, ebenfalls am Pegel Leoben.

Die zugrunde liegende Datenart ist in beiden Fällen MQ(J), mittlere Abflüsse Jahreswerte nach Monatsmittelwerten. Der Mittelwert über die gesamte Beobachtungsdauer ist in beiden Diagrammen bei  $78,921 \text{ m}^3/\text{s}$  eingezeichnet.

Die Jahreszahlen an der Abszisse sind vom Säulenanfang jeweils etwas hereingerückt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sämtliche Berechnungen in hydrologischen Jahren durchgeführt werden. Ein hydrologisches Jahr beginnt am 1. November und endet am 30. Oktober.

## TEST auf Normalverteilung:

Pegel: **LEOBEN** 211 185



**Abbildung 2: Testen auf Normalverteilung am Pegel LEOBEN von 1948 bis 2002, einziger Ausreißer außerhalb der Signifikanzgrenze ist das Jahr 1965 (Datenquelle: Hydrographischer Dienst Steiermark), Diagramm: Eigentwurf**

Wie schon oben angeführt sind die Berechnungen mit MQ(J) Daten durchgeführt worden (Jahresmittelwerte).

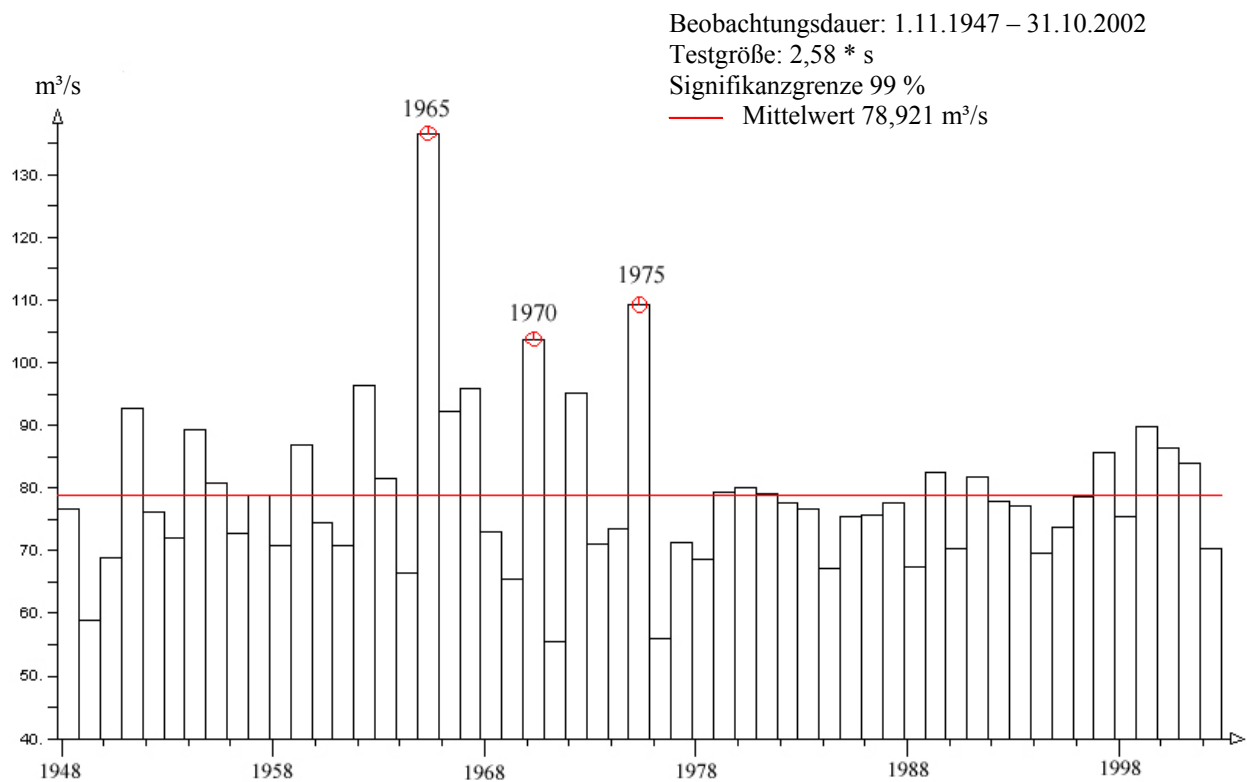
Beim Testverfahren auf Normalverteilung werden zum Mittelwert plus oder minus  $2,58 \cdot s$  gezählt. (Mittelwert plus  $2,58 \cdot s = 113,26$ , Mittelwert minus  $2,58 \cdot s = 44,58$ )

Alle Werte außerhalb dieses Signifikanzniveaus sind Ausreißer. In diesem Fall liegt ein Ausreißer im Jahr 1965 vor, mit einem Jahresmittelwert von  $136,62 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Abbildung 3 soll nun das zweite Testverfahren, den Ausreißertest nach DIXON, bildlich veranschaulichen:

### Ausreißertest nach DIXON:

Pegel: **LEOBEN** 211 185



**Abbildung 3: Ausreißertest nach DIXON am Pegel Leoben, Beobachtungszeitraum 1948 bis 2002, erkennbar sind 3 Ausreißer: 1965, 1970 und 1975, (Datenquelle: Hydrographischer Dienst Steiermark), Diagramm: Eigenentwurf**

Bei diesem Testverfahren wird ebenfalls mit Jahresmittelwerten gerechnet. Unter Testgröße versteht man die Standardabweichung, die aber in diesem Fall nicht für die gesamte Zeitreihe gilt, sondern für jeden Wert extra errechnet werden muss. Die Standardabweichung und der Mittelwert eines zu testenden Jahres (z. B. 1958) werden ohne den Wert desselben Jahres (1958) berechnet. Der Vorteil dieser Methode ist, dass jedes Jahr gesondert untersucht wird und so das Ergebnis genauer ist.

Schwellen oder Signifikanzgrenzen sind in diesem Diagramm nicht eingezeichnet, da dies zu unübersichtlich wäre (jedes Jahr hätte eigene Schwellen).

Als Ergebnis des Testverfahrens nach Dixon erhält man 3 Jahre mit Ausreißern: 1965, 1970 und 1975.

Der große Unterschied der beiden Testverfahren liegt darin, dass bei Dixon für die Berechnung der Standardabweichung und des jeweiligen Mittelwertes der gerade zu testende Wert nicht

miteinbezogen wird. So ist es auch erklärbar, dass bei gleichen Pegeln mit gleicher Beobachtungsdauer verschiedene Ergebnisse herauskommen können.

Wie schon zu Beginn des Unterkapitels erwähnt, liegen auch Ergebnisse in Form von Protokollen vor. Diese Protokolle enthalten die wichtigsten statistischen Kennzahlen wie Mittelwert, Standardabweichung  $s$ , minimale und maximale Werte sowie jene Werte, die über oder unter der Signifikanzgrenze liegen und somit Ausreißer darstellen.

In Tabelle 3 sind diese Ergebnisse dargestellt:

<b>MQ(J)</b>							
<b>Nr.</b>	<b>Pegel</b>	<b>MW</b>	<b>S</b>	<b>MW minus 2,58*S</b>	<b>MW plus 2,58*S</b>	<b>Normalverteilung Werte außerhalb Signifikanzgrenze</b>	<b>Ausreißertest nach DIXON  Testgröße 2,58*S</b>
<b>Traungebiet</b>							
1	Obertraun	20,225	3,220	11,930	28,520	keine Ausreißer	keine Ausreißer
<b>Ennsgebiet</b>							
2	Liezen	64,124	10,311	37,564	90,684	1965 ( <i>95,24</i> )	1965, 1975 ( <i>86,84</i> )
3	Wildalpen	20,249	3,634	10,880	29,609	keine Ausreißer	1965 ( <i>28,99</i> )
<b>Murgebiet</b>							
4	Leoben	78,921	13,310	44,637	113,200	1965 ( <i>136,62</i> )	1965, 1970 ( <i>103,7</i> ), 1975 ( <i>109,3</i> )
5	Graz	116,739	17,797	70,898	162,580	keine Ausreißer	1970 ( <i>154,5</i> ), 1975 ( <i>160,4</i> )
6	Neuberg	6,786	1,258	3,545	10,027	1997 (fehlt)	1965 ( <i>9,8</i> ), 1997
7	Lieboch	9,559	2,820	2,295	16,824	1965 ( <i>18,22</i> ), 1972 ( <i>18,83</i> )	1965, 1972
8	Tillmitsch	6,227	1,644	1,993	10,462	1971 - 1973 (fehlen)	1971 - 1973 (fehlen)
9	Leibnitz	15,685	4,381	4,400	26,970	keine Ausreißer	keine Ausreißer
<b>Raabgebiet</b>							
10	Feldbach	5,709	1,977	0,616	10,802	1965 ( <i>13,00</i> ), 1972 ( <i>11,36</i> )	1965, 1972
11	Anger	5,409	1,527	1,474	9,343	1965 ( <i>10,59</i> )	1965, 1972 ( <i>8,79</i> )
12	Wörth	3,736	1,214	0,610	6,862	1965 ( <i>8,47</i> )	1965

**Tabelle 3: Ergebnisse von Normalverteilung und Ausreißertest nach DIXON, in Klammer und kursiv geschriebene Abflusswerte in  $m^3/s$ , MW = Mittelwert in  $m^3/s$ , S = Standardabweichung (Datenquelle: Hydrographischer Dienst Steiermark), Quelle: Eigentwurf**

Beide Testverfahren liefern zum Teil gleiche Ergebnisse. Auffallend ist, dass bei DIXON stets mehr Ausreißer angegeben sind. Wenn bei der Normalverteilung ein auffälliges Jahr ausgewiesen wird, ist auch stets dasselbe Jahr beim Testverfahren nach Dixon angeführt. Jahre mit Ausreißern wiederholen sich an mehreren Pegeln (das Jahr 1965 kommt an den Pegeln Liezen, Wildalpen, Leoben, Neuberg, Lieboch, Feldbach, Anger und Wörth vor). So kann man

davon ausgehen, dass mögliche Ursachen im jeweiligen hydrologischen Jahr liegen. Wahrscheinlich ist, dass in diesen Jahren Extremniederschlagsereignisse vorliegen, aber mehr dazu in Kapitel 2.2.4.

Die Pegel Obertraun und Leibnitz weisen bei beiden Überprüfungsverfahren keine Ausreißer auf. Die Zeitreihen sind als homogen und konsistent zu betrachten.

Bei den Pegeln Neuberg und Tillmitsch fehlen Untersuchungsjahre, diese wurden bei den Testverfahren als Ausreißer ausgewiesen. In einem nächsten Arbeitsschritt wurden diese fehlende Jahre programmspezifisch korrigiert und durch Fehlwerte ersetzt. (Die Software erkennt fehlende Jahre nur durch eine entsprechende Kennzeichnung, die händisch nach eingetragen werden muss.)

Die Pegel Liezen, Wildalpen, Leoben, Neuberg, Lieboch, Feldbach, Anger und Wörth zeigen alle das Jahr 1965 als Extremereignis auf.

Lieboch, Feldbach und Anger haben eine weitere Auffälligkeit im Jahr 1972.

Liezen, Leoben und Graz zeigen im Jahr 1975 Ausreißer. Leoben hat als einziger Pegel auch im Jahr 1970 Ausreißer aufzuweisen.

Von Interesse ist nun, ob alle diese ausgewiesenen Jahre 1965, 1970, 1972 und 1975 als Fehlwerte zu behandeln sind, oder ob die Messwerte stimmen. Wenn die Messungen stimmen, dann sind die Jahre, welche Ausreißer aufzeigen, Jahre, in denen sich hydrologische Besonderheiten ereignet haben. Die Abflussmengen müssten wesentlich höher als in den Vergleichsjahren gewesen sein, was auf natürliche Ursachen zurückzuführen wäre.

Die nachfolgenden Ausführungen zeigen, dass die Jahre 1965, 1970, 1972 und 1975 Jahre mit hydrologischen Extrema waren (der Pegel Liezen hatte 1965 als Jahresmittelwert  $95,25 \text{ m}^3/\text{s}$ , im Vergleich zu einem langjährigen Jahresmittelwert von  $64,12 \text{ m}^3/\text{s}$ , die Standardabweichung beträgt  $10,311; 2,58*s = 90,684$ ).

#### **2.2.4. Ausreißer: Messfehler oder Naturereignis**

##### **Zum Jahr 1965:**

Das Jahr 1965 war sehr nass, das zweitniederschlagsreichste seit man in Graz beobachtet (1864), es gab zu viele Niederschlagstage, zu zahlreiche trübe und nebelige Tage, im Juli zahlreiche Gewitter, die Bewölkung war zu hoch und im ganzen war das Jahr etwas zu kühl und zeichnete



sich durch Witterungsexzesse, die im höheren Maße die Niederschläge als die Temperatur betrafen, aus. Der Jänner verlief milde gefolgt von einem zu kühlen Februar mit geringen Niederschlägen, der März verhielt sich wie im langjährigen Durchschnitt, der April war kühl und nass mit reger Tiefdrucktätigkeit zwischen Adria und Polen. Hochwässer im Alpenvorland waren die Folge. Das kühle und feuchte Wetter setzte sich auch im Mai fort, der Juni bescherte ein normales Monatsmittel mit wenig erhöhten Niederschlagsmengen. Im Juli erreichte der Niederschlag 200 % (Mittelmeertief). Das kühle und niederschlagsreiche Wetter dauerte in den August hinein fort. Es brachte dem Murgebiet (Voitsberg) und dem Raabgebiet große Überschwemmungen. Der September wies normale Werte aus, der Oktober war viel zu trocken (stabiles Hoch). Der November war durch feuchtes kühles Wetter gekennzeichnet der Dezember hingegen verlief verhältnismäßig warm. (Jahresniederschlag Graz 1965: 1160mm, Mittel um 840mm) Die hohe Jahresniederschlagssumme ergibt sich aus den hohen Frühjahrs- und Sommerregen (MORAWETZ, 1966).

Diese Erläuterungen zeigen, dass im Jahr 1965 extreme Niederschlagsereignisse vorlagen. Die hohen Messwerte sind keine Messfehler sondern haben ihre Begründung in der Natur.

#### **Zum Jahr 1970:**

Das Jahr 1970 zeigt sich im Durchschnitt übernormal von atlantischen-ozeanischen Witterungskomponenten beeinflusst. Dadurch war es allgemein merklich zu kühl und zu feucht. Der Jahresgang der Witterung zeigt im wesentlichen nach einem trockenen aber recht milden Jänner einen viel zu kalten, feuchten und schneereichen Spätwinter und Frühling, wobei sich Schneeschmelze, Frühlingsanfang und verschiedene phänologische Ereignisse um mehrere Wochen verspäteten. Auch der Sommer war etwas zu kühl und feucht, während der Herbst im allgemeinen dem Durchschnitt entsprach und in einem viel zu warmen November gipfelte, auf den ein trockener, kalter Dezember folgte.

Ein Tiefdruckeinfluss im August brachte schwere Unwetter mit Sturm und Hagel, vor allem Graz und in der Umgebung von Leoben (WAKONIGG, 1971).

Schwere Unwetter in ganz Österreich, Hochwasseralarm, 450 Mio. Schilling Schaden (GÜHRING Philipp, 1999).

#### **Zum Jahr 1972:**

Das Jahr 1972 wird in weiten Teilen der Steiermark als ausgesprochenes Hochwasserjahr in Erinnerung bleiben. Die Hauptereignisse fielen dabei auf den April und Juli, wobei besonders die Gebiete im Bereich des Randgebirges und des Vorlandes betroffen wurden, doch gab es auch im

Februar, Mai und September lokale Überschwemmungen. Das Niederschlagsverhalten im Jänner zeigte in der Grazer Bucht Erhöhungen über den Durchschnitt, im Oberen Murtal Durchschnittswerte und der Norden blieb extrem trocken. Im Februar setzten sich südliche Föhnströmungen durch. Der Südosten des Landes war durch anhaltendes Schlechtwetter gekennzeichnet, erste Überschwemmungen an Nebenflüssen der Mur waren die Folge. Im März überwiegend Hochdruckwetterlage mit Niederschlägen um die Normalwerte. Im April herrschte eine nordwestlich-ozeanische Wetterlage mit Tiefdrucktätigkeit im Süden. Es kam zu Katastrophenhochwasser im Bereich der Kor-, Stub- und Gleinalpe, besonders im Bezirk Knittelfeld und in der Weststeiermark. Im Mai kam es vor allem im Einzugsgebiet der Raab zu Hochwasser mit schweren Schäden (Vorstoß atlantischer Luftmassen). Auf den Mai folgte ein relativ normaler Juni und ein etwas zu kühler Juli mit extremen Niederschlagsereignissen (Höhentief). Hochwasser im gesamten Bereich des Randgebirges und Vorlandes waren die Folge. Der August war im Mittel etwas zu kühl und die Niederschläge fielen zu gering aus. Im September kam es aufgrund eines Tiefdruckeinflusses aus dem Süden zu verbreiteten Regenfällen mit lokalen Hochwasserereignissen. Der Oktober erwies sich als etwas zu kalt mit ansonst normalen Niederschlägen. Normalwerte auch im November, im Dezember akuter Schneemangel und überaus warmes sonnenreiches Wetter (WAKONIGG, 1973).

Ausreißer für 1972 liegen an den Pegeln Lieboch, Feldbach und Anger vor. Aufgrund der oben angeführten Ausführungen kann auch hier von extremen Naturereignissen die Rede sein. Das Datenmaterial stimmt offensichtlich, es liegen keine Messfehler vor. Die Ausreißer entpuppen sich auch hier als Hochwasserereignisse.

#### **Zum Jahr 1975:**

Das Jahr 1975 zeigte einen recht bunten Witterungsablauf, wobei das auffallendste Ereignis der viel zu warme Jänner, die Starkregen und –schneefälle im Süden und Osten, die katastrophalen Niederschläge an der Wende Juni/Juli im Nordalpenbereich, die extreme Gewittertätigkeit, der sommerlich warme September und schließlich der empfindlich kalte Frühwinter Ende November zu nennen wären (WAKONIGG, 1976).

Ein Jahr mit Unwettern und länger anhaltenden sintflutartigen Regenfällen in Ostösterreich., Überschwemmungen, 13 Tote und mehrere hundert Millionen Schilling Sachschaden (ZAMG, Zentralamt der Meteorologie, 2000).

Wie oben ausgeführt sind aufgrund der stark erhöhten Niederschlagsereignisse in den Jahren 1965, 1966, 1970, 1972 und 1975 natürlich auch die Durchflussmengen höher als in normalen Jahren. Da die hohen Durchflüsse (Ausreißer) jeweils widerspruchsfrei mit meteorologischen Extremereignissen erklärt werden können, liegen in den Zeitreihen offenbar keine diesbezüglichen Messfehler vor.

Bei der Untersuchung auf Normalverteilung und dem Ausreißertest nach Dixon sind die Zeitreihen auf Konsistenz und Homogenität geprüft worden. Bei zwei Pegeln mussten die Messdaten händisch nachbearbeitet werden. Dies sind die Pegel Neuberg und Tillmitsch. An beiden Pegeln liegen Lücken in der Beobachtungsreihe vor, bei Neuberg fehlt das Jahr 1997 und bei Tillmitsch sind 3 Jahre (1971 – 1973) ausständig.

Alle übrigen Abflussdaten konnten unverändert in die folgenden Berechnungen übernommen werden.

Zur weiteren Untersuchung sollen Veränderungen im Jahresgang herausgearbeitet werden. Es werden Bruchpunkte zur Bestimmung der Trendänderung ermittelt, die Jahresreihen werden in Bezug auf die Veränderungen im Regime (Art der Jahresganglinie) untersucht, der lineare Trend wird ermittelt und zum Schluss soll der Trend in Verbindung mit dem Bruchpunkt (Trendänderung) dargestellt werden.

## **3. Untersuchungen auf Veränderungen im Jahresgang**

### **3.1. Bruchpunktanalyse**

Bei dieser Untersuchung werden Veränderungen in der zeitlichen Abfolge der mittleren monatlichen Abflüsse gezeigt. Es sollen Bruchpunkte (Zeitpunkt einer Trendänderung) aufgezeigt werden.

Zeitabschnitte mit Trendänderungen können mittels der Bruchpunktanalyse nach MANN-WHITNEY festgestellt werden. Bei diesem Testverfahren werden Anfangszeitpunkte von Änderungen nach der Methode der Vorzeichen-Differenzen-Maximierung festgestellt und zeitlich ausgewiesen. Über die Ermittlung eines wahrscheinlichen Bruchpunktes im Zeitverhalten einer Zeitreihe wird der Zeitpunkt ermittelt, bei dem eine Trendänderung vorhanden sein kann. Zusätzlich wird die Wahrscheinlichkeit für den Bruchpunkt angegeben (Softwarepaket Uni Karlsruhe: Doku: Testen, B12-1).

Gerechnet wird im Programm TESTEN mit der Auswahl „Bruchpunktanalyse“. Grundlage der Berechnungen sind die korrigierten MQ(M), HQT(M) und NQT(M) Zeitreihen.

Das Ergebnis dieser Bruchpunktanalyse ist ein Protokoll: Ermittlung von Zeitpunkten mit wahrscheinlicher Trendänderung.

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Bruchpunktanalyse. Es ist deutlich ersichtlich, dass die Bruchpunkte (Jahreszahl) je nach Flussgebiet sehr unterschiedlich liegen.

Zu jedem Bruchpunkt ist die Wahrscheinlichkeit seines Auftretens angegeben. Auffallend ist, dass sich die größten Wahrscheinlichkeiten (bis 100 %) bei Niederwasser ergeben.

Nr.	Mstnr.	Pegel / Gewässer	Bruchpunkte mit Wahrscheinlichkeit					
			MQ(M)	p in %	HQT(M)	p in %	NQT(M)	p in %
<b>Traungebiet</b>								
1	205 104	Obertraun / Traun	1986	95%	1976	90%	1972	100%
<b>Ennsgebiet</b>								
2	210 799	Liezen / Enns	1986	93%	1986	93%	1986	77%
3	210 898	Wildalpen / Salza	1987	96%	1987	95%	1987	96%
<b>Murgebiet</b>								
4	211 185	Leoben / Mur	1988	60%	1966	70%	1968	77%
5	211 573	Graz / Mur	1988	91%	1988	72%	1986	98%
6	211 227	Neuberg / Mürz	1986	84%	1986	93%	1990	87%
7	211 342	Lieboch / Kainach	1996	99%	1996	73%	1982	100%
8	211 441	Tillmitsch / Laßnitz	1996	99%	1996	97%	1999	95%
9	211 458	Leibnitz / Sulm	1996	99%	1996	89%	1996	98%
<b>Raabgebiet</b>								
10	210 989	Feldbach / Raab	1972	99%	1971	99%	1998	99%
11	211 029	Anger / Feistritz	1982	99%	1987	99%	1982	95%
12	211 003	Wörth / Lafnitz	1970 1978	99% 95%	1970	97%	1991	100%

**Tabelle 4: Ergebnisse der Bruchpunktanalyse nach Monatswerten, Quelle: Eigenentwurf**

Da die Bruchpunkte zum Teil sehr unterschiedlich sind und jeweils verschiedene Wahrscheinlichkeiten haben, ist es sinnvoll eine Vereinheitlichung durchzuführen. Für die weiteren Rechenschritte werden nur Bruchpunkte mit Wahrscheinlichkeiten von über 90 % ausgewählt, da nur diese Bruchpunkte ( $\geq 90\%$ ) mögliche Trendänderungen anzeigen.

Tabelle 5 zeigt die korrigierten, gerundeten Bruchpunkte, mit welchen anschließend die Regime berechnet werden. Bei einer Null liegt kein Bruchpunkt vor, da die Wahrscheinlichkeit unter 90 Prozent gelegen ist.

Nr.	Mstnr.	Pegel / Gewässer	Bruchpunkte		
			MQ(M)	HQT(M)	NQT(M)
<b>Traungebiet</b>					
1	205 104	Obertraun / Traun	1985	1970	1970
<b>Ennsgebiet</b>					
2	210 799	Liezen / Enns	1985	1985	0
3	210 898	Wildalpen / Salza	1985	1985	1985
<b>Murgebiet</b>					
4	211 185	Leoben / Mur	0	0	0
5	211 573	Graz / Mur	1985	0	1985
6	211 227	Neuberg / Mürz	0	1985	0
7	211 342	Lieboch / Kainach	1990	0	1980
8	211 441	Tillmitsch / Laßnitz	1990	1990	1990
9	211 458	Leibnitz / Sulm	1990	0	1990
<b>Raabgebiet</b>					
10	210 989	Feldbach / Raab	1970	1970	1990
11	211 029	Anger / Feistritz	1985	1985	1980
12	211 003	Wörth / Lafnitz	1970	1970	1990

**Tabelle 5: Zusammengefasste korrigierte Bruchpunkte, Quelle: Eigenentwurf**

Bruchpunkte oder Instationaritäten kommen vereinheitlicht gesehen in den Jahren 1970, 1980, 1985 und 1990 vor. Diese Bruchpunkte signalisieren eine mögliche Trendänderung. In späteren Ausführungen wird noch näher auf die Bruchpunkte eingegangen.

### **3.2. Analyse der Jahresregime**

In einem nächsten Schritt soll nun der Jahresgang des Abflusses, differenziert nach den Zeitspannen zwischen den Bruchpunkten, dargestellt werden. Der Zweck dieser Untersuchung ist herauszufinden, welche Veränderungen im Jahresgang selbst stattgefunden haben.

### 3.2.1. Definition Abflussregime

Unter Durchflussregime (Abflussregime) wird der mittlere Jahrgang des Abflusses eines Fließgewässers verstanden. Beeinflusst wird das Abflussregime von klimatologischen, geologischen, pedologischen, geomorphologischen, vegetativen und anthropogenen Umweltfaktoren des Einzugsgebietes. Oft sind die einzelnen Faktoren miteinander gekoppelt (BAUMGARTNER und LIEBSCHER, 1996).

Die Regimeklassifikation nach PARDE (1933) beruht auf:

1. der Speisungsart der Flüsse:
  - pluvial (durch Regen gespeist)
  - nival (durch Schnee)
  - glazial (durch Gletscher)
  - Kombination nivo-pluvial, pluvio-nival und nivo-glazial
2. der Anzahl der Abflussminima und –maxima
3. dem Schwankungskoeffizienten der monatlichen Abflüsse

Außerdem wird noch unterschieden zwischen:

1. Einfachen Regimen: pluvial oder nival oder glazial gespeist.
2. Original-komplexen Regimen: zwei oder selten drei Peaks.
3. Komplexe Regime im eigentlichen Sinn (SCHÖNIGER und DIETRICH, 2003).

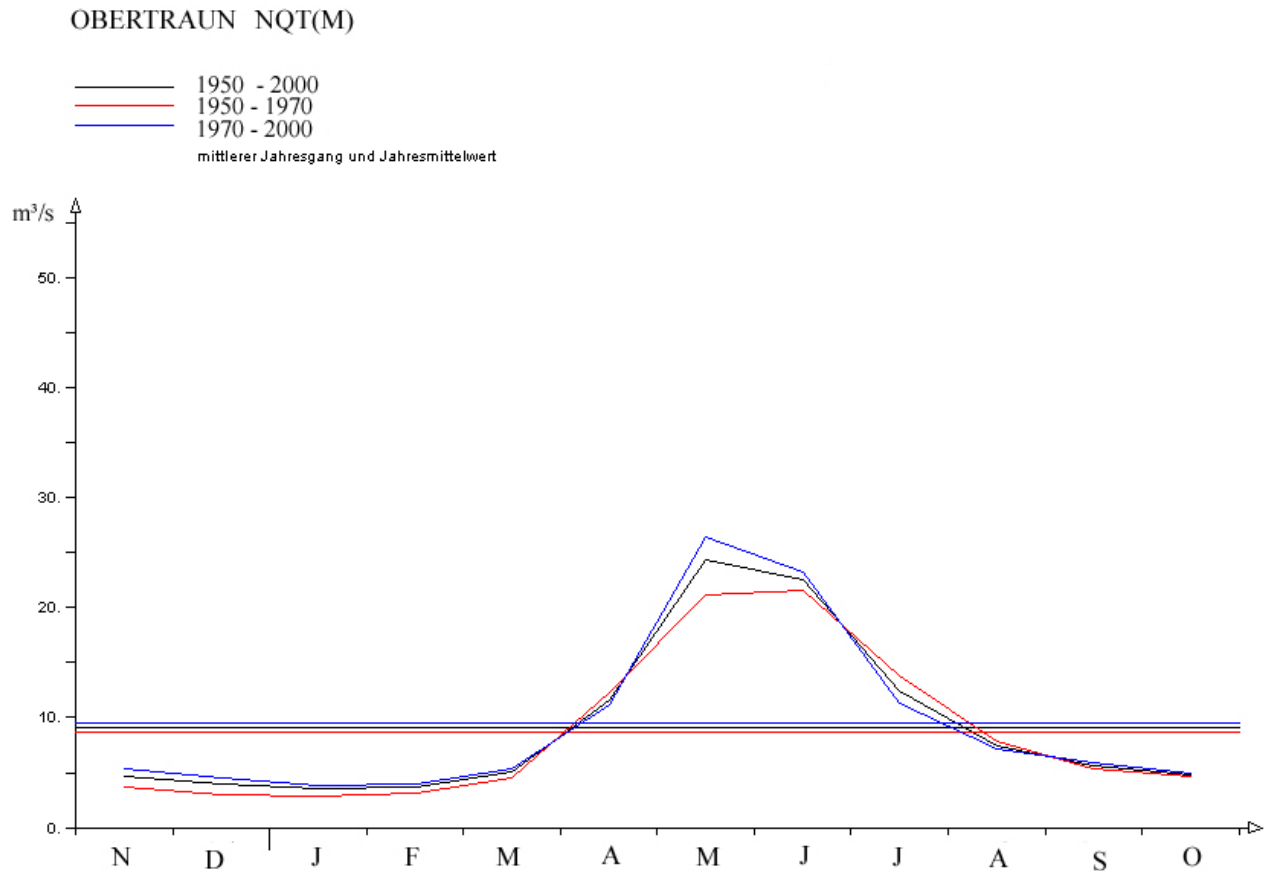
Solcher Abflussregime wurden für alle Pegel gezeichnet. Zur Erstellung der Jahresabflussregime wird die gesamte Zeitreihe einerseits als Ganzes dargestellt, aber auch differenziert nach Teilzeitspannen zwischen den Bruchpunkten.

Die Jahrgänge wurden im Programm REGIM gezeichnet. Man erhält 3 Kurven:

- Jahrgang der gesamten Beobachtungsdauer
- Jahrgang der ersten Teilzeitspanne (Anfangsjahr der Beobachtungen bis zum Bruchpunkt)
- Jahrgang vom Bruchpunkt bis zum Ende der Beobachtungen.

Diese Berechnungen werden an allen Pegeln und für alle Werte (MQ, HQ und NQ) durchgeführt. Aus den erhaltenen Jahrgangskurven ist dann ersichtlich, wie sich die Abfolge der monatlichen Abflüsse im Laufe der Jahre verändert hat.

Abbildungen 4 und 5 zeigen Beispiele für die errechneten Jahrgänge.

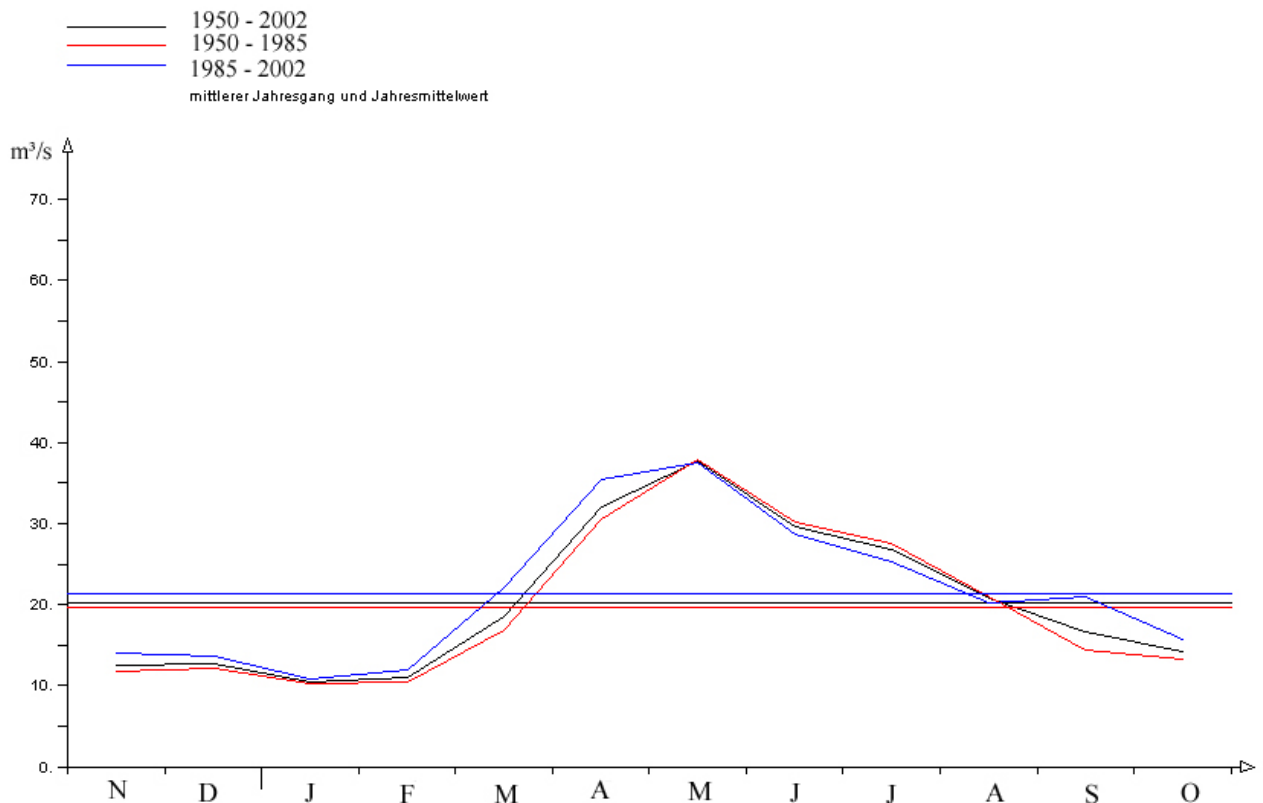


**Abbildung 4: Jahrgang der mittleren monatlichen Abflüsse NQ(M) am Pegel Obertraun (Traun) für die Gesamtzeitspanne 1950 bis 2000(schwarz) und für zwei Teilzeitspannen 1950 – 1970 (rot) und 1970 – 2000 (blau) mit dazugehörigen Mittelwerten, Quelle: Eigenentwurf**

In Abbildung 4 ist der Pegel Obertraun mit NQ(M), Niedrigwasser, dargestellt. Es handelt sich um ein einfaches Abflussregime, mit nivaler Speisung (Schneeregime des Berglandes). Sehr gut ersichtlich ist, dass sich die innere Form des Jahrganges verändert hat. Der Mittelwert bleibt nahezu unverändert (pendelt um 9 m³/s). In den Monaten Mai und Juni ist allerdings im Beobachtungsraum 1970 bis 2000 ein Anstieg der Abflüsse zu verzeichnen, Abnahmen gegenüber dem langjährigen Durchschnitt erfolgen im Juli.



## WILDALPEN MQM Salza



**Abbildung 5: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflüsse MQ(M) am Pegel Wildalpen (Salza) für die Gesamtzeitspanne 1950 bis 2002 (schwarz) und für zwei Teilzeitspannen (1950 – 1985 (rot) und 1985 – 2002 (blau) mit dazugehörigen Mittelwerten**

Das Abflussregime am Pegel Wildalpen setzt sich aus 2 Komponenten zusammen, es bildet ein komplexes Regime: nivo – pluvial (Speisung nival und durch Schneeschmelze im April und Mai und, Speisung nival im Oktober, November). Zunahmen gibt es vorwiegend im März, April und Mai, Abnahmen in den Monaten Juni und Juli gefolgt von neuerlichen Zunahmen im September und Oktober.

### 3.2.2. Ergebnisse der Auswertung der Jahresgänge

Jahresganglinien oder Regime, wie in Abbildung 4 und 5 gezeigt wurden, sind von allen Pegeln mit allen 3 Messgrößen erstellt worden. Die nachfolgenden 3 Tabellen sollen die ausgewerteten Jahresgänge von MQ(M), HQT(M) und NQT(M) darstellen.

Aufgelistet sind sowohl die Mittelwerte über die Gesamtzeitspanne, die Mittelwerte über die Teilzeitspannen und für alle Monate die Monatsmittelwerte laut Zeitspanne. Zusätzlich wird eine Aussage über die Signifikanz von Veränderungen gemacht, mit 95 % Wahrscheinlichkeit (ersichtlich im grauen Balken).

In den Tabellen sind die Änderungen im Abflussverhalten sowohl absolut als auch relativ dargestellt. Für jedes Monat und jeden Pegel ist der mittlere Abfluss über die Gesamtzeitspanne angegeben, sowie für die beiden Teilzeitspannen.

Durch die prozentuelle Angabe der Änderungen lassen sich die Pegel auch untereinander leichter vergleichen.

Die verwendeten Farben sollen Veränderungen schneller ersichtlich machen. Rottöne werden für starke Zuwächse verwendet, Blautöne für große Abnahmen. Die Farben Gelb und Grün stehen für geringere Zu- oder Abnahmen.

Im Anschluss an jede Tabelle ist eine Interpretation der Werte angeführt.



**Tabelle 6: Auswertung der mittleren monatlichen Abflüsse MQ(M) mit Mittelwerten, prozentueller Änderung und Signifikanz der Änderungen**

**Beschriftung Abszisse:** P = Pegel, N – O = November bis Oktober, MW = Mittelwert der Monatsmittel (Jahresmittelwert), Angaben in den Spalten in m<sup>3</sup>/s

**Beschriftung Ordinate:** OT = Obertraun, LZ = Liezen, WA = Wildalpen, LE = Leoben, G = Graz, NB = Neuberg, LI = Lieboch, T = Tillmitsch, LB = Leibnitz, FB = Feldbach, A = Anger, WT = Wörth

**3. Spalte:** A = Gesamtzeitspanne, B = Teilzeitspanne von Beobachtungsbeginn bis Bruchpunkt, C = Teilzeitspanne Bruchpunkt bis Beobachtungsende,

**C:A =** Verhältnis der Teilzeitspanne Bruchpunkt bis Beobachtungsende zu der Gesamtzeitspanne

**B:A =** Verhältnis der Teilzeitspanne von Beobachtungsbeginn bis Bruchpunkt zu der Gesamtzeitspanne

**Graue Spalte:** 0 = Mittelwerte sind auf dem Signifikanzniveau (95 %) gleich (keine Veränderungen)

1 = Mittelwerte sind auf dem Signifikanzniveau nicht gleich (Veränderungen möglich),

**Quelle:** Eigenentwurf

Tabelle 6 zeigt die Auswertung der Jahresgänge MQ(M) in jeweils 3 Zeitspannen. Die Pegel Leoben und Neuberg wurden für eine bessere Vergleichbarkeit mit untersucht, obwohl bei der Voruntersuchung keine Bruchpunkte errechnet wurden. Generell verhalten sich die Mittelwerte der 12 Pegel sehr unterschiedlich, es ist keine eindeutige auf dem ersten Blick feststellbare Systematik erkennbar.

Im Traungebiet und im Ennsgebiet sind leichte Zunahmen für die Teilzeitspanne C (1 bis 5 %), speziell ab 1985 zu verzeichnen. Der Pegel Obertraun verzeichnet Zuwächse von September bis März, wahrscheinlich liegt die Ursache in erhöhten Niederschlägen im Winterhalbjahr.

Das Ennsgebiet, mit den Pegeln Liezen und Wildalpen, weist Zunahmen vor allem von September bis November und zusätzlich noch verstärkt in den Monaten Mai und April auf (Schneesmelze). Die Jahresmittelwerte verhalten sich weitgehend konstant mit leichten Zuwächsen.

Am Pegel Graz sind Zunahmen in den Monaten Oktober, November und Dezember ersichtlich. Am Jahresmittelwert sind keine Veränderungen erkennbar.

In der Weststeiermark kommt es zu allgemeinen Rückgängen im mittleren monatlichen Abfluss (zwischen -8 und -17 %). Der Vergleichstest der Mittelwerte in diesem Teil der Steiermark ist statistisch signifikant (Veränderungen sind möglich). Zunahmen am Abfluss sind nur in den Monaten September, Oktober, November und teilweise im Dezember und Jänner vorzufinden. In den Monaten Februar bis August kommen an allen 3 Pegeln nur Abnahmen vor (von -9 bis zu -39 %). Am Pegel Tillmitsch an der Laßnitz liegen die Abflusswerte von 10 Monaten (November bis August) unter den Werten des langjährigen Mittels.

Das Raabgebiet zeichnet sich durch Abnahmen zwischen -6 und -10 % aus. Veränderungen in Bezug auf die Mittelwerte sind auch hier möglich. Als Ursache für die Rückgänge im Abfluss sind ausbleibende Niederschläge sehr wahrscheinlich (Als Beispiel ist das Jahr 2001 angeführt, wo die Jahressumme des Niederschläge 25 % unter dem langjährigen Mittel lag (QUINZ und SCHATZL, 2001)).

Positive Veränderungen innerhalb der 2. Teilzeitspanne (nach Bruchpunkt) sind nur in den Monaten September und Oktober zu finden. Der Pegel Wörth zeigt im Vergleich zum langjährigen Mittel in 11 Monaten Abnahmen.

Die Auswertungen der MQ(M) Jahresgänge belegen, dass sich die mittleren monatlichen Abflüsse im Traun-, Ennsgebiet und in der Obersteiermark (bis auf Leoben) in den Jahren nach 1985 erhöht haben, vornehmlich in den Monaten September bis November.

Weiters zeigen die West- und Oststeiermark generell nur Abnahmen im Abfluss.

Die einzigen Monate mit Abflusszuwächsen sind in der Weststeiermark der September und Oktober, in der Oststeiermark nur der Oktober. Ansonst liegen die Werte in allen Monaten unter den langjährigen Mitteln (in manchen Jahresreihen sind 10 von 12 Monaten als rückläufig ausgewiesen).

Die Signifikanz auf Veränderungen ist in der West- und Oststeiermark deutlicher erkennbar als in der Obersteiermark. Die Obersteiermark scheint hinsichtlich Veränderungen im Abflussverhalten stabiler zu sein.



**Tabelle 7: Auswertung der monatlichen Höchstabflüsse HQT(M) mit Mittelwerten, prozentueller Änderung und Signifikanz der Änderungen**

**Beschriftung Abszisse:** P = Pegel, N – O = November bis Oktober , MW = Mittelwert der Monatsmittel (Jahresmittelwert), Angaben in den Spalten in m<sup>3</sup>/s

**Beschriftung Ordinate:** OT = Obertraun, LZ = Liezen, WA = Wildalpen, LE = Leoben, G = Graz, NB = Neuberg, LI = Lieboch, T = Tillmitsch, LB = Leibnitz, FB = Feldbach, A = Anger, WT = Wörth

**3. Spalte:** A = Gesamtzeitspanne, B = Teilzeitspanne von Beobachtungsbeginn bis Bruchpunkt, C = Teilzeitspanne Bruchpunkt bis Beobachtungsende,

**C:A =** Verhältnis der Teilzeitspanne Bruchpunkt bis Beobachtungsende zu der Gesamtzeitspanne

**B:A =** Verhältnis der Teilzeitspanne von Beobachtungsbeginn bis Bruchpunkt zu der Gesamtzeitspanne

**Graue Spalte:** 0 = Mittelwerte sind auf dem Signifikanzniveau (95 %) gleich (keine Veränderungen)

1 = Mittelwerte sind auf dem Signifikanzniveau nicht gleich (Veränderungen möglich),

**Quelle:** Eigenentwurf

Tabelle 7 zeigt die Auswertung der Jahressgänge HQT(M) mit 3 Zeitspannen. Wie schon bei Tabelle 6 wurden auch hier die Pegel ohne Bruchpunkte (Leoben, Graz, Lieboch und Leibnitz) in die Berechnung miteinbezogen (graue Schrift). Ein einheitliches Ergebnis aller Pegel ist auch hier nicht ersichtlich. Zu- und Abnahmen beziehen sich wieder von der Teilzeitspanne ab dem Bruchpunkt auf den langjährigen Mittelwert.

Der Pegel Obertraun verzeichnet leichte Zuwächse bei Hochwasserereignissen, vor allem die Monate November (+19 %) und Jänner (+14 %) sind hier anzuführen.

Auch das Ennsgebiet weist Zunahmen im jährlichen Mittel auf (die Monate März, September, Oktober und November). Rückgänge sind vorwiegend im Mai, Juni und Juli zu finden.

Das Murgebiet ist gekennzeichnet durch konstantes Verhalten bis hin zu leichten Abnahmen. Ab den 70er Jahren zeigen die Pegel Leoben und Graz Abnahmen der Mittelwerte um -5 % in den Monaten Juni, Juli und August.

Die Mürz am Pegel Neuberg weist Zunahmen von 9 % auf. Die monatlichen Höchstabflüsse sind in den Monaten August, September, Oktober und November ab 1985 sehr stark angestiegen (16 bis 45 %).

Am Pegel Tillmitsch sind Abnahmen von -9 % aufgetreten. Die größten Rückgänge zeigen die Monate Jänner, Februar, März und der August (-51%), höhere Zunahmen haben die Monate Oktober, November und Dezember.

Das Raabgebiet zeigt sich einheitlich mit Abnahmen der monatlichen Höchstabflüsse im Schnitt um -10 %.

Feldbach an der Raab verzeichnet von November bis August (ohne Jänner) nur Rückgänge der Höchstabflüsse (bis -20 %).

Am Pegel Anger an der Feistritz ist die Lage noch drastischer: einziger Monat mit geringen Zunahmen ist der September. Alle anderen Monate zeigen negative Änderungen im Vergleich zum langjährigen Mittelwert (ab 1985) von -1 bis -32 %.

In Wörth an der Lafnitz ist die Situation etwas abgeschwächt. Der Jahresrückgang beträgt -4 %. Vor allem die Monate März und April sind durch höhere Abnahmen gekennzeichnet.

Leichte Zunahmen an den monatlichen Höchstabflüssen gibt es nur in der Obersteiermark. Die Ost- und Weststeiermark zeigen generelle Abnahmen an den Höchstabflüssen.





**Tabelle 8: Auswertung der monatlichen Niedrigabflüsse NQT(M) mit Mittelwerten, prozentueller Änderung und Signifikanz der Änderungen**

**Beschriftung Abszisse:** P = Pegel, N – O = November bis Oktober , MW = Mittelwert der Monatsmittel (Jahresmittelwert)

**Beschriftung Ordinate:** OT = Obertraun, LZ = Liezen, WA = Wildalpen, LE = Leoben, G = Graz, NB = Neuberg, LI = Lieboch, T = Tillmitsch, LB = Leibnitz, FB = Feldbach, A = Anger, WT = Wörth

**3. Spalte:** A = Gesamtzeitspanne, B = Teilzeitspanne von Beobachtungsbeginn bis Bruchpunkt, C = Teilzeitspanne Bruchpunkt bis Beobachtungsende,

**C:A =** Verhältnis der Teilzeitspanne Bruchpunkt bis Beobachtungsende zu der Gesamtzeitspanne

**B:A =** Verhältnis der Teilzeitspanne von Beobachtungsbeginn bis Bruchpunkt zu der Gesamtzeitspanne

**Graue Spalte:** 0 = Mittelwerte sind auf dem Signifikanzniveau (95 %) gleich (keine Veränderungen)

1 = Mittelwerte sind auf dem Signifikanzniveau nicht gleich (Veränderungen möglich),

**Quelle:** Eigenentwurf

In Tabelle 8 sind die Auswertungen der monatlichen Niedrigabflüsse NQT(M) dargestellt. Die Pegel Liezen, Leoben und Neuberg sind mit untersucht worden.

Einheitliche Veränderungen der Abflüsse sind wie in den vorhergehenden Tabellen auch hier nicht ersichtlich.

Das Traungebiet mit dem Pegel Obertraun weist eine jährliche Zunahme von 4 % aus, d. h. es liegt ein Rückgang an Niederwasser vor. Die größten Zuwächse verzeichnen die Monate November bis Februar (im Mittel um plus 13%), rückläufig sind der Juli und August, wobei die Werte unter das langjährige Mittel fallen.

Im Ennsgebiet gibt es keine gravierenden Veränderungen im Jahresmittelwert, nur sehr geringe Zuwächse mit 1 %. Der Pegel Wildalpen an der Salza zeigt Zunahmen im März und April sowie im September und Oktober.

Das Murgebiet ist im Bereich Niedrigwasser sehr uneinheitlich, Gemeinsamkeiten der Pegel sind fast nicht erkennbar.

Leoben und Graz weisen weder Zu- noch Abnahmen auf, die Daten verändern sich hier kaum, die größeren Zuwächse ereignen sich in den Monaten Oktober bis Februar. Im Juni, Juli und August kommt es zu Unterschreitungen der langjährigen Mittelwerte.

Lieboch an der Kainach zeigt einen jährlichen Rückgang von -12 % auf. Alle Monate bis auf den Oktober (+11 %) liegen unter dem langjährigen Mittel. Extreme Abnahmen kommen in den Monaten Februar (-17 %) bis Juli (-28 %) vor.

Tillmitsch weist einen leichten Zuwachs von +3 % übers Jahr aus, wobei sich der Oktober (20 %) und November (16 %) als die Monate mit den höchsten Zunahmen herausstellen.

Am Pegel Leibnitz an der Sulm sind wieder leichte Abnahmen (-4 %) zu erkennen. Jährliche Zunahmen sind in den Monaten September bis Jänner feststellbar, die Monate Februar bis

August sind durch Rückgänge gekennzeichnet. Vor allem im Frühjahr (März bis Mai) sinken die Abflusswerte stark unter den langjährigen Mittelwert für Niederwasser.

Die Oststeiermark zeigt generelle Abnahmen im Bereich Niederwasser.

Feldbach an der Raab hat von Februar bis August Unterschreitungen der langjährigen Mittelwerte zu verzeichnen.

Die Feistritz in Anger zeigt von März bis September verringerte Abflusswerte (-3 bis -15 %).

Und in Wörth an der Lafnitz sind 11 Monate mit negativen Änderungen feststellbar: November bis September.

Die Auswertungen der Jahrgänge belegen, dass sich die Abflüsse im Traungebiet, Ennsgebiet und in der Obersteiermark des Murgebiets vorwiegend nach 1985 leicht erhöht haben, besonders in den Monaten September bis November. In der Tabelle der Höchstabflüsse zeigt die Obersteiermark weitgehend ein konstantes Verhalten mit keinen nennenswerten Veränderungen.

Die West- und Oststeiermark weisen generelle Abnahmen aus, vor allem die Monate Mai, Juni und Juli sollten gesondert betrachtet werden. Bei den monatlichen Höchstabflüssen im Raabgebiet zeigen die Monate Mai, Juni und Juli die größten Abnahmen.

Die Untersuchung des Niederwassers hat ergeben, dass in der Obersteiermark fast alle Pegel leichte Zunahmen haben. Die West- und Oststeiermark zeigen Abnahmen, mit einer Besonderheit am Pegel Lieboch, mit extremen Rückgängen, vor allem in den Monaten Februar bis Juli.

Bei den folgenden Trenduntersuchungen sollen nun die Jahresreihen der MQ(M), HQT(M) und NQT(M) Messdaten als Berechnungsgrundlage genommen werden. Zusätzlich werden auch die Jahresreihen einiger besonderer Monate, in denen sich größere Veränderungen vollzogen haben, noch gesondert betrachtet.

### 3.2.3. Mögliche Ursachen

Mögliche Ursachen für die Veränderungen beziehungsweise für das unterschiedliche Verhalten der Abflüsse können in erster Linie auf die entsprechenden Veränderungen der Niederschläge zurückgeführt werden. Die folgenden Ausführungen zur Thematik Niederschlag stützen sich im wesentlichen auf den HYDROGRAPHISCHEN DIENST 2001: Die Niederschlagsverhältnisse der Steiermark in den letzten 100 Jahren.

In der näheren Umgebung des Pegels Obertraun befindet sich die Niederschlagstation Gößl (Grundlsee). Die Jahresniederschlagssummen an dieser Station zeigen von 1901 bis 2001 einen leicht positiven Trend, seit Ende der 70er Jahre nehmen die Jahresniederschläge tendenziell zu. Der langjährige Mittelwert des Jahresniederschlags liegt bei 1584mm. Die Monate Februar, März, Juni, Juli, November und Dezember zeigen positives Trendverhalten, die Monate Jänner, Mai und August hingegen ein negatives Verhalten.

Die Zuwächse im Abfluss MQ(M) am Pegel Obertraun können auf die Zunahmen am Niederschlag zurückgeführt werden. Die Monate September bis März zeigen Zunahmen an den Abflüssen, diese Monate decken sich mit den Monaten mit Niederschlagszunahmen bis auf Juni und Juli (Verdunstung). Die Zuwächse der Höchstabflüsse (November, Jänner) lassen sich ebenso auf die erhöhten Niederschläge im November und Dezember zurückführen. Im Bereich Niederwasser sind ebenso Zuwächse zu verzeichnen, geringe Unterschreitungen der Durchschnittswerte im Sommer sind auf die verringerten Niederschläge zurückzuführen.

Niederschlagsstationen, die mit dem Pegel Liezen an der Enns verglichen werden können, sind die Stationen Schladming und Hieflau. Bei den Jahresniederschlagssummen an der Station Schladming zeigt sich über die gesamte Beobachtungsperiode von 1897-2001 ein schwach negativer Trend. Der Verlauf der Monatssummen über die Beobachtungsperiode 1897-2001 zeigt an der Station Schladming in den Monaten März, Juni, November und Dezember einen positiven Trend. An der Station Hieflau zeigen die Jahresniederschlagssummen über die Beobachtungsperiode 1901-2001 einen leicht negativen Trend, analog zu den beiden vorhin betrachteten Stationen Gößl und Schladming ist auch in Hieflau ab Ende der 70er Jahre ein Ansteigen der Jahressummen zu beobachten. Das langjährige Mittel liegt bei 1675 mm. Betrachtet man die Verläufe der Monatssummen über die Beobachtungsperiode, so zeigt sich

auch hier, dass die Monate März, Juni und November und Dezember einen positiven Trend zeigen.

Vergleicht man diese Analysen des Niederschlags mit den Abflusswerten MQ(M) für Liezen (die Monate September bis Mai sind durch Zuwächse gekennzeichnet) erhält man Übereinstimmungen. Einzig der Monat Juni zeigt im Niederschlag ein positives Verhalten, im Abfluss hingegen negativ. Bei den Höchstabflüssen ist ein Zusammenhang mit den höheren Niederschlägen im November und März ersichtlich.

Ein leicht negatives Trendverhalten bezüglich der Jahresniederschlagssummen in der Beobachtungsperiode 1881-2001 ist an der Station Bruck/Mur zu beobachten. Das langjährige Niederschlagsmittel liegt bei 787 mm. Der Verlauf der Monatsniederschlagssummen zeigt durchwegs nur sehr schwaches Trendverhalten, der stärkste positive Trend kann im November beobachtet werden, der stärkste negative Trend im April.

Der Pegel Leoben an der Mur zeigt ebenfalls nur schwache Veränderungen am mittleren Abfluss, die Monate April bis August verhalten sich negativ. Übereinstimmungen mit den Niederschlagsverhältnissen sind auch hier zu erkennen.

An der Station Graz zeigt sich ein negativer Trend der Jahresniederschlagssummen über die Beobachtungsdauer, ebenfalls mit steigendem Trend ab Beginn der 80er Jahre, der sich aber in den 90er Jahren nicht fortsetzt. Das langjährige Mittel liegt bei 857 mm. Die Verläufe der Monatsniederschlagssummen über die Beobachtungsperiode von 1891-2001 zeigen nur in den Monaten März, Juni und November einen schwach positiven Trend, in den übrigen Monaten ist der Trend negativ, besonders ausgeprägt im April, Juli, September und Oktober.

Die mittleren Abflüsse in Graz sind als konstant anzusehen, die Monate mit größten Zunahmen sind von Oktober bis Dezember. Von Mai bis August sind Rückgänge feststellbar. Teilweise decken sich diese Aussagen mit den Niederschlägen, jedoch ist der Pegel Graz hinsichtlich seines Einzugsgebietes die Summe aus vielen Einzelgebieten und somit nicht primär von den Niederschlägen in Graz abhängig.

Über die Beobachtungsperiode von 1901-2001 zeigt sich an der Station Mürzsteg in Bezug auf die Jahresniederschlagssummen ein leicht positiver Trend, besonders auffallend dabei ist ein stark ansteigender Trend ab Beginn der 80er Jahre. Das langjährige Mittel liegt bei 1152 mm. Die Verläufe der Monatsniederschlagssummen zeigen über die Beobachtungsperiode negative

Trends für die Monate August, September und Oktober, die übrigen Monate zeigen einen positiven Trend.

Das Abflussverhalten am Pegel Neuberg an der Mürz weist die Monate August bis Oktober durchaus als positiv aus. Dies könnte ein Hinweis auf kälter werdende Herbstmonate sein. Die Strahlung ist zu gering und so ist auch der Verlust durch Verdunstung geringer (Inversionslage). Die Monate August bis November zeigen bei den Höchstabflüssen Zunahmen in Bezug zum langjährigen Mittel. Beim Niederschlag weisen dieselben Monate einen negativen Trend aus. Die Ursachen für die Zunahmen am Abfluss können eventuell mit dem Vorkommen der maximalen Tagesniederschläge in den Monaten Juli, August und September erklärt werden (Landoberflächenabfluss).

Betrachtet man den Verlauf der Jahresniederschlagssummen an der Station St. Johann bei Herberstein, so ist ein deutlich negativer Trend zu erkennen. Das langjährige Mittel liegt bei 812 mm. Der Verlauf der Monatsniederschlagssummen über die Beobachtungsperiode zeigt nur in den Monaten März, Juni und November einen leicht positiven Trend, in den übrigen Monaten ist ein negativer Trend zu beobachten, stärker ausgeprägt im April, Mai und Juli. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den mittleren Abflüssen am Pegel Anger, der ebenfalls durch Abnahmen gekennzeichnet ist, so erkennt man Übereinstimmungen mit den Niederschlägen. Bei den Höchstabflüssen gibt es Abnahmen die mit den verringerten Niederschlägen übereinstimmen. Auch die weiteren Abnahmen am Niederwasser haben ihre Ursache in den ausgebliebenen Niederschlägen.

Auch an der Station Kirchbach zeigt sich bezüglich der Jahresniederschlagssummen über die Beobachtungsperiode 1897-2001 ein negativer Trend, wobei ab etwa Beginn der 80er Jahre ein positiver Trend zu beobachten ist. Das langjährige Mittel an der Station Kirchbach liegt bei 855 mm. Die Verläufe der Monatsniederschlagssummen zeigen in den Monaten Juni, Juli, August, November und Dezember leicht positiven Trend, die übrigen Monate zeigen negatives Trendverhalten, am deutlichsten im April, September und Oktober.

Im Vergleich dazu sind die Analysen des mittleren Abflussverhaltens am Pegel Feldbach als durchwegs rückläufig anzusehen. Nur im September und Oktober sind minimale Erhöhungen des Abflusses nachweisbar, die sich im Jahresmittelwert aber nicht auswirken. Die Höchstabflüsse sind durch starke Abnahmen gekennzeichnet und auch am Niederwasser sind weitere Abnahmen zu beobachten. Die Ursachen sind auch hier in den verminderten Niederschlägen und in den wahrscheinlich leicht höheren Temperaturen im Sommer zurückzuführen.

Die Ursachen für die Erhöhungen der mittleren monatlichen Abflüsse in den nördlichen Kalkalpen (Obertraun, Wildalpen) ist direkt auf die Erhöhung der Niederschläge zurückzuführen.

Im oberen Ennstal (Liezen) und im oberen Murtal (Leoben) sind die mittleren Abflüsse weitgehend gleich bleibend bis leicht rückläufig. Auch hier liegt die primäre Ursache an den verringerten Niederschlägen. Eine Ursache für die leichten Erhöhungen der Abflüsse im Herbst könnten in den kälteren und durch Inversion gekennzeichnete Witterungsverhältnisse liegen. Die leichten Erhöhungen am Pegel Neuberg sind auf den Niederschlag zurückzuführen.

Die Rückgänge der mittleren Abflüsse in der östlichen und westlichen Steiermark sind direkt auf die verminderten Niederschläge zurückzuführen (WAKONIGG, 1978).

Eindeutige Ursachen in Bezug auf die Höchstabflüsse sind nicht feststellbar. Die Hauptursache am Rückgang der Hochwässer liegt sicher am Rückgang der Niederschläge. Zunahmen an den Höchstabflüssen sind nur in der Obersteiermark (nördliche Kalkalpen, oberes Ennstal und Mürztal) zu verzeichnen (Zunahmen der Niederschläge). Vorstellbar sind auch kleinräumige Änderungen in der Landnutzung (Rodungen), die in Folge einen erhöhten Landabfluss darstellen könnten.

Im Bereich Niederwasser sind die generellen Rückgänge in der Ost- und Weststeiermark sowohl auf den verringerten Niederschlag zurückzuführen aber eine weitere Rolle spielen hier sicherlich die Flurbereinigungsmaßnahmen in den 60er und 70er Jahren. Durch die Regulierungen an Flüssen (Begradigungen) wurde die Fließgeschwindigkeit erhöht und damit einhergehend kam es zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels. Die Landnutzung wurde erweitert, oft reichen die Äcker bis nahe an die Uferregionen der Flüsse.

## 4. Trendanalyse

### 4.1. Allgemeines zu Trendberechnungen

Allgemein beschreibt der Trend einer Zeitreihe das langfristige Verhalten des Systems und dient so der Kennzeichnung einer möglichen Änderung.

Der Trend setzt sich aus der **Richtung** (Vorzeichen), seinem **Betrag** und seiner statistischen **Signifikanz** zusammen (RAPP J., 2004). Die Bestimmung der statistischen Signifikanz liefert eine Aussage, wie streng oder wie sicher der Trend ist.

Der Trendtest nach Mann (1945) und Kendall (1970) ist ein geeignetes Verfahren zur Abschätzung der Signifikanz. Der Test bewertet lediglich ein relatives Ansteigen oder Abfallen der Werte, Information über den zeitlichen Verlauf der Änderungen wird nicht gewonnen (RAPP J., 2004). Der Trendtest nach Mann-Kendall bezieht sich auf die Rangordnung von aufeinander folgenden Gliedern einer Zeitreihe. Er bestimmt, ob in der untersuchten Reihe ein Trend vorliegt, oder nicht (MILLONIG und WEBER, 1996).

Bei der folgenden Untersuchung handelt es sich um die Berechnung linearer Trends. Die linearen Trends sollen für alle Zeitreihen über die Gesamtzeitspanne berechnet werden. Die errechneten Trends sind Steigungsmaße und werden absolut in  $\text{m}^3/\text{s}/\text{Jahr}$  angegeben. Zusätzlich werden die Trends auf Signifikanz geprüft.

Berechnet werden die Trends mit Hilfe des Softwareprogrammes im Unterprogramm TREND. Mit diesem Programm ist es möglich, Trendberechnungen auf verschiedene Arten durchzuführen (linear, nichtlinear, rückschreitend...).

Bei der Zeitreihenanalyse der Abflüsse liegt ein linearer Trend vor. Die Berechnung des Trends erfolgt über eine lineare Regressionsrechnung. Die berechnete Trendsteigung wird auf ein Signifikanzniveau nach Mann und Kendall getestet. Als Ergebnis erhält man den Trend absolut in  $\text{m}^3/\text{s}/\text{Jahr}$ , den Mittelwert über die gesamte Zeitspanne und die Signifikanz des linearen Trends.



Die Bewertungsskala zur Signifikanz wurde der Fachliteratur entnommen (Statistische Methoden in der Klimatologie, 1983): Signifikanzniveau bedeutet:

< 80 %	=	nicht signifikant, das Ergebnis ist nicht interpretierbar
80 % bis 90 %	=	schwachsignifikant, schwache Zeichen von Veränderungen
90 % bis 99 %	=	signifikant, Änderungen sind sehr wahrscheinlich
≥ 99 %	=	hoch signifikant, Änderungen sind eindeutig.

In der vorliegenden Arbeit soll ebenfalls mit dieser allgemein üblichen Skala gearbeitet werden. In Kapitel 6. wird zusätzlich noch das Signifikanzniveau 95 % eingeführt, da dies eine gängige Sicherheitswahrscheinlichkeit darstellt (5%ige Irrtumswahrscheinlichkeit).

Als Ergebnis der Trendberechnung erhält man im Softwareprogramm Diagramme und Protokolle.

Die Stabilität der Trends wird zusätzlich durch rückschreitende Trend- und Signifikanzberechnung beurteilt. Dabei wird der jeweilige lineare Trend ab dem Endjahr der Reihe (2002) rückschreitend in Abhängigkeit vom Zeitschritt bis zum Anfangsjahr berechnet und für jeden Zeitschritt die jeweilige Signifikanz der Teilreihe nach Mann-Kendall beurteilt.

In Abbildung 5 bis 7 sind Trenddiagramme beispielhaft für je einen Vertreter aus MQ(J), HQ(J) und NQ(J) dargestellt: Das obere Diagramm zeigt jeweils den linearen Trend über die Gesamtzeitspanne, sowie den Mittelwert und die gesamte Signifikanz nach dem Mann und Kendall Testverfahren.

Das untere Diagramm stellt die rückschreitende Trend- und Signifikanzberechnung dar. Auf der Bezugsachse links ist der sich ergebende Trend/Jahr in m<sup>3</sup>/s aufgetragen, dieser Trend pro Jahr wird durch einen Polygonzug in Abhängigkeit vom Zeitschritt gezeichnet. Die Bezugsachse rechts stellt die Signifikanz in % dar. Die für einen bestimmten Zeitpunkt zutreffende Signifikanz ist durch grüne Stäbe dargestellt. Anhand der Abfolge der Signifikanzwerte lässt sich die Stabilität des Trends der Gesamtzeitreihe beurteilen. Die letzten 10 Jahre zeigen nur sehr niedrige Signifikanzen, da 10 Jahre einen zu kurzen Beobachtungszeitraum und damit zu geringe Vergleichsmöglichkeiten aufweisen.

## 4.2. Ergebnisse der Trendanalyse

Trendberechnungen werden oft als Prognose für zukünftige Entwicklungen herangezogen. Streng genommen gilt der errechnete Trend nur für die berechnete Zeitspanne und ist nicht in vergangene oder zukünftige Zeitabschnitte extrapolierbar.

Trendanalyse:

Tillmitsch an der Laßnitz MQ(M)

Zeitspanne: Nov. 1960 – Okt. 2002

Jahreswerte

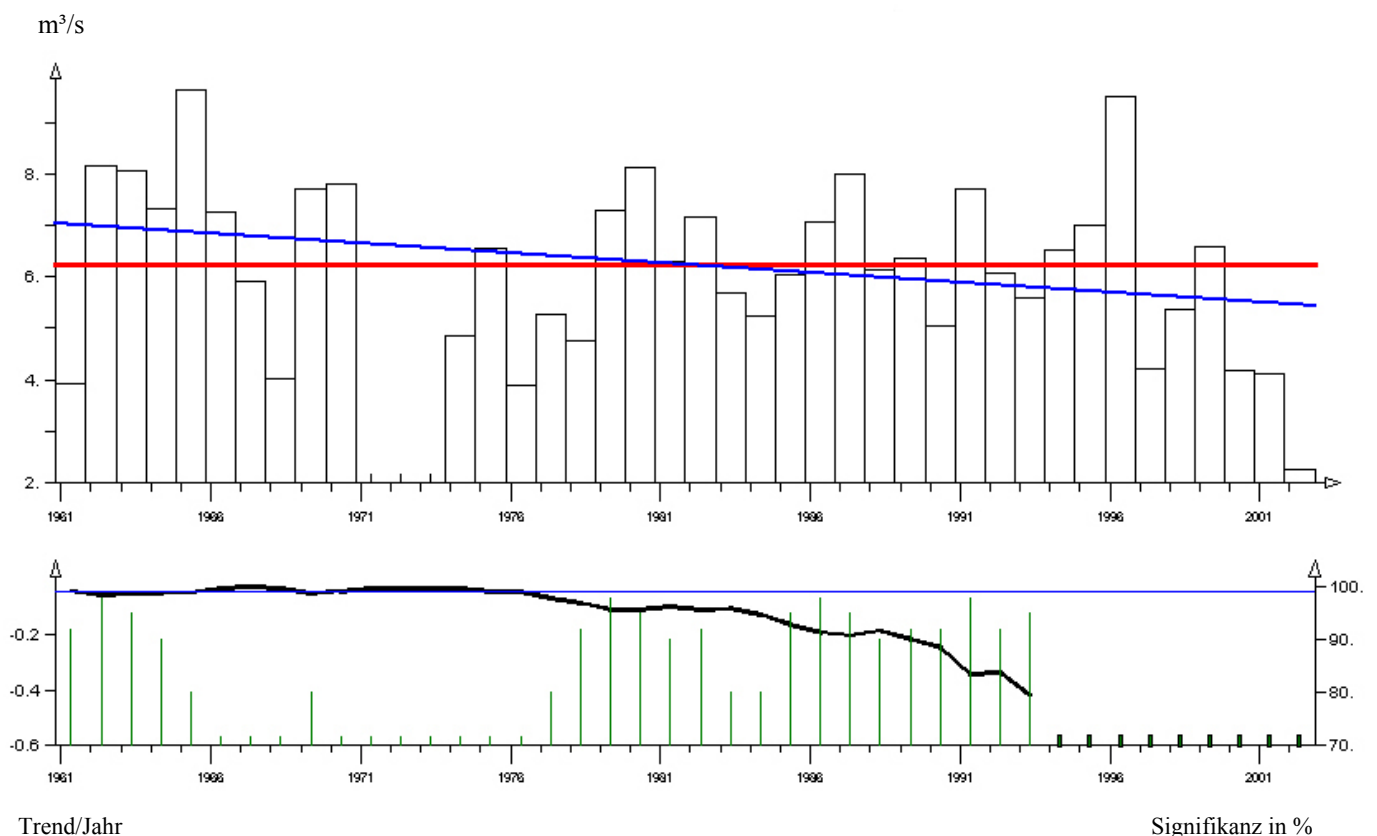
Trendtest nach Mann und Kendall

Trend über Zeitreihe  $-1,5731 \text{ m}^3/\text{s}$

— Mittelwert  $6,2273 \text{ m}^3/\text{s}$

— Trend gesamt  $-0,038 \text{ m}^3/\text{s/a}$

— Signifikanz gesamt 92%



**Abbildung 6: Mittlere jährliche Abflüsse MQ(J) am Pegel Tillmitsch an der Laßnitz (hydrologisches Jahr 1960 bis 2002), Mittelwert und linearer Trend der Gesamtzeitreihe (oben) sowie rückschreitender linearer Trend (unten), (Datenquelle: Hydrographischer Dienst), Quelle: Eigentwurf**

In Abbildung 6 oben ist rot der Mittelwert mit  $6,2273 \text{ m}^3/\text{s}$  eingezeichnet, die blaue Linie stellt den linearen Trend mit  $-0,038 \text{ m}^3/\text{s/a}$  dar. Die Signifikanz über die Gesamtzeitreihe beträgt 92 %, Änderungen sind als sehr wahrscheinlich zu bewerten.

Das untere Diagramm in Abbildung 6 zeigt in einem Polygonzug die tatsächliche mengenmäßige Änderung im Abfluss pro Jahr. Die blaue Linie steht für den gemittelten linearen Trend, gesamt mit  $-0,038 \text{ m}^3/\text{s/a}$ . Sehr schön ersichtlich ist, dass sich in den ersten 15 Jahren die jährlichen Abflussmengen kaum verändert haben. Mitte der 80er Jahre bis in die 90er ist ein Rückgang der jährlichen Abflussmengen zu verzeichnen.

Trendanalyse:

Liezen an der Enns HQT(M)

Zeitspanne: Nov. 1950 – Okt. 2002

Jahreswerte

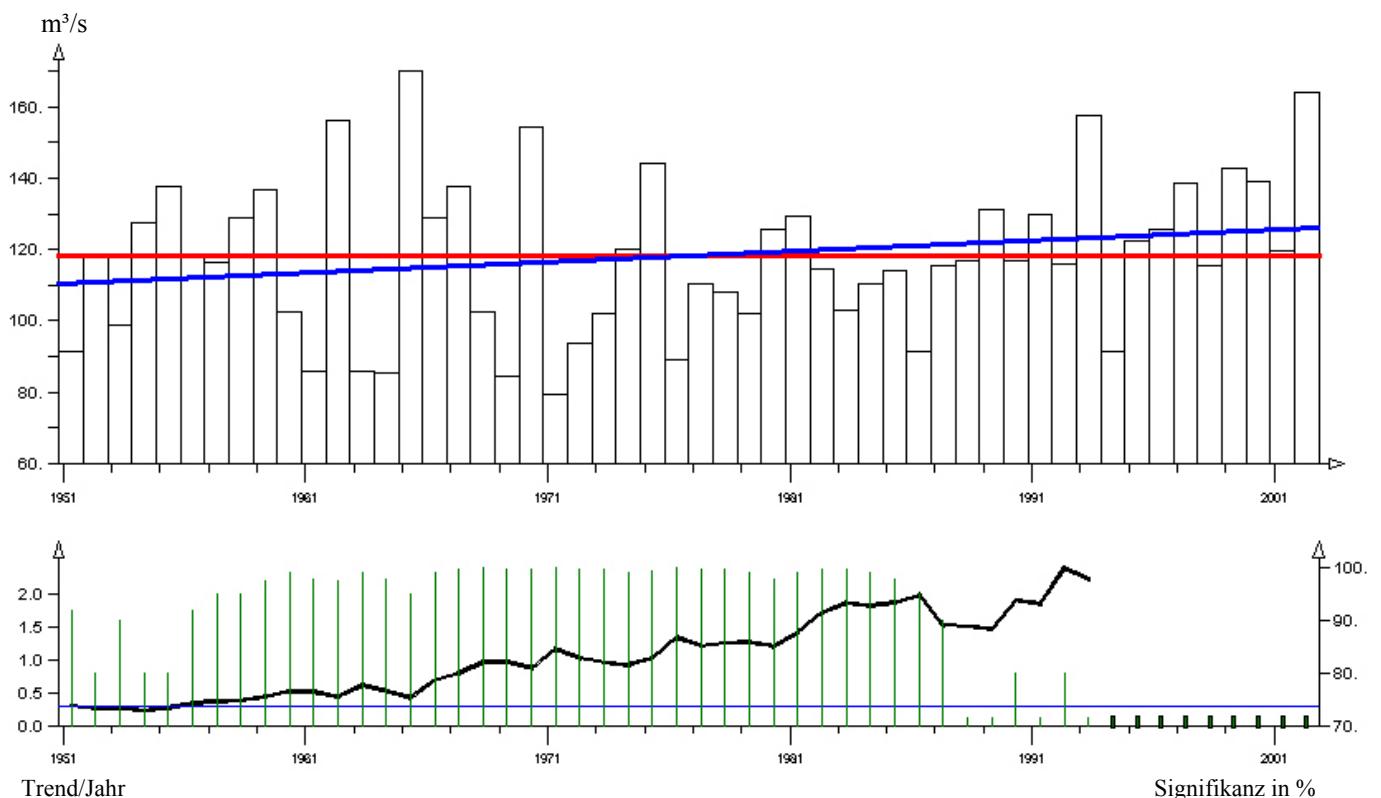
Trendtest nach Mann und Kendall

Trend über Zeitreihe:  $15,223 \text{ m}^3/\text{s}$

— Mittelwert  $118,18 \text{ m}^3/\text{s}$

— Trend gesamt  $0,298 \text{ m}^3/\text{s/a}$

— Signifikanz gesamt 92%



**Abbildung 7: Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) am Pegel Liezen an der Enns (hydrologisches Jahr 1950 bis 2002), Mittelwert und linearer Trend der Gesamtzeitreihe (oben) sowie rückschreitender linearer Trend (unten), (Datenquelle: Hydrographischer Dienst), Quelle: Eigentwurf**

Das obere Diagramm (Abbildung 7) zeigt eine Trendzunahme von durchschnittlich  $0,298 \text{ m}^3/\text{s/a}$  bei einer Signifikanz von 92 %. Am unteren Diagramm ist gut ersichtlich, dass die jährlichen

Änderungen jeweils hohe Signifikanzen aufweisen und der Trend eine hohe Stabilität aufweist. Je länger die Beobachtungszeit, desto stabiler verhält sich der Trend.

Der lineare Trend von 1985 bis 2002 beträgt  $1,98 \text{ m}^3/\text{s}/\text{a}$  mit einer Signifikanz von 95 %, von 1986 bis 2002 beträgt der lineare Trend  $1,53 \text{ m}^3/\text{s}/\text{a}$  bei 90 % Signifikanz. Die Zunahmen in diesen Jahren sind ein 5 bis 6-faches im Vergleich zum linearen Trend der Gesamtzeitreihe.

Trendanalyse:

Lieboch an der Kainach NQT(M)

Zeitspanne: Nov. 1950 – Okt. 2002

Jahreswerte

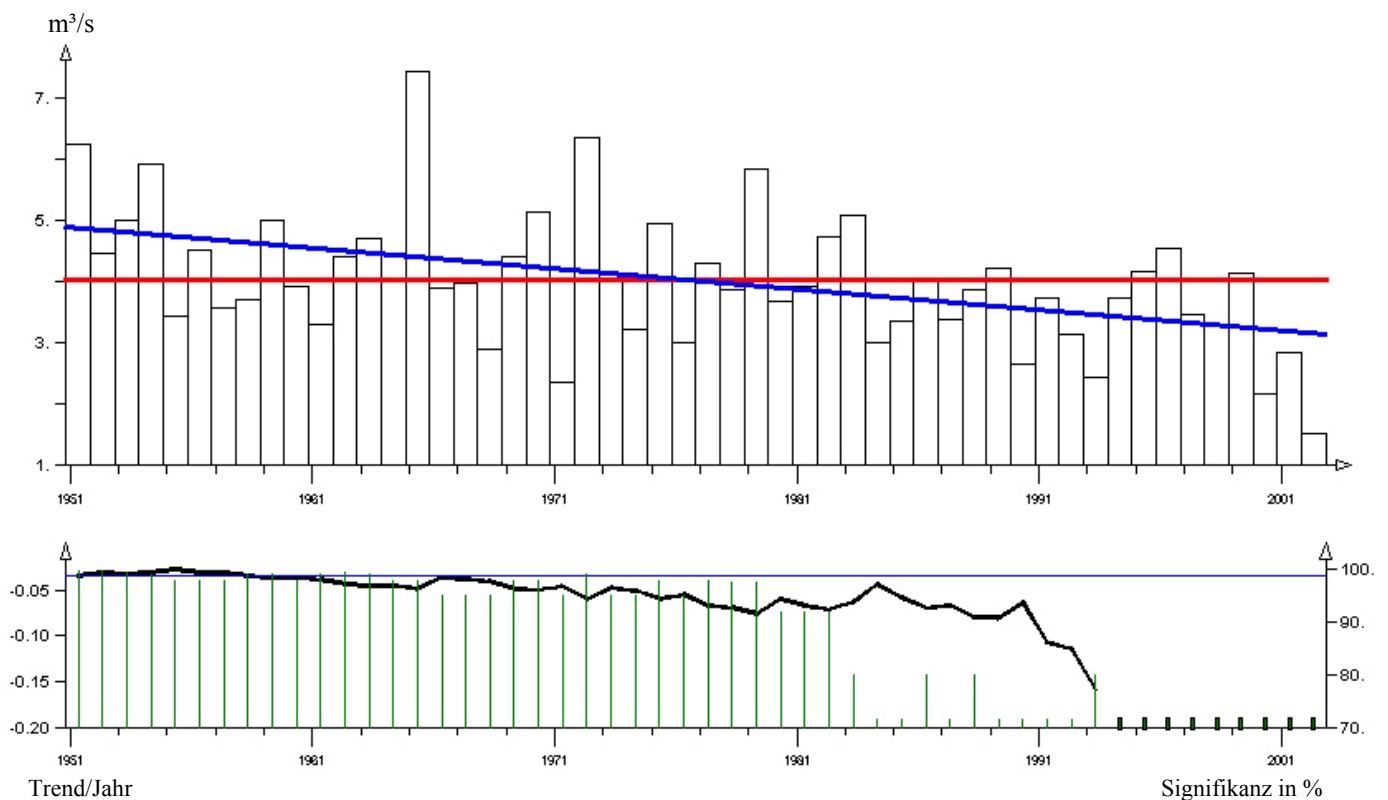
Trendtest nach Mann und Kendall

Trend über Zeitreihe:  $-1,7265 \text{ m}^3/\text{s}$

— Mittelwert  $4,0145 \text{ m}^3/\text{s}$

— Trend gesamt  $-0,034 \text{ m}^3/\text{s}/\text{a}$

— Signifikanz gesamt 99,9%



**Abbildung 8: Jährliche Niederwasserabflüsse NQ(J) am Pegel Lieboch an der Kainach (hydrologisches Jahr 1950 bis 2002), Mittelwert und linearer Trend der Gesamtzeitreihe (oben) sowie rückwärtiger linearer Trend (unten), (Datenquelle: Hydrographischer Dienst), Quelle: Eigentwurf**

Das obere Diagramm (Abbildung 8) zeigt einen mittleren linearen Trend von  $-0,034 \text{ m}^3/\text{s}/\text{a}$  für den Pegel Lieboch mit einer Signifikanz des Trends von 99,9 %. Das untere Diagramm veranschaulicht die Stabilität des Trends. Auch hier liegen in jüngster Vergangenheit größere Abnahmen vor.

#### 4.2.1. Trendanalyse der mittleren jährlichen Abflüsse

Die nachfolgenden Tabellen 9 - 12 beinhalten die Trendauswertungen aller Pegel. Aufgezeigt wird der jeweilige lineare Trend im  $\text{m}^3/\text{s}/\text{a}$ , die Signifikanz des Trends (mit welcher Wahrscheinlichkeit Änderungen vorliegen), der Trend über die Gesamtzeitspanne (ergibt sich aus dem Trend pro Jahr multipliziert mit der Zeitspanne) und dem relativen Trend (Spannweite des Trends oder Trend über die Gesamtzeitspanne dividiert durch den Mittelwert des Pegels multipliziert mit 100). Der relative Trend ist eine benötigte Kennzahl, um die einzelnen untersuchten Einzugsgebiete auch untereinander vergleichen zu können.

MQ(J) TREND AUSWERTUNG										
Nr.	Mstnr.	Pegel / Gewässer	A <sub>E</sub> km <sup>2</sup>	Beobachtungsdauer	Jahre	Mittelwert Zeitreihe m <sup>3</sup> /s	linearer TREND m <sup>3</sup> /s/a	Signifikanz des Trends	Trend über Zeitreihe m <sup>3</sup> /s	relativer TREND in %
<b>Traungebiet</b>										
1	205 104	Obertraun / Traun	334,40	1947 - 2002	55	20,2250	0,0438	80%	2,3631	12%
<b>Ennsgebiet</b>										
2	210 799	Liezen / Enns	2116,20	1947 - 2002	55	64,1240	0,0377	70%	2,0346	3%
3	210 898	Wildalpen / Salza	592,30	1950 - 2002	52	20,2490	0,0410	80%	2,0928	10%
<b>Murgebiet</b>										
4	211 185	Leoben / Mur	531,24	1947 - 2002	55	78,9210	-0,0363	50%	-1,9573	-2%
5	211 573	Graz / Mur	6988,90	1965 - 2002	37	116,7400	-0,0124	60%	-0,4447	0%
6	211 227	Neuberg / Mürz	231,50	1960 - 2002	41	6,7860	0,0070	50%	0,3029	4%
7	211 342	Lieboch / Kainach	756,20	1949 - 2002	53	9,5593	-0,0305	60%	-1,5878	-17%
8	211 441	Tillmitsch / Laßnitz	272,20	1960 - 2002	39	6,2273	-0,0384	92%	-1,5731	-25%
9	211 458	Leibnitz / Sulm	1102,50	1948 - 2002	54	15,6850	-0,0288	70%	-1,5246	-10%
<b>Raabgebiet</b>										
10	210 989	Feldbach / Raab	689,40	1948 - 2002	54	5,7091	-0,0165	50%	-0,8748	-15%
11	211 029	Anger / Feistritz	408,00	1960 - 2001	41	5,4087	-0,0405	92%	-1,6217	-30%
12	211 003	Wörth / Lafnitz	439,40	1960 - 2002	42	3,7362	-0,0282	80%	-1,1551	-31%

positiver Trend	negativer Trend	signifikant	schwachsignifikant
-----------------	-----------------	-------------	--------------------

Tabelle 9: Errechnete Trends für alle MQ(J) Pegel: linearer Trend, Signifikanz des Trends und relativen Trend in % (Datenquelle: Hydrographischer Dienst Steiermark), Quelle: Eigentwurf

Die Tabelle 9 liefert Ergebnisse für die Abflussdaten der MQ(J), also gemittelte Jahresabflüsse. Gut ersichtlich ist, dass sich im Traungebiet die Abflussmengen in den letzten 55 Jahren um rund 10 % erhöht haben. Gleiches gilt im Ennsgebiet, der Pegel Wildalpen verzeichnet einen Zuwachs des Abflusses um 10 %. Die Signifikanz ist jedoch zu gering, um von eindeutigen Veränderungen zu sprechen. 80 % kennzeichnen lediglich ein nichtsignifikantes Ergebnis, es sind keine Änderungen zu erkennen, die Irrtumswahrscheinlichkeit ist zu hoch.

Die Mur zeigt in Leoben leichte Abnahmen. In Graz sind die Abnahmen kaum ersichtlich, der relative Trend in Graz ergibt 0 %.

Die Weststeiermark zeigt Abnahmen in den mittleren Abflüssen. Als signifikant mit 92 % ist der Pegel Tillmitsch anzuführen, die Abflussmenge verringerte sich seit 1960 jährlich um  $-0,0384 \text{ m}^3/\text{s}$ , was bei einem durchschnittlichen mittleren Abfluss im Jahr von rund  $6,3 \text{ m}^3/\text{s}$  für das Jahr 2002 eine Abnahme von  $-25 \%$  darstellt.

Ein ähnliches Bild zeigt sich in der Oststeiermark: Der Pegel Anger an der Feistritz verzeichnet in seiner 41jährigen Beobachtungsdauer einen relativen Rückgang von  $-30 \%$  an der Abflussmenge. Die Signifikanz beträgt ebenfalls 92 %, das bedeutet, dass Änderungen als sehr wahrscheinlich anzusehen sind.

Um eine bessere Vorstellung dieser Aussagen zu erhalten, soll am Beispiel Tillmitsch ein Rechenbeispiel gezeigt werden:

$$1 \text{ Jahr} = 31\,536\,000 \text{ Sekunden } (60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365)$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ Liter } (1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ Liter}, 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3)$$

$$\text{Pegel Tillmitsch: } 6,2273 \text{ m}^3/\text{s MQ(J)} = 196\,384\,133 \text{ m}^3/\text{a} = 196\,384\,133\,000 \text{ Liter/a}$$

$$\text{linearer Trend: } -0,0384 \text{ m}^3/\text{s/a} = 1\,210\,982 \text{ m}^3/\text{a} = 1\,210\,982\,000 \text{ Liter/a}$$

Pro Jahr nimmt der Abfluss im Schnitt um 1 211 Millionen Liter Wasser ab! Das ist zwar prozentuell nur  $0,6 \%$  vom Jahresmittelabfluss, aber in absoluten Zahlen sind dies beträchtliche Mengen!

Pro Kopf verbrauchen die Österreicher im Schnitt rund 150 Liter Wasser pro Tag (ohne Industrie und Gewerbe): Für Trinken und Kochen 5 Liter, für Körperpflege 45 Liter, Reinigung von Wäsche und Geschirr 50 Liter und WC Spülung 50 Liter (INSTITUT FÜR ERNÄHRUNGSWISSENSCHAFTEN, 2004).

Alle 8 Millionen Österreicher würden pro Tag theoretisch 1 200 000 000 Liter Wasser verbrauchen. Diese Menge entspricht dem negativen linearen Trend am Pegel Tillmitsch,

ausgedrückt als 1 210 982 000 Liter/a. Der absolute jährliche Abflussrückgang in Tillmitsch könnte Österreichs Bevölkerung hypothetisch einen ganzen Tag versorgen!

#### 4.2.2. Trendanalyse der jährlichen Hochwasserabflüsse

HQ(J) TREND AUSWERTUNG										
Nr.	Mstnr.	Pegel / Gewässer	A <sub>E</sub> km <sup>2</sup>	Beobachtungsdauer	Jahre	Mittelwert Zeitreihe m <sup>3</sup> /s	linearer TREND m <sup>3</sup> /s/a	Signifikanz des Trends	Trend über Zeitreihe m <sup>3</sup> /s	relativer TREND in %
<b>Traungebiet</b>										
1	205 104	Obertraun / Traun	334,40	1950 - 1999	49	45,0560	0,1564	92%	7,5050	17%
<b>Ennsgebiet</b>										
2	210 799	Liezen / Enns	2116,20	1950 - 2002	52	118,1800	0,2985	92%	15,2230	13%
3	210 898	Wildalpen / Salza	592,30	1950 - 2002	52	44,6860	0,1041	50%	5,3092	12%
<b>Murgebiet</b>										
4	211 185	Leoben / Mur	531,24	1950 - 2002	52	133,4500	-0,2038	50%	-10,3940	-8%
5	211 573	Graz / Mur	6988,90	1965 - 2002	37	191,6700	-0,5751	50%	-20,7040	-11%
6	211 227	Neuberg / Mürz	231,50	1960 - 2002	41	17,4220	0,0974	70%	3,9941	23%
7	211 342	Lieboch / Kainach	756,20	1950 - 2002	52	26,0430	-0,0047	50%	-0,2417	-1%
8	211 441	Tillmitsch / Laßnitz	272,20	1960 - 2002	39	21,9370	-0,0274	50%	-1,1234	-5%
9	211 458	Leibnitz / Sulm	1102,50	1950 - 2002	52	51,5040	0,0082	50%	0,4195	1%
<b>Raabgebiet</b>										
10	210 989	Feldbach / Raab	689,40	1950 - 2002	52	18,1700	-0,1065	70%	-5,4294	-30%
11	211 029	Anger / Feistritz	408,00	1960 - 2001	41	10,4680	-0,1421	95%	-5,6829	-54%
12	211 003	Wörth / Lafnitz	439,40	1960 - 2002	42	9,3409	-0,0884	70%	-3,6225	-39%

positiver Trend	negativer Trend	signifikant	schwachsignifikant
-----------------	-----------------	-------------	--------------------

**Tabelle 10: Errechnete Trends für alle HQ(J) Pegel: linearer Trend, Signifikanz des Trends und relativen Trend in % (Datenquelle: Hydrographischer Dienst Steiermark), Quelle: Eigenentwurf**

Am Pegel Obertraun sind erhebliche Zuwächse von 17 % mit einer hohen Signifikanz festzustellen. Auch in Liezen und Wildalpen sind die jährlichen Höchstabflüsse gestiegen. Signifikante Zunahmen ergeben sich nur am Pegel Liezen (92 %). Der Pegel Leoben und auch Graz sind durch Abnahmen der Abflüsse gekennzeichnet. Am Pegel Neuberg liegen 23%ige Zunahmen vor, aber nicht signifikant. Die Weststeiermark verhält sich mit leichten Abnahmen stabil und weist keine signifikanten Veränderungen auf. In der Oststeiermark ist die Situation genau anders. Die jährlichen Höchstabflüsse werden immer geringer, alle 3 Pegel zeigen

Abnahmen. Der Pegel Anger, mit einer Signifikanz von 95 % und somit sehr wahrscheinlichen Veränderungen, weist einen Rückgang des Höchstabflusses von -54 % auf. In den Ausführungen von Kapitel 7 wird genauer auf diese Rückgänge eingegangen.

#### 4.2.3. Trendanalyse der jährlichen Niederwasserabflüsse

NQ(J) TREND AUSWERTUNG										
Nr.	Mstnr.	Pegel / Gewässer	A <sub>E</sub> km <sup>2</sup>	Beobachtungsdauer	Jahre	Mittelwert Zeitreihe m <sup>3</sup> /s	linearer TREND m <sup>3</sup> /s/a	Signifikanz des Trends	Trend über Zeitreihe m <sup>3</sup> /s	relativer TREND in %
<b>Traungebiet</b>										
1	205 104	Obertraun / Traun	334,40	1950 - 1999	49	9,1336	0,0381	92%	1,8273	20%
<b>Ennsgebiet</b>										
2	210 799	Liezen / Enns	2116,20	1950 - 2002	52	38,6710	-0,0402	50%	-2,0519	-5%
3	210 898	Wildalpen / Salza	592,30	1950 - 2002	52	11,7760	0,0212	70%	1,0802	9%
<b>Murgebiet</b>										
4	211 185	Leoben / Mur	531,24	1950 - 2002	52	52,9980	-0,0564	50%	-2,8751	-5%
5	211 573	Graz / Mur	6988,90	1965 - 2002	37	79,9160	0,1935	80%	6,9664	9%
6	211 227	Neuberg / Mürz	231,50	1960 - 2002	41	3,6062	-0,0058	60%	-0,2384	-7%
7	211 342	Lieboch / Kainach	756,20	1950 - 2002	52	4,0145	-0,0339	99,9%	-1,7265	-43%
8	211 441	Tillmitsch / Laßnitz	272,20	1960 - 2002	39	3,1017	-0,0032	50%	-0,1331	-4%
9	211 458	Leibnitz / Sulm	1102,50	1950 - 2002	52	8,2107	-0,0049	50%	-0,2521	-3%
<b>Raabgebiet</b>										
10	210 989	Feldbach / Raab	689,40	1950 - 2002	52	3,0240	-0,0006	50%	-0,0314	-1%
11	211 029	Anger / Feistritz	408,00	1960 - 2001	41	3,6724	-0,0102	50%	-0,4091	-11%
12	211 003	Wörth / Lafnitz	439,40	1960 - 2002	42	2,3908	-0,0097	60%	-0,3977	-17%

positiver Trend	negativer Trend	signifikant	schwachsignifikant
-----------------	-----------------	-------------	--------------------

Tabelle 11: Errechnete Trends für alle NQ(J) Pegel: linearer Trend, Signifikanz des Trends und relativen Trend in % (Datenquelle: Hydrographischer Dienst Steiermark), Quelle: Eigenentwurf

Zunahmen im Niederwasser sind am Pegel Obertraun mit 92%iger Signifikanz sehr wahrscheinlich.

In der West- und Oststeiermark sind generell negative Trends vorhanden. Eindeutige Veränderungen sind am Pegel Lieboch an der Kainach erkennbar. Mit 99,9%iger Signifikanz nehmen die Niederwasserabflüsse pro Jahr um -0,0339 m<sup>3</sup>/s/a ab.



#### 4.2.4. Trendanalyse einzelner Monate

TREND AUSWERTUNG EINZELNER MONATE										
Nr.	Meßwert	Pegel / Gewässer	Monate	Beobachtungsdauer	Gruppen von Monaten	Mittelwert Zeitreihe m <sup>3</sup> /s	linearer TREND m <sup>3</sup> /s/a	Signifikanz des Trends	Trend über Zeitreihe m <sup>3</sup> /s	relativer TREND in %
<b>Traungebiet</b>										
1	NQ(M)	Obertraun / Traun	NDJ	1950 - 1999	48	4,0917	0,0402	99,9%	1,9296	47%
2	HQ(M)	Obertraun / Traun	NDJ	1950 - 1999	48	23,5590	0,3220	95%	15,4560	67%
<b>Ennsgebiet</b>										
3	HQ(M)	Liezen / Enns	März	1950 - 2002	52	92,0390	1,0950	80%	55,8450	61%
4	HQ(M)	Liezen / Enns	Oktober	1950 - 2002	52	88,3970	0,7330	90%	37,3830	42%
<b>Murgebiet</b>										
2	NQ(M)	Lieboch / Kainach	FMAMJJ	1950 - 2002	52	4,2362	-0,0539	99,9%	-2,7473	-65%
3	MQ(M)	Tillmitsch / Laßnitz	MJJ	1960 - 2002	39	6,4684	-0,0634	70%	-2,4096	-37%
<b>Raabgebiet</b>										
4	HQ(M)	Anger / Feistritz	MJJ	1960 - 2001	41	14,6900	-0,3361	97,5%	-13,4450	-92%
5	MQ(M)	Anger / Feistritz	MAMJJA	1960 - 2001	41	6,6252	-0,0818	95%	-3,2731	-49%
6	MQ(M)	Wörth / Lafnitz	MAMJJA	1960 - 2002	42	4,3133	-0,0534	80%	-2,1910	-51%

positiver Trend	negativer Trend	signifikant	schwachsignifikant
-----------------	-----------------	-------------	--------------------

**Tabelle 12: Errechnete Trends für einzelne ausgewählte Monate mit hoher Signifikanz der Veränderung, dargestellt sind: linearer Trend, Signifikanz des Trends und relativer Trend in % (Datenquelle: Hydrographischer Dienst Steiermark), Quelle: Eigenentwurf**

Die Trendergebnisse ausgewählter Monate weisen wie erwartet durchwegs hohe Signifikanzen auf. Veränderungen in diesen Monaten sind entsprechend groß und aussagekräftig. Mögliche Ursachen werden in Kapitel 7 behandelt.

## 5. Trendänderungen

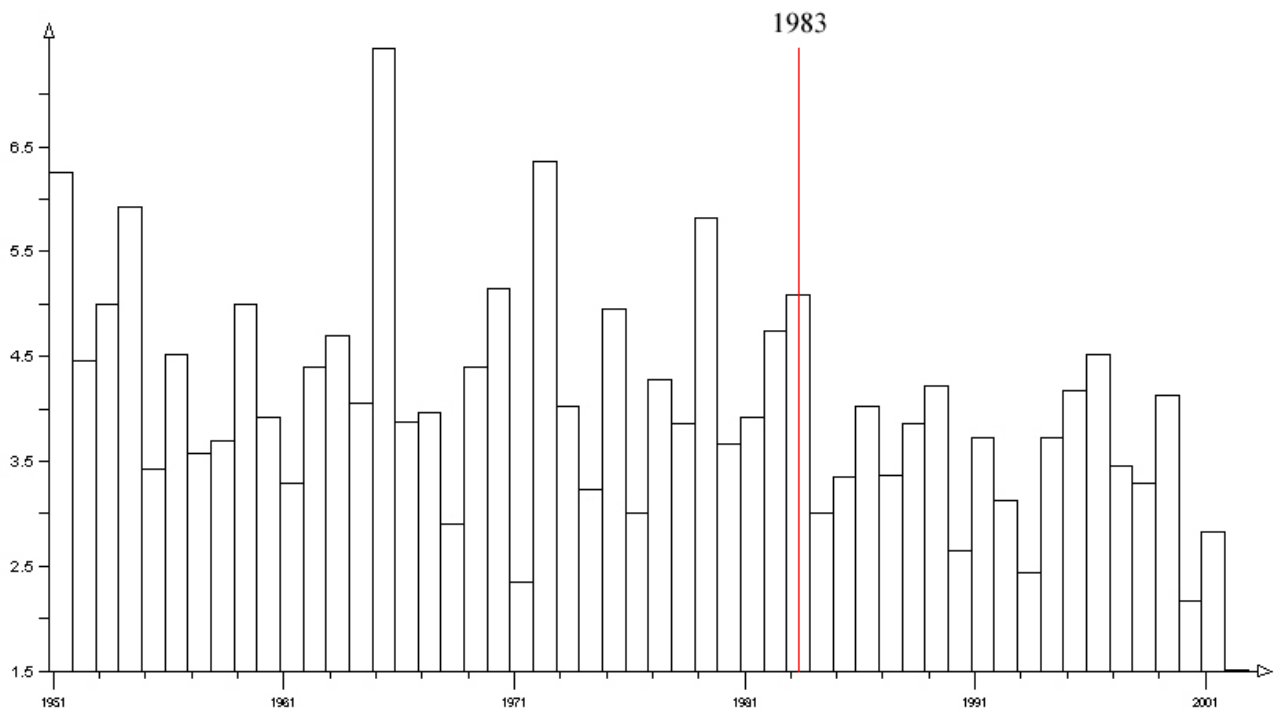
Um exaktere Ergebnisse in Bezug auf die Trendänderungen zu erhalten, ist noch einmal eine Bruchpunktanalyse durchgeführt worden, diesmal jedoch mit Jahreswerten. Die Ergebnisse dieser Bruchpunktanalyse sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst:

Nr.	Mstnr.	Pegel / Gewässer	Bruchpunkte mit Wahrscheinlichkeit					
			MQ(J)	p in %	HQ(J)	p in %	NQ(J)	p in %
<b>Traungebiet</b>								
1	205 104	Obertraun / Traun	1986	86%	1979	81%	1972	81%
<b>Ennsgebiet</b>								
2	210 799	Liezen / Enns	1986	80%	1987	91%	1975	69%
3	210 898	Wildalpen / Salza	1986	82%	1988	90%	1994	73%
<b>Murgebiet</b>								
4	211 185	Leoben / Mur	0	0%	1975	65%	1975	60%
5	211 573	Graz / Mur	1988	50%	1975	82%	1986	79%
6	211 227	Neuberg / Mürz	0	0%	1987	79%	1982	66%
7	211 342	Lieboch / Kainach	1996	65%	1999	51%	1983	99%
8	211 441	Tillmitsch / Laßnitz	1996	73%	1996	67%	1996	47%
9	211 458	Leibnitz / Sulm	1973	69%	1996	59%	1996	68%
<b>Raabgebiet</b>								
10	210 989	Feldbach / Raab	1972	68%	1975	88%	1961	55%
11	211 029	Anger / Feistritz	1987	87%	1987	90%	1983	50%
12	211 003	Wörth / Lafnitz	1989	62%	1982	65%	1989	67%

**Tabelle 13: Bruchpunktanalyse mit Jahreswerten und der Wahrscheinlichkeit auf Trendänderung (Datenquelle: Hydrographischer Dienst), Quelle: Eigenentwurf**

Der große Unterschied zur Bruchpunktanalyse mit Monatswerten (Tabelle 5) besteht darin, dass die Wahrscheinlichkeiten in % nun wesentlich geringer sind (geringerer Datenumfang). Nur an einigen wenigen Pegeln liegen hohe Wahrscheinlichkeiten auf Trendänderung vor. Der Pegel Lieboch an der Kainach für NQ(J) mit dem Jahr 1983 und 99 % Wahrscheinlichkeit auf Veränderungen und noch die Pegel Liezen und Wildalpen, mit den Jahren 1987 und 1988 für HQ(J) mit 90 % Wahrscheinlichkeiten.

Abbildung 9 zeigt das Ergebnisdiagramm der Bruchpunktanalyse von Lieboch als Beispiel:



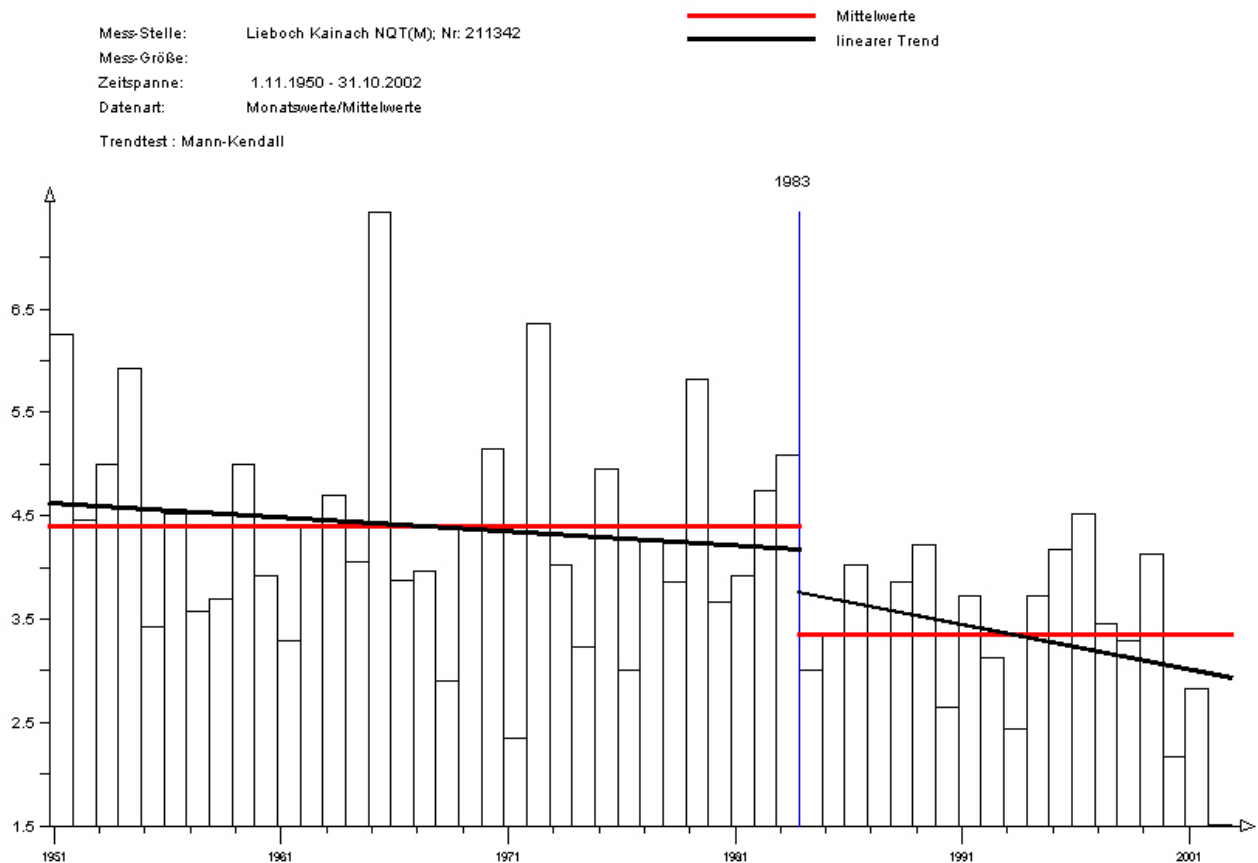
**Abbildung 9: Bruchpunktanalyse (Test auf Trendänderung) für die Jahresreihe NQ(J) am Pegel Lieboch an der Kainach (hydrologische Jahre 1950 bis 2002), 1983 weist mit 99% Wahrscheinlichkeit eine Trendänderung auf (Datenquelle: Hydrographischer Dienst), Quelle: Eigenentwurf**

In einem weiteren Schritt sollen nun Trendberechnungen unter Miteinbezug der Bruchpunkte durchgeführt werden. Das Ziel ist zu zeigen, inwieweit sich das Trendverhalten nach einem Bruchpunkt geändert hat. Hierzu ist für jeden Pegel mit dem Zeitpunkt einer wahrscheinlichen Trendänderung (Bruchpunkt) noch einmal ein linearer Trend errechnet worden.

Mit Hilfe dieser Berechnungen werden der Bruchpunkt und seine Bedeutung auch optisch sehr gut veranschaulicht.

Abbildung 10 zeigt das Ergebnis einer solchen Trendberechnung.

Gut ersichtlich ist, dass der Mittelwert der Zeitreihe NQ(J) am Pegel Lieboch ab 1983 stark zurückgegangen ist, von 4,4 auf 3,3 m³/s. Der lineare Trend hat sich von -0,0136 auf -0,0435 m³/s/a erhöht, d.h. die jährlichen Abnahmen im Abfluss haben sich ab 1983 verdreifacht. Der lineare Trend der Gesamtzeitreihe beträgt -0,0339 m³/s/a.



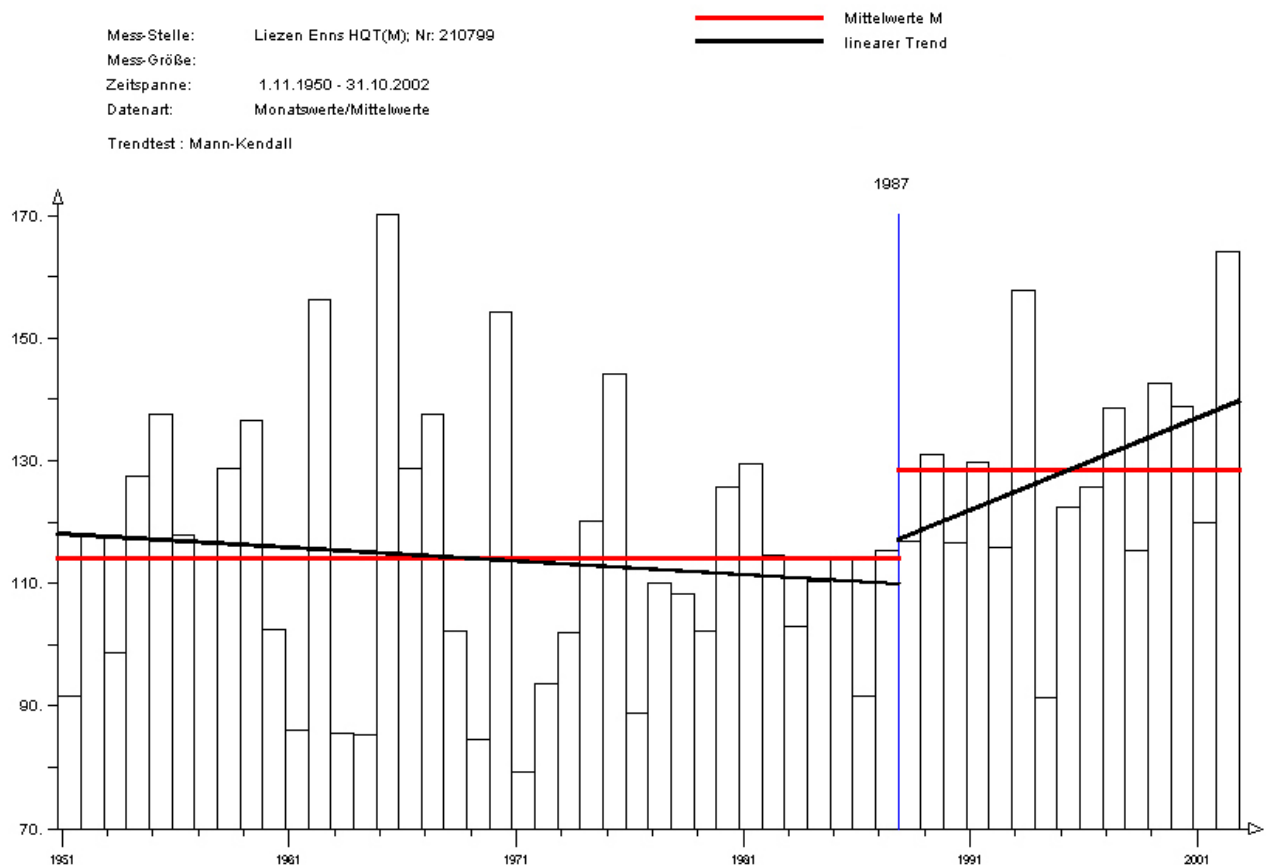
**Abbildung 10: Trendanalyse am Pegel Lieboch (1950 – 2002) für die Jahresreihe NQ(J) mit Bruchpunkt im Jahr 1983 und hoher Wahrscheinlichkeit des Bruchpunktes (99%), (Datenquelle: Hydrographischer Dienst) Quelle: Eigenentwurf**

Als positives Beispiel, mit einer Erhöhung der Abflusswerte ist der Pegel Liezen mit der Jahresreihe HQ(J) angeführt.

In Abbildung 11 ist die lineare Trendanalyse für Liezen dargestellt. Ab 1987 ist eine Erhöhung des Mittelwertes ersichtlich, von 114,02 auf 128,45 m<sup>3</sup>/s, der lineare Trend veränderte sich von vor dem Bruchpunkt mit -0,22 m<sup>3</sup>/s/a auf danach 1,51 m<sup>3</sup>/s/a. Für die Gesamtzeitspanne ist ein linearer Trend von 0,2985 m<sup>3</sup>/s/a errechnet worden.

Die Wahrscheinlichkeit für den Bruchpunkt 1987 liegt bei 91 %.

Die letzten 15 Jahre sind durch eine deutliche Erhöhung der Abflusswerte gekennzeichnet. Ein vor 1987 noch negativer Trend wandelte sich in einen positiven Trend, mit erheblichen Zunahmen, so dass sogar die Gesamtzeitspanne einen positiven Trend zu verzeichnen hat. Hier erkennt man deutlich, dass mit Hilfe der Bruchpunkte ein wirklichkeitsnäherer Verlauf der Zeitreihe erhalten wird.



**Abbildung 11: Trendanalyse am Pegel Liezen (1950 – 2002) für die Jahresreihe HQ(J) mit Bruchpunkt im Jahr 1987 und hoher Wahrscheinlichkeit des Bruchpunktes (91%), (Datenquelle: Hydrographischer Dienst) Quelle: Eigenentwurf**

## 5.1. Änderungen nach dem Bruchpunkt

Diese Art der Trendberechnung ist für alle Pegel durchgeführt worden. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Tabelle 14 aufgelistet.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, wie sich der lineare Trend und der Mittelwert der Zeitreihen nach einem Bruchpunkt geändert haben. Als erklärendes Beispiel ist hier der Pegel Liezen an der Enns angeführt. In Tabelle 14 steht in der Zeile Liezen in der Spalte B für Bruchpunkt 1986, danach in der Spalte p in % für die Wahrscheinlichkeit des Bruchpunktes 86 % und in den Spalten für Mittelwert und Trend ist jeweils ein „+“ Symbol eingezeichnet. Das bedeutet, dass der Mittelwert nach Auftreten des Bruchpunktes 1987 angestiegen ist, ebenso verhält es sich mit dem Trend.

Farbig sind jene Pegel gekennzeichnet, die schwachsignifikante (gelb) bis signifikante (rot) Trends aufweisen.

		Bruchpunkte mit Wahrscheinlichkeit (MW und Trend nach BP)											
		MQ(J)				HQ(J)				NQ(J)			
Nr.	Pegel / Gewässer	B	p in %	MW	Trend	B	p in %	MW	Trend	B	p in %	MW	Trend
1	Obertraun / Traun	1986	86%	+	—	1979	81%	+	+	1972	81%	+	+
2	Liezen / Enns	1986	80%	+	+	1987	91%	+	+	1975	69%	—	+
3	Wildalpen / Salza	1986	82%	+	+	1988	90%	+	+	1994	73%	+	—
4	Leoben / Mur	0	0%	0	0	1975	65%	—	+	1975	60%	—	+
5	Graz / Mur	1988	50%	+	—	1975	82%	—	+	1986	79%	+	+
6	Neuberg / Mürz	0	0%	0	0	1987	79%	+	—	1982	66%	—	+
7	Lieboch / Kainach	1996	65%	—	—	1999	51%	—	—	1983	99%	—	—
8	Tillmitsch / Laßnitz	1996	73%	—	—	1996	67%	—	—	1996	47%	—	—
9	Leibnitz / Sulm	1973	69%	—	—	1996	59%	—	—	1996	68%	—	—
10	Feldbach / Raab	1972	68%	—	—	1975	88%	—	+	1961	55%	+	—
11	Anger / Feistritz	1987	87%	—	+	1987	90%	—	—	1983	50%	—	+
12	Wörth / Lafnitz	1989	62%	—	—	1982	65%	—	—	1989	67%	—	—

**Tabelle 14: Ergebnisse der linearen Trendberechnung mit Bruchpunkten für MQ, HQ und NQ Jahresreihen, B = Bruchpunkt in Jahren, p in % = Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des Bruchpunktes, MW = Mittelwert; die Spalten von MW und Trend veranschaulichen mit + und – den Verlauf der Diagramme NACH dem Bruchpunkt, gelb sind Pegel mit schwachsignifikantem Verhalten eingezeichnet, rot mit signifikanten Änderungen (Datenquelle: Hydrographischer Dienst) Quelle: Eigenentwurf**

In einem nächsten Schritt werden nun auch die Bruchpunkte der Monate mit besonderem Auffälligkeiten im Abflussverhalten berechnet (siehe Tabelle 13). Das Ergebnis sind die Jahre der Trendänderungen. In Tabelle 15 sind die Ergebnisse dieser Analyse zusammengefasst. Wie vermutet stimmen die Jahre der Trendänderungen in der Jahreszahl mit den Trendänderungen für die Gesamtjahresreihen in etwa überein. Abweichungen liegen nur in der Größenordnung von wenigen Jahren.

BRUCHPUNKTE EINZELNER MONATSREIHEN							
Nr.	Meßwert	Pegel / Gewässer	Monate	Bruchpunkt mit Trendänderung Monate	Wahrscheinlichkeit in %	Bruchpunkt mit Trendänderung Jahresreihen	Wahrscheinlichkeit in %
<b>Traungebiet</b>							
1	NQ(M)	Obertraun / Traun	NDJ	1969	99%	1972	81%
2	HQ(M)	Obertraun / Traun	NDJ	1973	95%	1979	81%
<b>Ennsgebiet</b>							
3	HQ(M)	Liezen / Enns	März	1988	92%	1987	91%
4	HQ(M)	Liezen / Enns	Oktober	1988	88%	1987	91%
<b>Murgebiet</b>							
2	NQ(M)	Lieboch / Kainach	FMAMJJ	1979	99%	1983	99%
3	MQ(M)	Tillmitsch / Laßnitz	MJJ	1989	83%	1996	73%
<b>Raabgebiet</b>							
4	HQ(M)	Anger / Feistritz	MJJ	1975	93%	1987	90%
5	MQ(M)	Anger / Feistritz	MAMJJA	1987	95%	1987	87%
6	MQ(M)	Wörth / Lafnitz	MAMJJA	1988	65%	1989	62%

**Tabelle 15: Bruchpunktanalyse einzelner Monatsreihen mit Wahrscheinlichkeit im Vergleich zu den Gesamtzeitreihen (Datenquelle: Hydrographischer Dienst), Quelle: Eigentwurf**

Die Berechnungen zeigen, dass die Bruchpunkte von ausgewählten Monatswerten und den zugehörigen Jahresreihen in etwa gleich sind. Einige Pegel zeigen an den Monatsanalysen schon früher Anzeichen von Trendänderungen, im Schnitt 5 Jahre früher als die Gesamtjahresreihe.

Das Ergebnis der Trendberechnungen wird im anschließenden Kapitel 6 vorgestellt. Es handelt sich dabei um 3 Kartenentwürfe jeweils für die Zeitreihen aus MQ(J), HQ(J) und NQ(J). Im Anschluss an jede Karte soll eine Analyse der jeweiligen Abflussgröße folgen.

## 6. Ergebnisse der Trendberechnungen

### 6.1. Analyse der mittleren jährlichen Abflüsse

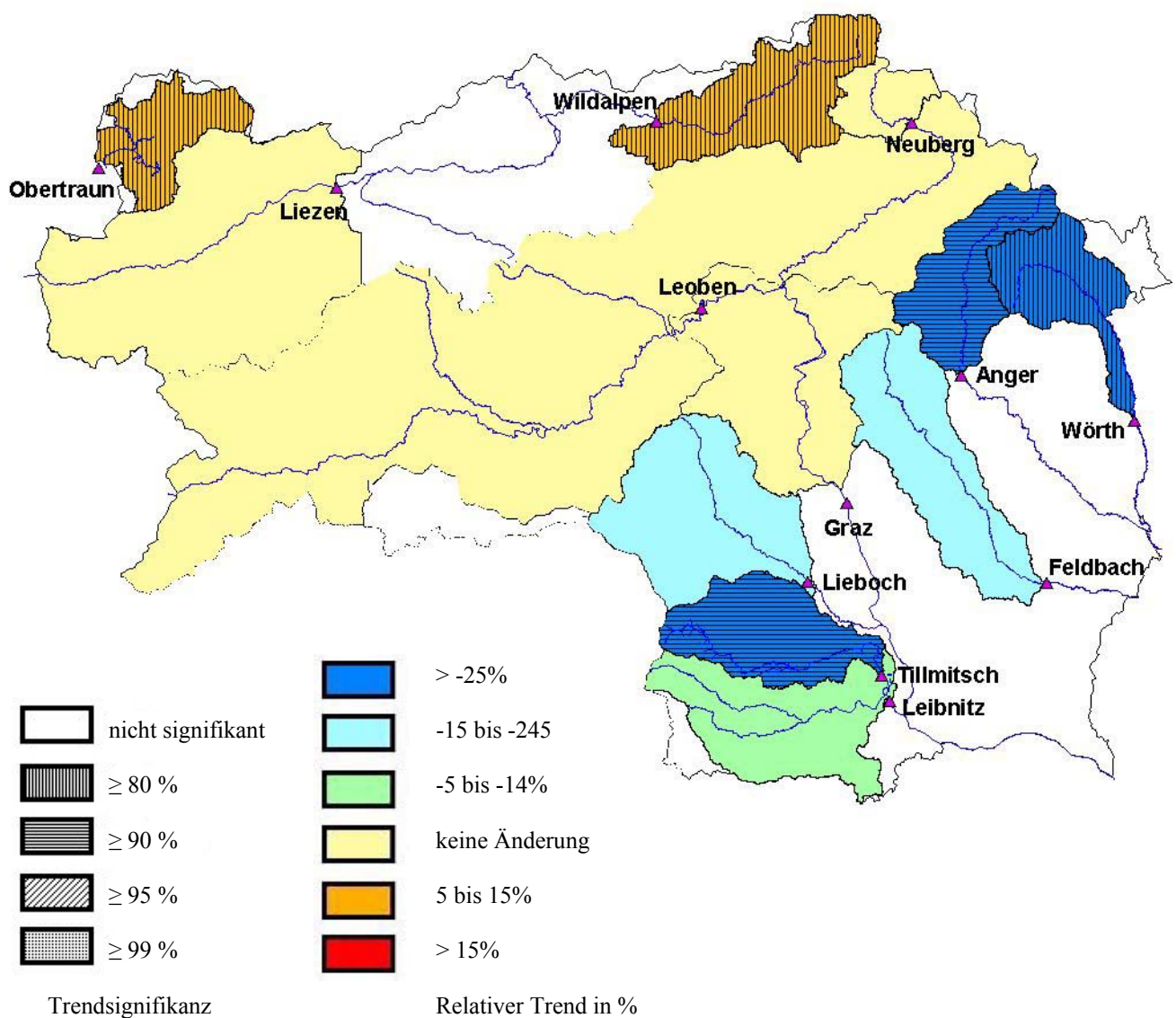


Abbildung 12: Relativer linearer Trend in % der mittleren monatlichen Abflüsse MQ(J) mit Angabe der Trendsignifikanz für die untersuchten Einzugsgebiete (weiße Flächen sind nicht bearbeitete Gebiete) (Datenquelle: Hydrographischer Dienst), Quelle: Eigenentwurf



### **6.1.1. Trendverhalten der mittleren monatlichen Abflüsse**

Abbildung 12 zeigt das Trendverhalten der mittleren monatlichen Abflüsse für die untersuchten Einzugsgebiete der Steiermark. Aus der Karte ist gut ersichtlich, dass leichte Abflusszunahmen lediglich in der Obersteiermark zu finden sind, ein gleich bleibendes leicht positives Verhalten zeigen die Pegel Liezen, Leoben, Neuberg und Graz, wogegen die Mittelsteiermark nur Abnahmen zu verzeichnen hat. In zwei Teilbereichen ergaben sich deutliche Veränderungen (mit 92 %: Veränderungen sehr wahrscheinlich) zu geringeren Abflüssen, insbesondere der Pegel Tillmitsch an der Laßnitz und der Pegel Anger an der Feistritz. Schwache Anzeichen von Veränderungen (Signifikanzniveau  $\geq 80$  %) zeigen sich an der Traun und Salza mit kleinen jährlichen Zuwächsen und an der Lafnitz mit Abnahmen am Abfluss.

### **6.1.2. Jahresgang der mittleren monatlichen Abflüsse**

Wie schon im Kapitel 3.2. erwähnt, kann bei den Jahresgängen für die Steiermark kein einheitliches Verhalten erkannt werden. In der Obersteiermark sind leichte bis keine Zuwächse zu verzeichnen, eine leichte Veränderung im Abflussverhalten ist seit dem Jahr 1985 auffallend. Größere Zuwächse im Jahr weisen die Monate September, Oktober und November auf und Abnahmen die Monate Juni, Juli und August.

Die West- und Oststeiermark verzeichnen generell Abnahmen der Durchflüsse. Die Monate mit leichten Zunahmen im Abfluss sind stark in der Minderheit (zwischen 1 und 3 Monate, nur ein positiver Monat am Pegel Anger: September mit + 1 %, 3 positive Monate am Pegel Feldbach: Mai, September, Oktober). Es überwiegen Monate mit leichten bis starken Abnahmen im Abfluss (die Monate Februar bis August weisen bei fast allen Pegeln starke Abnahmen auf).

Generell liegt in der Ost- und Weststeiermark eine sehr geringe Zunahme nur mehr im Herbst vor, der Rest des Jahres zeichnet sich durch Rückgänge des Durchflusses aus.

### **6.1.2. Mittlere Abflüsse einzelner Monate**

Am Pegel Tillmitsch an der Laßnitz werden die Monate Mai, Juni und Juli einer gesonderten Trendanalyse unterzogen. Der gesamte lineare Trend für den Pegel Tillmitsch an der Laßnitz beträgt  $-0,038 \text{ m}^3/\text{s/a}$ , es liegen Abnahmen des Abflusses vor (zu 92 % signifikant). Für die

Monate von besonderem Interesse (Mai bis Juli) ergab die Trendanalyse einen linearen Trend von  $-0,0634 \text{ m}^3/\text{s}/\text{a}$ , die Vermutung, dass sich in diesen Monaten größere Abnahmen als im Durchschnitt zutragen, bestätigte sich nicht, die Signifikanz zeigte auch keine Veränderungen an (70 %).

Anders ist der Fall am Pegel Anger, die Gesamtzeitreihe weist eine Signifikanz von 92 % aus, die zu untersuchenden Einzelmonate sind die Monate März bis August. Die Abnahmen in diesen 6 Monaten sind zu 95 % signifikant, etwas mehr als die Gesamtzeitreihe. Und mit 95 % Wahrscheinlichkeit ist die Trendänderung im Jahr 1987 geschehen. Auch am Pegel Wörth werden dieselben 6 Monate einer Untersuchung unterzogen, es liegen aber keine aussagekräftigen Ergebnisse vor.

#### **6.1.4. Mögliche Ursachen**

Die generelle Abhängigkeit des Abflusses vom Niederschlag wirkt sich auf Zu- oder Abnahmen direkt aus. Um spezielle Ursachen anzusprechen müssten weitreichende Untersuchungen des gesamten Wasserkreislaufs durchgeführt werden.

Die Zunahmen an den Pegeln Obertraun (Traun) und Wildalpen (Salza) sind auf die erhöhten Niederschläge in den Wintermonaten (November, Dezember, Februar, März) und die leichten Zunahmen in den Sommermonaten Juni und Juli zurückzuführen.

Im oberen Ennstal, oberen Murtal, Mürztal und dem Einzugsgebiet von Graz sind keine Veränderungen des Durchflusses feststellbar. Auch hier können Zusammenhänge mit dem Niederschlag gefunden werden.

Die Oststeiermark ist durch Abnahmen gekennzeichnet. Die Jahresniederschlagssummen in der Oststeiermark weisen einen negativen Trend auf. Die Abnahmen beruhen auf den Rückgang der Niederschläge im Frühjahr (April, Mai) und im Herbst (September). Zunahmen sind in den Sommermonaten (Konvektionsniederschläge) und im Winter (November, Dezember) feststellbar. Das negative Trendverhalten des Niederschlags in der Oststeiermark setzt sich im Durchfluss fort.

Eine ähnliche Situation ist in der Weststeiermark zu finden. Auch hier sind nur negative Trends der Durchflüsse vorzufinden. Auch hier sind direkte Zusammenhänge mit dem Niederschlagsverhalten feststellbar. Zu geringe Niederschläge im Frühjahr (April, Mai) und im Herbst sind dafür ausschlaggebend.

## 6.2. Analyse der Hochwasserabflüsse

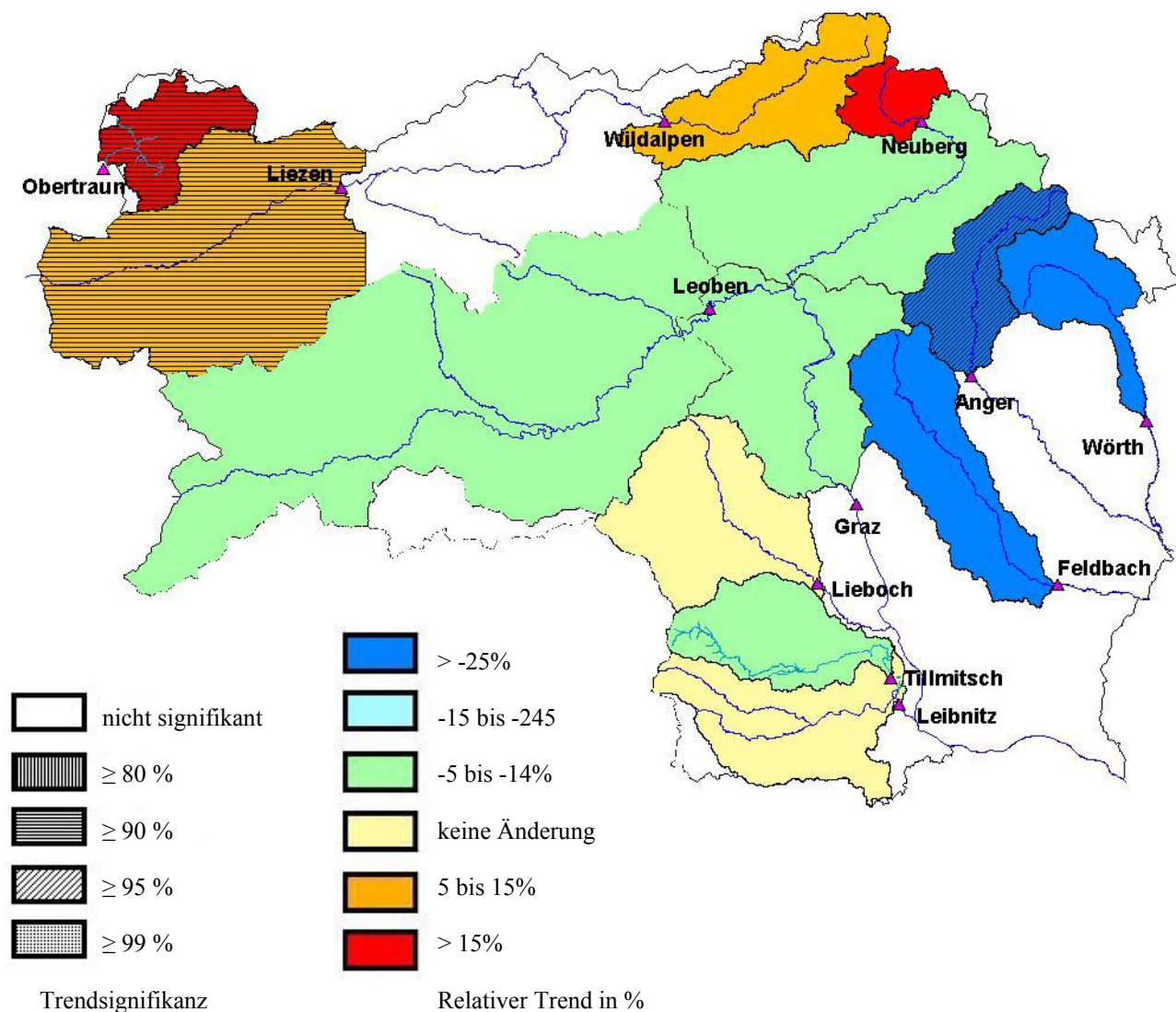


Abbildung 13: Relativer linearer Trend in % der jährlichen Höchstabflüsse HQ(J) mit Angabe der Trendsignifikanz für die untersuchten Einzugsgebiete (Datenquelle: Hydrographischer Dienst), Quelle: Eigenentwurf

### 6.2.1. Trendverhalten der jährlichen Höchstabflüsse

In Abbildung 13 ist das Trendverhalten der mittleren monatlichen Höchstabflüsse dargestellt. Gut ersichtlich ist auch hier, dass Zunahmen nur in der nördlichen Obersteiermark zu finden sind. Die größten relativen Abflusszunahmen sind am Pegel Neuberg an der Mürz zu finden, allerdings mit einem zu geringen Signifikanzniveau.

Am Pegel Obertraun gibt es große relative Zuwächse (17 %) mit hoher Signifikanz (92 %). Die maximalen Zunahmen verzeichnen die Monate November, Dezember und Jänner (0,322 m<sup>3</sup>/s/a linearer Trend nur für diese Monate, Trend Gesamtzeitreihe 0,1564 m<sup>3</sup>/s/a) mit einer höheren Signifikanz von 95 % (Änderungen sind sehr wahrscheinlich).

An der Enns ist die Zunahme an Höchstabflüssen ebenfalls signifikant, der lineare Trend beträgt 0,2985 m<sup>3</sup>/s/a. Die höchsten Zuwachsraten sind in den Monaten März und Oktober zu verzeichnen.

Der Pegel Leoben zeigt Abnahmen an den monatlichen Höchstabflüssen, diese Abnahmen setzen sich stromabwärts fort, am Pegel Graz sind noch größere Abnahmen ersichtlich.

In der Weststeiermark verhalten sich die Hochwasserabflüsse relativ konstant, es finden leichte Abnahmen statt, allerdings ohne erwähnenswerte Signifikanz.

Anders ist die Situation in der Oststeiermark, hier sind hohe Abnahmen der Höchstabflüsse an allen Pegeln ersichtlich. Am deutlichsten erkennt man dies am Pegel Anger an der Feistritz mit einer relativen Abnahme von -54 % bei sehr hoher Signifikanz mit 95 %.

### **6.2.2. Jahresgang der jährlichen Höchstabflüsse**

Im oberen Ennstal am Pegel (Liezen) sind die Monate September, Oktober und November die Monate mit den höchsten Zuwächsen. Die Oststeiermark weist generelle Abnahmen der monatlichen Höchstabflüsse auf, vor allem in den Monaten Mai, Juni und Juli.

Die Bruchpunkte mit wahrscheinlicher Trendänderung liegen sehr verschieden. Hohe Signifikanzen ergeben sich in der Obersteiermark an den Pegeln Liezen und Wildalpen mit einer Zunahme der Abflüsse in den 80er Jahren. Der Pegel Anger zeigt 90%ige Signifikanz die hier für die Abnahmen der Höchstabflüsse gilt.

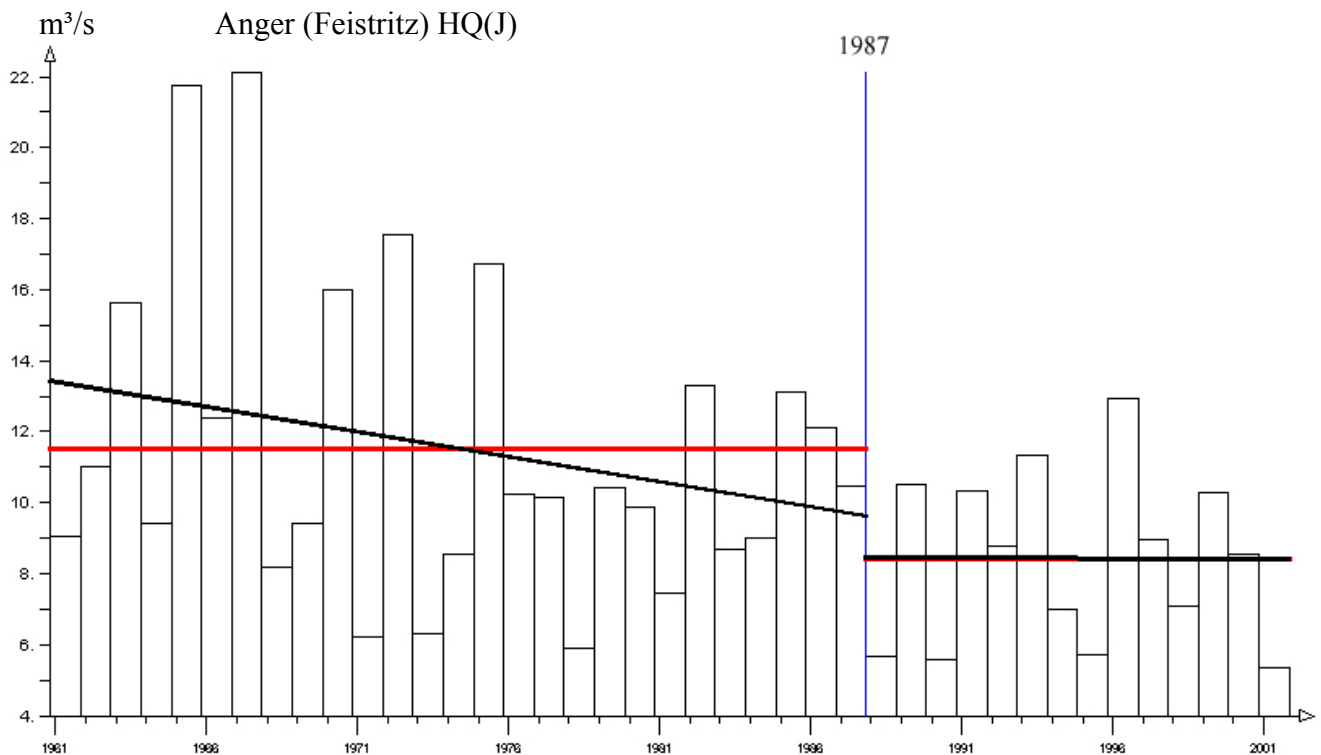
### **6.2.3. Höchstabflüsse einzelner Monate**

Für den Pegel Obertraun sind die Monate November, Dezember und Jänner ausschlaggebend für eine insgesamt Zunahme der Höchstabflüsse. In diesen 3 Monaten beträgt der lineare Trend 0,322 m<sup>3</sup>/s/a, relativ gesehen betragen diese Zunahmen 67 % über die Zeitreihe oder 1,4 % pro Jahr. Die Signifikanz dieser Zunahmen liegt bei 95 %, Änderungen sind sehr wahrscheinlich. Der Trend für die gesamte Zeitreihe beträgt für die Höchstabflüsse in Obertraun 0,1564 m<sup>3</sup>/s/a. In den

Monaten November bis Jänner verdoppeln sich die Höchstabflüsse im Vergleich zum Jahrestrend.

Am Pegel Liezen sind ebenfalls Zunahmen an den Höchstabflüssen feststellbar,  $0,2985 \text{ m}^3/\text{s}/\text{a}$  und zu 92 % signifikant. Speziell ab dem Jahr 1987 ist ein verstärkter Zuwachs an den Höchstabflüssen nachzuweisen. Die Abflüsse in den Monaten März und Oktober haben seit Beginn der Beobachtungen stark zugenommen. Im März beträgt der lineare Trend  $1,095 \text{ m}^3/\text{s}/\text{a}$  (die 3,6fache Menge im Vergleich zum Trend der Höchstabflüsse) mit 80%iger Signifikanz. Im Oktober ergeben sich höhere Signifikanzen (90%) mit einem Trend von  $0,733 \text{ m}^3/\text{s}/\text{a}$ . Relativ sind dies Zunahmen im März von + 1,17 % pro Jahr und + 0,8 % pro Jahr im Oktober.

Der Pegel Anger an der Feistritz zeigt die größten Abnahmen mit hoher Signifikanz. Hier sind die Monate Mai, Juni und Juli Spitzenreiter mit einem linearen Trend von  $-0,3361 \text{ m}^3/\text{s}/\text{a}$  im Vergleich zum Gesamttrend von  $-0,1421 \text{ m}^3/\text{s}/\text{a}$ . Das bedeutet, dass die Abnahmen in diesen Monaten doppelt so groß sind, wie in den übrigen Monaten. Mit dem Bruchpunkt im Jahr 1987 zeigen sich für die Gegenwart keine weiteren Abnahmen der Höchstabflüsse, jedoch ist der Mittelwert ab 1987 von 11,53 auf  $8,43 \text{ m}^3/\text{s}$  gesunken, der gegenwärtige Trend liegt nahe am Mittelwert. In Abbildung 13 ist dieser Sachverhalt veranschaulicht.



**Abbildung 14: Trendanalyse am Pegel Anger (1960 – 2001) für die Jahresreihe HQ(J) mit Bruchpunkt im Jahr 1987 und hoher Wahrscheinlichkeit des Bruchpunktes (90%), rote Linien sind Mittelwerte, schwarze Linien der lineare Trend (Datenquelle: Hydrographischer Dienst) Quelle Eigentwurf**

### 6.3. Analyse der Niederwasserabflüsse

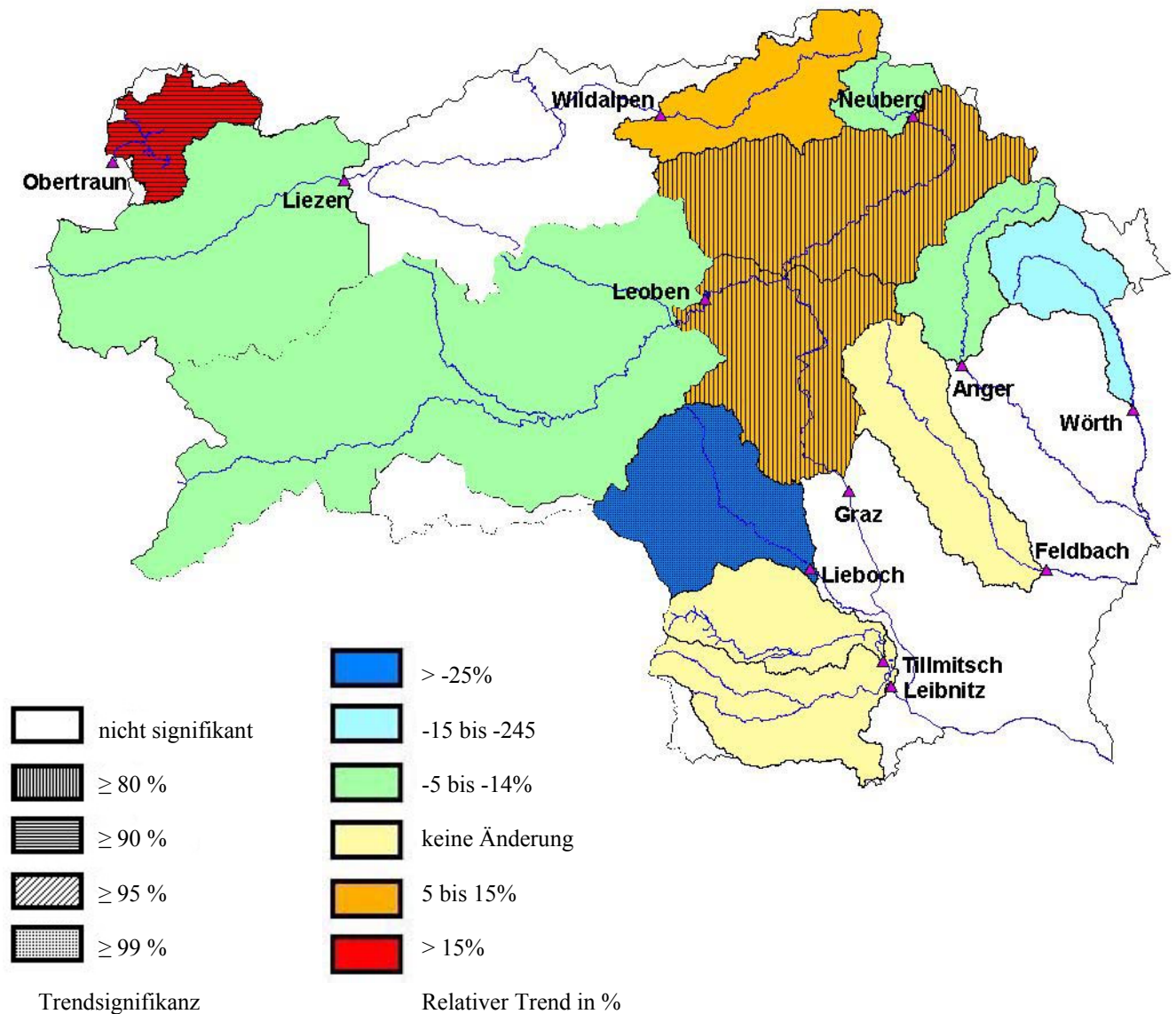


Abbildung 15: Relativer linearer Trend in % der mittleren monatlichen Abflüsse NQ(J) mit Angabe der Trendsignifikanz für die untersuchten Einzugsgebiete (Datenquelle: Hydrographischer Dienst), Quelle: Eigenentwurf

#### 6.3.1. Trendverhalten der jährlichen Niederwasserabflüsse

Ein Rückgang des Niederwassers (bedeutet gleichzeitig eine Erhöhung des Durchflusses) zeigt sich an den Pegeln Obertraun, Wildalpen und Graz. Der Pegel Obertraun hat zusätzlich eine hohe Signifikanz von 92 % und einen relativen Trend von 20 %. Auch der Pegel Graz hat ein schwach signifikantes Verhalten, relativ gesehen beträgt die Zunahme 9 %.

Liezen, Leoben, Neuberg und Anger sind gekennzeichnet durch weitere Abnahmen im Niederwasser. Tillmitsch, Leibnitz und Feldbach weisen leichte Abnahmen auf, der Pegel Wörth hat eine relative Abnahme von -17 %.

Am Pegel Lieboch sind die größten und signifikantesten Veränderungen ersichtlich. Mit 99,9%iger Signifikanz zeigt Lieboch einen abnehmenden linearen Trend von  $-0,0339 \text{ m}^3/\text{s}/\text{a}$  oder eine relative Abnahme von -43 %. Eine Trendänderung ist 1983 als sehr wahrscheinlich anzunehmen (99 %) (siehe Abbildung 10).

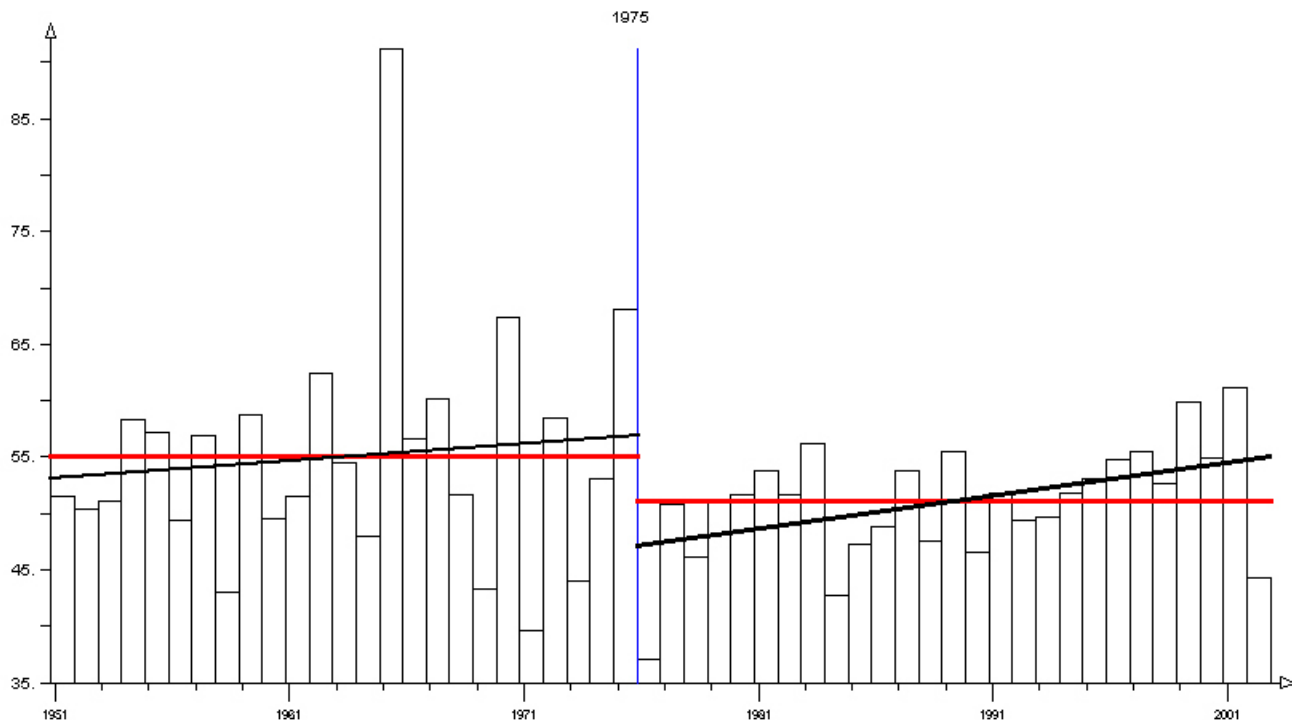
Der Pegel Lieboch liefert das signifikanteste und eindeutigste Ergebnis dieser Arbeit. Warum gerade hier so große Abnahmen im Niederwasser zu verzeichnen sind, ist von großem Interesse. Ob es an den Niederschlagverhältnissen, den möglicherweise höheren Jahrestemperaturen und somit einer höheren potentiellen Verdunstung liegt, oder ob mehr Wasser anthropogen (landwirtschaftlich) genutzt wird oder ein gemeinsames Vorkommen all dieser Punkte könnte Gegenstand weiterführender Untersuchungen sein.

Eine Hypothese ist, dass der Hauptgrund am Rückgang der Niederschläge liegt. Vor allem der Frühling (April und Mai) und der Herbst (September und Oktober) sind durch sehr negatives Trendverhalten gekennzeichnet. Zunahmen im Niederschlag verzeichnen nur die Sommermonate Juni, Juli und August. Ein nicht unwesentlicher Faktor für die Rückgänge am Durchfluss können die mit den Flurbereinigungsmaßnahmen einhergehenden Flussbegradigungen darstellen. Höhere Fließgeschwindigkeiten, Absenkung des Grundwassers und verringerte Speicherkapazität der Böden sind daraus resultierende Folgen.

### **6.3.2. Jahresgang der jährlichen Niederwasserabflüsse**

Zunahmen im Niederwasser zeigen die Pegel Obertraun, Wildalpen und Graz. Die Pegel Liezen, Leoben, Neuberg und auch Anger sind durch Abnahmen der Abflüsse gekennzeichnet. Die Mittelwerte dieser Pegel sind nach dem Auftreten der Bruchpunkte gesunken, der Trend ist jedoch positiv. Veranschaulicht wird dies am Beispiel Leoben in Abbildung 16.

Mess-Stelle: Leoben Mur NQT(M); Nr: 211185  
 Mess-Größe: m<sup>3</sup>/s  
 Zeitspanne: 1.11.1950 - 31.10.2002  
 Datenart: Monatswerte/Mittelwerte  
 Trendtest: Mann-Kendall



**Abbildung 16: linearer Trend am Pegel Leoben NQ(J) mit Bruchpunkt im Jahr 1975 (Datenquelle: Hydrographischer Dienst) Quelle: Eigenentwurf**

In der Ost- und Weststeiermark kommen nur Abnahmen am Niederwasser vor. Der Pegel Lieboch mit 99,9%iger Signifikanz zeigt eindeutige Zeichen von Veränderungen. In der gesamten Beobachtungszeit liegen relative Abnahmen von – 43 % vor oder – 0,8 % pro Jahr. Alle restlichen Pegel haben zu geringe Signifikanzen aufzuweisen, Veränderungen sind nicht aussagekräftig.

### 4.3.3. Niederwasserabflüsse einzelner Monate

Am Pegel Obertraun wurden die Monate November, Dezember und Jänner einer gesonderten Analyse unterzogen. In diesen Monaten fanden die größten Zuwächse des Abflusses statt. Der lineare Trend dieser Monate beträgt 0,0402 m<sup>3</sup>/s/a mit 99,9%iger Signifikanz. Relativ entspricht dieser Trend einer Zunahme über die gesamte Zeitreihe von 47 %.

Am Pegel Lieboch fanden die signifikantesten Abnahmen der Mittelsteiermark statt. Die größten Abnahmen sind den Monaten Februar bis August zuzuweisen. Der lineare Trend für diese Monate beträgt -0,0539 m<sup>3</sup>/s/a (Trend der Gesamtzeitreihe -0,0339 m<sup>3</sup>/s/a) die Signifikanz mit 99,9 % ist sehr hoch, Veränderungen sind eindeutig. Ab dem Jahr 1983 kommen am Pegel Lieboch Abnahmen am Niederwasser verstärkt vor (siehe Abbildung 10).



## 7. Schlussfolgerungen

Dieses letzte Kapitel ist der Versuch einer Gesamtbewertung zu Trends der mittleren und extremen Abflüsse in der Steiermark.

		Bruchpunkte, Signifikanz des Trends (MW und Trend nach B) und Trend/a in %														
		MQ(J)					HQ(J)					NQ(J)				
Nr.	Pegel / Gewässer	B	T %	S %	MW	T	B	T %	S %	MW	T	B	T %	S %	MW	T
<b>Traungebiet</b>																
1	Obertraun / Traun	1986	0,20	80%	+	—	1979	0,40	92%	+	+	1972	0,40	92%	+	+
<b>Ennsgebiet</b>																
2	Liezen / Enns	1986	0,06	70%	+	+	1987	0,20	92%	+	+	1975	-0,10	50%	—	+
3	Wildalpen / Salza	1986	0,20	80%	+	+	1988	0,20	50%	+	+	1994	0,20	70%	+	—
<b>Murgebiet</b>																
4	Leoben / Mur	0	-0,04	50%	0	0	1975	-0,20	50%	—	+	1975	-0,10	50%	—	+
5	Graz / Mur	1988	0,00	60%	+	—	1975	-0,30	50%	—	+	1986	0,30	80%	+	+
6	Neuberg / Mürz	0	0,10	50%	0	0	1987	0,60	70%	+	—	1982	-0,20	60%	—	+
7	Lieboch / Kainach	1996	-0,30	60%	—	—	1999	-0,02	50%	—	—	1983	-0,80	99,9%	—	—
8	Tillmitsch / Laßnitz	1996	-0,70	92%	—	—	1996	-0,10	50%	—	—	1996	-0,10	50%	—	—
9	Leibnitz / Sulm	1973	-0,20	70%	—	—	1996	0,02	50%	—	—	1996	-0,06	50%	—	—
<b>Raabgebiet</b>																
10	Feldbach / Raab	1972	-0,30	50%	—	—	1975	-0,60	70%	—	+	1961	-0,02	50%	+	—
11	Anger / Feistritz	1987	-0,80	92%	—	+	1987	-1,40	95%	—	—	1983	-0,30	50%	—	+
12	Wörth / Lafnitz	1989	-0,80	80%	—	—	1982	-1,00	70%	—	—	1989	-0,40	60%	—	—

Signifikanz der linearen Trends

	99%		90 bis 98 %		80 bis 89 %
--	-----	--	-------------	--	-------------

Tabelle 16: Gesamtergebnis der Trendberechnungen,

**B** = Bruchpunkt (Jahreszahl), **T %** = relativer Trend in % pro Jahr, **S %** = Signifikanz des Trends, **MW** = Mittelwert mit + und – sind die Veränderungen des Mittelwertes nach dem Bruchpunkt bewertet, **T** = Trend, die Bewertungen mit + und – beziehen sich auf positives oder negatives Trendverhalten nach dem Bruchpunkt, die Farben gelb kennzeichnen Signifikanzen zwischen 80 und 89 %, rote Farben stehen für Signifikanzen von 90 bis 98 %, blaue Jahreszahlen in den Spalten B steht für Bruchpunkte mit einer Wahrscheinlichkeit zwischen 80 und 90 % und rote Jahreszahlen veranschaulichen über 90%ige Wahrscheinlichkeiten der Bruchpunkte (Datenquelle: Hydrographischer Dienst) Quelle: Eigenentwurf

Tabelle 16 zeigt in einem Überblick die Endergebnisse der Trendanalysen für alle Pegel.

Die Farben in den Spalten der Bruchpunkte zeigen die Signifikanz des Bruchpunktes, z. B. der Pegel Anger in der Spalte B bei HQ(J) mit roter Farbe hinterlegtes Feld 1987, bedeutet dass 1987 mit großer Wahrscheinlichkeit eine Trendänderung stattgefunden hat.

Der überwiegende Teil (ca.70 %) aller 36 untersuchten Jahresgänge weisen für den durchschnittlichen Zeitraum von 1950 bis 2002 keinen signifikanten Trend (Trend mit einem Signifikanzniveau  $\geq 80$  %) auf.

Signifikanzen zwischen 80 und 90 % (schwache Zeichen einer Veränderung) treten bei 11 % der Pegel auf, absolut sind das 4 Pegel.

Trendsignifikanzen zwischen 90 und 99 % (Veränderungen sind wahrscheinlich) treten bei 17 % aller Pegel auf, absolut sind das 6 Pegel.

Eine 99,9%ige Signifikanz (Veränderungen sind eindeutig) ist nur an einem Pegel aufgetreten, prozentuell sind das 3 %. Das ist der Pegel Lieboch mit der Niederwasserjahresreihe.

10 Bruchpunkte zeigen schwache Zeichen von Veränderungen, davon sind aber lediglich 5 zu verwerten, da nur in diesen 5 Fällen auch die Trendänderungen hohe Signifikanzen zeigen.

Bruchpunkte mit wahrscheinlichen Änderungen gibt es 4, davon können 3 verwendet werden.

Es folgen nun Bewertungen zu jedem einzelnen Pegel:

#### 1. Pegel **OBERTRAUN / TRAUN:**

Insgesamt liegen am Pegel Obertraun am MQ(J) Jahresgang Zunahmen von 0,2 % pro Jahr oder 0,0438 m<sup>3</sup>/s/a vor. Diese Zuwächse ergeben sich aus den Zunahmen bei den Höchstabflüssen, aber auch aus denen des Niederwassers. Das Hoch- und Niederwasser weist jeweils einen relativen Trend von 0,4 % pro Jahr an Zunahmen aus, mit hohen Signifikanzen von 92 %. Der Anstieg des Abflusses kann den Monaten November, Dezember und Jänner zugewiesen werden. (Das Minus in der Spalte T für MQ(J) ergibt sich nach dem Bruchpunkt nur aufgrund der großen Erhöhung im Mittelwert.)

#### 2. Pegel **LIEZEN / ENNS:**

Insgesamt liegt eine leichte Zunahme der Abflüsse mit 0,06 % pro Jahr oder 0,0377m<sup>3</sup>/s/a vor. Diese Zuwächse der Enns ergeben sich aus den sehr signifikanten Erhöhungen der Hochwasserabflüsse mit einem plus von 0,2 % oder 0,2985 m<sup>3</sup>/s/a. Ein Anstieg der monatlichen

Höchstabflüsse ist vor allem in den Monaten März und Oktober zu beobachten. Am Niederwasser sind Abnahmen mit 0,1 % pro Jahr zu verzeichnen.

### 3. Pegel **WILDALPEN / SALZA**:

Für die mittleren Abflüsse der Salza ergibt sich eine Zunahme von 0,2 % pro Jahr oder 0,0410 m<sup>3</sup>/s/a. Diese Zuwächse sind auch an den Höchstabflüssen zu beobachten, mit hoher Signifikanz, auch am Niederwasser sind Zunahmen vertreten.

### 4. Pegel **LEOBEN / MUR**:

Leoben ist einer der 4 Pegel, die in keinem Messgrößenbereich aussagekräftige Ergebnisse liefern. Die Signifikanzen sind zu gering, generell liegt eine leichte Abnahme der Abflüsse mit -0,04 % pro Jahr vor.

### 5. Pegel **GRAZ / MUR**:

Über die Jahre gesehen sind die Abflüsse der Mur in Graz gleich geblieben, ohne Trendentwicklung. An den Hochwasserabflüssen liegen Abnahmen vor, aber ohne signifikantes Ergebnis. Im Bereich Niederwasser gibt es wahrscheinliche Zuwächse von 0,3 % pro Jahr oder 0,1935 m<sup>3</sup>/s/a.

### 6. Pegel **NEUBERG / MÜRZ**:

Neuberg zeigt wie Leoben keine aussagekräftigen Ergebnisse. Die Abflüsse sind gleich bleibend, mit leichter Zuwachstendenz am Hochwasser und weiteren Abnahmen am Niederwasser. Die Ergebnisse sind als nicht signifikant zu bewerten.

### 7. Pegel **LIEBOCH / KAINACH**:

Die Kainach in der Oststeiermark hat ein einheitlich negatives Verhalten bei allen 3 Messgrößen. Die jährlichen Abnahmen der mittleren Abflüsse betragen -0,3 % pro Jahr oder -0,0305 m<sup>3</sup>/s/a. Die Veränderungen im Niederwasser sind als hoch signifikant (99,9 %) zu bewerten. Der Rückgang am Niederwasser beträgt -0,8 % pro Jahr oder -0,0339 m<sup>3</sup>/s/a. Vor allem die Monate Februar bis Juli sind für diese Verminderungen verantwortlich (eventuelle Rückgang der winterlichen Niederschläge).

Als Hauptursache ist auch in Lieboch die Abnahme der Niederschläge zu sehen. Ein nebensächliche Ursache kann auch an der harten linearen Verbauung des Liebochbaches liegen. Durch landwirtschaftliche Nutzung mit Bodenerosion und den sich daraus ergebenden Anlandungen im Gewässer, in der Verarmung der Gewässerrandzonen und in der stellenweise

harten Verbauung haben neben ökologischen auch Abfluss verschärfende Auswirkungen zur Folge (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1992).

Auch an der Kainach sind derartige Beeinträchtigungsfaktoren des Abflusses denkbar (Flurbereinigungsmaßnahmen in den 60er Jahren).

#### 8. Pegel **TILLMITSCH / LAßNITZ**:

An der Laßnitz liegt mit hochsignifikantem Trend eine Abnahme von -0,7 % pro Jahr bei den mittleren Abflüssen vor (-0,0384 m<sup>3</sup>/s/a). Rückgänge am Abfluss sind auch am Hoch- und Niederwasser zu beobachten.

#### 9. Pegel **LEIBNITZ / SULM**:

Der Pegel Leibnitz an der Sulm zeigt keine signifikanten Ergebnisse. Insgesamt sind Abnahmen im Abflussverhalten von -0,2 % oder -0,0288 m<sup>3</sup>/s/a zu verzeichnen. Leichte Zunahmen sind bei den Höchstabflüssen von 0,0082 % m<sup>3</sup>/s (nicht signifikant) zu verzeichnen.

Zwischen 1961 und 1966 wurde die Sulm im Bereich Heimschuh auf ein HQ<sub>25</sub> (173 m<sup>3</sup>/s) ausgebaut. Durch die Ausschaltung von natürlichen Retentionsräumen und durch die fortschreitende Versiegelung der Landschaft im Einzugsgebiet hat sich die Hochwassersituation im Unterlauf der Sulm entscheidend verändert. Darüber hinaus wurde die Abflusskapazität in den Ausbauprofilen durch Bewuchs und Anlandungen um rund ein Drittel reduziert. Der Ausbau auf ein HQ<sub>25</sub> entsprach 1998 nur mehr einem HQ<sub>5</sub>. Im Bereich zwischen Heimschuh und dem Sulmsee kam es daher jährlich zu Ausuferungen. Siedlungsgebiete waren oft vom Hochwasser betroffen. In einem Projekt (September 1998 bis Mai 2000) wurden die Hochwasserschutzmaßnahmen auf die heutigen Bedürfnisse angepasst. Die Handlungsschwerpunkte waren eine Sohlaufweiterung, Neuanlage von Mäandern, lokale Hochwasserschutzmaßnahmen (Dämme, Ufermauern) und Verlängerung der Uferlinie (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2001).

Inwiefern sich diese baulichen Maßnahmen in jüngster Vergangenheit auf die Abflüsse auswirken kann noch nicht beantwortet werden. Langfristig kommt es im besagten Gebiet zu gewässerökologischen Verbesserungen und einem entsprechenden Hochwasserschutz.

#### 10. Pegel **FELDBACH / RAAB**:

Auch die Raab am Pegel Feldbach weist keine aussagekräftigen Ergebnisse auf. Generell hat sich der Abfluss an der Raab verringert, um -0,3 % pro Jahr, dies setzt sich an den Jahreshochwasserabflüssen fort mit -0,6 % pro Jahr, am Niederwasser ergeben sich nur sehr geringe Abnahmen von -0,02 %. Die Ergebnisse sind nicht signifikant.

#### 11. Pegel **ANGER / FEISTRITZ**:

An der Feistritz am Pegel Anger ist es zu Rückgängen des Abflusses gekommen. Die mittleren monatlichen Abflüsse sind um -0,8 % zurückgegangen, das sind  $-0,0405 \text{ m}^3/\text{s/a}$ . Maßgeblich dafür sind die Monate März bis August mit einem linearen Trend von  $-0,0818 \text{ m}^3/\text{s/a}$ , das bedeutet einen doppelt so großen Rückgang im Vergleich zum Jahreswert. Die Höchstabflüsse zeigen einen Rückgang von -1,4 % oder  $-0,1421 \text{ m}^3/\text{s/a}$  mit einer wahrscheinlichen Veränderung, vor allem ab dem Jahr 1987. Ausschlaggebend für diese Verminderungen sind vor allem die sehr geringen Abflüsse in den Monaten Mai, Juni und Juli. In den Jahren 1994 bis 1996 fanden gezielte bauliche Maßnahmen zum Hochwasserschutz an der Feistritz statt. Die Hochwassergefährdung für die Orte Altenmarkt und Fürstenfeld konnte deutlich herabgesetzt werden (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1996).

Bei den Niederwasserabflüssen liegen ebenso Abnahmen vor. Der negative Trend der Jahresniederschläge, die intensive landwirtschaftliche Nutzung und höhere Temperaturen sind mögliche Gründe.

#### 12. Pegel **WÖRTH / LAFNITZ**:

Die Lafnitz bei Wörth ist gekennzeichnet durch Rückgänge im Abfluss von -0,8 % pro Jahr oder  $-0,0282 \text{ m}^3/\text{s/a}$ . Das Verhalten der Hochwasser- sowie der Niederwasserabflüsse ist negativ. Die höchsten Abnahmen sind wie am Pegel Anger von März bis August zu verzeichnen. In dieser Zeit beträgt der Trend  $-0,0534 \text{ m}^3/\text{s/a}$ , das ist fast doppelt so viel wie im Jahresdurchschnitt.

Das Langzeitverhalten der Abflüsse zeigt landesweit kein einheitliches Verhalten. Zunahmen am mittleren jährlichen Abfluss sind nur im Traungebiet, Ennsgebiet und am Pegel Neuberg festzustellen. Für die jährlichen Höchstabflüsse ergeben sich Zunahmen ebenfalls nur in der Obersteiermark, am Pegel Obertraun, Liezen und Wildalpen. Abnahmen des mittleren jährlichen Abflusses sind vor allem in der West- und Oststeiermark zu beobachten. Signifikante Rückgänge ergeben sich hier an den Pegeln Tillmitsch, Anger und Wörth. Bis auf 3 Pegel sind im Bereich Niederwasser generell nur Rückgänge und negative Trends zu finden, am stärksten ausgeprägt am Pegel Lieboch an der Kainach.

Grundsätzlich soll nochmals erwähnt werden, dass sich sämtliche Trends auf die Beobachtungsdauer der Untersuchungsgebiete beziehen. Prognosen für zukünftige Entwicklungen können nur mit Vorsicht erstellt werden.

Mögliche Ursachen für die Veränderungen im Abflussverhalten sind:

- Veränderungen am Niederschlag (Positive Trends im Jahresniederschlag sind nur in der nördlichen Steiermark vorhanden, in der restlichen Steiermark liegen negative Trends vor. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Trendanalyse der Abflüsse.)
- Veränderungen an der Temperatur (höhere Verdunstungsraten möglich)  
Dies könnte vor allem auf die Oststeiermark zutreffen (wärmste Region der Steiermark mit pannonischen Einflüssen).
- Veränderungen in der Landnutzung (Versiegelung, Landwirtschaft)
- Veränderungen im Wasserbau (Rückhaltebecken, Fernwasserversorgung).

Der generell negative Trend an den Höchstabflüssen in der Ost- und Weststeiermark kann mit den geringeren Niederschlagsmengen erklärt werden. Zusätzlich spielen Schutzwasserbaumaßnahmen eine Rolle. Der Hochwasserschutz ist in der Steiermark in vielen Gemeinden in jüngster Vergangenheit (90er Jahre) verbessert worden. Der Schutzwasserbau wurde an Vorflutern (Sulm, Lafnitz, Feistritz,..) aber auch an kleineren Zubringerflüssen (Hochwasserrückhalteanlagen: Mittereggbach ein Zubringer der Laßnitz, Liebochbach ein Zubringer der Kainach, Einzugsgebiet der Pöllauer Saifen: Mausbach, Lambach, Prätisbach Zubringer der Lafnitz,...) durchgeführt. Dies hat zur Folge, dass extreme Abflussspitzen kaum entstehen, da sie frühzeitig abgedämmt werden.

Die negativen Trends der Abflüsse in der Ost- und Weststeiermark werden in der Landwirtschaft als Trockenheit wahrgenommen. Ernteeinbußen (Kürbis, Mais) sind die Folge. Die intensive Landnutzung, meist bis direkt an die Flussufer, wirkt negativ auf den natürlichen Wasserrückhalt (Uferbepflanzungen fehlen). Eine Ausweitung von natürlichen Sukzessions- und Pufferflächen könnte sich positiv auf den lokalen Wasserhaushalt auswirken.

Inwieweit Einleitungen aus Kläranlagen oder Abwasseranlagen in das Abflussgeschehen einwirken, ist ein interessanter Ansatz für weiterführende Untersuchungen. So sind zum Beispiel im Mürzverband 4 Gemeinden zusammengefasst: Mürz I (Langenwang), Mürz II (Krieglach), Mürz III (Kindberg) und Mürz IV (Kapfenberg). Diese Gemeinden haben 1975 Kläranlagen für ihre Gemeindegebiete gebaut. Sämtliche Abwässer der Kläranlagen werden nach der Reinigung in die Mürz eingeleitet (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIRUNG, 1966). Welche Zusammenhänge sich hierbei mit den geringen Zunahmen der Abflüsse ergeben, ist spekulativ und bedarf eigener Erhebungen.

Von großem Interesse ist, diese Ursachen zu analysieren und eventuelle Gründe zu finden. Der Wasserkreislauf sollte stets als Ganzes betrachtet werden, ein Modellieren mit allen Kenngrößen des Wasser- und Klimahaushaltes würde sich anbieten. So können mögliche Veränderungen noch besser abgeschätzt werden. Der Bedarf an Wasserhaushaltsmodellen wird in Zukunft sicher steigen, denn nur so können langfristig gesehen Maßnahmen getroffen werden, um das Gut Wasser zu schützen und zu erhalten!

## 8. Literatur- und Quellenverzeichnis

### 8.1. Literatur

#### **Arbeitsinstrument:**

SOFTWAREPAKET, 2002: Analyse von hydrologischen-geophysikalischen Zeitreihen – Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe; erklärende PDF – Datei von:

IHRINGER J., 2002: Anwenderhandbuch Version 5: Analyse von hydrologischen-geophysikalischen Zeitreihen

#### **Bücher:**

BAUMGARTNER A. und LIEBSCHER H. J. , 1996<sup>2</sup>: Allgemeine Hydrologie – Quantitative Hydrologie. – In: Lehrbuch der Hydrologie – Verlag: Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart, 673 S.

BORTZ J., 1999<sup>5</sup>: Statistik für Sozialwissenschaftler. – Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 836 S.

DYCK S. und PESCHKE G., 1995<sup>3</sup>: Grundlagen der Hydrologie. - Verlag für Bauwesen, Berlin, 536 S.

DYCK S., 1980: Angewandte Hydrologie, Teil 1: Berechnung und Regelung des Durchflusses der Flüsse. – Verlag W. Ernst & Sohn, München, 544 S.

LUFT G., STRAUB H. und VIESER H., 2002: Trends der mittleren und extremen Abflüsse in Baden-Württemberg - In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (vormals DGM). 46.Jg., Heft 2, 208 - 219 S.



MORAWETZ S., 1966: Witterungsspiegel 1965; extrem nasse und trockene Jahre und Jahreszeiten in Graz – Sonderabdruck aus den Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark, Band 96, S. 97 – 102

PARDE M., 1954: Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss bei großen Sommerhochwassern – Bonner Geographische Abhandlung Heft 15, Selbstverlag des Geographischen Instituts der Universität Bonn, 59 S.

SCHÖNWIESE C.-D., 1992<sup>2</sup>: Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler – Verlag: Gebrüder Borntraeger, Berlin - Stuttgart, 231 S.

WAKONIGG H., 1971: Witterungsspiegel 1970 für die Steiermark (unter besonderer Berücksichtigung von Graz) – Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins Steiermark, Band 102, S. 81 – 87

WAKONIGG H., 1973: Witterungsspiegel 1972 für die Steiermark (unter besonderer Berücksichtigung von Graz) – Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins Steiermark, Band 103, S. 85 – 95

WAKONIGG H., 1976: Witterungsspiegel 1975 für die Steiermark (unter besonderer Berücksichtigung von Graz) – Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins Steiermark, Band 106, S. 119 - 129

WAKONIGG H., 1978: Witterung und Klima in der Steiermark, Graz, 473 S.

### **Skripten:**

FANK, 2002: Einführung in die Hydrologie, 104 S.

MILLONIG H. u. WEBER W., 1996: Statistik für Geographen Teil IV, Zeitreihen und Faktorenanalyse, 102 S.

## **Zeitschriften:**

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1966: Der Mürzverband, Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, Band 8, Herausgeber: Amt der Steiermärkischen Landesregierung – Landesbaudirektion Wasserbau, 137 S.

BAUMANN N. und HORNICH R., 2001: Hochwasserschutz Sulm - Heimschuh, Hochwasserschutz in der Steiermark – Herausgeber und Verleger: Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 3a, Wasserwirtschaft, 7 S.

HORNICH R., LAUTSCHMANN D. und SAURER B., 1996: Hochwasserschutz Feistritz – Hühnerbach, Schutzwasserwirtschaft in der Steiermark: Herausgeber und Verleger: Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 3a, 7 S.

SAURER B., BAUMANN N. und NEUKAM W., 1992: Wasserwirtschaft Steiermark – Herausgeber: Amt der steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Fachabteilung 3a, Wasserwirtschaft, 55 S.

STATISTISCHE METHODEN IN DER KLIMATOLOGIE, 1983: PROMET - Meteorologische Fortbildung, Heft 1/2, 56 S.

## **8.2. Internet-Zitate**

GÜHRING Philipp, Mai 2004: Katastrophen in Österreich im 20. Jahrhundert oder Menschenleben bedrohende Ereignisse  
<http://www3.futureware.at/artikel/katastro.html>

Hydrographischer Dienst Steiermark, Juli 2004: Das Niederschlags- und Abflussverhalten in der Steiermark im Jahr 2003  
<http://www.stmk.gv.at/verwaltung/fa3a/grundwasser/berichte/niabfl1003.html>

Hydrographischer Dienst Steiermark, November 2004: Die Niederschlagsverhältnisse der Steiermark in den letzten 100 Jahren  
<http://app.hydrographie.steiermark.at/berichte/Ni100jahre.pdf>

IPCC Bericht 2001 Shanghai, Juli 2004: Klimawandel 2001  
<http://www.greenpeace.org/multimedia/download/0/37694/0/IPPC1Basis.pdf>

Institut für Ernährungswissenschaften Wien, Oktober 2004: Österreichischer Ernährungsbericht 2003  
<http://www.univie.ac.at/Ernaehrungswissenschaften/oeeb/OEB2003.htm>

QUINZ; SCHATZL, Hydrographischer Dienst Steiermark, Juni 2004: Das Niederschlags- und Abflussverhalten in der Steiermark im Jahr 2001  
<http://app.hydrographie.steiermark.at/berichte/niabl2001.pdf>

RAPP, Juli 2004: Eine erweiterte Definition des Begriffes Trend in der Klimadiagnose  
<http://www.dwd.de/de/Funde/Klima/KLIS/prod/KSB/ksb99/trend.pdf>

SCHÖNIGER M. und DIETRICH J., November 2004: Hydro Skript, Version 3.0.3 vom 18.10.2003  
[http://www.hydroskript.de/html/\\_index.html](http://www.hydroskript.de/html/_index.html)

ZAMG, Zentralamt für Meteorologie, Mai 2004: Österreichisches Klima im letzten Millennium  
<http://www.pisch.at/Ernst/wissen/Dorfbuch/node164.html>

## **9. Anhang**

Die Hauptegebnisse der Arbeit sollen hier im Anhang in Form von Diagrammen angeführt werden.

Auf den Seiten 85 bis 96 sind die Trendberechnungen der mittleren jährlichen Abflüsse beigelegt, auf den Seiten 97 bis 108 folgen die Trendberechnungen der jährlichen Höchstabflüsse und zuletzt sind auf den Seiten 109 bis 120 die Auswertungen zu den jährlichen Niederwasserabflüssen angeführt.

Auf den Seiten 121 bis 123 sind die Karten mit relativen Trends und Signifikanzen in größerem Format zu finden.

In der Tasche der hinteren Umschlagseite ist eine CD mit dem Datenmaterial für die Berechnungen (Abflussdaten, Diagramme, ...) beigegeben.