

Langzeitverhalten der Bodensee-Wasserstände

 Auswertezeitspanne: 1888 bis 2007



HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) - Fachbereich Hydrologie; Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Dr. Gerhard Luft und Dr. Jürgen Ihringer
REDAKTION	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Dipl.-Ing. Wolfgang Hennegriff, Referat Hydrologie, Hochwasservorhersage Dipl.-Phys. Bernd Wahl, Institut für Seenforschung
BEZUG	Bibliothek@lubw.bwl.de sowie als Download unter: www.lubw.baden-wuerttemberg.de
ISBN	978-3-88251-361-5
STAND	2011

Nachdruck - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

ZUSAMMENFASSUNG	1
1 EINFÜHRUNG UND PROBLEMSTELLUNG	6
2 DER BODENSEE UND SEIN EINZUGSGEBIET	8
2.1 Einbezogene Flussgebiete	10
2.2 Auslaufbereiche des Bodensees zwischen Konstanzer Trichter und Eschenzer Horn	12
2.3 Zufluss aus dem Karstgebiet der Oberen Donau	15
2.4 Überleitungen, Ausleitungen und Entnahmen	15
2.5 Speicherkraftwerke im Einzugsgebiet des Bodensees	20
3 DATENGRUNDLAGE UND DATENAUSWAHL	23
3.1 Wasserstandspegel	23
3.2 Konsistenzprüfung und Plausibilisierung von Wasserstands-Zeitreihen	25
3.3 Pegel mit Abflusserfassung	28
3.4 Einbezogene Zeitreihen und untersuchte Kennwerte	29
4 STATISTISCHE GRUNDLAGEN FÜR DIE LANGZEITANALYSE	36
4.1 Trendberechnung	36
4.2 Trendtest nach MANN-KENDALL	36
4.3 Bruchpunktanalyse nach MANN-WHITNEY	37
4.4 Summenlinienanalyse	37
4.5 Analyse des Jahresgangs	38
4.6 Anwendung der statistischen Verfahren	39
4.7 Darstellung der Ergebnisse	39
5 LANGZEITVERHALTEN DER WASSERSTANDS- UND ABFLUSS-KENNWERTE	43
5.1 Mittlere jährliche Wasserstände und Abflüsse	43
5.2 Mittlere Wasserstände und Abflüsse im Winterhalbjahr	50
5.3 Mittlere Wasserstände und Abflüsse im Sommerhalbjahr	57
5.4 Jährliche Höchstwerte des Wasserstands und Abflusses	64
5.5 Jährliche Niedrigstwerte des Wasserstands und Abflusses	71
5.6 Zusammenfassende Bewertung des Langzeitverhaltens	78
6 JAHRESGANG DER WASSERSTÄNDE UND ABFLÜSSE	81
6.1 Jahresgang der mittleren Wasserstände und Abflüsse	81
6.2 Jahresgang der monatlichen Höchstwerte des Wasserstandes und Abflusses	86

6.3	Jahresgang der monatlichen Niedrigstwerte des Wasserstandes und Abflusses	90
6.4	Zusammenfassende Bewertung des Jahresgangs der Kennwerte	94
7	MONATLICHE TRENDS DER WASSERSTÄNDE UND ABFLÜSSE	95
8	LANGZEITVERHALTEN VON WASSERSTANDS-DIFFERENZEN	104
9	URSACHEN FÜR DIE VERÄNDERUNGEN	110
10	AUSWIRKUNG DER VERÄNDERUNG VON WASSERSTÄNDEN AUF ARCHÄOLOGISCHE SIEDLUNGSAREALE UND BOOTSHÄFEN	112
10.1	Problemstellung	112
10.2	Untersuchungsmethodik und statistische Auswertungen	116
10.2.1	Untersuchungsmethodik	116
10.2.2	Jährlichkeiten der monatlichen Niedrigstwasserstände	124
10.2.3	Anzahl der Unterschreitungstage von Wasserstands-Schwellenwerten	124
10.3	Auswirkung der Veränderungen bei archäologischen Siedlungsarealen	134
10.4	Auswirkung der Veränderungen auf Bootshäfen am Ober- und Untersee	139
11	AUSBLICK	146
12	LITERATURVERZEICHNIS	147
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	153
	TABELLENVERZEICHNIS	158
ANLAGEN:		
ANLAGE A: LANGZEITVERHALTEN DER JÄHRLICHEN WASSERSTANDS-KENNWERTE SOWIE DER JÄHRLICHEN ZU- UND AUSFLUSS-KENNWERTE DES BODENSEES		
ANLAGE B: LANGZEITANALYSE DER MONATLICHEN WASSERSTANDS-KENNWERTE SOWIE DER MONATLICHEN ZU- UND AUSFLUSS-KENNWERTE DES BODENSEES		
ANLAGE C: BOOTSHÄFEN AM BADEN-WÜRTTEMBERGISCHEN OBER- UND UNTERSEE: MINIMAL- UND OPTIMAL- WASSERSTÄNDE FÜR DIE NUTZBARKEIT DER HÄFEN		
ANLAGE D: BOOTSHÄFEN AM BADEN-WÜRTTEMBERGISCHEN OBER- UND UNTERSEE: STATISTISCHE AUSWERTUNGEN BEZOGEN AUF DIE HAFENSPEZIFISCHEN MINIMAL- UND OPTIMAL- WASSERSTÄNDE		
ANLAGE E: ARCHÄOLOGISCHE RELIKTFLÄCHEN AM OBERSEE: STATISTISCHE AUSWERTUNGEN BEZOGEN AUF DIE FLÄCHENSPEZIFISCHEN OBER- BZW. -UNTERGRENZEN DES WASSERSTANDS		
ANLAGE F: KARTIERUNGEN DER 5 ARCHÄOLOGISCHEN RELIKTFÄCHEN AM OBERSEE		

Zusammenfassung

Der Bodensee ist mit seinen zwei durch den Seerhein verbundenen Seebecken, dem großen Obersee und dem relativ kleinen Untersee ein natürliches und nicht staugeregeltes Speichersystem, das vom Rhein durchflossen wird. Seine Wasserstände sind abhängig von Veränderungen im Zuflussverhalten zum Bodensee sowie von Größe und Form der beiden Seebecken. Die Wasserstände werden aber auch bestimmt von den zwei Ausflussbereichen Obersee/Seerhein (Konstanzer Schwelle) und Untersee/Hochrhein (Eschenzer Horn) sowie von den Durchflussquerprofilen zwischen der Einmündung des Seerheins in den Untersee bei Gottlieben bis östlich von Ermatingen und der Insel Reichenau. Diese drei Streckenabschnitte sind zum Großteil mit aquatischer Vegetation bestandene Flachwasserzonen, in denen sich sowohl Erosion und Auflandung, als auch Veränderung in der Vegetation vollziehen können. Zusätzlich werden die Bodensee-Wasserstände beeinflusst durch den Ausbau der Kraftwerk-Speicher in den Einzugsgebieten des Alpenrheins und der Bregenzerach. Dieser Ausbau begann 1919 und erfolgte schwerpunktmäßig zwischen den Jahren 1952 und 1976. Seit 1990 werden im alpinen Bodensee-Einzugsgebiet knapp 800 Mio. m³ Speicherraum bewirtschaftet.

Da die Bodensee-Wasserstände hauptsächlich vom Zufluss des Alpenrheins bestimmt sind, wird das Langzeitverhalten der Bodensee-Wasserstände im Zusammenhang mit dem Langzeitverhalten der Abflüsse am Haupt-Zuflusspegel Diepoldsau/Alpenrhein sowie am Bodensee-Ausflusspegel Neuhausen/Hochrhein statistisch untersucht und beurteilt. Die Bodensee-Wasserstände werden an den repräsentativen Bodensee-Pegeln von Romanshorn (Obersee), Konstanz (Obersee), Berlingen (Untersee) sowie am 1,25 km unterhalb des Eschenzer Horns gelegenen Pegel Stein-Burg/Hochrhein aus-

gewertet. Die Ergebnisse an den beiden Obersee-Pegeln Romanshorn und Konstanz sind dabei so gleichartig, dass nur die Ergebnisse am Pegel Konstanz dargestellt und bewertet werden. Der Einfluss von fünf weiteren einbezogenen Bodensee-Zuflüssen (Rheintal-Binnenkanal/Altrhein, Bregenzerach, Argen, Schussen und Radolfzeller Ach) auf die Bodensee-Wasserstände kann wegen ihrer zum Teil wesentlich kürzeren Beobachtungsreihen nicht ausreichend beurteilt werden. Zudem ist der Zuflussanteil aus diesen Einzugsgebieten am Gesamtzufluss des Bodensees sehr gering, so dass diese Nebenflüsse, außer bei wenigen regional bedingten Hochwasserereignissen, keinen wesentlichen Einfluss auf die Wasserstände des Bodensees haben.

Anhand von langjährigen, plausibilisierten Wasserstands- und Abfluss-Zeitreihen werden die Veränderungen der Bodensee-Wasserstände sowie der wichtigsten Bodensee-Zuflüsse und der Abfluss im Hochrhein untersucht und mögliche Ursachen für Veränderungen genannt. Die Langzeitanalyse der Wasserstände, Zuflüsse und Abflüsse an den einbezogenen Pegeln umfasst:

- jährliche, winter- und sommerhalbjährliche mittlere Wasserstände und Abflüsse
- höchste jährliche Wasserstände und Abflüsse
- niedrigste jährliche Wasserstände und Abflüsse
- Jahrgang der mittleren monatlichen Wasserstände und Abflüsse
- jährliche, winter- und sommerhalbjährliche Differenzen der mittleren Wasserstände, abgeleitet aus den Wasserständen der Pegel Konstanz (Obersee), Berlingen (Untersee) und Stein-Burg (Hochrhein).

Da der Alpenrhein, der Bodensee sowie der Hochrhein ein nival-humides Abfluss-Regime aufweisen, erfolgten die Bearbeitungen gemäß dem alpinen

hydrologischen Jahr: mittlere Werte und Höchstwerte mit Jahresbezug von Oktober bis September sowie Niedrigstwerte mit Jahresbezug von Mai bis April.

Die einbezogenen Zeitreihen umfassen dabei die Zeitspanne von 1888 bis 2007 für die Wasserstandspegel sowie die Zeitspanne von 1905 bis 2007 an den Rhein-Pegeln mit Abflusserfassung (Pegel Diepoldsau/Alpenrhein und Pegel Neuhausen/Hochrhein). Die einbezogenen Pegel der übrigen Bodensee-Zuflüsse beginnen erst später.

Die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchung des Langzeitverhaltens der Bodensee-Wasserstände sowie der Zu- und Abflüsse sind:

Mittlere, höchste und niedrigste Wasserstände und Abflüsse

Die mittleren, höchsten und niedrigsten Wasserstände und Abflüsse wurden untersucht und beurteilt für den Zufluss-Pegel Diepoldsau/Alpenrhein, für die Wasserstands-Pegel Konstanz (Obersee), Berlingen (Untersee) und Stein-Burg (Hochrhein) sowie am Ausfluss-Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Hochrhein. Für die jeweils vorliegende, gesamte Beobachtungszeitspanne wurde der lineare Trend ermittelt und das Langzeitverhalten wie folgt beurteilt:

- Die mittleren jährlichen Bodensee- bzw. Hochrhein-Wasserstände zeigen generell signifikant fallende Tendenzen. Der Haupt-Zufluss Alpenrhein sowie der Bodensee-Ausfluss zum Hochrhein zeigen dagegen in etwa gleichbleibendes (trendfreies) Verhalten.
- Im Sommerhalbjahr zeigen die mittleren Werte an allen Pegeln generell abnehmende und im Winterhalbjahr zunehmende Tendenzen. Ausnahme hiervon sind jedoch die Obersee-Pegel Konstanz und Romanshorn, die gering fallende bis gleichbleibende Tendenzen aufweisen.
- Bei den höchsten jährlichen Abflüssen und Wasserständen aller Pegel, die fast ausschließlich im Sommerhalbjahr auftreten, ergeben sich generell (signifikant) stark fallende Tendenzen.

- Bei den niedrigsten jährlichen Abflüssen und Wasserständen, die fast ausschließlich im Winterhalbjahr auftreten, ergeben sich (signifikant) stark steigende Tendenzen beim Zufluss Alpenrhein und Bodensee-Ausfluss zum Hochrhein. Die Wasserstandspegel Berlingen und Stein-Burg zeigen schwach signifikante steigende Tendenzen. Der Wasserstandspegel Konstanz weist dagegen eine ungefähr gleichbleibende (trendfreie) Tendenz auf.

Zeitpunkte, in denen Veränderungen (Inhomogenitäten) in den Beobachtungszeitreihen vorhanden sind, wurden über Bruchpunktanalysen ermittelt. Anschließend erfolgte die Berechnung und Beurteilung der partiellen Mittelwerte zwischen den erkannten Änderungszeitpunkten. Hieraus ist zu erkennen:

- Die Zeitreihen der mittleren jährlichen Wasserstände und Abflüsse zeigen nach der Bruchpunktanalyse, dass um die Jahre 1909, 1941, 1964, 1977 und 1988 Veränderungen vorhanden sind. Die partiellen Mittelwerte nehmen jeweils nach 1941 und nach 1988 ab, wobei jedoch zwischen 1964 und 1988 eine gewisse Erhöhung des Mittelwerts erkennbar ist.
- Die höchsten jährlichen Wasserstände und Abflüsse (Sommerhalbjahr) weisen jeweils nur einen Bruchpunkt um das Jahr 1940 sowie eine Abnahme der partiellen Mittelwerte nach 1940 auf.
- Die niedrigsten jährlichen Wasserstände und Abflüsse (Winterhalbjahr) zeigen am Wasserstands-Pegel Konstanz (Obersee) nur einen Bruchpunkt im Jahr 1909 mit einer Zunahme des partiellen Mittelwerts. An den Wasserstands-Pegeln Berlingen (Untersee) und Stein-Burg (Hochrhein) ergeben sich jeweils zwei Bruchpunkte um die Jahre 1909 und 1954, wobei die Mittelwerte nach den jeweiligen Änderungszeitpunkten jeweils ansteigen. Diese beiden Zeitpunkte sind auch beim Zuflusspegel Diepoldsau und beim Ausflusspegel Neuhausen mit jeweils ansteigenden partiellen Mittelwerten vorhanden.

Jahresgang der monatlich mittleren, höchsten und niedrigsten Wasserstände und Abflüsse

Bei den monatlich mittleren, höchsten und niedrigsten Wasserständen und Abflüssen an den Wasserstands-Pegeln Konstanz (Obersee), Berlingen (Untersee), Stein-Burg (Hochrhein) sowie an den Pegeln des Haupt-Zuflusses (Diepoldsau/Alpenrhein) und des Ausflusses Neuhausen-Flurlingerbrücke/Hochrhein werden die Jahresgänge der jeweiligen mittleren Monatswerte ausgewertet. Verglichen und bewertet wurden dabei jeweils die Jahresgänge von Teilzeitspannen mit der gesamten Zeitspanne zwischen 1910 bis 2007. Danach sind folgende Veränderungen vorhanden:

- Die mittleren monatlichen Abflüsse und Wasserstände zeigen im Sommerhalbjahr generell abnehmende Tendenzen. Im Winterhalbjahr ergeben sich nur bei den mittleren monatlichen Abflüssen zunehmende Tendenzen. Die drei Wasserstandspegel Konstanz (Obersee), Berlingen (Untersee) und Stein-Burg (Hochrhein) weisen dagegen auch in den Wintermonaten abnehmende Tendenzen auf. Beim Zufluss und Ausfluss erfolgt eine Verlagerung der Abflüsse vom Sommer- in das Winterhalbjahr, die sich auf Ausbau und Betrieb der Speicherkraftwerke im alpinen Einzugsgebiet des Bodensees zurückführen lässt.
- Die höchsten monatlichen Abflüsse und Wasserstände zeigen im Sommerhalbjahr generell abnehmende Tendenz.
- Die monatlich niedrigsten Abflüsse und Wasserstände im Winterhalbjahr weisen generell zunehmende Tendenzen auf, deutlich erkennbar am Pegel Berlingen (Untersee) sowie am Pegel Stein-Burg (Hochrhein). Am Pegel Konstanz (Obersee) bleiben die winterhalbjährlichen Wasserstände jedoch nahezu konstant.
- Die monatlichen Niedrigst-Wasserstände zeigen aufgrund des Betriebs der Kraftwerkspeicher in den letzten 30 Jahren gegenüber der Gesamt-Zeitspanne am Obersee Abnahmen von Mai bis Januar, verstärkte Abnahmen von Juni bis September und kaum Veränderungen von Januar bis April. Am Untersee verringern sich die monatlichen Niedrigst-Wasserstände von Mai bis

November, besonders stark ab Juni bis September. Im Gegensatz zum Obersee sind die Niedrigwasser-Zunahmen am Untersee ab Dezember bis April und besonders stark ab Februar bis April ausgeprägt.

- Der Jahresgang der Wasserstände und Abflüsse bleibt aber im Wesentlichen erhalten. Es erfolgt lediglich gegenüber dem Zuflusspegel Diepoldsau/Alpenrhein aufgrund des großen Obersees eine geringfügige zeitliche Verschiebung bei den unterliegenden Pegeln Konstanz (Obersee), Berlingen (Untersee), Stein-Burg (Hochrhein) und Neuhausen-Flurlingerbrücke (Hochrhein).

Mittlere jährliche und halbjährliche Wasserspiegel-Differenzen

Wasserspiegel-Differenzen wurden zwischen den Pegeln Konstanz (Obersee), Berlingen (Untersee) und Stein-Burg (Hochrhein) berechnet und im Langzeitverhalten beurteilt. Die mittleren jährlichen und halbjährlichen Differenzen zwischen dem Untersee-Pegel Berlingen und dem Hochrhein-Pegel Stein-Burg, der 1,25 km unterhalb des Bodensee-Ausflusses am Eschenzer Horn liegt, zeigen nur unbedeutend Veränderungen. Dagegen haben die mittleren jährlichen und halbjährlichen Differenzen zwischen dem Obersee-Pegel Konstanz und dem Untersee-Pegel Berlingen für die Zeitspanne zwischen 1888 und 2007 stark fallende Trends. Insbesondere ist ab ca. 1921 ein kontinuierliches Abfallen der jährlichen Wasserspiegel-Differenzen vorhanden, das bis etwa 1962 anhält. Während dieser Zeitspanne ergibt sich eine Verminderung der jährlichen Wasserspiegel-Differenzen um ca. 10 cm. In den beiden Halbjahren ergeben sich jedoch deutliche Unterschiede in der zeitlichen Entwicklung der Wasserspiegel-Differenzen. Während die Wasserstands-Differenzen im Sommerhalbjahr lediglich eine Abnahme von 5 cm aufweisen, steigen sie im Winterhalbjahr auf knapp 15 cm an.

Ursachen für die Veränderungen

Veränderungen im Langzeitverhalten der Wasserstände und Abflüsse und auch in den mittleren Jah-

resgängen können auf folgende Ursachen zurückgeführt werden:

- der ab 1919 einsetzende Ausbau und Betrieb der Kraftwerk-Speicher im alpinen Bodensee-Einzugsgebiet, der schwerpunktmäßig zwischen 1952 und 1976 erfolgte und seit 1990 abgeschlossen ist. Der Speicherbetrieb ist gerade während der Niedrigwasserzeit im Winterhalbjahr für Niedrigwasser-Aufhöhung verantwortlich.
- hydraulisch bedingte Veränderungen in den Durchflussbereichen ab der Konstanzer Schwelle, im Seerhein und im östlichen Untersee zwischen Gottlieben und Ermatingen sowie am Eschenzer Horn.
- klimatisch bedingte Veränderungen im Einzugsgebiet des Bodensees mit Auswirkung auf Niederschlags- und Verdunstungsverhalten sowie auf veränderte Schneespeicherung.

Die Wasserentnahmen der Wasser-Fernversorgung aus dem Bodensee beeinflussen die Wasserstände und das Wasserstands-Regime nur unwesentlich, da diese im Verhältnis zu den Zufluss- und Abflusswerten sehr klein sind und zusätzlich durch die Überleitungen in das Ill-Einzugsgebiet kompensiert werden.

Ursache für die Abnahme der Wasserstands-Differenzen zwischen dem Obersee (Pegel Konstanz) und dem Untersee (Pegel Berlingen) können Veränderungen der hydraulischen Eigenschaften in den o. a. Durchflussbereichen sein: Einerseits ist die Wasserpflanzen-Vegetation ab der Konstanzer Schwelle, im Seerhein und im östlichen Bereich des Untersees zwischen Gottlieben und Ermatingen von Veränderungen betroffen. Andererseits lässt sie sich auf Erosion und eventuell auch auf Korrekturen der Schifffahrtsrinne im Bereich der „Konstanzer Schwelle“ am Beginn des Seerheins zurückführen.

Diese letztgenannten Veränderungen überlagern die Auswirkungen der Speicherbewirtschaftung, die im Winterhalbjahr auch am Obersee vorhanden ist. Dadurch erklären sich die während des Winterhalbjahres auftretenden, etwa gleichbleibenden Tendenzen der Niedrigst- und Mittleren Wasserstände am

Obersee (Pegel Konstanz). Dagegen weisen der Untersee (Pegel Berlingen) und der beginnende Hochrhein (Pegel Stein-Burg) deutliche Anstiege der Wasserstände im Winterhalbjahr auf.

Beispiele für die Auswirkung der Wasserstandsveränderungen an Ober und Untersee

Die Auswirkungen des veränderten Jahresgangs der Wasserstände werden anhand von zwei praxisorientierten Fällen aufgezeigt: Einerseits werden fünf archäologische Siedlungsareale (prähistorische Pfahlfelder, Kulturschichten) in Uferzonen des Obersees untersucht. Die Flächen geraten zwischen November bis März zeitweise in extremes Flachwasser oder fallen gänzlich trocken. Dies führt zu teilweiser bis vollständiger Zerstörung der archäologischen Siedlungsareale. Andererseits können die am baden-württembergischen Ober- und Unterseeufer liegenden Sportboothäfen wegen ihrer unterschiedlichen Tiefen der Einfahrtsrinnen und Liegeplätze während der Saison von April bis Oktober nicht in allen Monaten ohne Einschränkungen angefahren werden. Daher wird die Nutzbarkeit von 46 Bootshäfen in Abhängigkeit der Wasserstände aufgezeigt. Hierzu wurde die mittlere monatliche Anzahl von Tagen ermittelt, an denen bestimmte Wasserstands-Schwellenwerte unterschritten werden. Zusätzlich wird auch die monatliche Jährlichkeit für das Unterschreiten dieser Schwellenwerte abgeleitet. Der Vergleich der Ergebnisse aus der Beobachtungszeit der letzten 30 Jahre gegenüber der Gesamt-Zeitspanne (1910 bis 2007) belegt:

- Am Obersee verringern sich im Bereich des Niedrigwasserstands ($W = 260/270/290$ cm am Pegel Konstanz) die Unterschreitungstage von Februar bis April. In den übrigen Monaten ergeben sich kaum Änderungen.
- Im Bereich des mittleren Wasserstands ($W = 330/340$ cm am Pegel Konstanz) ergeben sich Zunahmen der Unterschreitungstage in fast allen Monaten; verstärkt in den Monaten August bis November.
- Im höheren Wasserstandsbereich ($W = 380/400$ cm am Pegel Konstanz) sind Zunahmen der Unterschreitungstage ab Mai bis Oktober, ver-

stärkt in den Monaten Juni bis September, vorhanden.

- Am Untersee vermindern sich die Unterschreitungstage im Bereich der Niedrigwasserstände ($W = 230/265$ cm am Pegel Konstanz) in den Monaten Oktober bis April. In den Sommermonaten ergeben sich keine Änderungen.
- Im Bereich der mittleren Wasserstände ($W = 300/340$ cm am Pegel Berlingen) erhöhen sich die Unterschreitungstage in den Monaten Mai bis Oktober; verstärkt im August und September.

Durch diese Veränderungen ist die Nutzbarkeit der Sportbootshäfen in den Sommermonaten (Schiffahrtssaison) in den letzten 30 Jahren, die dem heutigen Zustand der Wasserstände entsprechen, an einer größeren Anzahl von Tagen stärker eingeschränkt als in der Zeit vor 1977. Dies gilt für die Bootshäfen am Obersee und am Untersee. Für die archäologischen Siedlungsareale im Bereich der Flachwasserzone des Obersees zeigen die Auswertungen, dass die Anzahl der Unterschreitungstage im Niedrigwasserbereich (Winterhalbjahr) abgenommen hat. Damit ist, abgeleitet aus den letzten 30 Jahren, bei Niedrigwasserständen eine etwas geringere Gefahr für das Trockenfallen der Flächen gegeben. Bei höher liegenden Siedlungsarealen, die noch in Monaten des Sommerhalbjahres trocken fallen können, erhöhen sich die Unterschreitungstage und damit die Gefahr, länger trocken zu fallen.

1 Einführung und Problemstellung

Der Bodensee ist ein nacheiszeitlich entstandener, natürlicher und nicht staugeregelter See. Er besteht aus zwei Seeteilen und wird vom Rhein von Ost nach West durchflossen (Abb. 1.1). Der östlich gelegene große Obersee und der westlich gelegene kleine Untersee sind durch den ca. 4 km langen Seerhein, der an der Konstanzer Schwelle beginnt, miteinander verbunden. Der natürliche Auslauf des Untersees liegt ca. 1,2 km östlich von Stein am Eschenzer Horn. Ab dieser Stelle wird der freifließende Rhein als Hoahrhein bezeichnet.

In der Vergangenheit wurden in weiten Bereichen des Bodenseeuferes, der Flachwasserzonen und des Ufers am Seerhein zunehmend Erosionsschäden beobachtet, die sich vor allem zeigen in:

- Rückgang der Schilfflächen und flächenhafte Erosionen in Flachwasserzonen,
- Erosionen am natürlichen Seeufer und fortschreitende Kliffkantenbildung (Dittrich, Westrich 1988 [13]),
- Unterspülung und Schädigung von z.B. Ufermauern, Ufervegetationen und -bepflanzungen (Krumscheid, Stark, Peintinger 1989 [39], Ostendorp 1990 [56]),
- Trockenfallen und Gefährdung von freigelegten archäologischen Siedlungsarealen (Pfahlbaureste, Kulturschichten) aus der Jungsteinzeit und Bronzezeit (Schlichterle und Bürgi, 1986 [60], Schlichterle und Mainberger 2006 [63]).

Ursache dieser Erscheinungen sind u.a. die Wasserstandsverhältnisse im Bodensee und deren langfristigen Veränderungen. Diese hängen im Wesentlichen ab von:

- der Größe und Form der Seebecken,
- dem Zufluss und dessen langfristigen Veränderungen infolge Klimaschwankung und Klimaänderung,
- möglichen Veränderungen im Zuflussverhalten durch Ausbau des Alpenrheins ab 1896, (Internationale Rheinregulierung, 1892-1992 [28]),
- Veränderungen im Zuflussverhalten, gegebenenfalls auch im Zuflussregime des Alpenrheins, bedingt durch den ab 1919 beginnenden Ausbau und Betrieb der Speicherkraftwerke im alpinen Bodensee-Einzugsgebiet,
- den hydraulischen Bedingungen und deren Veränderungen in den Aus- und Durchflussbereichen an der Konstanzer Schwelle, am Auslauf des Seerheins in den Untersee und am Eschenzer Horn beim Übergang in der Hoahrhein.

Mit der Veröffentlichung der „Veränderung der Bodensee-Wasserstände von 1887 bis 1987“ (Luft et al. 1990 [48] und Luft 1993 [51]) hat die seinerzeitige Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg eine Erstbearbeitung zu langfristigen Wasserstandsveränderungen und möglichen Ursachen hierfür geliefert, mit den wesentlichen Ergebnissen:

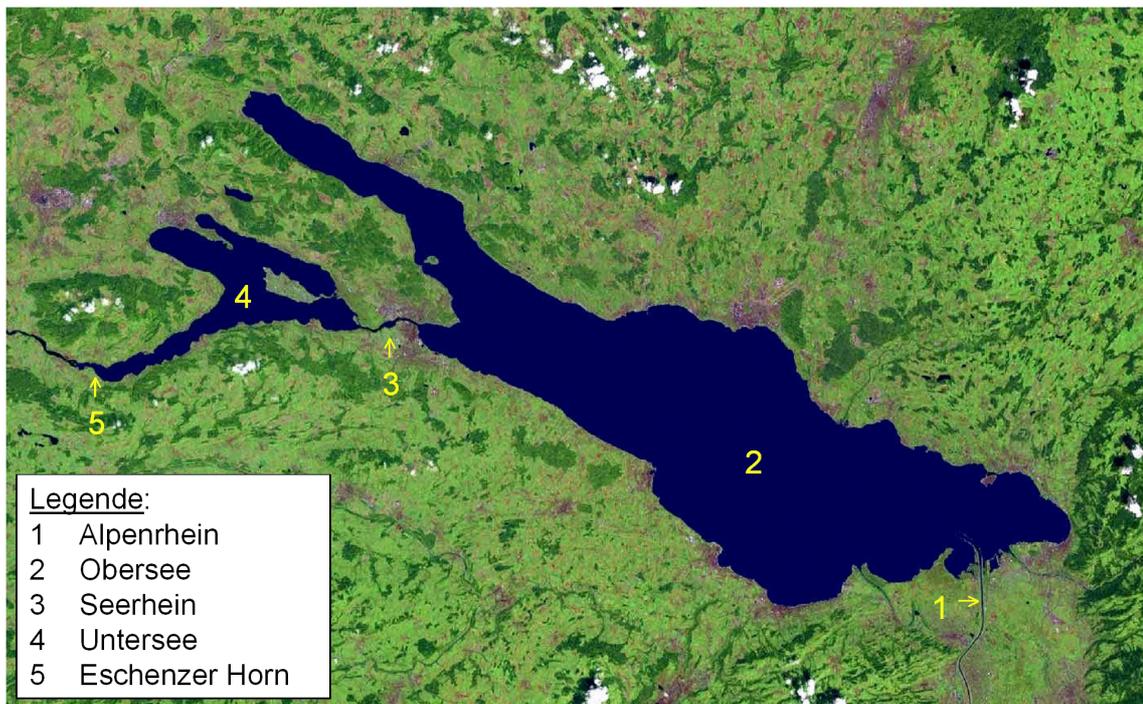


Abb. 1.1: Satellitenaufnahme des Bodensees (Quelle: NASA World Wind)

- Sowohl die jährlich mittleren Wasserstände als auch die jährlichen Hochwasserstände sind am Pegel Konstanz/Bodensee seit Anfang 1940 gefallen. Die Niedrigwasserstände haben sich nicht verändert.
- Das jahreszeitliche Hoch-, Mittel- und Niedrigwasserregime hat sich ebenfalls leicht verändert.
- Ursachen für die Änderungen sind längerfristige Veränderungen der hydraulischen Bedingungen an den Auslaufbereichen von Ober- und Untersee sowie der Betrieb der im alpinen Einzugsgebiet des Bodensees seit den 20-er Jahren ausgebauten Kraftwerkspeicher.

Mit der Wiederaufnahme der Untersuchung zu Wasserstandsveränderungen und Ursachen sollen die 1990 erzielten Ergebnisse anhand der ergänzten und aktualisierten Zeitreihen von 1888 bis 2007 (120 Jahre) der drei Wasserstands-Pegel Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Steinburg/Hochrhein überprüft und neu bewertet werden, da die Beobachtung vermuten lässt, dass sich die Bodensee-Wasserstände in den letzten 20 Jahre weiter verändert haben.

Nach einer Übersicht zum Bodensee-Einzugsgebiet und seinen hydrographischen und wasserwirtschaft-

lichen Besonderheiten werden zunächst die in die Untersuchung einzubeziehenden Wasserstands- und Abfluss-Zeitreihen ausgewählt und plausibilisiert.

Durch Anwendung zeitreihenanalytischer Methoden, wie Trend- und Bruchpunkt-Verfahren werden mögliche Zeitabschnitte mit Änderungen in den Wasserstands- und Abfluss-Zeitreihen als Bruchpunkte festgestellt und anschließend verifiziert. Dabei beziehen sich die Auswertungen sowohl auf jährliche und halbjährliche Werte als auch auf Monatswerte, um das saisonale Verhalten bewerten zu können.

Abschließend werden praxisorientierte Auswirkungen der veränderten Wasserstände dargelegt: Hierzu werden einerseits 5 archäologische Siedlungsareale (Pfahlbaureste, Kulturschichten) aus der Jungsteinzeit und Bronzezeit, die in Uferzonen des Obersees liegen, betrachtet. Diese Flächen sind bei Niedrigwasserständen aufgrund von Wellenschlag oder Trockenfallen gefährdet. Andererseits haben veränderte Wasserstandsverhältnisse auch einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzbarkeit zahlreicher Sportboothäfen an Ober- und Untersee.

2 Der Bodensee und sein Einzugsgebiet

Der Bodensee ist ein internationales Gewässer mit den Anrainer-Ländern Schweiz, Österreich und Deutschland (Abb. 2.1). Die anteiligen Einzugsgebietsflächen und Uferlängen sind in Tabelle 2.1 zusammengestellt. Diese Zusammenstellung zeigt beispielsweise, dass sich die wesentlichen Anteile des Einzugsgebiets auf die Schweiz (48%), auf Deutschland (insgesamt 28%) und auf Österreich (21%) verteilen. Bei den Uferlängen hat Deutschland mit insgesamt 64% den größten Anteil, gefolgt von der Schweiz mit 26% und Österreich mit 10%. Weitere hydrografische Kenndaten (Tabelle 2.2 und Tabelle 2.3) zeigen, dass das alpin geprägte Einzugsgebiet mit dem größten Flächenanteil auch den größten Zuflussanteil liefert (Tabelle 2.3). Bezogen auf den mittleren jährlichen Gesamtabfluss MQ aus dem Bodensee kommen knapp 75% der Zuflüsse zum Bodensee aus den Einzugsgebieten von Alpenrhein und Bregenzerach. Somit sind diese Zuflüsse mit ihrem nivalen Abflussregime maßgeblich für das Regime der Wasserstände im Bodensee verantwortlich.

Im Einzugsgebiet des Alpenrheins ist zurzeit eine Fläche von unter 1,5% vergletschert (Spreafico 1992 [66], Moser 2008 [53], Bundesamt für Wasser und Geologie 2005 [9]). Die Gletscher liegen in den Quellgebieten von Vorder- und Hinterrhein sowie der Ill. Der Vergletscherungsanteil ist so gering, dass am Pegel Diepoldsau/Alpenrhein (Hauptzufluss des Bodensees) keine Auswirkungen des Gletscher-Rückgangs der letzten drei Jahrzehnte auf den Abfluss festgestellt werden können.

Das gesamte Einzugsgebiet des Bodensees umfasst eine Fläche von $A_{Eo} = 11\,487\text{ km}^2$ (Abb. 2.1), bezo-

gen auf das Eschenzer Horn (Auslauf des Untersees). Bei mittlerem Wasserstand nimmt die Wasseroberfläche des Bodensees insgesamt 535 km^2 ein (Tabelle 2.1) und sein Wasserkörper umfasst ein Volumen von insgesamt $48,45\text{ km}^3$. Zwischen Niedrigst- (NNW) und Höchstwasserstand (HHW), bezogen auf den Auslauf des Obersees an der Konstanzer Schwelle, weist der Wasserkörper des Obersees ein Volumen von ca. 2 km^3 (Tabelle 2.2) auf. Der im Südosten des Obersees zufließende Rhein wird bis zur neuen Einmündung, dem „Fussacher Durchstich“, Alpenrhein genannt. Ab dem natürlichen Auslauf des Untersees an der Engstelle des Eschenzer Horns, ca. 1,2 km östlich von Stein, wird der Rhein als Hochrhein bezeichnet.

Nach einer kurzen Charakterisierung der einbezogenen Flussgebiete (Abschnitt 2.1) wird die für die Wasserstände zwischen dem Konstanzer Trichter und dem Bodensee-Auslauf vorhandene fließhydraulische Problematik angesprochen (Abschnitt 2.2). Die Auswirkungen der natürlichen Zuflüsse aus dem Karstgebiet des Einzugsgebiets der Oberen Donau werden in Abschnitt 2.3 erwähnt. Weiterhin werden mögliche Beeinflussungen auf den Seespiegel des Obersees durch die Trinkwasserentnahmen für die Wasserfernversorgung Baden-Württemberg, Entnahmen durch die Wasserwerke der Bodensee-Anrainergemeinden und durch Überleitungen der Betreiber von Wasserkraftwerk-Speichern im alpinen Bodensee-Einzugsgebiet (Abschnitt 2.4) untersucht. In Abschnitt 2.5 wird abschließend der Ausbau und Betrieb der Kraftwerk-Speicher im alpinen Teil des Bodensee-Einzugsgebiets dargestellt.



Abb. 2.1: Einzugsgebiet des Bodensees (Quelle: IGKB 2004 [27]) mit Lage der Kraftwerk-Speicher nach [7], [47] und [48]

Tabelle 2.1: Kenndaten zum Bodensee

Kenndaten zum Bodensee	Obersee Bregenzer Bucht, Überlinger See, Konstanzer Bucht	Untersee Rheinsee, Zeller See, Gnadensee	Bodensee gesamt
Fläche bei MW (MW s. u.) [km ²]	472	63	535
Volumen bei MW (MW s.u.) km ³	47,6	0,8	48,4
Mittlere Tiefe [m]	101	13	–
Maximale Tiefe [m]	253	47	–
Uferlänge ¹⁾ [km]	186	87	273 ¹⁾
Einzugsgebiet ²⁾ [km ²]	10 919 (Pegel Konstanz/B.)	11 487 (Eschenzer Horn)	11 487 (Eschenzer Horn)
Mittlerer Wasserstand [m+NN] MW(J)-Reihe 1888 bis 2007	395,30 (Pegel Konstanz/B.)	395,09 (Pegel Berlingen/B.)	
Mittlerer Zufluss [Mio. m ³ /a] (Gesamt-See) [m ³ /s]			~11 500 Mio m ³ /a ~365 m ³ /s
Mittlerer Abfluss [Mio. m ³ /a] (am Eschenzer Horn) [m ³ /s]			~11 350 Mio m ³ /a ~360 m ³ /s
¹⁾ Anteilige Uferlänge: Baden-Württemberg ~155 km 57% Schweiz ~72 km 26% Österreich ~28 km 10% Bayern ~18 km 7%	²⁾ Anteiliges Einzugsgebiet (ohne Bodensee): Schweiz ~5 282km ² 49% Baden-Württemberg ~2 542 km ² 23% Österreich ~2 329.km ² 21% Bayern ~590km ² 5% Lichtenstein ~160 km ² 1,5% Italien ~49 km ² 0,5% Summe (ohne Bodensee) 10 952 km ²		
Angaben nach LUBW, Institut für Seenforschung, Langenargen, Juli 2008 und (Bodensee-Wasserinformationssystem, 2005 [4]).			

Tabelle 2.2: Volumen und Wasserfläche des Obersees bei verschiedenen Wasserständen

Bodensee-Obersee	Wasserstand am Pegel Konstanz/Bodensee		Volumen [km ³]	See-Oberfläche [km ²]
HHW am 7. Juli 1817	636 cm a. P.	398,25 m+NN	49,1	666,8
HW am 3. Sept. 1890	576 cm a. P.	397,65 m+NN	48,8	515,2
HW am 18. Juni 1999	565 cm a. P.	397,54 m+NN	48,7	508,6
MW	341 cm a. P.	395,30 m+NN	47,6	472,3
NW am 12.-17. März 1972	237 cm a. P.	394,26 m+NN	47,2	456,1
NW am 12.-15. Febr. 2006	229 cm a. P.	394,18 m+NN	47,1	453,7
NNW am 17.-21. Febr. 1858	226 cm a. P.	394,15 m+NN	47,1	452,9
Tiefpunkt Rhein/Konst.Schwelle		~392,5 m+NN	46,4	431,2
		392,00 m+NN	46,2	428,4
Angaben nach Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) (1990) [26]: Internationale Bodensee-Tiefenvermessung 1:50.000. Landesvermessungsamt Baden-Württemberg				

2.1 EINBEZOGENE FLUSSGEBIETE

Aufgrund der Größe der Fluss-Einzugsgebiete, ihrer mittleren Abfluss-Anteile sowie ihrer Abfluss-Datengüte werden die Flussgebiete aus Tabelle 2.3 in die Untersuchung einbezogen. Diese

Gebiete können folgendermaßen kurz charakterisiert werden:

Der **Alpenrhein** (Abb. 2.1) mit seinem überwiegend alpin geprägten Einzugsgebiet mit einer Fläche von $A_{E_0} = 6\,123\text{ km}^2$ (52% Gebietsanteil)

liefert rd. 62% des Gesamtzuflusses zum Bodensee. Der Alpenrhein war ein Wildstrom, der ursprünglich bei Altenrhein in den Bodensee mündete und ab 1895 reguliert wurde. Bis etwa 1930 wurde der im Unterlauf mäandrierende Strom z. T. begradigt und in Dämmen ausgebaut. 1900 wurde mit dem „Fussacher Durchstich“ die neue Rheinmündung in die westliche Bregenzer Bucht fertiggestellt. 1923 erfolgte der „Diepoldsauer Durchstich“ und bis 1930 war der Normal-Ausbau bis Oberriet und bis zur Ill-Einmündung vollzogen (Internationale Rheinregulierung 1892-1992 [28], Bergmeister 1989 [3]). Schon davor war die Korrektur des Alpenrheins ab Reichenau und Landquart bis zur Ill-Einmündung mit Ausbau im Trapezprofil und Dämmen abgeschlossen (Zarn et al. 1995 [73]).

Wegen der Rheindämme musste für die Vorländer die Vorflut geregelt werden: Die auf der schweizerischen Rheinseite liegende St. Gallener Rheintalau sowie der nordöstliche Randbereich des Appenzeller Landes werden seit 1919 durch den linksrheinischen **Rheintalbinnenkanal** entwässert, der unterhalb des Pegels St. Margrethen/Rheintalbinnenkanal ($A_{E_0} = 360 \text{ km}^2$) in den Altrhein (Alpenrhein vor der Regulierung) übergeht. Mit seinem Einzugsgebietsanteil von 3% erbringt er knapp 4% des mittleren Zuflusses zum Bodensee. Auf der östlichen, österreichischen Rheinseite entwässert der rechtsrheinische Vorarlberger (oder Lustenauer) Binnenkanal das Vorland unterhalb der Ill-Einmündung. Das Einzugsgebiet umfasst auch den Südwestabfall des Bregenzer Waldes. Der Vorarlberger Binnenkanal mündet in die **Dornbirnerach** (Pegel Lauterach: $A_{E_0} = 196 \text{ km}^2$) und diese parallel zur neuen vorgestreckten Alpenrheinmündung in den Bodensee. Die Dornbirnerach wird jedoch aufgrund des kleinen Einzugsgebiets und der kurzen Abflussreihe nicht weiter berücksichtigt.

Die Einzugsgebiete von **Bregenzerach** und **Argen** liegen im voralpin geprägten Bregenzer Wald

und Allgäu. Die Bregenzerach mit einer Einzugsgebietsgröße von rd. $A_{E_0} = 830 \text{ km}^2$ (7% Gebietsanteil) liefert 12,5% des mittleren Gesamtzuflusses zum Bodensee und die Argen mit rd. $A_{E_0} = 650 \text{ km}^2$ (5,5% Gebietsanteil) trägt im Mittel 5,3% Zuflussanteil bei.

Die von Norden aus dem oberschwäbischen Moränen- und Schotterflächengebiet in den Obersee mündende **Schussen** hat ein Einzugsgebiet von $A_{E_0} = 782 \text{ km}^2$ (6,6% Gebietsanteil) und weist knapp 3% des mittleren Gesamtzuflusses des Bodensees auf.

Das Einzugsgebiet der **Radolfzeller Aach** ist im Norden durch verkarsteten Tafeljura, im mittleren Bereich durch die Hegau-Vulkane und im Süden durch Moränen und Schotterflächen geprägt. Das oberirdische Einzugsgebiet beträgt am Pegel Rielasingen $A_{E_0} = 205 \text{ km}^2$ (1,7% Gebietsanteil), bei einem mittleren Zuflussanteil von 2,4%. Dieser Anteil kommt aber überwiegend aus dem zusätzlichen, 252 km^2 großen unterirdischen Karst-Einzugsgebiet der Aach-Quelle. Weitere Hinweise hierzu befinden sich in Abschnitt 2.3.

Die Einzugsgebiete von Dornbirnerach und Ruggbach aus dem Bregenzer Wald, von Rotach und Seefelder Aach aus dem oberschwäbischen Moränengebiet sowie von Stockacher Aach werden aufgrund der kurzen Beobachtungsreihen, der Datengüte oder der geringen Einzugsgebietsgrößen nicht weiter in der Untersuchung berücksichtigt.

Der Bodensee hat seinen Auslauf am Eschenzer Horn, dem Übergang des Untersees in den Hochrhein. Der Ausfluss des Bodensees wird ca. 12 km unterhalb des Eschenzer Horns am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Hochrhein ($A_{E_0} = 11\,887 \text{ km}^2$) erfasst. Der mittlere Abfluss beträgt an diesem Pegel $MQ = 369 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabelle 2.3: Flächen- und Abfluss-Anteile ausgewählter Zuflüsse zum Bodensee

Fluss Pegel	Zeitreihe	Fläche A_{Eo} und Flächenanteil		Abfluss MQ und Abflussanteil	
Alpenrhein Diepoldsau (mit Vorgängern)	1905 - 2007	6 119 km ²	51,5%	228 m ³ /s	61,79%
Rheintal-Binnenkanal (CH) St. Margrethen	1920 - 2007	360 km ²	3,03%	14,1 m ³ /s	3,82%
Bregenzerach Kennelbach	1952 - 2007	826 km ²	6,95%	46,2 m ³ /s	12,52%
Argen Gießen (mit Vorgänger)	1933 - 2007	649 km ²	5,46%	19,3 m ³ /s	5,28%
Schussen Gerbertshaus (mit Vorgänger)	1920 - 2007	782 km ²	6,58%	10,9 m ³ /s	2,95%
Radolfzeller Aach Rielasingen (mit Vorgänger)	1925 - 2007	205 km ² (+ 252 km ² $A_{Eu}^{1)}$	1,73%	9,0 m ³ /s	2,44%
		Summe: 8 941 km ² (mit A_{Eu}^{1}) 9 193 km ²)		Summe: 327,5 m ³ /s	
übriges Einzugsgebiet mit Zuflüssen		2 946 km ²	24,8%	41,5 m ³ /s	11,25%
Hochrhein Neuhausen-Flurlingerbrücke (mit Vorgängern)	1905 - 2007	11 887 km ²	100%	369 m ³ /s	100%

¹⁾ unterirdisches Karst-Einzugsgebiet A_{Eu} der Aachquelle

2.2 AUSLAUFBEREICHE DES BODENSEES ZWISCHEN KONSTANZER TRICHTER UND ESCHENZER HORN

Der Ausfluss aus dem Bodensee ist geprägt durch den Streckenabschnitt zwischen dem Konstanzer Trichter und dem Eschenzer Horn. Dieser Streckenbereich umfasst den nach Westen auslaufenden Obersee, den „Inneren Konstanzer Trichter“ mit der „Konstanzer Schwelle“, den Seerhein sowie das vom Rhein durchflossene Unterseebecken bis zum Eschenzer Horn und den anschließenden Hochrhein bis zur Engstelle an der Steiner Rheinbrücke.

Diese Teilbereiche liegen innerhalb von würmeiszeitlichem Moränenmaterial, das vorwiegend sandig-kiesig ausgeprägt ist und z. T. von schluffig bis feinsandigen Beckentonen sowie von postglazialen, kalkreichen See-Sedimenten (Seekreide, Elm, „Schnecklisande“) überlagert wird. Der Streckenbereich ab der Konstanzer Schwelle bis zum östlichen Untersee bei Ermatingen ist anfällig gegen linien- und flächenhafte Erosion. Schon geringfügige Änderungen in den Durchflussprofilen (Eintiefungen,

Sohlenerosion, flächenhafte Erosion in den durchflossenen Fachwasserzonen, sowie Änderungen des Wasserpflanzen-Bestands sowie Vegetationsstands) beeinflussen den Wasserspiegel über den gesamten Längsschnitt. Die drei Problemzonen, die für die Bodensee-Wasserstände sowie für die Aus- bzw. Durchflüsse wichtig sind, werden im Einzelnen angesprochen:

Der Ausflussbereich des Obersees beginnt an der „**Konstanzer Schwelle**“. Sie wird von der nördlich neben der Konstanzer Hafeneinfahrt beginnenden, breiteren, als Schifffahrtsweg genutzten Rhein-Hauptrinne sowie von vielen mehr oder minder schmalen flachen Fließrinnen durchzogen (Abb. 2.2). Bei Niedrigwasser ist die Konstanzer Schwelle eine Flachwasserzone, wobei höhere Bereiche teilweise trocken fallen.

Der **Seerhein** setzt sich als Rinne im Untersee auf der Strecke von Gottlieben bis Ermatingen fort. Die Rinne wird als Rheinsee bezeichnet. Bei Niedrig-

wasser fällt dieser Flachwasserbereich größtenteils trocken und der Rhein wird als Rinne deutlich sichtbar (Abb. 2.3). Der Rheinsee setzt sich als breites, durchströmtes Fließgewässer bis zum Eschenzer Horn fort. Das Wasserstandsgefälle beträgt bei Mittelwasser zwischen Gottlieben und dem Eschenzer Horn/Stein knapp 0,02‰. Ebenso ist auch der Zeller See ab der Einmündung der Radolfzeller Aach bis südwestlich der Insel Reichenau ein durchströmtes Fließgewässer, während der Gnadensee ein Stillwasserbereich ist.

Abb. 2.4 zeigt den Auslaufbereich des Untersees am **Eschenzer Horn** bei Niedrigwasser. An dieser Stelle wurden auf schweizerischer Seite in den Jahren 1876, 1892, 1917 (Kobelt 1926 [35]) und 1941 mehrere Abgrabungen (zusammen ca. 55.000 m³) vorgenommen, um das Hochwasser für die Untersee-Gemeinden zu senken. Maßgebend für den Auslauf des Untersees ist jedoch erst das Querprofil im Bereich der Engstelle an der **Steiner Rheinbrücke** (ca. 1,35 km westlich des Eschenzer Horns), da hier eine stabile Sohle vorhanden ist. Daher ist dieses Flussquerprofil maßgebend für den Auslauf des Untersees. Wie das vor dem Neubau der Steiner Rheinbrücke im November 1970 aufgenommene geotechnische Profil (Straßeninspektion des Kantons Schaffhausen 1971 [67]) in Abb. 2.5 zeigt, ist die Sohle des Brückenquerschnitts sandig bis kiesig ausgebildet, die tieferen Schichten gehen in Silt bis Ton über. Die Ramm-Sondierungen belegen den stark verfestigten Bereich unter der Fluss-Sohle. Beim Neubau der Steiner Rheinbrücke im Jahr 1973 wurde nach Angaben des Tiefbauamtes des Kantons Schaffhausen (Flussbau und Wassernutzung) die Flusssohle gesichert, aber nicht verändert, um keine Tiefenerosion auszulösen. Die neue, höher liegende Brücke hat nur 2 Pfeiler, wodurch gegenüber der alten Brücke der Durchfluss-Querschnitt bei Hochwasser, weniger bei Mittel- und Niedrigwasser vergrößert ist.

In den oben genannten drei problematischen Durchflussbereichen sind, mit Ausnahme des Bereichs der Steiner Rheinbrücke, auch fortlaufende Sohlen-Erosion bzw. Erosion in Flachwasserbereichen so-

wie Auflandungen möglich. Zusätzlich können anthropogene Veränderungen, wie Abgrabungen am Eschenzer Horn oder Eintiefung der Schifffahrtsrinne ab nördlich des Konstanzer Hafens (Abb. 2.2) Änderungen hervorrufen.

Veränderte Verkräutung in den durchflossenen Bereichen der Konstanzer Schwelle, des Seerheins und der Flachwasserzonen im östlichen Rheinsee zwischen Gottlieben und Ermatingen kann Wasserstandsveränderungen auslösen. So bewirkt der jahreszeitlich sich verändernde Vegetationsstand in den Winter- und Frühjahrsmonaten kleinere Wasseränderungen als im Sommer und Herbst (Kobelt, 1926 [35]). Weiterhin können infolge eines veränderten Nährstoffangebots langfristige Veränderungen im Verkräutungsstatus oder in den Pflanzengesellschaften auftreten. Dies führt zu sich mit der Zeit ändernden Fließwiderständen und damit langfristig zu sich ändernden Wasserspiegellagen. Schröder (1988 [65]) beschreibt eine Änderung der Wasserpflanzen-Gesellschaften als Folge der Eutrophierung. Festgestellt wurde eine massive Abnahme der Characeen-Bestände seit den 40-er bis 60-er Jahren, eine Abnahme des großblättrigen Laichkrautes zu Gunsten der fadenblättrigen Laichkraut-Vegetation und von Fadenalgen. Letztere haben geringere Fließwiderstände. Ihre schütterere Bodenbedeckung setzt dem Wellengang nur einen geringen Widerstand entgegen, so dass, insbesondere während Niedrigwasserzeiten, flächenhafte Sohlenerosion leichter ausgelöst werden kann. Fäh und Kühne (1993 [14]) haben diese Beeinflussungen über Modellsimulationen bestätigt.



Abb. 2.2: Luftbild: Konstanzner Trichter und Seerhein vom 20.02.1943 bei Niedrigwasser; Wasserstand am Pegel Konstanz/Bodensee: $W = 267 \text{ cm a. P. KN} = 394,56 \text{ m+NN}$ (Quelle: Luftbild der Royal Air Force vom 20.2.1943)¹



Abb. 2.4: Luftbild: westlicher Untersee (Rheinsee), Eschenz und Hochrhein zwischen Stiegen/Eschenz und Stein/Rhein vom 20.02.1943 bei Niedrigwasser; Wasserstand am Pegel Stein-Burg/Rhein : $W = 217 \text{ cm a. P. KN} = 394,06 \text{ m+NN}$ (Quelle: Luftbild der Royal Air Force vom 20.2.1943)¹



Abb. 2.3: Luftbild: Seerhein und östlicher Untersee zwischen Gottlieben und Ermatingen bzw. Reichenau vom 20.02.1943 bei Niedrigwasser; Wasserstand am Pegel Berlingen/Bodensee : $W = 244 \text{ cm a. P. KN} = 394,33 \text{ m+NN}$ (Quelle: Luftbild der Royal Air Force vom 20.2.1943)¹

¹) Die historischen Luftbilder vom Februar 1943 wurden ausgewählt, da diese die Rheinrinnen und Flachwasserzonen bei Niedrigwasser besonders deutlich zeigen.



Abb. 2.5: Baugrunduntersuchung Rheinbrücke Stein, Geotechnisches Profil (November 1970) [67]

2.3 ZUFLUSS AUS DEM KARSTGEBIET DER OBEREN DONAU

Aufgrund der karsthydrologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet der oberen Donau versinken zwischen Immendingen und Fridingen/Beuron zeitveränderlich bedeutende Anteile des Donauwassers. Weitere Versickerungsanteile speisen das ca. 252 km² große unterirdischen Einzugsgebiets der Aachquelle (Batsche et al. 1970 [2], Käß 1972 [33]). Dieses Karstwasser tritt im nordwestlichen Einzugsgebiet des Bodensees in vielen kleinen Quellen und vor allem aber an der Aachquelle (Quelltopf) aus und fließt über die Radolfzeller Aach in den Untersee. Der dem Untersee aus dem Karstgebiet der Donau zugeführte Abfluss kann am Pegel Aach (ca. 800 m unterhalb der Aachquelle) abgeschätzt werden. Der mittlere Abfluss, abgeleitet aus der Beobachtungsreihe von 1923 bis 2004 beträgt an diesem Pegel $MQ = 8,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies entspricht ca. 90% vom mittleren Zufluss der Radolfzeller Aach bezogen auf die Mündung. Der Seespiegel des Untersees wird von dieser relativ kleinen Zufluss-Wassermenge kaum merklich beeinflusst, so dass dieser Zuflussanteil nicht weiter betrachtet werden muss.

2.4 ÜBERLEITUNGEN, AUSLEITUNGEN UND ENTNAHMEN

Die wesentlichen Überleitungen aus Fremd-Einzugsgebieten in das Einzugsgebiet des Alpenrheins sowie Ausleitungen und Entnahmen aus dem

Bodensee und dem Einzugsgebiet des Alpenrheins sind in Tabelle 2.4 zusammengestellt und in der Übersichtskarte in Abb. 2.1 gekennzeichnet. Diese Beeinflussungen sind folgendermaßen charakterisiert:

1. Inn-III-Überleitung:

Die Vorarlberger Ill-Kraftwerke AG leiten Wasser aus den Quellzuflüssen von Rosanna und Trisanna (Inn-EZG) zum Kops- bzw. zum Silvretta-Speicher in das Ill-Einzugsgebiet über (Vorarlberger Ill-Kraftwerke 2005 [71], Moser 2008 [53]). Seit Fertigstellung des Rodund-Werks-II (1975) beträgt die Überleitung im jährlichen Mittel ca. 7,5 m³/s, im Sommerhalbjahr ca. 13 m³/s und im Winterhalbjahr ca. 2 m³/s (Speicherung mit Sommer-Winter-Verlagerung). Abb. 2.6 zeigt den Verlauf der jährlichen und halbjährlichen Überleitungen seit Beginn 1938/39.

2. Seez-Tamina-Überleitung:

Die Kraftwerke Sarganser Land AG leiten aus dem oberen Seez-(Limat-Aare-) Einzugsgebiet seit 1977 ca. 0,5 m³/s zum Gigerwaldspeicher im Tamina-(Alpenrhein-) Einzugsgebiet über (Auskunft des Bundesamts für Wasserwirtschaft, Bern 1989).

3. Cadilimo-Überleitung aus dem Hinterrhein-EZG in das Ticino-EZG:

Die Ausleitung aus dem oberen Medelser Rhein besteht seit 1930. Der Entzug wird im Jahresmittel

mit 0,4 m³/s abgeschätzt (Auskunft des Bundesamts für Wasserwirtschaft, Bern 1989).

4. Bodensee-Wasserentnahme in Sipplingen am Überlinger See:

Der Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung (BWV) entnimmt in Sipplingen seit 1959 Rohwasser aus dem Überlinger See (Naber, 1989 [55]). Nach Aufbereitung wird es in die Fernwasserversorgung Baden-Württemberg eingespeist und ins obere Donau-Gebiet, westliche und nördliche Neckar-Einzugsgebiet sowie ins nördliche Oberrhein- und Taubergebiet Baden-Württembergs übergeleitet. Abb. 2.7 zeigt den Verlauf der jährlichen und halbjährlichen Wasserentnahmen aus dem Bodensee. Seit 1980 ist die jährliche Entnahme in etwa konstant. Sie beträgt im Mittel ca. 4,1 m³/s und unterliegt im Winter- und Sommerhalbjahr kaum großen Schwankungen.

5. Wasserentnahmen weiterer Anlieger-Wasserwerke aus dem Bodensee

Seit 1968 wurden die Wasserwerke der Bodensee-Anliegergemeinden (Abb. 2.8) ausgebaut. Nach Wieland (1989 [72]) und Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR-Statistik 1984-2007 [1]) entnehmen die weiteren Anlieger-

Wasserwerke (ohne BWV-Entnahmen) ab 1984 lokal durchschnittlich 41,13 Mio. m³/Jahr oder rd. 1,3 m³/s (Abb. 2.9). Die Entnahmen sind vorwiegend für die Trinkwasser-Versorgung der Bodensee-Anliegergemeinden bestimmt und werden i. d. R. über die Kläranlagen dem Bodensee bzw. dem Rhein wieder zugeführt.

Mit der Bodenseewasserversorgung und der Cadlimo-Überleitung wird dem Bodensee Wasser entzogen, mit der Überleitung der Ill-Kraftwerke in das Ill-Einzugsgebiet wird dem Bodensee Wasser zugeführt. Die Seez-Tamina-Überleitung (0,5 m³/s) kompensiert die Cadlimo-Ausleitung (0,4 m³/s). Ebenso kompensieren die Überleitungen aus dem Inn-Einzugsgebiet zur Ill (zusammen 7,5 m³/s) die Entnahmen der Bodensee-Wasserversorgung (etwa 4,2 m³/s). Im Winterhalbjahr sind die Überleitungen zur Ill bis zu 3mal höher als die Wasserentnahmen aus dem Obersee. Im Sommerhalbjahr betragen die Überleitungen etwas mehr als die Hälfte der Entnahmen. Somit werden dem Obersee im Sommerhalbjahr etwa 2 m³/s entzogen. Da die Überleitungen und Entnahmen weitgehend ausgeglichen sind, können diese insgesamt als Beeinflussungsgrößen vernachlässigt werden.

MQ(J, WiHj, SoHj) Inn-III-Überleitung

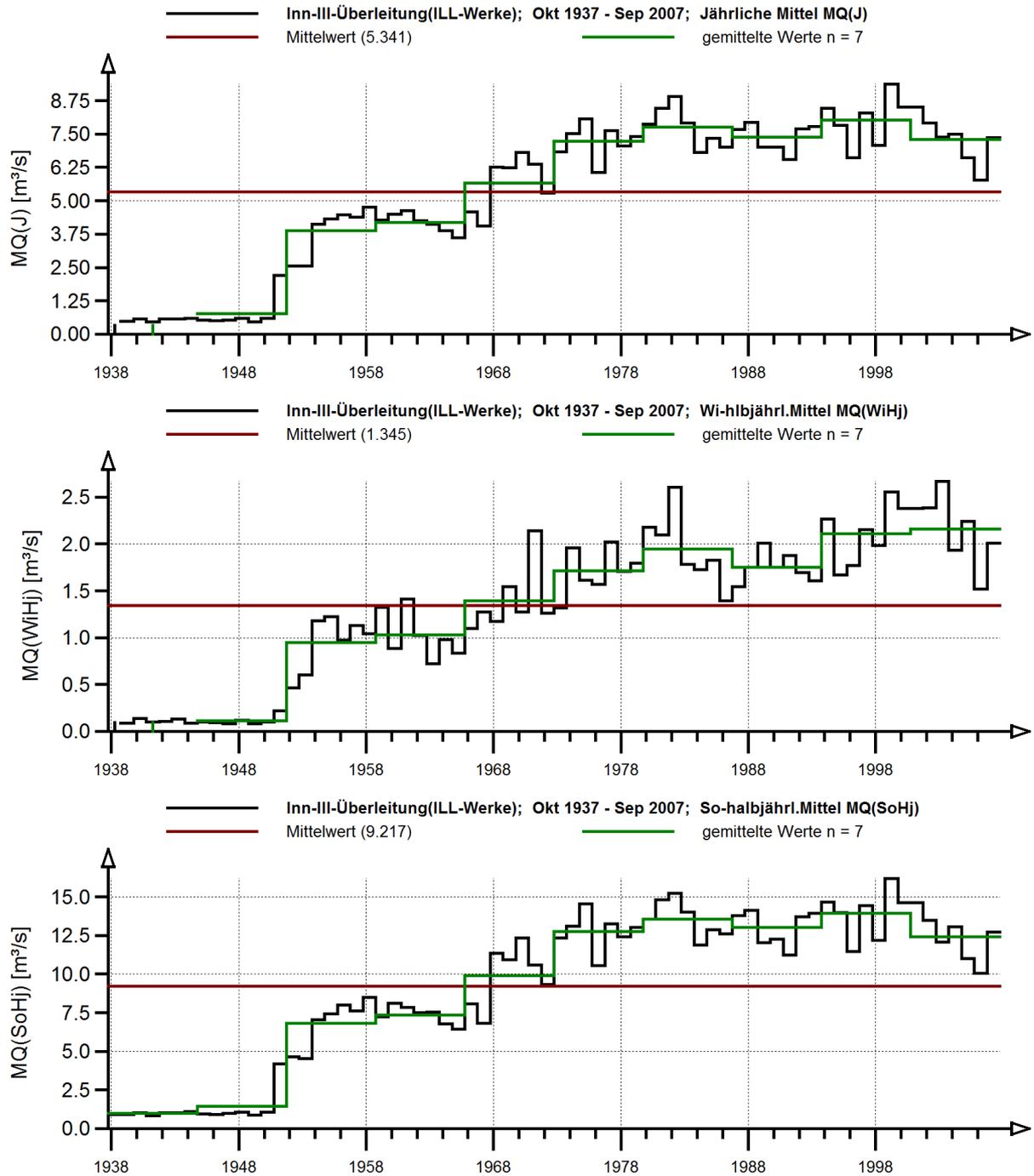


Abb. 2.6: Jährliche und halbjährliche Trisanna- und Rosanna-Überleitung in das Ill-(Alpenrhein-) Einzugsgebiet mit zugehörigen Mittelwerten und Mittel über jeweils 7 Jahre

MQ(J, WiHj, SoHj) BWV-Entnahmen

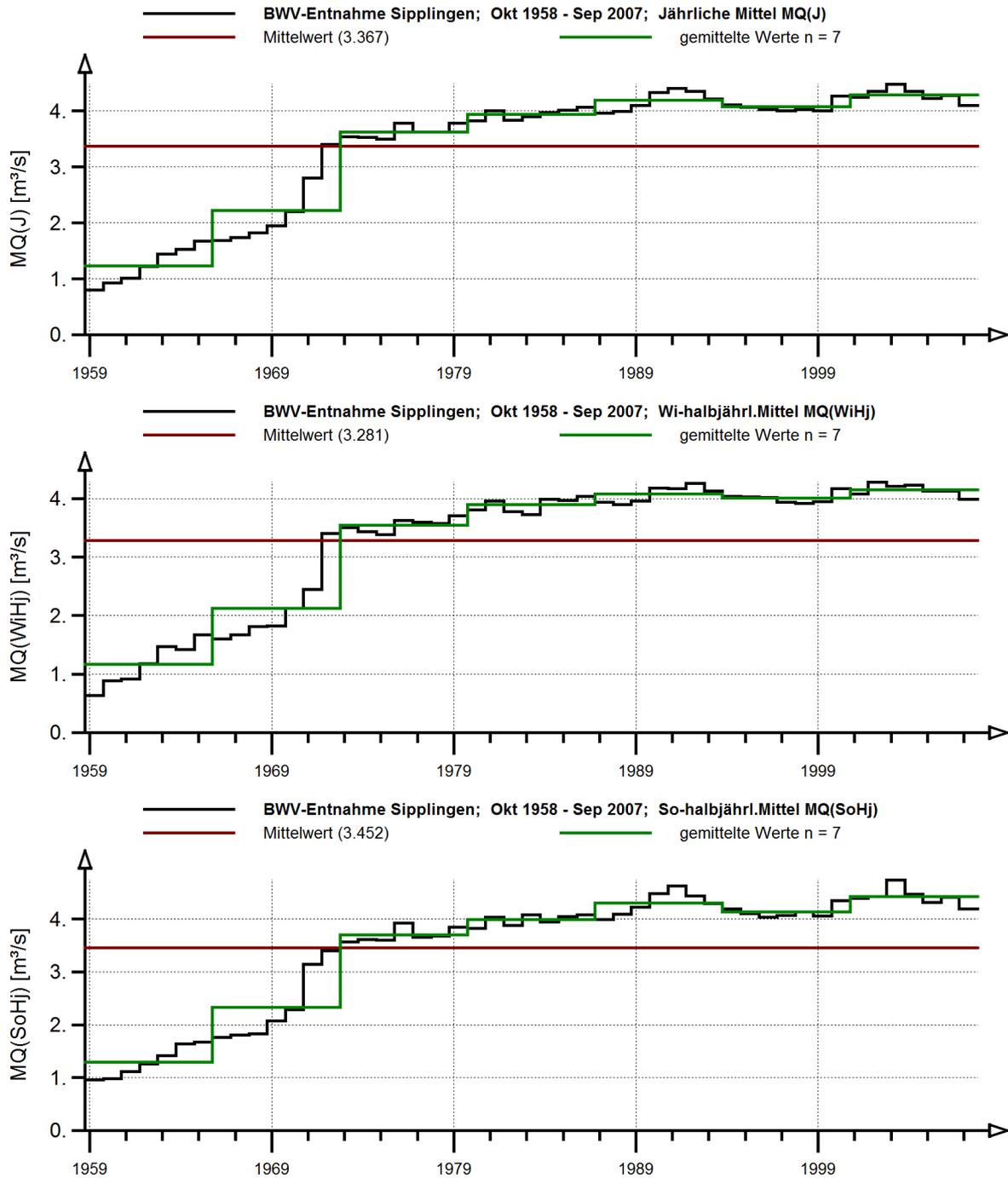


Abb. 2.7: Jährliche und halbjährliche Entnahmen der Bodensee-Wasserversorgung (BWV) mit zugehörigen Mittelwerten und Mittel über jeweils 7 Jahre

Tabelle 2.4: Überleitungen, Beileitungen und Ausleitungen, Entnahmen

Nr.	Überleitungen/Entnahmen	Einzugsgebiet A _{Eo} [km ²]	Zeitspanne	Bemerkungen
1.	Überleitung der III-Kraftwerke AG aus Inn-EZG in III-(Alpenrhein-)EZG			
	Trisanna-/Rosanna-Überleitungen	45	seit 1938	z. Zt. ca. 7,5 m ³ /s/Jahr
2.	Überleitung der Kraftwerke Sarganser Land AG aus Seez-EZG in Tamina-EZG			
	Tamina-Überleitung (Gigerwaldspeicher)	unbekannt	seit 1977	ca. 0,5 m ³ /s/Jahr
3.	Ausleitung, Entnahmen aus dem Hinterrhein-EZG in Ticino-(Po-)EZG			
	Cadlimo-Überleitung (in Ticino-EZG)	unbekannt	seit 1930	ca. 0,4 m ³ /s/Jahr
4.	Entnahmen der Bodensee-Wasserversorgung aus dem Überlinger See für Wasser-Fernversorgung BW			
	Bodensee-Entnahme (BWV, Sipplingen)	unbekannt	seit 1958	z. Zt. ca. 4,2 m ³ /s/Jahr
5.	Wasserentnahmen weiterer Anlieger-Wasserwerke aus dem Bodensee			
	Bodensee-Anlieger-Wasserwerke	-	seit 1984	z. Zt. ca. 1,3 m ³ /s/Jahr

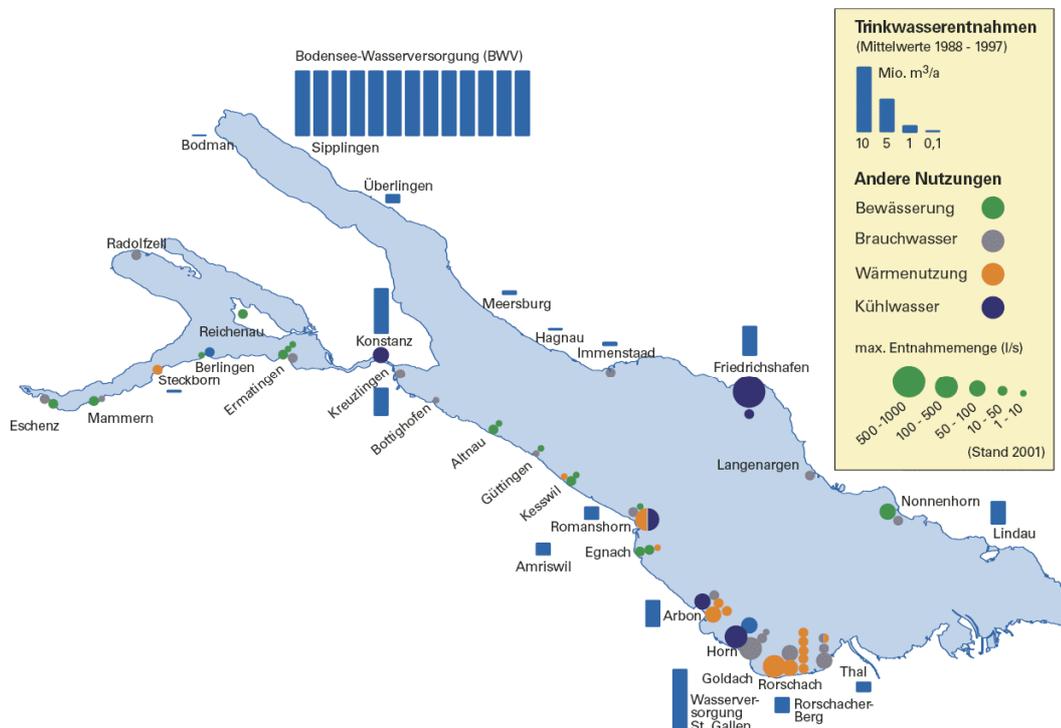


Abb. 2.8: Wasserentnahmen aus dem Bodensee, Stand 2001 (Quelle: IGKB 2004 [27])

Entnahme Bodensee-Anliegerwasserwerke

Mess-Stelle:	Entnahme Anliegerwasserwerke	—	Werte	
Mess-Größe:	Entnahme aus Bodensee ohne BWV	—	Mittelwert	1.308
Zeitspanne:	Jan 1984 - Dez 2007	—	Mittel über	4 Werte
Datenart:	Jahr			

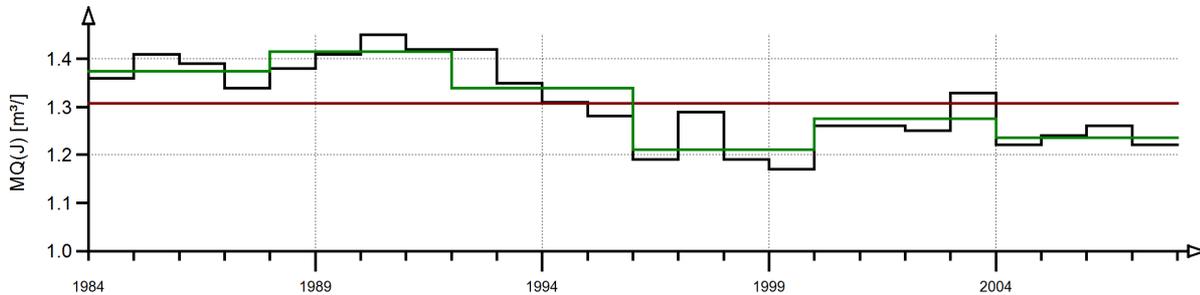


Abb. 2.9: Entnahme der Bodensee-Anliegerwasserwerke (ohne BWV-Entnahme) seit Aufzeichnungsbeginn 1984 bis 2007 nach AWBR-Statistik [1]

2.5 SPEICHERKRAFTWERKE IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES

Ab 1919 wurden im Einzugsgebiet des Alpenrheins systematisch Kraftwerk-Speicher ausgebaut, wobei der Ausbau schwerpunktmäßig in den Jahren von 1950 bis 1976 erfolgte (siehe Übersichtskarte, Abb. 2.1, Tabelle 2.5 und Abb. 2.10). 1979 wurde der Kraftwerk-Speicher Bolgenach im Einzugsgebiet der Bregenzerach in Betrieb genommen. Mit dem 1990 fertiggestellten Panix-Speicherbecken ist der Ausbau der Kraftwerk-Speicher im alpinen Bodensee zunächst abgeschlossen. Zurzeit beträgt der bewirtschaftete Speicherraum einschließlich Bolgenach-Speicher, der im Einzugsgebiet der Bregenzerach liegt, ca. 783 Mio. m³. Dies entspricht für den Bodensee einer Speicherlamelle von 1,66 m Höhe über dem mittleren Wasserstand des Obersees. Durch den Speicherbetrieb erfolgt Rückhaltung (Speicherfüllung) im Sommer und Abgabe in

den Wintermonaten während der natürlichen Niedrigwasserzeit am Bodensee.

Abb. 2.11 verdeutlicht die Betriebsregel der schweizerischen Kraftwerk-Speicher anhand des Jahresgangs des Speicherinhalts (von September bis August) in den Jahren 2002/2003 bis 2005/2006. Die Speicherbecken werden i. d. R. ab Mai/Juni bei einsetzender Schneeschmelze und anlaufendem Hochwasser bei gleichzeitig kontinuierlicher Wasserabgabe gefüllt. Diese Füllungsphase hält meist bis August/September an. Während der natürlichen Niedrigwasserzeit ab Dezember/Januar bewirken die kontinuierlichen Speicherabgaben Niedrigwasser-Aufhöhungen. Die Auswirkungen dieser Kraftwerk-Speicher auf den Hauptzufluss und die Wasserstände des Bodensees sind in Abschnitt 7 ausführlich beschrieben.

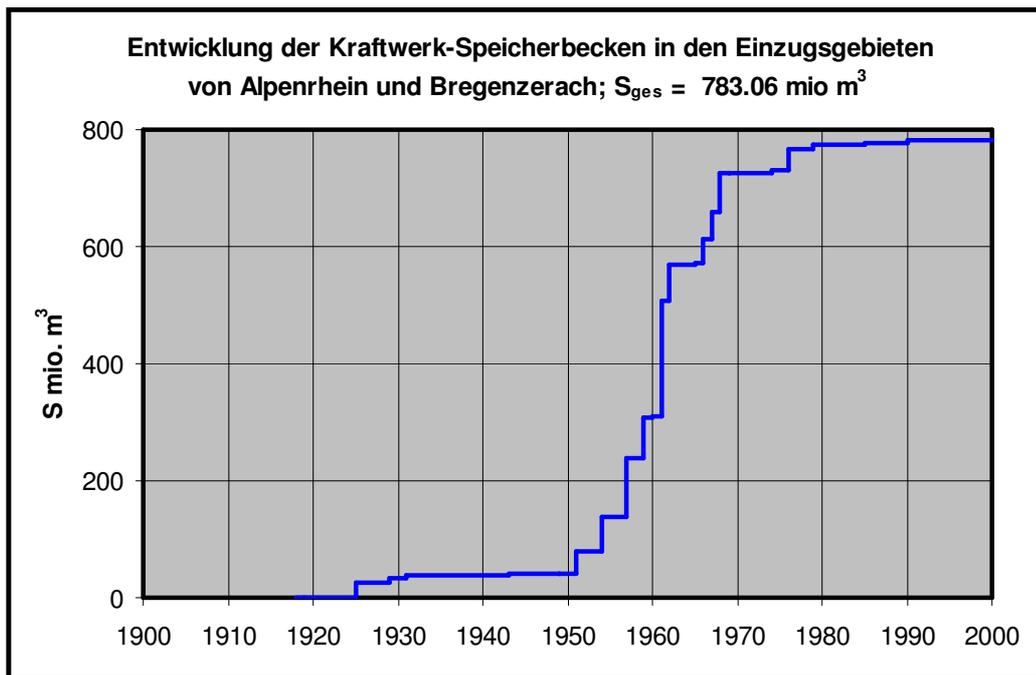


Abb. 2.10: Entwicklung des Baus von Kraftwerk-Speicherbecken in den Einzugsgebieten von Alpenrhein und Bregenzerrach (laut Tabelle 2.5)

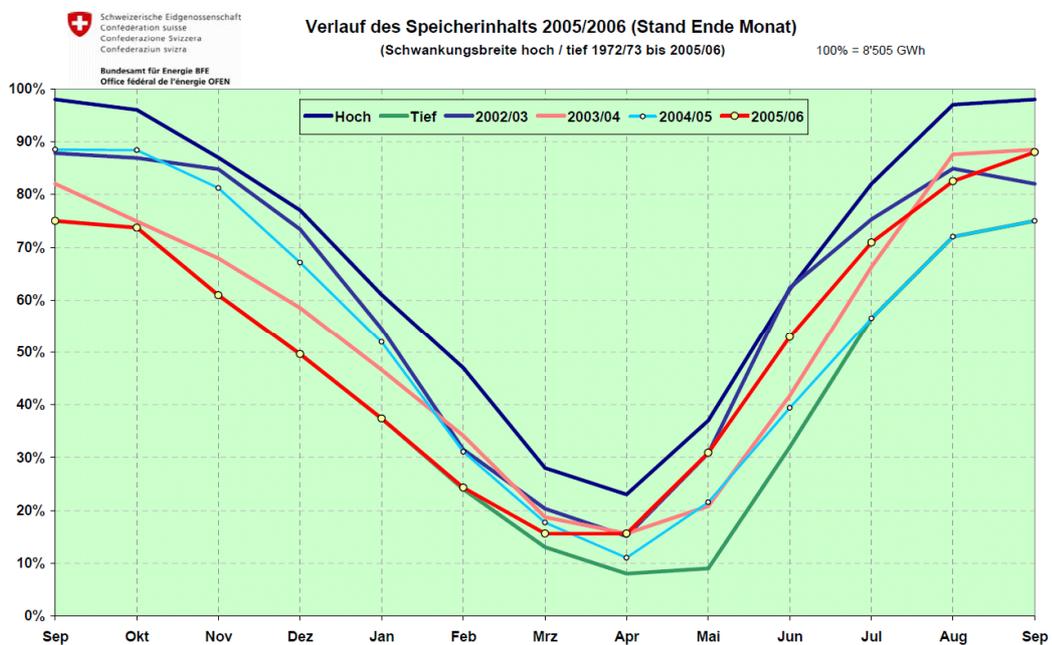


Abb. 2.11: Jahresgang des Speicherinhalts der schweizerischen Speicherseen (Stand jeweils am Monatsende) in den Jahren 2002/2003 bis 2005/2006 (Quelle: Bundesamt für Energie 2006 [7])

Tabelle 2.5: Entwicklung des Ausbaus von Kraftwerk-Speicherbecken in den Einzugsgebieten von Alpenrhein und Bregenzerach (Speicherseen nach [7], [47] und [48])

Nr. 1)	Speichersee / Stausee ^{a)}	Lage ³⁾	Flussgebiet	Inbetriebnahme [Jahr]	Speicher-nutzraum [Mio.m ³]	Summe [Mio.m ³]
Einzugsgebiet Alpenrhein						
1	Heideseesee (N) ²⁾	CH, 2 ³⁾	Heidbach / Albula / Hinterrhein / Rhein	1919	0,81	0,81
2	Davosersee (N) ²⁾	CH, 2	Landwasser / Albula / Hinterrhein / Rh.	1925	11,3	12,1
3	Spullersee (N) ²⁾ Nordmauer	A, 2	Spreubach / Alfenz / III / Rhein	1925	13,1	25,21
4	Lünsersee (N)	A, 2	Alvierbach / III / Rhein	1929	9,0	34,21
5	Vermunt	A, 2	III / Rhein	1931	5,3	39,51
6	Latschau	A, 2	Verbellabach / III / Rhein	1943	0,9	40,41
7	Egschi ⁴⁾	CH,	Rabiusa / Hinterrhein / Rhein	1949	0,4	40,81
8	Silvretta	A, 2	III / Rhein	1939/51	38,6	79,41
9	Lai da Marmorera	CH, 2	Julia / Albula / Hinterrhein / Rhein	1954	60,0	139,41
10	Zervreilasee	CH, 1	Velserrhein / Glenner/ Vorderrhein / Rhein	1957	100,0	239,41
4a	Lünsersee (E) ²⁾	A, 2	Alvierbach / III / Rhein	1959	69,3	308,71
11	Bärenburg	CH, 2	Hinterrhein / Rhein	1960	1,0	309,71
12	Lago di Lei ⁵⁾	CH, 2	Reno di Lei (Val Ferrera) / Averser Rhein / Hinterrhein / Rhein	1961	197,0	506,71
13	Runcahez ⁴⁾	CH,	Rein de Sumvitg / Vorderrhein Rhein	1961	0,44	507,15
14	Lai da Nalps	CH, 1	Rein de Nalps / Vorderrhein / Rhein	1962	44,5	551,65
15	Sufers (Sufner)	CH, 2	Hinterrhein / Rhein	1962	18,3	569,95
3a	Spullersee (E) ²⁾ Südmauer	A, 2	Spreubach / Alfenz / III / Rhein	1965	2,6	572,55
16	Lai da Curnera	CH, 1	Rein de Curnera / Vorderrhein / Rhein	1966	40,8	613,35
17	Kops	A, 2	Zeinisbach / III / Rhein	1967	43,5	656,85
18	Raggal	A, 2	Lutzbach / III / Rhein	1967	2,0	658,85
19	Lai da Sontga Maria	CH, 1	Froda / Medelser Rhein/Vorderrhein /Rhein	1968	67,0	725,85
20	Rifa	A, 2	III / Rhein	1968	0,7	726,55
21	Isel ⁴⁾	CH, 2	Plessur / Rhein	1969	0,3	726,85
22	Rodund	A, 2	III / Rhein	1943/74	2,0	728,85
6a	Latschau (E) ²⁾	A, 2	III / Rhein	1974	1,3	730,15
23	Gigerwald	CH, 1	Tamina / Rhein	1976	33,4	763,55
24	Mapragg	CH, 1	Tamina / Rhein	1976	2,7	766,25
25	Solis	CH, 2	Albula / Hinterrhein / Rhein	1985	1,46	767,71
26	Panix	CH, 1	Val da Pigniu / Vorderrhein / Rhein	1990	7,26	774,97
Einzugsgebiet Alpenrhein				Summe	774,97	
Einzugsgebiet Bregenzerach						
27	Bolgenach	A, 2	Weißbach / Bregenzerach	1979	8,4	783,37
Einzugsgebiet Bodensee				Summe	783,37	
^{a)} Stauseen mit Speicher-Nutzraum $\geq 0,3$ Mio m ³ ¹⁾ Nummerierung geordnet nach dem Jahr der Inbetriebnahme ²⁾ N = Natursee, E = Dammerhöhung (mit Angabe des zusätzlichen Nutzinhaltes)			³⁾ A = Österreich, CH = Schweiz 1 = Westliche Alpen, nördlich des Hauptkamms 2 = nördliche Ostalpen ⁴⁾ A Kleines Becken ⁵⁾ Stausee auf italienischem Staatsgebiet			

3 Datengrundlage und Datenauswahl

Die Langzeituntersuchung der Bodenseewasserstände und deren Veränderung erfordert, dass sowohl für Wasserstände im Bodensee als auch für Zuflüsse zum Bodensee und seinem Ausfluss gesicherte und plausible Beobachtungszeitreihen mit langen Zeitspannen einbezogen werden. Diese Voraussetzung führte dazu, dass zunächst die verfügbaren Beobachtungszeitreihen möglichst vieler Messstellen erhoben, sorgfältig auf Plausibilität geprüft und soweit möglich korrigiert wurden. Durch diese Vorgehensweise ist gewährleistet, dass statistische Auswertergebnisse nicht durch unplausible Messwerte, die in einzelnen Zeitabschnitten der Zeitreihen vorhanden sein können, verfälscht werden. Die umfangreiche Voranalyse der vorhandenen Zeitreihen führte letztendlich zu einer Auswahl geeigneter Messstellen und zugehörigen Zeitreihen, die in die weiteren Betrachtungen einbezogen werden konnten.

Das Einzugsgebiete von Alpenrhein und Hochrhein ab dem Eschenzer Horn haben ein pluvio-nivales Abflussregime. Da der Hauptzufluss des Bodensees aus dem alpinen Einzugsgebiet stammt, werden die Datenreihen der jährlichen und halbjährlichen Mittelwerte (MW und MQ) sowie der entsprechenden Höchstwerte (HW und HQ) auf das alpine Jahr von Oktober bis September bezogen. Die jährlichen und halbjährlichen Niedrigstwerte (NW und NQ) werden aus dem alpinen Niedrigwasserjahr von Mai bis April abgeleitet. Diese Jahresbezüge wurden auch für die weiteren Bodensee-Zuflüsse übernommen, um zu gewährleisten, dass alle Wasserstands- und Abfluss-Kennwerte vergleichbar sind.

3.1 WASSERSTANDSPEGEL

Die Zeitreihen der täglichen Wasserstände $W(d)$ sowie der monatlichen Höchstwasserstände $HW(m)$ für den Pegel Konstanz/Bodensee wurden aus der Datenbank der LUBW bereitgestellt. Die Zeitreihen der täglichen Wasserstände $W(d)$ und der monatlichen Höchstwerte des Wasserstands $HW(m)$ der schweizerischen Pegel Romanshorn und Berlingen

(Tabelle 3.1) wurden aus der Datenbank des BAFU (Bundesamt für Umwelt, Bern) der LUBW bereitgestellt und liegen in [m ü. M.] (Meter über Meer, bezogen auf den Referenzpegel Marseille/Mittelmeer) vor. Die täglichen Wasserstände $W(d)$ am Pegel Stein-Burg/Rhein wurden der LUBW ab 1880 bis einschließlich 1987 von dem BAFU und ab 1988 vom Tiefbauamt des Kantons Schaffhausen (bezogen auf [m über 390 m ü. M.]) geliefert. Die $W(d)$ -Reihe wird bei der LUBW vorgehalten und laufend ergänzt.

Längere Beobachtungsreihen der Wasserstände des Obersees liegen an den Pegeln Rorschach, Romanshorn, Friedrichshafen und Konstanz vor. Am Untersee werden die Pegel Berlingen und Radolfzell sowie rd. 1,2 km unterhalb des Eschenzer Horns der Pegel Stein-Burg/Rhein betrieben (Abb. 3.1 und Tabelle 3.1). Alle Pegelanlagen, außer der in Stein-Burg, liegen an Hafentmolen und Auslegern, die i. d. R. auf wasserhaltigen Lockersedimenten gegründet und deshalb leichten Hebungen und Senkungen unterworfen sind. Zusätzlich liegt die Bodensee-Längsachse am Beginn einer geologisch-tektonischen Störungszone (Carlé 1994 [10]), die über den Bondorfer Graben und das Dreisamtal bis zum Kaiserstuhl/Oberrheintalgraben reicht. Laut DIN 4149 [12] ist für diese Störung die Erbebenzone I bis II ausgewiesen (Karte der Erdbebenzonen für BW [32]). Dadurch können Veränderungen in den Pegel-Nullpunkten ausgelöst werden. Deshalb sind laufende Kontrollen des Pegel-Nullpunkts erforderlich.

Für die vorliegenden Pegel wurden die Unterlagen geprüft. Dabei wurde vor allem darauf geachtet, dass die Beobachtungszeitreihen möglichst lückenlos vorhanden sind. Der Pegel Rorschach/Bodensee wurde 2004 aufgelassen und zeigt in den letzten 15 Beobachtungsjahren deutliche Inkonsistenzen im Pegelnullpunkt. Die Zeitreihe am Pegel Friedrichshafen/Bodensee ist in Teilabschnitten inplausibel und hat eine Beobachtungslücke zwischen 1882

und 1919. Kontrollen des Pegelnullpunkts sind teilweise nicht nachvollziehbar. Der Pegel Radolfzell/Bodensee liegt an einer Mole, die laufenden Hebungen und Senkungen unterworfen ist. Kontrollen des Pegelnullpunkts wurden nach Inbetriebnahme im Jahr 1876 erst wieder nach 1959 durchgeführt (Tabelle 3.1). Für die Pegel Romanshorn/Bodensee, Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein liegen ausreichende Kontrollen der Pegelnullpunkte vor. Die Tageswerte des Wasserstands sind bereinigt und auf m+NN bezogen. Deshalb werden nur diese Pegel in die vorliegende Untersuchung einbezogen und, nach erfolgter Konsistenz- und Homogenitätsprüfung (Abschnitt 3.2), einheitlich über die jeweils 120-jährigen Zeitspannen von 1888 bis 2007 ausgewertet.

Die Wasserstände aller einbezogenen Pegel wurden einheitlich auf die Höhenkote Pegel-Null des Pegels

Konstanz/Bodensee [cm über 391,89 m+NN] umgerechnet. Hierbei muss die geodätische Höhendifferenz zwischen dem deutschen Höhensystem (H_D) und schweizerischen Höhensystem (H_{CH}) zusätzlich berücksichtigt werden. Diese Differenz beträgt im Bereich des Bodensees zwischen Bregenz und Stein 32 cm. Somit ergibt sich die Umrechnung zu:

$$H_{CH} [\text{m ü. M.}] = H_D [\text{m+NN}] + 0,32 [\text{m}],$$

bzw.

$$H_D [\text{m+NN}] = H_{CH} [\text{m ü. M.}] - 0,32 [\text{m}]$$

Die Umrechnung der schweizerischen Wasserstandsdaten auf Pegel-Null Konstanz/Bodensee erfolgt nach:

$$W [\text{cm über 391,89 m+NN}] = 100 \cdot W_{CH} [\text{m ü. M.}] - 39\,221 [\text{cm}].$$

In der vorliegenden Untersuchung sind alle einbezogenen Wasserstandsdaten auf Pegelnull Konstanz (W [cm über 391,89 m+NN]) bezogen.

Tabelle 3.1: Wasserstands-Pegel am Bodensee und am Hochrhein

Nr.	Pegel/Gewässer	Einzugsgebiet A_{Eo} [km ²]	Zeitspanne	Bemerkung
Bodensee				
1	Rohrschach/Bodensee (Obersee)	10 919	1866 – 2004 (MW(d)) 1902 – 2004 (HW(m))	aufgelassen ab 2005
2	Romanshorn/Bodensee (Obersee)	10 919	1881 – 2007 (MW(d)) 1930 – 2007 (HW(m)) 1888 – 2007 ($HW_d(m)$) ¹⁾	
3	Friedrichshafen/Bodensee (Obersee)	10 919	1859 – 1881 (MW(d)) 1920 – 1985 (MW(d)) 1986 – 2007 (MW(d)) 1979 – 2007 (HW(m))	inplausibel PN-unsicher PN-unsicher inplausibel
4	Konstanz/Bodensee (Obersee)	10 919	1827 – 2007 (MW(d)) 1827 – 2007 (HW(m))	vor 1827 inplausibel
5	Berlingen/Bodensee (Untersee)	11 487	1887 – 2007 (MW(d)) 1930 – 2007 (HW(m)) 1888 – 2007 ($HW_d(m)$) ¹⁾	
6	Radolfzell/Bodensee (Untersee)	11 487	1880 – 2007 (MW(d)) 1960 – 2007 (HW(m))	P-Null inkonsistent
Hochrhein (unterhalb Eschenzer Horn)				
7	Stein-Burg/Rhein	11 487	1880 – 2007 (MW(d)) 1888 – 2007 ($HW_d(m)$) ¹⁾	1,2 km unterhalb des Eschenzer Horns
¹⁾ da die HW(m)-Reihen kürzer oder nicht erfasst sind, wurden als Ersatz die monatlich höchsten Tageswerte $HW_d(m)$ einbezogen				

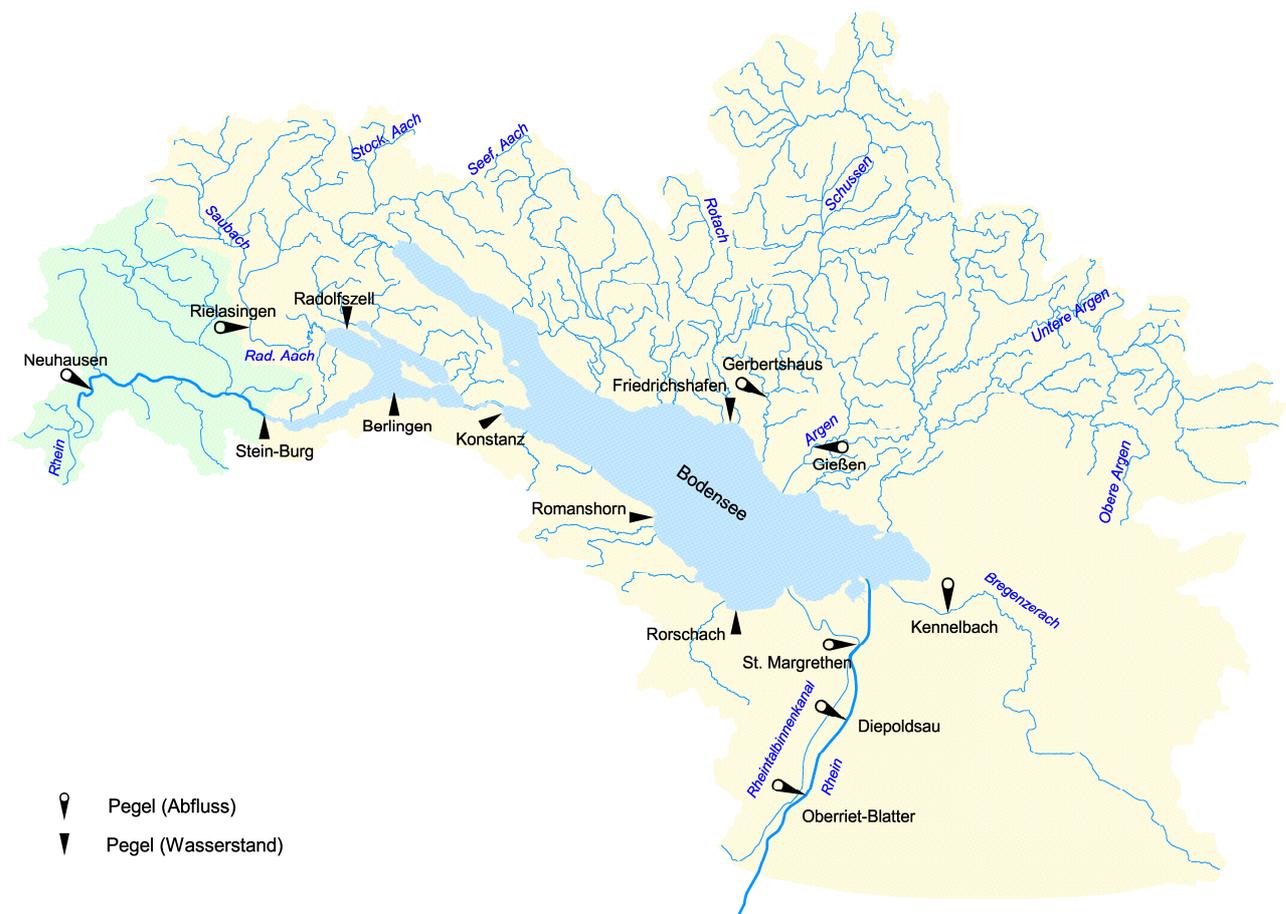


Abb. 3.1: Bodensee und einbezogene Wasserstands- und Abflusspegel

Da für die Pegel Romanshorn/Bodensee und Berlingen/Bodensee nur kürzere Reihen für die monatlichen Höchstwerte $HW(m)$ und für den Pegel Stein-Burg/Rhein keine $HW(m)$ -Werte vorliegen (Tabelle 3.1), werden diese ersatzweise aus den entsprechenden täglichen Wasserstandsdaten abgeleitet und mit $HW_d(m)$ bezeichnet. Auswertungen an den drei Seepegeln und am Pegel Stein-Burg/Rhein zeigen anhand der jährlichen Höchstwerte $HW(J)$, dass hierdurch die tatsächlichen Höchstwerte um maximal 1 bis 2 cm unterschätzt sein können. Hochwasserscheitelwerte am Bodensee und am beginnenden Hochrhein dauern i.d.R. über mehrere Tage an.

3.2 KONSISTENZPRÜFUNG UND PLAUSIBILISIERUNG VON WASSERSTANDS-ZEITREIHEN

Vor der Anwendung von statistischen Auswertemethoden erfolgten umfangreiche Prüfungen der Wasserstands-Zeitreihen, um zu gewährleisten, dass konsistente und homogene Zeitreihen in die Aus-

wertungen einbezogen werden. Dabei wurden neben den täglichen Wasserstands-Zeitreihen $W(d)$ auch die Jahresniedrigstwerte $NW(J)$ und die Jahreshöchstwerte $HW(J)$ an den vier Wasserstands-Pegeln Romanshorn/Bodensee, Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein betrachtet. Durch Anwendung des Ausreißer-Tests nach DIXON konnten auffällige Einzelwerte erkannt und gesondert geprüft werden. Erst wenn keine weiteren Auffälligkeiten in den Zeitreihen erkennbar waren, wurden diese in die Zeitreihen-auswertung einbezogen.

Die Prüfung, Plausibilisierung und Korrektur der täglichen Wasserstands-Messreihen $W(d)$ der vier Wasserstands-Pegel erfolgte über einen Vergleich der täglichen Wasserstände mit den Daten der jeweils ober- und unterliegenden Pegel sowie durch Vergleich der jeweiligen Differenzenganglinie der Wasserstände $Diff-W(d)$. Dadurch konnten einerseits einzelne Tagesfehler, die i. d. R. durch Ablese-

oder Abschreibfehler (Zahlendreher, Eingabefehler) bedingt waren, eliminiert werden. Andererseits wurden so aber auch inplausible, über Tage und Wochen andauernde Zeitabschnitte festgestellt, die beispielsweise bedingt sein können durch verspätete Nachträge, zeitverschobene Digitalisierung der Beobachtungsdaten, Eis, Hängenbleiben des Schwimmers u. a.. Insbesondere wurden die monatlichen Höchstwasserstände (Scheitelwerte) an den Pegeln Konstanz/Bodensee und Berlingen/Bodensee geprüft.

Die Wasserstands-Korrekturen erfolgten unter Beachtung möglicher Beeinflussungen des Wasserstands infolge Wellengang, Seiches (Hollan, 1979 [22], Hollan et.al. 1980 [23]), Windstau und fließhydraulischer Gegebenheiten. Erkannte Unstimmigkeiten sowie die notwendigen Korrekturen wurden für den Pegel Konstanz/Bodensee mit der LUBW und für die schweizerischen Pegel Romanshorn/Bodensee und Berlingen/Bodensee mit dem schweizerischen Bundesamt für Umwelt (BAFU) in Bern abgestimmt.

In Abb. 3.2 und Abb. 3.3 sind zwei Beispiele für Wasserstands-Ganglinien an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Romanshorn/Bodensee und Berlingen/Bodensee, an denen Korrekturen notwendig waren, dargestellt. Die Datenprüfung und -korrektur wird am Beispiel der Wasserstände $W(d)$ am Pegel Konstanz (Abb. 3.2) erläutert: Die Prüfung erfolgte durch einen Vergleich der täglichen $W(d)$ -Werte des Pegels Konstanz mit denen an den Pegeln Ro-

manshorn und Berlingen sowie durch eine Bewertung der entsprechenden Wasserstands-Differenzen:

$$\text{Diff_}W(d)_1 = W(d)_{\text{Romanshorn}} - W(d)_{\text{Konstanz}}$$

und

$$\text{Diff_}W(d)_2 = W(d)_{\text{Konstanz}} - W(d)_{\text{Berlingen}}$$

Inplausible Werte zeigen in den Differenzganglinien gegenläufige Tendenzen. Die Kontrolle der täglichen Wasserstände am Pegel Berlingen erfolgte durch einen Vergleich mit den entsprechenden Werten an den Pegeln Konstanz, Radolfzell und Stein-Burg sowie der Beurteilung der zugehörigen täglichen Wasserstands-Differenzen.

Anschließend wurden am Beispiel des Pegels Konstanz die zu korrigierenden Zeitabschnitte über die Ganglinie am Pegel Romanshorn ermittelt. Dies hat den Vorteil, dass der typische Verlauf der Ganglinie erhalten bleibt:

$$W(d)_{\text{Konstanz}} = W(d)_{\text{Romanshorn}} - D_W(d)_1$$

Dabei bedeutet $D_W(d)_1$ die zu erwartende Wasserstands-Differenz, abgeleitet aus dem umgebenden Zeitbereich des zu korrigierenden Zeitabschnitts.

Die Korrekturen der $W(d)$ -Ganglinie am Pegel Romanshorn erfolgten in der gleichen Vorgehensweise, wobei die aktuelle Wasserstands-Differenz zwischen Rorschach und Romanshorn herangezogen wurde. Ebenso erfolgten die Korrekturen am Pegel Berlingen im Zusammenhang mit den täglichen Differenzganglinien der Wasserstände zwischen den Pegeln Berlingen und Konstanz oder Berlingen und Radolfzell, bzw. zwischen den Pegeln Berlingen und Stein-Burg.

Prüfung Konstanz-Romansh. Dez'49-Jan'50

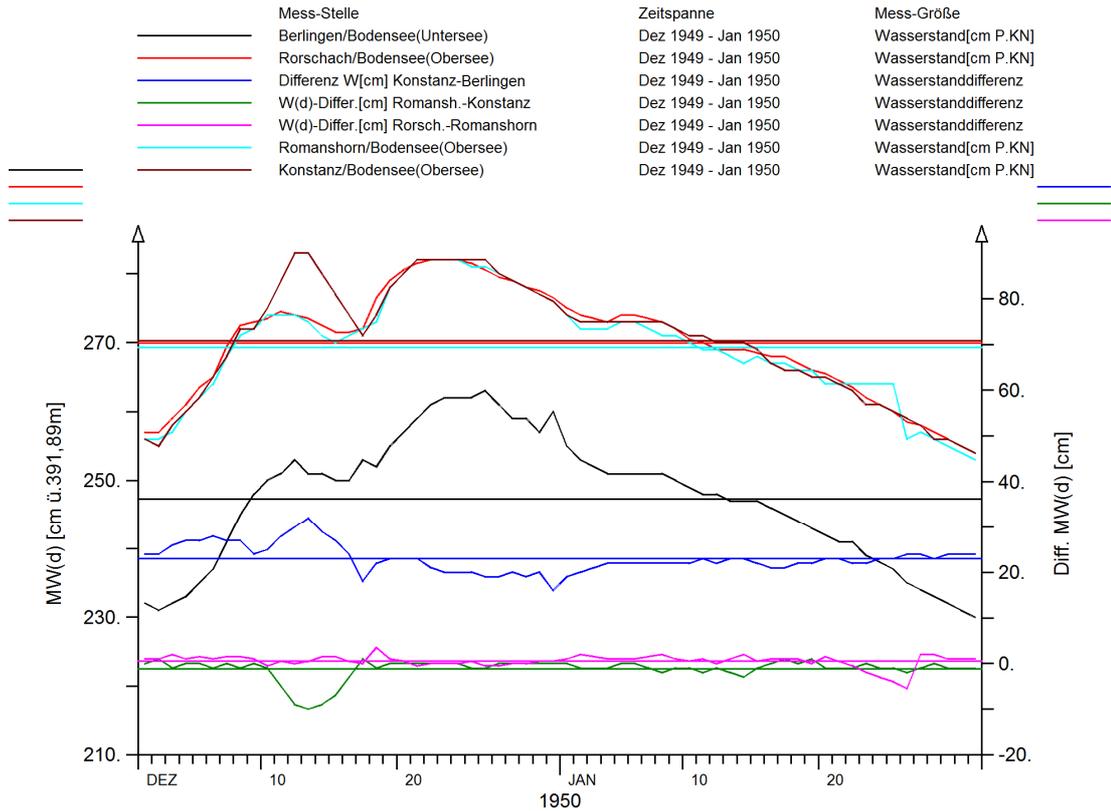


Abb. 3.2: Prüfung der täglichen Wasserstände an den Pegeln Romanshorn, Konstanz und Berlingen (Dez. 1949 bis Jan. 1950) unter Einbezug der täglichen Wasserstände an den Pegeln Rorschach und Berlingen, sowie der jeweils täglichen Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln

Prüfung Berlingen/B. Mai 1889 - Okt.1889

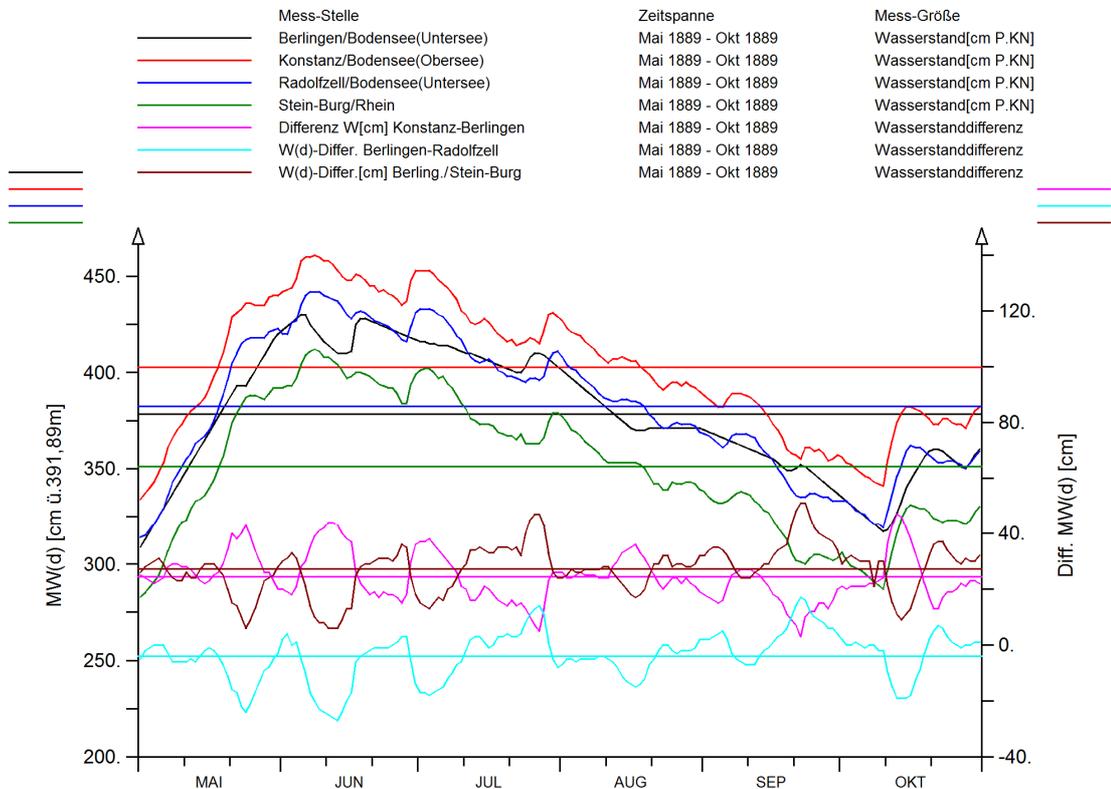


Abb. 3.3: Beispiel für die Prüfung der täglichen Wasserstände am Pegel Berlingen (Mai bis Okt. 1889) unter Einbezug der täglichen Wasserstände an den Pegeln Konstanz, Radolfzell und Stein-Burg, sowie der jeweils täglichen Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln

3.3 PEGEL MIT ABFLUSSERFASSUNG

Die Zeitreihen der täglichen Abflüsse MQ(d) sowie der monatlichen Höchstabflüsse HQ(m) der badenwürttembergischen Pegel wurden von der LUBW, die der schweizerischen Pegel vom BAFU (Bundesamt für Umwelt und Geologie, Bern) und die des Pegels Kennelbach/Bregenzerach vom Landeswasserbauamt Vorarlberg in Bregenz bereitgestellt. Die an den Zuflüssen zum Bodensee und am Hochrhein vorhandenen Pegel mit Abfluss-Zeitserien (Abb. 3.1) sind in Tabelle 3.2 zusammengestellt.

Am Alpenrhein wurde 1919 der Pegel bei St. Margrethen/Rhein in Betrieb genommen, der den ab 1904 betriebenen Pegel Oberriet-Blatten ablöste. Der Pegel St. Margrethen musste wegen Tiefenerosion zunächst 1955 stromaufwärts an die Rheinbrücke Schmitter und 1984 an die Diepoldsauer Rietbrücke verlegt werden. Die Abfluss-Zeitreihe am Pegel Diepoldsau-Rietbrücke, einschließlich der Vorgängerpegel St. Margrethen und Schmitter, liegt somit ab 1919 vor. Mit Hilfe des Pegels Oberriet-Blatten konnten zusätzlich die täglichen Abflüsse MQ(d) und die monatlichen Höchstwerte HQ(m) bis 1904 rückverlängert werden. Hiermit konnte die Zeitreihe des Hauptzuflusses auf die gleiche Länge gebracht werden, wie sie auch am Ausfluss-Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein vorhanden ist.

Der Ausfluss des Untersees ist der Hochrhein, dessen Abfluss ab 1959 ca. 12 km unterhalb des Eschenzer Horns am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein ($A_{E0} = 11\,887\text{ km}^2$) erfasst wird. Davor erfolgte die Abfluss-Erfassung an den benachbarten Pegeln Flurlingen (1904-1913), Nohl bis 1956 und Rheinklingen bis 1958. Durch die Zusammenfassung der 4 Teilabschnitte konnte in Abstimmung mit dem BAFU für den Ausfluss des Bodensees eine Gesamtzeitreihe ab 1904 abgeleitet werden.

Im Mündungsbereich des Alpenrheins wird auf der schweizerischen Rheinseite das Damm-Vorland

durch den linksrheinischen Rheintalinnenkanal entwässert, dessen Abfluss seit 1919 am Pegel St. Margrethen/Rheintal-Binnenkanal ($A_{E0} = 360\text{ km}^2$) erfasst wird. Auf der östlichen, österreichischen Rheinseite entwässert der rechtsrheinische Vorarlberger (oder Lustenauer) Binnenkanal das Vorland unterhalb der Ill-Einmündung. Dieser Binnenkanal mündet in die Dornbirnerach, deren Abflüsse am Pegel Lauterach ($A_{E0} = 196\text{ km}^2$) erfasst werden. Wegen der kurzen Beobachtungszeitreihe kann jedoch die Dornbirnerach nicht in die Untersuchung einbezogen werden. Ebenso nicht einbezogen werden die Pegel Friedrichshafen/Rotach, Uhdingen/Seefelder Aach und Wahlwies/Stockacher Aach, da ihre Abflusszeitserien z. T. erhebliche Inkonsistenzen und Inhomogenitäten aufweisen. Wegen des größeren Einzugsgebiets wird jedoch der Pegel Kennelbach/Bregenzerach ($A_{E0} = 826\text{ km}^2$) trotz seiner kürzeren Zeitreihe berücksichtigt, ebenso die Pegel Gießen/Argen und Gerbertshaus/Schussen. Lediglich die vier Zuflusspegel an Rheintalinnenkanal (CH), Argen, Schussen und Radolfzeller Aach verfügen über längere Zeitserien, die zwischen 1919 und 1933 (Tabelle 3.2) beginnen.

Hieraus ergibt sich für die weitere Untersuchung: Nur die Pegel Diepoldsau-Rietbrücke/Rhein (Zufluss) und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein (Ausfluss) weisen für die Langzeituntersuchung eine Zeitreihenlänge auf, die ungefähr mit den Zeitreihenlängen der Bodensee-Wasserstände übereinstimmt. Für die beiden Pegel konnte eine 103-jährige Zeitspanne (1905 - 2007) einbezogen werden. Als zusätzliche Information wurden jedoch auch die Pegel an Rheintalinnenkanal, Bregenzerach, Argen, Schussen und Radolfzeller Aach ausgewertet. Diese Zuflüsse sind jedoch wegen der kürzeren Beobachtungsreihen und der relativ geringen Zuflussanteilen für die Bodensee-Wasserstände weniger bedeutend.

Tabelle 3.2: Pegel mit Abfluss-Erfassung im Bodensee- und Hochrhein-Einzugsgebiet

Nr.	Pegel/Gewässer	Einzugsgebiet A_{Eo} [km ²]	Zeitspanne	Bemerkung
Alpenrhein-Einzugsgebiet				
1.	Oberriet-Blatten/Rhein	5 967	1904 – 1921	Vorgängerpegel von Diepoldsau/Rhein
2.	Diepoldsau-Rietbrücke/Rhein mit Vorgängerpegeln: St.-Margrethen/Rh. Schmitter/Rh.	6 119	1919 - 2007	MQ(d), HQ(m)
3.	St.-Margrethen/Rheintalinnenkanal	360	1919 - 2007	MQ(d), HQ(m)
Bregenzerach-Einzugsgebiet				
4.	Kennelbach/Bregenzerach	826	1951 - 2007	MQ(d), HQ(m)
Nordöstliches Bodensee-Einzugsgebiet (Allgäu/Oberschwaben)				
5.	Gießen/Argen mit Vorgängerpegel: Gießenbrücke/Argen	649	1932 - 2007	MQ(d), HQ(m)
6.	Gerbertshaus/Schussen mit Vorgängerpegel: Lochbrücke/Schussen	782	1920 - 2007	MQ(d), HQ(m)
Seerhein- Untersee- und Hochrhein-Einzugsgebiet				
7.	Konstanz/Rhein	10 919	1984 – 2007	kurze Reihe
8.	Rielasingen/Radolfzeller Aach mit Vorgängerpegel: Singen/Radolfzeller Aach	205	1925 – 2007	MQ(d), HQ(m) Donau-Versinkung: unterirdisches EZG + $A_{Eu} = 252$ km ²
8.	Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein mit Vorgängerpegeln: Flurlingen/Rh., Nohl/Rhein, Rheinklingen/Rhein	11 887	1904 - 2007	MQ(d), HQ(m)

3.4 EINBEZOGENE ZEITREIHEN UND UNTERSUCHTE KENNWERTE

In die Langzeituntersuchung wurden die Wasserstands- und Abfluss-Zeitreihen der Pegel aus Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4 einbezogen. Die drei Wasserstandspegel Konstanz/Bodensee, Berlingen/ Bodensee und Stein-Burg/Rhein umfassen dabei die Zeitspanne von 1888 bis 2007 (120 Jahre) und werden schwerpunktmäßig ausgewertet.

Der zusätzliche Pegel Romanshorn/Bodensee wird vorwiegend zur Kontrolle und Plausibilisierung des Pegels Konstanz/Bodensee berücksichtigt. Abb. 3.4 zeigt die mittleren jährlichen, winter- und sommerhalbjährlichen Wasserstandsdifferenzen zwischen den Bodenseepiegeln Romanshorn und Konstanz. Die Jahresdifferenzen schwanken zwischen ca. -2 cm und +3 cm. Diese sind bedingt durch Unsicherheiten bei der Wasserstandserfassung infolge

beispielsweise Wellengang, Seiches oder Windstau, aber auch durch nicht rechtzeitig vorgenommene Nachführungen von Kontrollen der Pegel-Nullpunkte. Die Zeitreihen der beiden Bodensee-Pegel Romanshorn und Konstanz verlaufen somit vollkommen gleichartig, wobei der mittlere Wasserstand in Romanshorn um 1 bis 2 cm höher sein kann. Dies ergibt sich durch den Senkungstrichter des Seespiegels im Bereich des Auslaufs des Obersees in den Seerhein. Statistische Auswertungen haben ergeben, dass beide Wasserstands-Zeitreihen die gleichen Ergebnisse bezüglich Trends und Bruchpunkte aufweisen. Deshalb werden hier lediglich die Auswertungen des Pegels Konstanz/Bodensee zur Charakterisierung des Wasserstands-Verhaltens im Obersee dokumentiert.

Aus den täglichen Wasserstands-Zeitreihen MW(d) der einbezogenen Wasserstandspegel an Bodensee

und Hochrhein wurden für die statistische Auswertung die Zeitreihen der jährlich und halbjährlich mittleren Wasserstände MW(J), MW(WiHj), MW(SoHj) sowie die jährlich und winterhalbjährlich niedrigsten Wasserstände NW(J) bzw. NW(WiHj) abgeleitet. Für den Pegel Konstanz/Bodensee wurden aus den monatlich höchsten Wasserstands-Zeitreihen die jährlich und sommerhalbjährlich höchsten Wasserstände HW(J) bzw. HW(SoHj) ermittelt. Wie Abb. 3.5 zeigt, treten die jährlichen Höchstwerte HW(J) nahezu vollständig im Sommerhalbjahr und die jährlichen Niedrigstwerte NW(J) alle im Winterhalbjahr auf. Das gleiche Verhalten ist auch an den Pegeln Romanshorn/B. Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein vorhanden. Deshalb ist zur Beschreibung des Wasserstands-Verhaltens im Bodensee bei den Höchst- und Niedrigstwerten keine weitere jahreszeitliche Differenzierung notwendig.

Die Beschreibung des Zuflusses und des Ausflusses des Bodensees konzentrieren sich vor allem auf den Zuflusspegel Diepoldsau (Alpenrhein) und auf den Ausfluss-Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke (Hochrhein). Aufgrund der Rückverlängerung der Datengrundlage des Pegels Diepoldsau (Abschnitt 3.3) steht für diese beiden Abfluss-Pegel eine gemeinsame Zeitspanne von 1905 bis 2007 (103 Jahre) zur Verfügung. Für diese Zeitspanne wurde, analog zu den Wasserstands-Zeitreihen, aus den täglichen Abflüssen MQ(d) die jährlich und halbjährlich mittleren Abflüsse MQ(J), MQ(WiHj), MQ(SoHj) sowie die jährlich und winterhalbjährlichen niedrigsten Werte NQ(J) bzw. NQ(WiHj) abgeleitet. Wie Abb. 3.6 zeigt, stimmen auch am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein die jährlichen Höchstabflüsse HQ(J) mit den Höchstwerten des Sommerhalbjahres und die jährlichen Niedrigstabflüsse NQ(J) mit den Niedrigstwerten des Winterhalbjahres sehr gut überein. Das gleiche Verhalten ist auch

am Pegel Diepoldsau/Rhein gegeben. Daher ist bei den Höchst- und Niedrigstabflüssen bzw. -wasserständen bei den beiden Rhein-Pegeln als auch bei den Bodensee- und Hochrhein-Wasserstandspegeln keine weitere jahreszeitliche Differenzierung notwendig.

Die weiteren Abfluss-Zeitreihen der Bodensee-Zuflüsse Bregenzerach, Argen, Schussen und Radolfzeller Aach werden vor allem informativ aufgeführt. Eine Beurteilung des Einflusses dieser Bodensee-Zuflüsse bezüglich des Langzeitverhaltens der Bodensee-Wasserstände ist sehr schwierig, da diese Zuflüsse einerseits nur einen geringen Anteil am Gesamtzufluss aufweisen und andererseits die verfügbaren Zeitreihen sehr unterschiedlich lang sind und meist erst deutlich später beginnen.

In Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4 sind die Hauptzahlen und Extremwerte der einbezogenen Wasserstands- und Abfluss-Messstellen im Bodensee-Einzugsgebiet und am Hochrhein zusammengestellt.

Zusammenfassend werden für die Langzeituntersuchung folgende Kennwerte statistisch ausgewertet und beurteilt:

- Mittlere jährliche und halbjährliche Wasserstände MW(J), MW(WiHj), MW(SoHj) und Abflüsse MQ(J), MQ(WiHj), MQ(SoHj),
- Höchste jährliche Wasserstände HW(J) und Abflüsse HQ(J),
- Niedrigste jährliche Wasserstände NW(J) und Abflüsse NQ(J),
- für weitergehende saisonale Betrachtungen werden die monatlich mittleren sowie die monatlich höchsten und niedrigsten Wasserstände MW(m), HW(m), HW(m) und Abflüsse MQ(m), HQ(m), NQ(m) einbezogen.

Diff-MW(J,WiHj,SoHj) Romanshorn-Konstanz

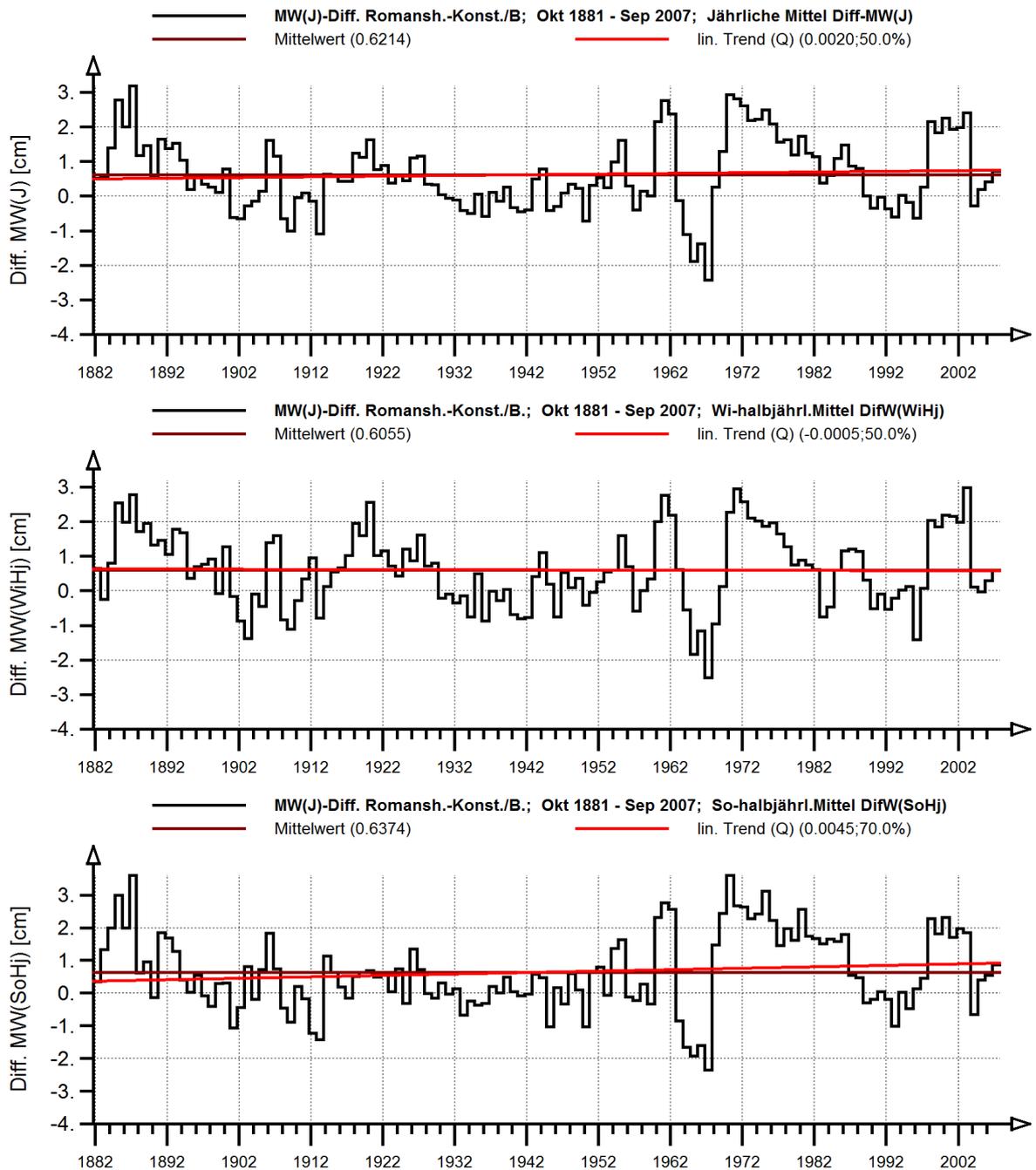


Abb. 3.4: Mittlere jährliche, winter- und sommerhalbjährliche Wasserstands-Differenzen zwischen den Bodenseepegeln Romanshorn und Konstanz in [cm] sowie zugehörige lineare Trends pro Jahr

Tabelle 3.3: Hauptzahlen und Extremwerte der einbezogenen Messstellen mit Wasserständen im Bodensee-Einzugsgebiet; Wasserstände sind bezogen auf Pegel-Null Konstanz/Bodensee

Wasserstandspegel						
Gewässer Pegel	A _{Eo} [km ²]	MW(J) MW(WiHj) MW(SoHj) [cm] ¹⁾ [m+NN]	MNW [cm] ¹⁾ [m+NN]	NW NNW [cm] ¹⁾ [m+NN]	MHW [cm] ¹⁾ [m+NN]	HHW HW [cm] ¹⁾ [m+NN]
	Zeitreihe					
Bodensee (Obersee) Romanshorn	10 919 km ² 1888-2007	342 cm 395,31 m	264 cm 394,53 m	229 13.02.2006 394,19 m	462 cm 396,51 m	577 03.09.1890 397,66 m
		302 cm 394,91 m		235 06.03.1909 394,24 m		567 11.06.1999 397,56 m
		382		237 11.01.1949 394,26 m		557 02.07.1910 397,46 m
		395,71 m		239 21.03.1972 394,28 m		555 26.06.1926 397,44 m
Bodensee (Obersee) Konstanz	10 919 km ² 1888-2007	341 cm 395,30 m	264 cm 394,53 m	242 20.02.1891 394,31 m	462 cm 396,51 m	636 07.07.1817 398,25 m
		301 cm 394,90 m		243 27.02.1882 394,32 m		576 03.09.1890 397,65 m
		381 cm 395,70 m		226 17.02.1858 394,15 m		565 18.06.1999 397,54 m
				229 13.02.2006 394,18 m		557 28.06.1910 397,46 m
				237 12.03.1972 394,26 m		555 26.06.1926 397,44 m
				238 10.03.1909 394,27 m		541 28.06.1965 397,30 m
				238 14.01.1949 394,27 m		
				238 05.03.1963 394,27 m		
Bodensee (Untersee) Berlingen	11 487 km ² 1888-2007	320 cm 395,09 m	241 cm 394,30 m	204 28.02.1891 393,97 m	439 cm 396,28 m	553 04.09.1890 397,42 m
		280 cm 394,69 m		209 09.03.1909 393,98 m		545 24.05.1999 397,34 m
		360 cm 395,49 m		210 14.01.1949 393,99 m		536 02.07.1910 397,25 m
				213 15.02.2006 394,02 m		532 26.06.1926 397,21 m
				215 14.03.1972 394,04 m		519 29.06.1965 397,08 m
				217 04.03.1963 394,06 m		512 29.07.1987 397,01 m
Rhein (Hochrhein) Stein-Burg	11 487 km ² 1888-2007	292 cm 394,81 m	213 cm 394,02 m	176 18.02.1882 393,65 m	412 cm 396,01 m	521 04.09.1890 397,10 m
		252 cm 394,41 m		176 22.02.1891 393,65 m		516 24.05.1999 397,05 m
		332 cm 395,21 m		178 10.03.1909 393,67 m		508 28.06.1910 396,97 m
				180 13.01.1949 393,69 m		506 27.06.1926 396,95 m
				188 14.02.2006 393,77 m		495 29.06.1965 396,84 m
				190 07.03.1963 393,79 m		479 29.07.1987 396,68 m
				190 15.03.1972 393,79 m		

¹⁾ Wasserstände bezogen auf Pegel-Null Konstanz/Bodensee [cm über 391,89 m+NN] sowie auf [m+NN]

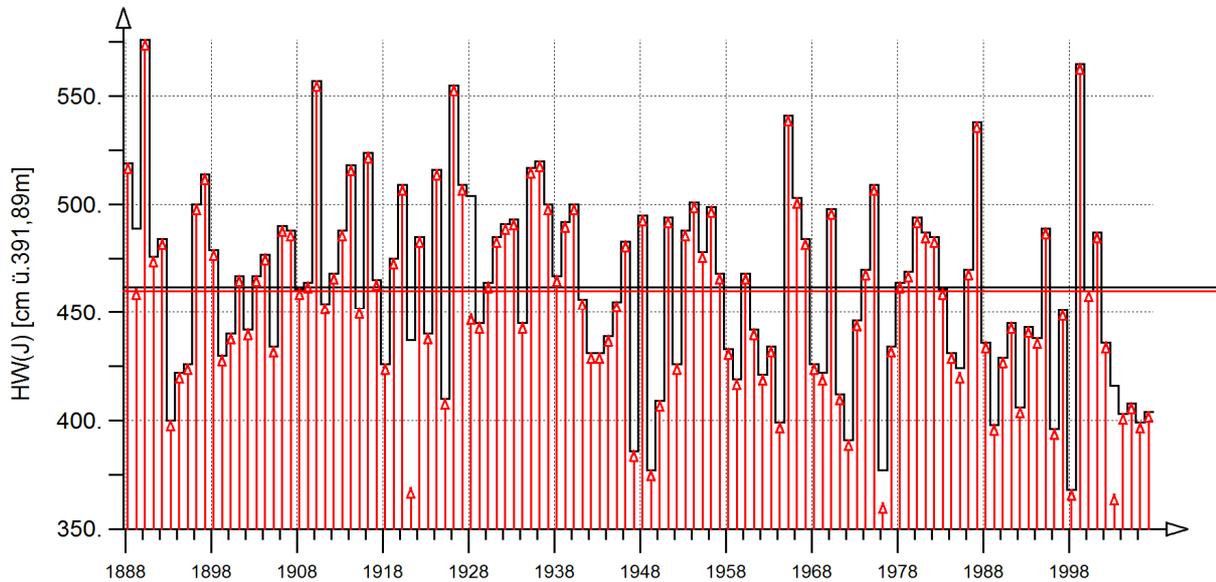
Tabelle 3.4: Hauptzahlen und Extremwerte der einbezogenen Messstellen mit Abflüssen im Bodensee-Einzugsgebiet

Abflusspegel						
Gewässer Pegel	A _{Eo} [km ²] Zeitreihe	MQ MQ(WiHj) MQ(SoHj) [m ³ /s]	MNQ [m ³ /s]	NQ Datum [m ³ /s]	MHQ [m ³ /s]	HQ Datum [m ³ /s]
Rhein (Alpenrhein) Diepoldsau (mit Vorgängern)	6 119 1905-2007	228 121 335	63,6	35 25.02.1909 40 26.01.1947 41 12.02.2006 44 14.02.1921 49 15.02.1949	76,1	2665 19.07.1987 2600 22.08.1954 2300 25.09.1927 2260 23.08.2005
Rheintal-Binnenkanal St. Margrethen	360 1920-2007	14,1 12,1 16,2	5,35	0,12 04.12.1961	1357	140 22.05.1999
Bregenzerrach Kennelbach	826 1952-2007	46,2 33,6 58,8	5,32	1,87 30.10.2005 2,50 01.01.1958	607	1350 23.08.2005 1113 21.05.1999
Argen Gießen (mit Vorgänger)	649 1933-2007	19,3 20,4 18,6	4,53	1,94 28.09.1949	236	475 03.01.1948 418 11.06.1965
Schussen Gerbertshaus (mit Vorgänger)	782 1920-2007	10,9 11,7 10,0	3,37	1,05 01.08.1921 1,41 21.09.1947	86,9	143 24.05.1978 142 04.06.1926
Radolfzeller Aach Rielasingen (mit Vorgänger)	205 1925-2007	9,0 9,0 9,1	3,93	1,67 09.09.1938 1,80 27.09.2003	23,1	37,5 17.02.1943 37,1 29.09.1942 33,6 16.12.1982
Rhein (Hochrhein) Neuhausen- Flurlingerbrücke (mit Vorgängern)	11 887 1905-2007	369 264 475	175	104 07.03.1909 108 13.01.1949 110 04.03.1921 128 20.02.1947 136 15.02.2006	729	1180 23.05.1999 1072 27.06.1926 1070 28.06.1910 1030 18.06.1965

Vgl. HW(J),HW(SoHj) Konstanz/Bodensee

Messstelle: Konstanz/Bodensee(Obersee)
 Messgröße: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Maxima HW(J)

Konstanz/Bodensee(Obersee)
 Wasserstand[cm P.KN]
 Okt 1887 - Sep 2007
So-halbjährl. Maxima HW(SoHj)



Vgl. NW(J),NW(WiHj) Konstanz/Bodensee

Messstelle: Konstanz/Bodensee(Obersee)
 Messgröße: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Mai 1887 - Apr 2007
 Datenart: Jährliche Minima NW(J)

Konstanz/Bodensee(Obersee)
 Wasserstand[cm P.KN]
 Mai 1887 - Apr 2007
Wi-halbjährl. Minima NW(WiHj)

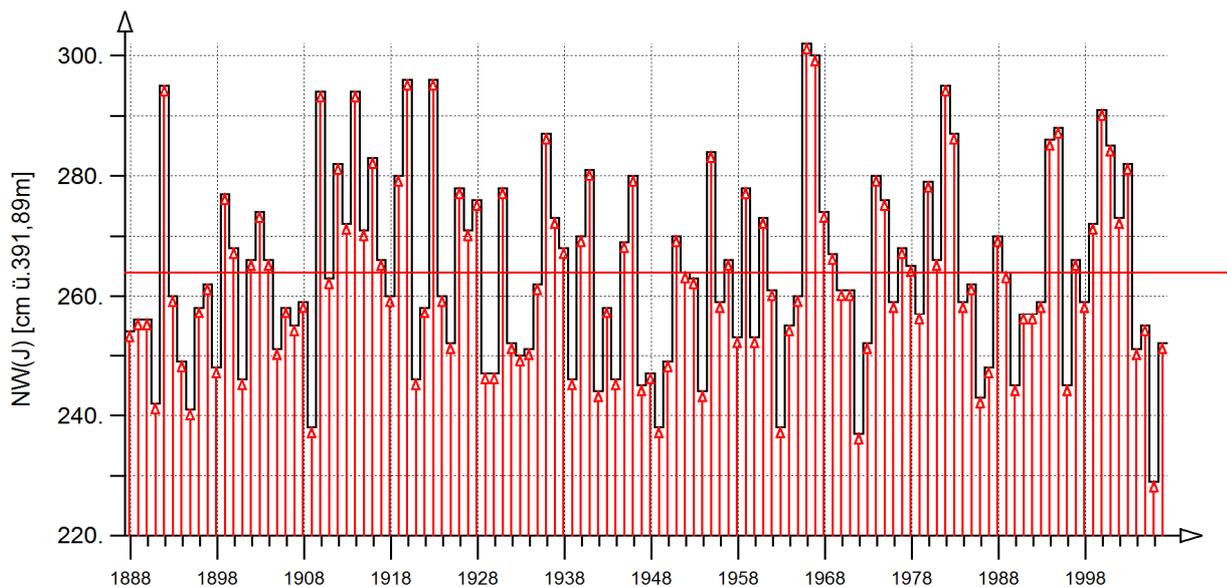
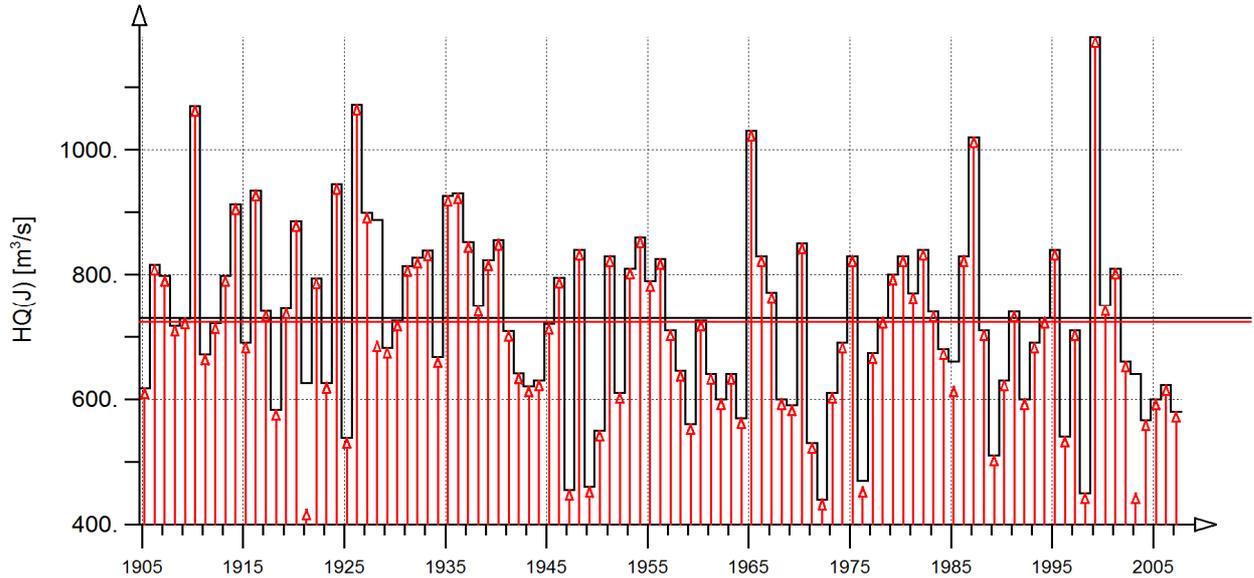


Abb. 3.5: Vergleich der jährlichen Höchst- (oben) bzw. Niedrigwasserstände (unten) am Pegel Konstanz/Bodensee mit den jeweils sommer- bzw. winterhalbjährlichen Werten

Vgl. HQ(J),HQ(SoHj) Neuhausen/Rhein

Messstelle: Neuhausen-Flurl.Brücke/Rhein
 Messgröße: Abfluss
 Zeitspanne: Okt 1904 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Maxima HQ(J)

Neuhausen-Flurl.Brücke/Rhein
 Abfluss
 Okt 1904 - Sep 2007
So-halbjährl.Maxima HQ(SoHj)



Vgl. NQ(J),NQ(WiHj) Neuhausen/Rhein

Messstelle: Neuhausen-Flurl.Brücke/Rhein
 Messgröße: Abfluss
 Zeitspanne: Mai 1904 - Apr 2007
 Datenart: Jährliche Minima NQ(J)

Neuhausen-Flurl.Brücke/Rhein
 Abfluss
 Mai 1904 - Apr 2007
Wi-halbjährl.Minima NQ(WiHj)

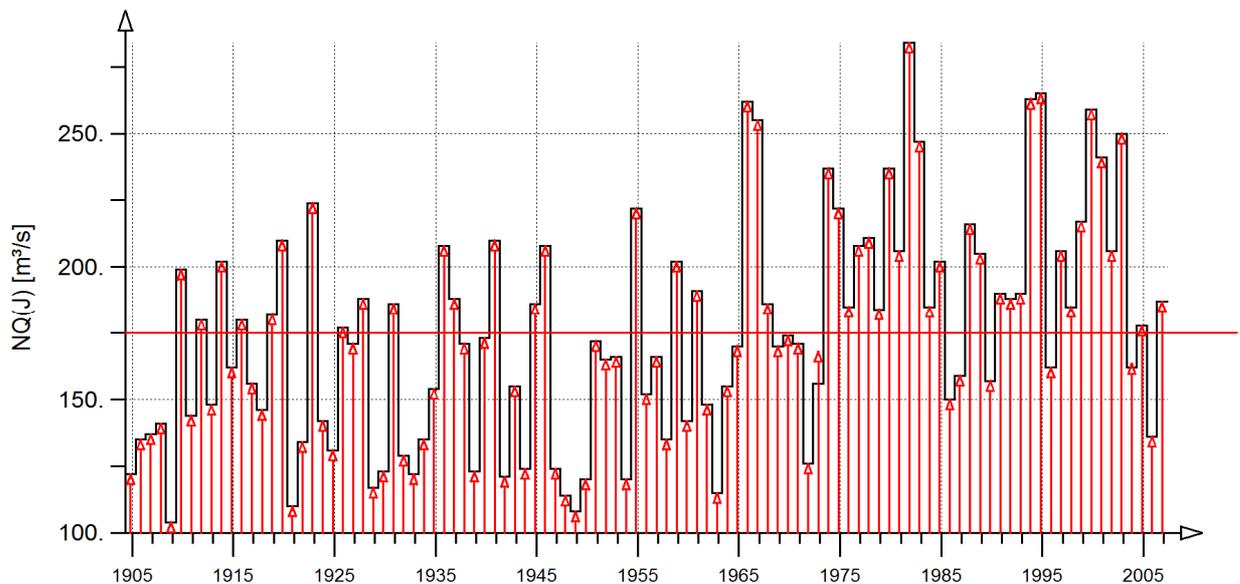


Abb. 3.6: Vergleich der jährlichen Höchst- (oben) bzw. Niedrigstabflüsse (unten) am Pegel Neuhausen/Rhein mit den jeweils sommer- bzw. winterhalbjährlichen Werten

4 Statistische Grundlagen für die Langzeitanalyse

Zur Analyse des Langzeitverhaltens der Wasserstände und Abflüsse sowie zur Beurteilung der Ergebnisse wurden folgende statistische Verfahren angewandt:

4.1 TRENDBERECHNUNG

Die Berechnung basiert auf der Annahme eines linearen Trends in der jeweils betrachteten Zeitreihe. Dieser lineare Trend ergibt sich über folgende Gleichung:

$$x_t(t) = a + b \cdot t \quad (4.1)$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{SQ} &= \sum_{i=1}^n (x(i \cdot \Delta t) - x_t(i \cdot \Delta t))^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (x_i - (a + b \cdot i \cdot \Delta t))^2 \end{aligned} \quad (4.2)$$

mit: SQ : Fehlerquadratsumme
 Δt : Zeitschritt der Daten
 $x(i \cdot \Delta t)$: hydrologische Größe;
 z.B. mittlere Abflüsse MQ(J)
 mit $\Delta t = 1$ a
 n : Anzahl der Zeitschritte (Anzahl der Beobachtungsjahre abzüglich der Anzahl der Jahre mit Datenlücken)

minimiert. Aus den Ableitungen von Gl. 4.2 nach den beiden Koeffizienten a und b ergibt sich ein lineares Gleichungssystem, aus dem sich die Koeffizienten ergeben zu:

$$\begin{aligned} a &= \bar{x} - b \cdot \bar{t} \\ b &= \frac{s_{x,t}}{s_t^2} \end{aligned} \quad (4.3)$$

mit: \bar{x} : Mittelwert der hydrologischen Größe x
 \bar{t} : Mittelwert über die Zeit t (Zeitschritt $t_i = i \cdot \Delta t$)

$s_{x,t}$: Kovarianz zwischen der Größe x und der Zeit t

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

s_t^2 : Varianz über die Zeit t

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

n : Anzahl der Zeitschritte

a : Achsenabschnitt

b : Trendsteigung

Über den rückschreitenden Trend kann für eine Zeitreihe zusätzlich beurteilt werden, wie sich das Trendverhalten bei konstantem Zeitreihenende als Funktion der Beobachtungslänge verändert. Die Berechnung des rückschreitenden Trends erfolgt schrittweise, beginnend am Ende der Zeitreihe mit einer Zeitspanne von n Jahren (z. B. 1997-2007). Danach wird die Zeitspanne um jeweils ein Jahr verlängert bis die gesamte Zeitspanne der Zeitreihe (z. B. 1905-2005) einbezogen ist. Hieraus ergibt sich die Trendsteigung als Funktion der Beobachtungslänge der Zeitreihe. Diese Funktion dient somit der Beurteilung der Stabilität des Trends. Als minimale Zeitreihenlänge wurde $n = 20$ Jahre festgelegt.

4.2 TRENDTEST NACH MANN-KENDALL

Als Testverfahren für die Signifikanz des aus Abschnitt 4.1 berechneten Trends wurde der verteilungsfreie Test nach MANN-KENDALL eingesetzt (Kendall 1970 [76] und Sneyers 1990 [85]). Bei diesem Testverfahren ergibt sich zunächst die Summe der Vorzeichen benachbarter Werte aus:

$$Q = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (4.5)$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{Mittelwert} \quad \bar{Q} &= 0 \\ \text{und} & \\ \text{Varianz} \quad \sigma_Q^2 &= \frac{1}{18} (n \cdot (n-1) \cdot (2 \cdot n + 5)) \end{aligned} \quad (4.6)$$

Hieraus ergibt sich die Prüfgröße nach MANN-KENDALL zu:

$$\hat{z} = \frac{Q}{\sigma_Q} \quad (4.7)$$

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

$$\alpha = \begin{aligned} &99.999\%, 99.99\%, 99.98\%, 99.95\%, \\ &99.9\%, 99.8\%, 99.5\%, 99\%, 98\%, \\ &97.5\%, 95\%, 92\%, 90\%, 85\%, 80\%, \\ &70\%, 60\% \text{ und } 50\% \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \alpha < 80\% &: \text{ nichtsignifikant} \\ 80\% \leq \alpha < 90\% &: \text{ schwachsignifikant} \\ 90\% \leq \alpha < 99\% &: \text{ signifikant} \\ \alpha \geq 99\% &: \text{ hochsignifikant} \end{aligned}$$

4.3 BRUCHPUNKTANALYSE NACH MANN-WHITNEY

Die Bruchpunktanalyse nach MANN-WHITNEY (Pettit 1978 [80]) stellt einen verteilungsfreien Homogenitätstest für die Zeitreihe dar. Sie liefert als Information den wahrscheinlichsten Zeitpunkt innerhalb einer Zeitreihe, an dem mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eine Trendänderung vorliegen kann. Dies bedeutet: Weist eine Zeitreihe eine

Veränderung im Trendverhalten auf, so liegt der Trendänderungspunkt mit der zugehörigen Wahrscheinlichkeit an dem ermittelten Bruchpunkt. Über die Wahrscheinlichkeit bzw. Signifikanz der Trendänderung selbst wird dabei keine Aussage gemacht.

Die Bruchpunktanalyse erfolgt über folgende Prüfgröße:

$$U_{k,n} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (4.8)$$

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

mit: K_n : Prüfgröße
 $U_{k,n}$: Summe der Vorzeichen
 n : Gesamtlänge der Zeitreihe (Anzahl der Zeitschritte)
 k : laufender Zeitindex
 x : hydrologische Größe

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

$$P = 1 - \exp\left(\frac{-6 \cdot K_n^2}{n^3 + n^2}\right) \quad (4.9)$$

Bezüglich der Wahrscheinlichkeit P existieren keine Beurteilungskriterien. Es gilt jedoch: Je größer die Wahrscheinlichkeit P ist, umso zuverlässiger ist der Zeitpunkt einer möglichen zeitlichen Veränderung bestimmt. Über die Signifikanz einer möglichen Trendänderung kann aus der Wahrscheinlichkeit P keine Aussage abgeleitet werden. Hierzu kann beispielsweise die Summenlinienanalyse herangezogen werden. In der hier durchgeführten Untersuchung wurden nur Bruchpunkte ausgegeben, für die gilt: $P > 50\%$.

4.4 SUMMENLINIENANALYSE

Die Summenlinienanalyse stellt die klassische Methode zur Homogenitätsprüfung von Zeitreihen dar (z.B. Luft et.al. 1990 [48], [49]). Dabei wird die laufende Summe einer hydrologischen Größe als Funktion der Zeit aufgetragen. Ist die Zeitreihe homogen, weist die Summenlinie eine eindeutige

Steigung (konstanter Mittelwert) über die gesamte Beobachtungszeitspanne auf. Bei inhomogenen Zeitreihen ist ein Wechsel des Steigungsmaßes erkennbar. Dieser Wechsel kann „schleichend“ erfolgen und führt beispielsweise zu einer kontinuierlichen einseitigen Über- oder Unterschreitung der mittleren Steigung der Summenlinie. Bei einer „sprunghaften“ Veränderung in der Zeitreihe (unterschiedliche Mittelwerte in den Teilzeitreihen) ergeben sich zwei Zeitabschnitte mit deutlich unterschiedlichem Steigungsmaß.

In der vorliegenden Untersuchung wurden die einbezogenen Zeitreihen bezüglich einer „sprunghaften“ Veränderung über die Summenlinie wie folgt getestet:

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

1. Regressionsgerade :

$$y_1 = a_1 + b_1 \cdot x_1 \quad (4.10)$$

2. Regressionsgerade :

$$y_2 = a_2 + b_2 \cdot x_2$$

mit: x_1, x_2 : laufende Zeit der beiden Teilzeitreihen

y_1, y_2 : Werte der Summenlinien der beiden Teilzeitreihen

a_i, b_i : Koeffizienten der Regressionsgeraden

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

1. Berechnung der beiden Steigungsmaße b_1 und b_2 der Teilzeitreihen über eine lineare Regressionsrechnung analog zu Gl. 4.3
2. Ermittlung der Prüfgröße:

$$\hat{t} = \frac{|b_1 - b_2|}{\sqrt{\frac{s_{y_1, x_1}^2 \cdot (n_1 - 2) + s_{y_2, x_2}^2 \cdot (n_2 - 2)}{n_1 + n_2 - 4} \cdot \left(\frac{1}{Q_{x_1}} + \frac{1}{Q_{x_2}} \right)}} \quad (4.11)$$

mit: $Q_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.12)$

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

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

$$m = n_1 + n_2 - 4 \quad \text{Freiheitsgraden} \quad (4.13)$$

Bei der Anwendung des Testverfahrens wird kein vorgegebenes Signifikanzniveau α verwendet, sondern es wird das Signifikanzniveau ermittelt, für das die Steigungsänderung gerade noch als signifikant erklärt wird. Geprüft werden hierbei dieselben Signifikanzniveaus, die auch beim Trendtest nach MANN-KENDALL (Abschnitt 4.2) eingesetzt werden. Ergibt sich für die Steigungsänderung ein Signifikanzniveau von $\alpha < 80\%$ wird die Änderung als nicht signifikant erklärt. Sind in der Zeitreihe Datenlücken vorhanden, werden diese vor der Regressionsrechnung aus der Zeitreihe entfernt. Die Beurteilung der Signifikanz der Trendänderung erfolgt analog zum Trendtest nach MANN-KENDALL.

4.5 ANALYSE DES JAHRESGANGS

Zur Analyse des Jahresgangs mittlerer Monatswerte des Wasserstands (z. B: HW(m), NW(m)) oder des Abflusses (z. B: HQ(m), NQ(m)) werden folgende Auswertungen durchgeführt:

- Ermittlung der mittleren Monatswerte (z.B. HQ(m)) für die einzelnen Monate der gesamte Zeitreihe und der mittleren Halbjahreswerte (z.B. MHQ(SoHj) und MHQ(WiHj)) abgeleitet aus den Monatswerten
- Ermittlung der mittleren Monatswerte $HQ_i(m)$ für die einzelnen Monate der Zeitreihe für verschiedene Teilzeitreihen i , die sich aus der Bruchpunktanalyse als Änderungszeitpunkte ergeben haben. Beispielsweise vom Beginn der Beobachtung bis zum Trennungsjahr (z. B.

1941) mit zugehörigen mittleren Halbjahreswerten $MHQ_1(\text{SoHj}, \text{WiHj})$ und nach dem Trennungsjahr 1942 bis zum Ende der Beobachtungsreihe $MHQ_2(\text{SoHj}, \text{WiHj})$

- Darstellung der Mittelwerte $HQ(m)$ und $MHQ(\text{SoHj}, \text{WiHj})$ in einem Diagramm. Ein Test auf Signifikanz der Mittelwertsänderung erfolgt dabei nicht.
- Beurteilung von Änderungen in den Zeitreihen der Abflüsse durch einen Vergleich der prozentualen Veränderung des Mittelwerts der Teilzeitreihe MQ_{TZ} bezogen auf den Mittelwert MQ der Gesamtreihe. Bei den Zeitreihen der Wasserstände wurde direkt die Differenz des mittleren Wasserstands MW_{TZ} der Teilzeitspanne zum Mittelwert MW der Gesamtzeitspanne betrachtet. Die Veränderungen ergeben sich somit zu:

Abflüsse :

$$\Delta Q = 100 \cdot \frac{MQ_{TZ} - MQ}{MQ} \quad [\%]$$

Wasserstände :

$$\Delta W = MW_{TZ} - MW \quad [\text{cm}] \quad (4.14)$$

Positive Änderungen ΔQ bzw. ΔW bedeuten somit Zunahmen und negative Änderungen ΔQ bzw. ΔW Abnahmen der Halbjahresmittelwerte MQ_{TZ} bzw. MW_{TZ} der Teilzeitreihe, bezogen auf den Mittelwert MQ bzw. MW der Gesamtreihe.

4.6 ANWENDUNG DER STATISTISCHEN VERFAHREN

Die Wasserstands- und Abflusszeitreihen der einbezogenen Bodensee- und Rheinpegel wurden auf Plausibilität, Konsistenz und Homogenität geprüft. Festgestellte Inkonsistenzen, die vorwiegend durch Mess- und Auswertefehler bedingt sind, wurden vorab beseitigt. Weitere Veränderungen sind erkennbar durch Trends, Teiltrends und Bruchpunkte.

Die Anwendung der statistischen Verfahren erfolgt über folgende Vorgehensweise:

1. Ermittlung des Trends über die gesamte einbezogene Zeitreihe. Die Angaben zu den Trendsteigungen erfolgen dabei in absoluten Werten

(Änderung pro Jahr). Zur Beurteilung der Stabilität des Trends wurde für jeden Kennwert der rückschreitende Trend einschließlich der zugehörigen Trendsignifikanz ermittelt und graphisch dargestellt.

2. Ermittlung möglicher Bruchpunkte (Änderungszeitpunkte) über die Bruchpunktanalyse nach MANN-WHITNEY und Verifikation der Bruchpunkte über das Summenlinienverfahren
3. Abgleich der erkannten Bruchpunkte (Änderungszeitpunkte) zwischen den verschiedenen Pegeln, damit für die einzelnen betrachteten Kennwerte des Wasserstands und des Abflusses möglichst einheitliche Bruchpunkte an den einbezogenen Pegeln vorhanden sind.
4. Ermittlung und Bewertung der Mittelwerte (partieller Mittelwert) und Teiltrends (partieller Trend) zwischen den einzelnen Bruchpunkten
5. Ermittlung und Bewertung des Jahresgangs der verschiedenen Kennwerte an den einbezogenen Wasserstands- und Abfluss-Pegeln, wobei die Teilzeitreihen entsprechend der o.g. Trendbetrachtung beibehalten werden
6. Zur erweiterten saisonalen Auswertung werden zusätzlich die Trends einzelner Monatswerte ermittelt, so dass auch die saisonale Beurteilung der monatlichen Trends einschließlich vorhandener Bruchpunkte möglich ist.
7. Ermittlung der Wasserstandsdifferenzen der einbezogenen Wasserstandspegel zwischen dem Obersee und dem Ausfluss des Bodensees in den Hochrhein und Beurteilung des Langzeitverhaltens über Gesamttrends und Teiltrends für ausgewählte Teilzeitreihen

4.7 DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

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

Analyse der jährlichen und halbjährlichen Wasserstands- und Abfluss-Kennwerte

Abb. 4.1 zeigt exemplarisch für die mittleren jährlichen Wasserstände $MW(J)$ des Pegels Konstanz/Bodensee die Ergebnisse der Trendanalyse über die

gesamte Beobachtungsreihe 1888 bis 2007 mit folgenden Informationen:

oberes Diagramm: Zeitreihe der Jahreshöchstabflüsse MW(J) mit Kennzeichnung von:

- mittlerer Hochwasserabfluss MW mit Angabe des Werts: 341,3 [cm ü. 391,98 m]
- Trendgerade mit Angabe der jährlichen Wasserstandsänderung (absoluter Trend) in der Diagrammunterschrift: -0,209 cm/a
- Trendsignifikanz nach MANN-KENDALL in der Diagrammunterschrift: 99,98%
- Kennzeichnung des Bruchpunkts nach MANN-WHITNEY (im Falle Wahrscheinlichkeit von $P > 50\%$) mit Angabe des Jahres und der Wahrscheinlichkeit P: 1941 (99,95%)

mittleres Diagramm: rückschreitender Trend mit:

- rückschreitendem Trend ermittelt aus mindestens 20 Jahren. Die Größe des Trends ist auf der Zeitachse an dem Jahr dargestellt, an dem die jeweils betrachtete Teilzeitreihe beginnt (linke Achse)
- Trend über die gesamte Zeitreihe (Gesamtrend)
- Signifikanzniveau des Trends für $\alpha > 80\%$ nach MANN-KENDALL. Die Höhe des Signifikanzniveaus ist an dem Jahr dargestellt, an dem die jeweils betrachtete Teilzeitreihe beginnt (rechte Achse).

unteres Diagramm: Summenlinien-Analyse mit:

- Summenlinie mit Zeitskalierung über das betrachtete hydrologische Jahr. Treten in einer Zeitreihe Datenlücken auf, werden diese aus der Zeitreihe entfernt. Die Zeitskalierung wird in solchen Fällen durch eine fortlaufende Nummer der Jahre ersetzt.
- Kennzeichnung des wahrscheinlichen Bruchpunkts nach MANN-WHITNEY

- Darstellung der Regressionsgeraden für die beiden Teilzeitreihen, die sich durch Teilung der Gesamtreihe am Bruchpunkt ergeben.
- Darstellung der Summe des Standardfehlers aus jeweils zwei Regressionsgeraden. Hierbei wird der Zeitpunkt des betrachteten Bruchpunkts kontinuierlich über die gesamte Zeitreihe variiert. Das Minimum dieser Kurve gibt den Zeitpunkt der Zeitreihenteilung an, für den sich aus den beiden Regressionsrechnungen der kleinste Standardfehler ergibt.
- Angabe des Jahres, in dem der Bruchpunkt nach MANN-WHITNEY liegt, und Angabe der Signifikanz der Änderung des Steigungsmaßes nach dem t-Test: 1941 (70,0%)

In Anlage A sind diese Gesamtdarstellungen für die einbezogenen und bewerteten Wasserstands- und Abflusspegel zusammengestellt.

Analyse des Jahresgangs der monatlichen Wasserstands- und Abfluss-Kennwerte

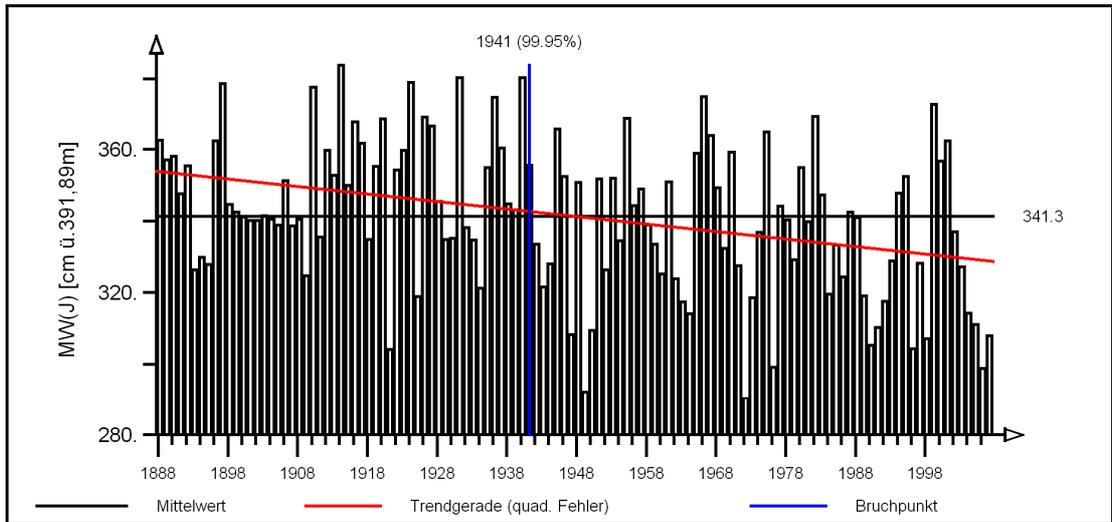
Abb. 4.2 zeigt exemplarisch für den Pegel Konstanz/Bodensee die Ergebnisse der Analyse des Jahresgangs der mittleren monatlichen Höchstwerte des Wasserstands MHW(m) mit folgenden Informationen:

- Darstellung des Jahresgangs der mittleren monatlichen Höchstwerte MHW(m) für die drei untersuchten Zeitspannen (Gesamtzeitreihe, Zeitreihe bis Sep 1940 und Zeitreihe ab Okt 1941)
- Darstellung der jeweils zugehörigen mittleren halbjährlichen Höchstwerte des Wasserstands MHW(Hj) mit Angabe der entsprechenden Werte

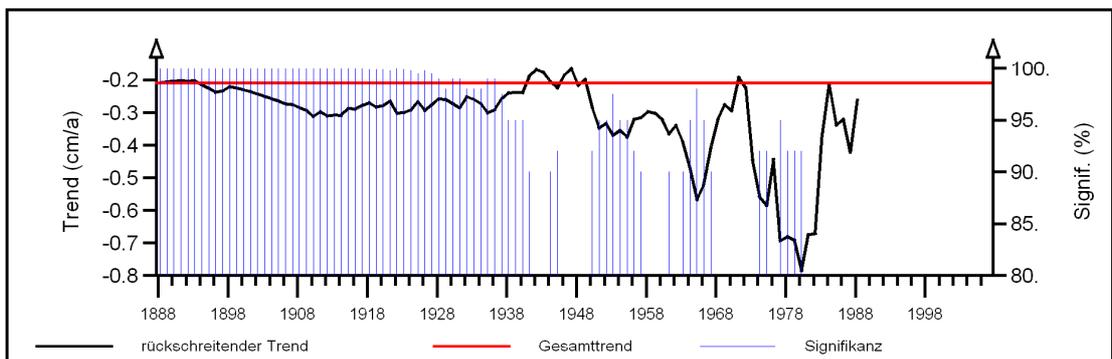
Pegel Konstanz/Bodensee(Obersee)

(Pegel-Nr. 906)

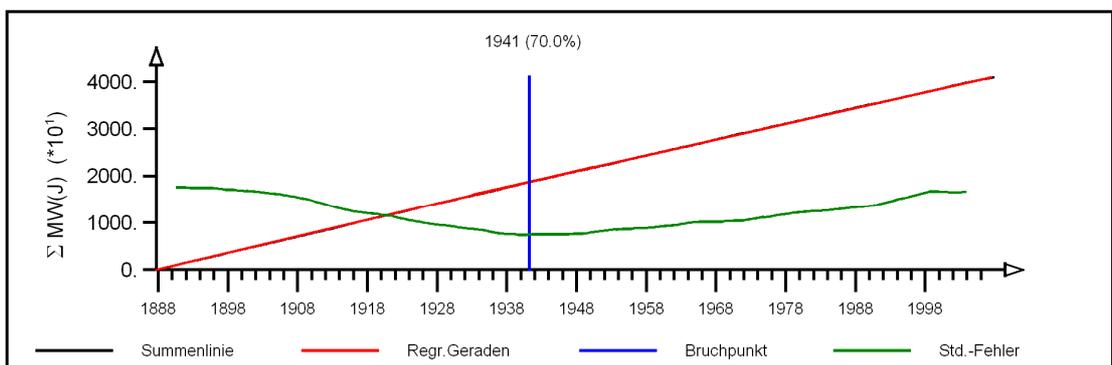
mittlere jährliche Wasserstände MW(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: -0.209 cm/a
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 99.98%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



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

Abb. 4.1: Ergebnisdarstellung der Analyse des Langzeitverhaltens der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) am Pegel Konstanz/Bodensee (Summenlinie ist im unteren Diagramm fast identisch mit der Regressionsgeraden)

Pegel Konstanz/Bodensee

Jahresgänge MHW(m) und Halbjahresmittel MHW(Hj)

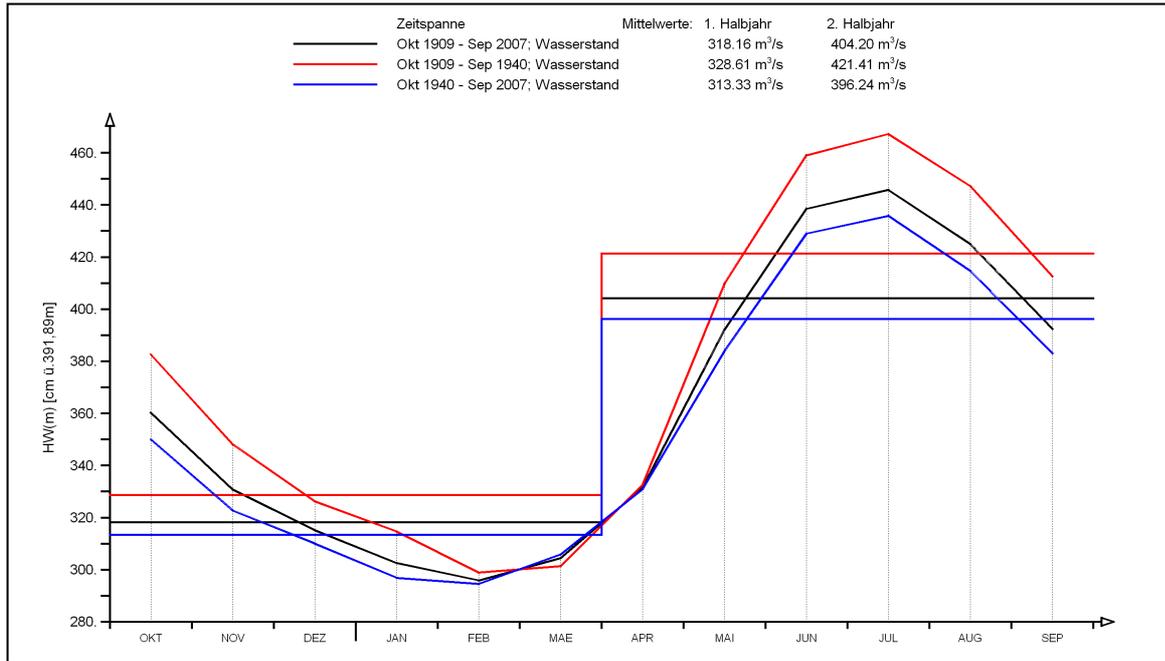


Abb. 4.2: Ergebnisdarstellung der Analyse des Jahresgangs: mittlere monatliche Höchstwerte MHW(m) des Wasserstands und mittlere halbjährliche Wasserstände MHW(Hj) für drei unterschiedliche Zeitspannen

5 Langzeitverhalten der Wasserstands- und Abfluss-Kennwerte

Die Untersuchung des Langzeitverhaltens der Wasserstände des Bodensees sowie dessen Zu- und Ausflüsse basiert auf einer systematischen Ermittlung von Mittelwerten und linearen Trends in den Gesamtzeitreihen, Prüfung der Homogenität mit Festlegung von Instationaritäten in den Zeitreihen sowie von partiellen Mittelwerten und Trends für verschiedene Teilzeitspannen. Die Teilzeitspannen wurden zunächst pegelspezifisch über Bruchpunktanalyse und Summenlinienverfahren (Abschnitt 4) ermittelt und anschließend für die betrachteten Zeitreihen der Wasserstands- und Abfluss-Kennwerte zwischen den maßgebenden Pegeln abgestimmt. In die Betrachtung einbezogen wurden hauptsächlich die drei Wasserstandspegel Konstanz/Bodensee (Obersee), Berlingen/Bodensee (Untersee) und Stein-Burg/Rhein (Hochrhein) am Bodensee und seinem Auslauf mit jeweiligen Gesamtzeitspannen von 1888 bis 2007 sowie der Hauptzufluss-Pegel Diepoldsau/Rhein (Alpenrhein) und der Ausfluss-Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein (Hochrhein) mit jeweiligen Gesamtzeitspannen 1905 bis 2007. Der Wasserstandspegel Romanshorn/Bodensee (Obersee) wird vergleichend dargestellt. Die abgeleiteten Erkenntnisse decken sich jedoch vollständig mit denen, die sich am Pegel Konstanz/Bodensee ergeben (Abschnitt 3.4). Weitere einbezogene Zufluss-Pegel zum Bodensee am Rheintalbinnenkanal (Altrhein) sowie an Bregenzerrach, Argen, Schussen und Radolfzeller Aach werden ebenfalls informativ mit aufgeführt. Eine detaillierte Bewertung dieser Zeitreihen erfolgt jedoch aufgrund der deutlich kürzeren Beobachtungszeitreihen und der relativ kleinen Zuflussanteile nicht.

Für die einbezogenen Pegel wurden folgende Kennwerte statistisch ausgewertet:

1. Mittlere jährliche Wasserstände $MW(J)$ und Abflüsse $MQ(J)$
2. Mittlere Wasserstände $MW(WiHj)$ und Abflüsse $MQ(WiHj)$ des Winterhalbjahres
3. Mittlere Wasserstände $MW(SoHj)$ und Abflüsse $MQ(SoHj)$ des Sommerhalbjahres
4. Höchste jährliche Wasserstände $HW(J)$ und Abflüsse $HQ(J)$
5. Niedrigste jährliche Wasserstände $NW(J)$ und Abflüsse $NQ(J)$

Zur Beurteilung der Trendstabilität der verschiedenen Kennwerte sind in Anlage A erweiterte Auswertungen graphisch dargestellt. Diese umfassen den rückschreitenden Trend und die zugehörigen Trendsignifikanzen sowie den Trendänderungstest über das Summenlinienverfahren am ausgewiesenen Bruchpunkt.

5.1 MITTLERE JÄHRLICHE WASSERSTÄNDE UND ABFLÜSSE

In den Abb. 5.1 bis Abb. 5.3 sind die jährlich mittleren Wasserstände $MW(J)$ und die jährlich mittleren Abflüsse $MQ(J)$ der einbezogenen Pegel über die jeweiligen Beobachtungszeitspannen dargestellt. In diesen Graphiken sind zusätzlich eingetragen der langjährige Mittelwert MW bzw. MQ , der lineare Trend über die gesamte Zeitreihe und der Bruchpunkt. Für die Zeitreihen der Wasserstandspegel Konstanz und Berlingen am Bodensee sowie dem Pegel Stein-Burg am Hochrhein ergibt sich folgendes Langzeitverhalten (Tabelle 5.1):

Die mittleren jährlichen Wasserstände $MW(J)$ weisen am Pegel Konstanz/Bodensee (Abb. 5.1) einen

fallenden Trend von $-0,21$ cm/Jahr auf, der auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 99,98\%$ hochsignifikant ist. An den Pegeln Berlingen und Stein-Burg (Abb. 5.1) ist der fallende Trend deutlich kleiner und beträgt ca. $-0,09$ cm/Jahr. Dieser Trend ist signifikant auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 92,0\%$. Als Bruchpunkt wird bei Betrachtung der jeweiligen Gesamtzeitreihen bei den beiden Bodenseepiegeln Konstanz und Berlingen jeweils das Jahr 1941 erkannt. Am Pegel Stein-Burg tritt der Bruchpunkt jedoch erst im Jahr 1970 auf.

Der Pegel Diepoldsau am Alpenrhein (Hauptzufluss) und der Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke am Hochrhein (Ausfluss des Bodensees) zeigen bei den mittleren jährlichen Abflüssen MQ(J) (Abb. 5.2) leicht gegenläufige Tendenzen. Während der Zuflusspegel einen nichtsignifikanten schwach steigenden Trend von $+0,12$ m³/s/Jahr aufweist, ergibt sich am Ausfluss ein schwach fallender Trend von $-0,10$ m³/s/Jahr, der ebenfalls nichtsignifikant ist. Der Bruchpunkt liegt beim Zuflusspegel im Jahr 1964 und am Ausflusspegel im Jahr 1941.

Zur Homogenisierung der Bruchpunkte über die 3 betrachteten Wasserstandspegel und die 2 Abflusspegel wurden zusätzlich Summenlinienanalysen durchgeführt, um vereinheitlichte Änderungszeitpunkte zu erkennen. Hieraus ergab sich, dass über alle fünf Pegel die Jahre 1909, 1941, 1964 und 1988 mit sprunghaften Änderungen in den partiellen Mittelwerten erkannt und festgelegt werden können. In Abb. 5.4 und Abb. 5.5 sind die Änderungen der partiellen Mittelwerte der verschiedenen Teilzeitreihen, die sich über die erkannten Bruchpunkte ergeben, deutlich erkennbar.

Für die Wasserstandspegel ergeben sich folgende Veränderungen im Langzeitverhalten der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J), die sich aus den partiellen Mittelwerten der Teilzeitreihen ableiten lassen:

- nach 1909 steigt der mittlere jährliche Wasserstand MW am Pegel Konstanz um 8 cm und an den Pegeln in Berlingen und Stein-Burg um 11 cm an,
- nach 1941 fällt der mittlere jährliche Wasserstand MW am Pegel Konstanz um 19 cm, an den Pegeln Berlingen und Stein-Burg jedoch nur um ca. 15 cm,
- nach 1964 ergibt sich an den Pegeln wiederum ein Anstieg, der in Konstanz ca. 6 cm sowie in Berlingen und Stein-Burg ca. 10 cm beträgt,
- nach 1988 nehmen die mittleren jährlichen Wasserstände bei allen drei Pegeln gleichartig um 13 cm bis 14 cm ab.

Während sich die Veränderungen in den partiellen Mittelwerten an den Pegeln Berlingen und Stein-Burg sehr ähnlich verhalten, sind am Pegel Konstanz die jeweiligen Zunahmen um 1909 und 1964 kleiner und die Abnahme um 1941 größer als an den Pegeln Berlingen und Stein-Burg.

Dieselben zeitlichen Tendenzen sind auch in den Beobachtungszeitreihen am Zuflusspegel Diepoldsau/Rhein und am Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein (Abb. 5.5) erkennbar. Bei beiden Pegeln steigt der partielle mittlere jährliche Abfluss MQ nach 1909 zunächst an. Nach 1941 ist auch hier eine Abnahme, nach 1964 eine Zunahme und nach 1988 wiederum eine Abnahme vorhanden. Somit ergeben sich bei den mittleren jährlichen Wasserständen MW(J) und bei den entsprechenden Abflüssen MQ(J) bezogen auf die gleichen Änderungszeitpunkte (Bruchpunkte) tendenziell auch die gleichen Veränderungen.

Die weiteren Bodenseezuflüsse mit kürzeren Reihen (Abb. 5.2, Abb. 5.3 und Tabelle 5.1) zeigen stark fallende Trends beim anthropogen beeinflussten Rheintalbinnenkanal/Altrhein und bei der karstbeeinflussten Radolfzeller Aach, geringfügig steigende Trends bei Argen und Schussen) sowie kein Trend bei der Bregenzerach.

Tabelle 5.1: Langzeitveränderung der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) und Abflüsse MQ(J)

Pegel/Gewässer	Trendbewertung	Trendmaß	Bruchpunkte
Wasserstandspegel			
Konstanz/Bodensee	stark fallend, hochsignifikant	-0,21 cm/a	1909, 1941, 1964, 1988
Berlingen/Bodensee	fallend signifikant	-0.093 cm/a	1909, 1941, 1964, 1988
Stein-Burg/Rhein	fallend signifikant	-0,095 cm/a	1909, 1941, 1964, 1988
Hauptzufluss-/Ausflusspegel			
Diepoldsau/Alpenrhein	gering steigend nicht signifikant	+0,12 m ³ /s/a	1909, 1941, 1964, 1988
Neuhausen/Hochrhein	gering fallend nicht signifikant	-0,10 m ³ /s/a	1909, 1941, 1964, 1988
übrige Zuflusspegel			
St. Margrethen/ Rheintalbinnenkanal	stark fallend hochsignifikant	-0,085 m ³ /s/a	1968
Kennelbach/Bregenzerach	gering fallend nicht signifikant	-0,023 m ³ /s/a	-
Gießen/Argen	gering steigend nicht signifikant	+0,072m ³ /s/a	1964
Gerbertshaus/Schussen	gering steigend nicht signifikant	+0,014 m ³ /s/a	1964
Rielasingen/Radolfzeller Aach	fallend signifikant	-0,026 m ³ /s/a	1970

MW(J) Wasserstandspegel

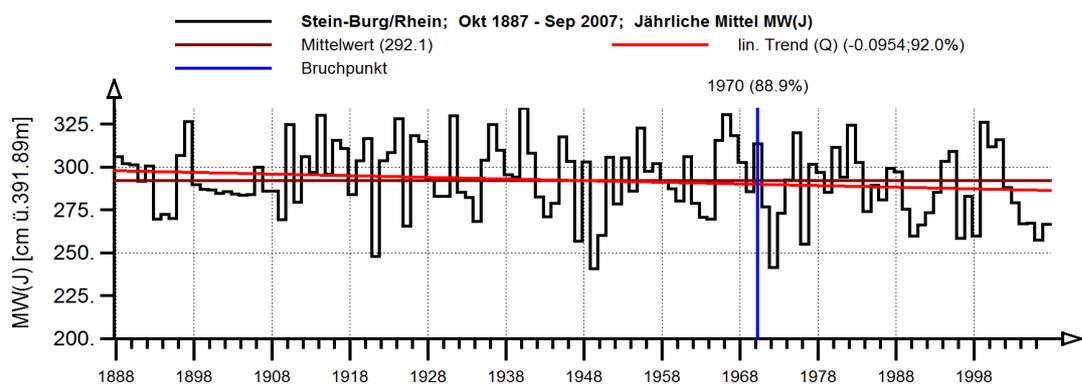
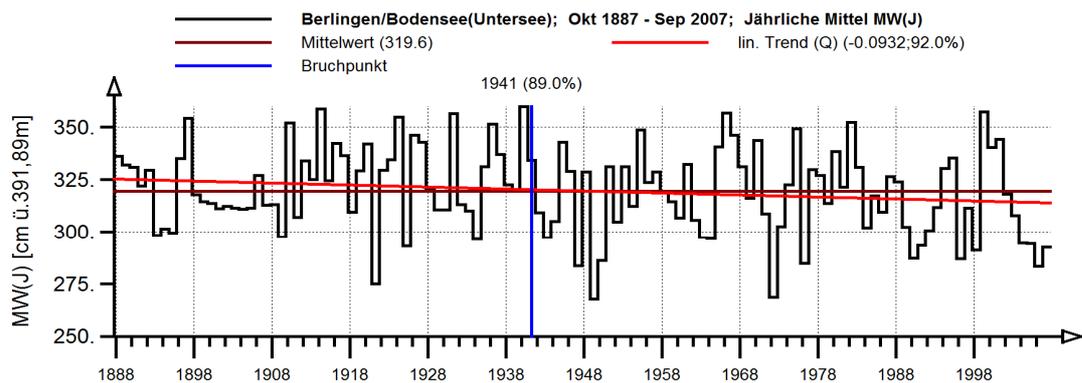
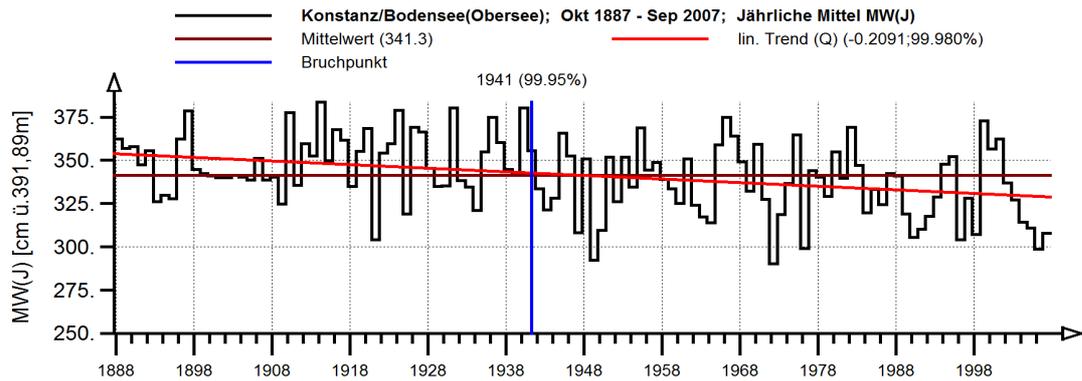
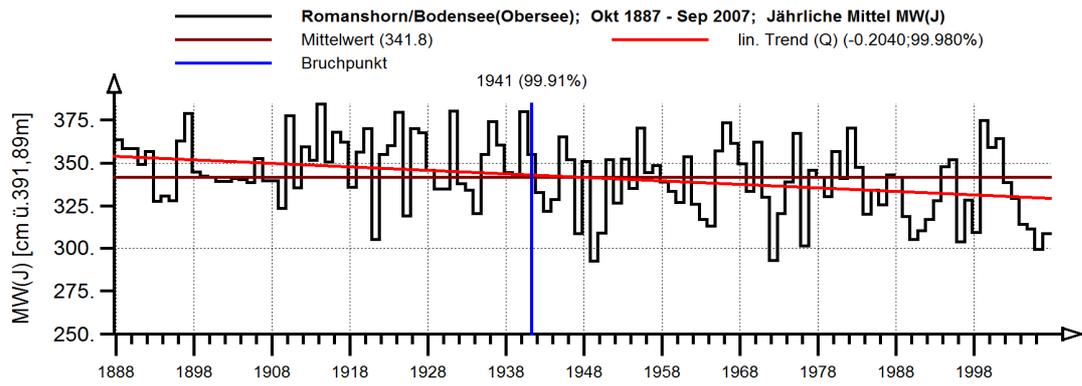


Abb. 5.1: Mittlere jährliche Wasserstände MW(J) an den Bodensee-Pegeln Romanshorn, Konstanz und Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

MQ(J) Pegel mit Abfluss-Erfassung I

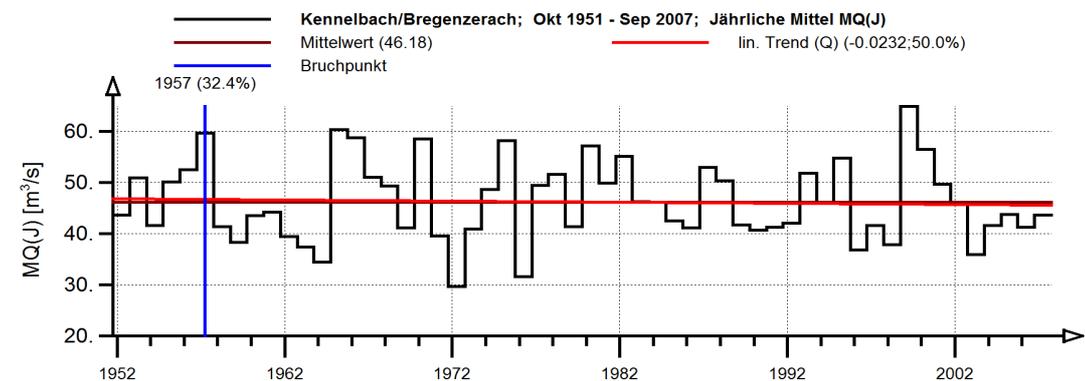
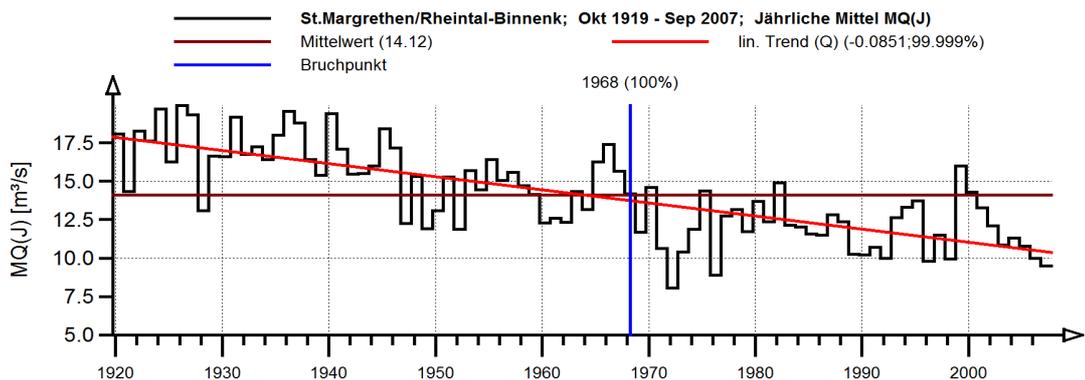
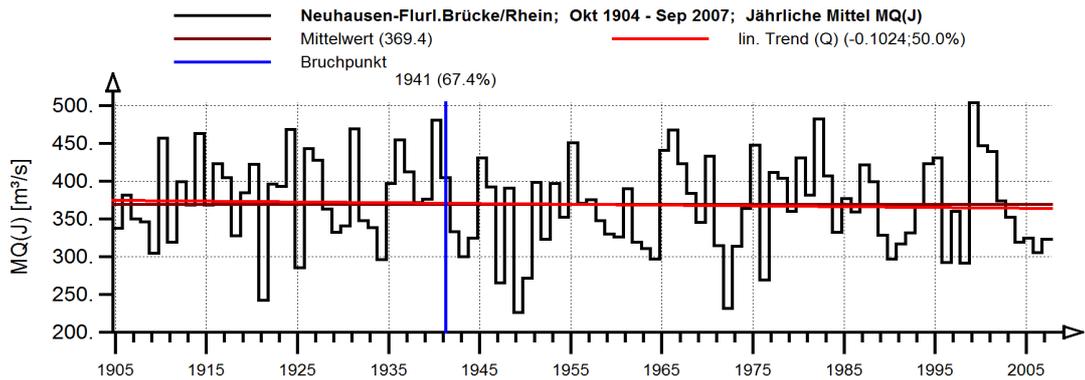
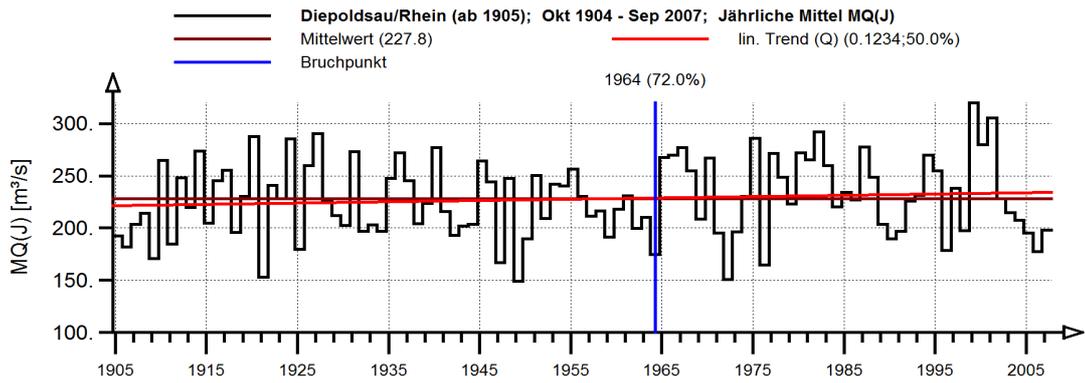


Abb. 5.2: Mittlere jährliche Abflüsse MQ(J) an den Pegeln Diepoldsau/Rhein, Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein, St. Margrethen/Rheintal-Binnenkanal und Kennelbach/Bregenzerrach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

MQ(J) Pegel mit Abfluss-Erfassung II

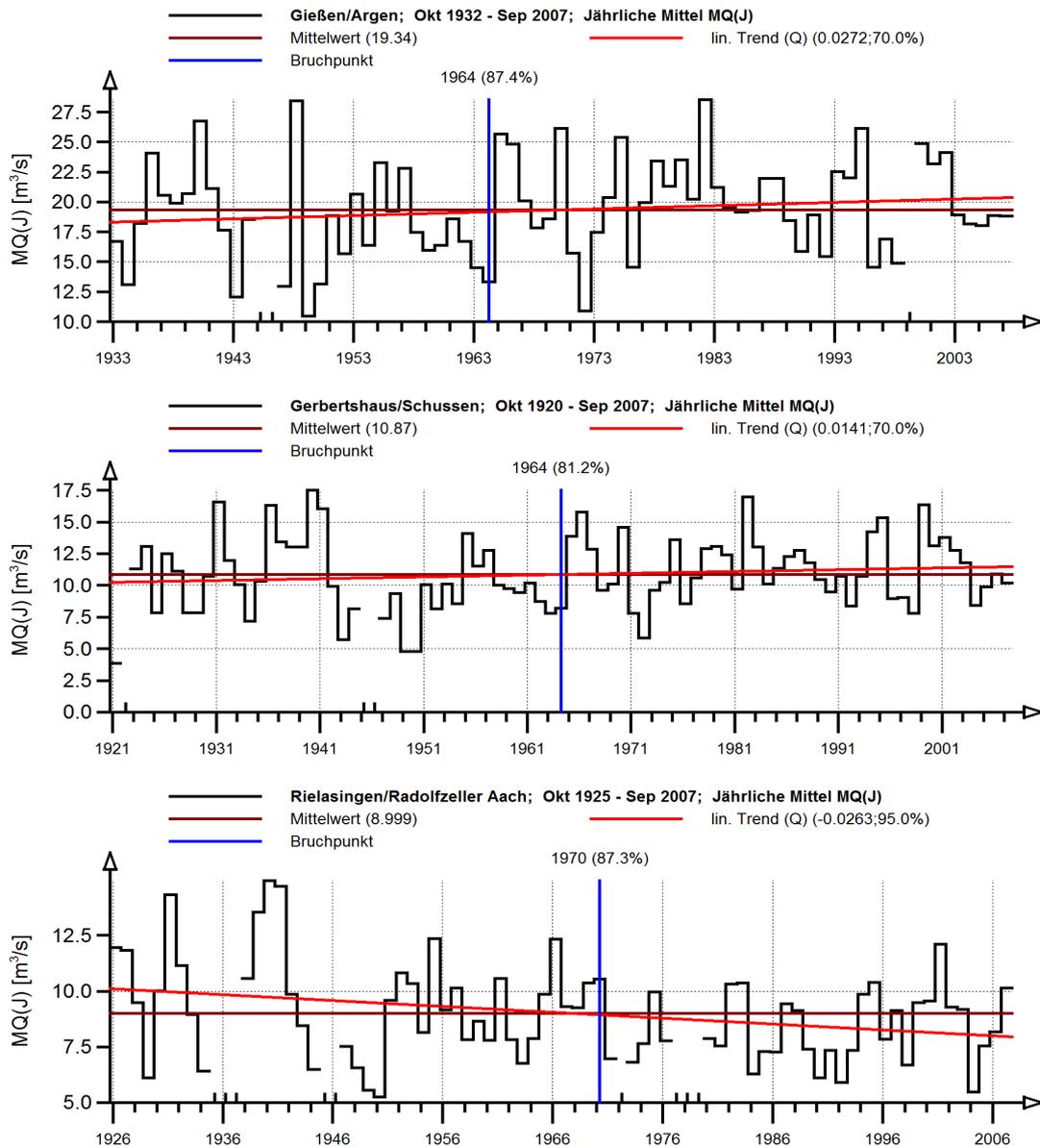


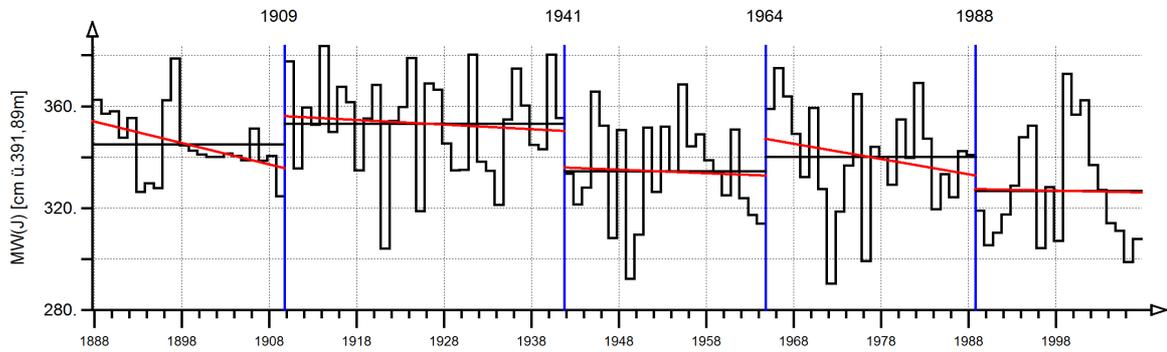
Abb. 5.3: Mittlere jährliche Abflüsse MQ(J) an den Pegeln Gießen/Argen, Gerbertshaus/Schussen, Rielasingen/Radolfzeller Aach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

Trendanalyse

Mess-Stelle: Konstanz/Bodensee(Obersee); Nr: 906
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Mittel MW(J)

Trendtest : Mann-Kendall

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 344.982; A = -0.837 / Jahr; 98.00%
 M = 353.165; A = -0.182 / Jahr
 M = 334.431; A = -0.135 / Jahr; 50.00%
 M = 340.036; A = -0.598 / Jahr; 70.00%
 M = 326.771; A = -0.071 / Jahr

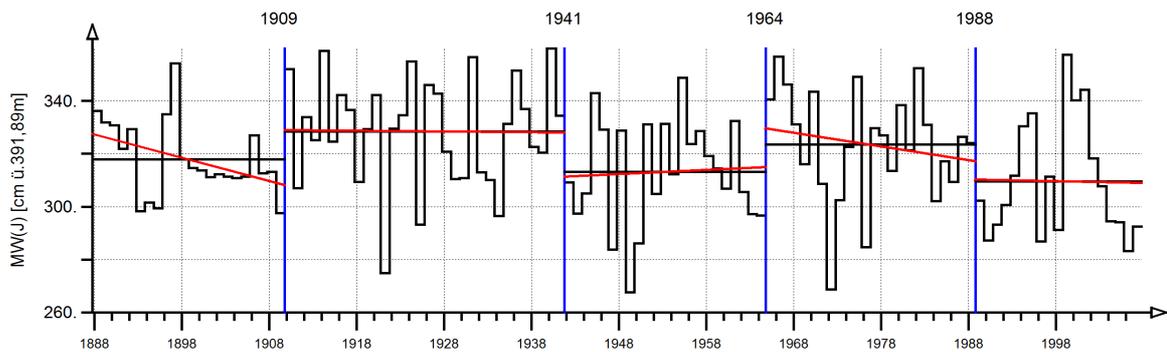


Trendanalyse

Mess-Stelle: Berlingen/Bodensee(Untersee)
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Mittel MW(J)

Trendtest : Mann-Kendall

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 317.821; A = -0.878 / Jahr; 95.00%
 M = 328.494; A = -0.031 / Jahr
 M = 313.143; A = 0.161 / Jahr
 M = 323.453; A = -0.517 / Jahr; 70.00%
 M = 309.586; A = -0.069 / Jahr



Trendanalyse

Mess-Stelle: Stein-Burg/Rhein; Nr: 36229
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Mittel MW(J)

Trendtest : Mann-Kendall

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 289.732; A = -0.730 / Jahr; 97.50%
 M = 301.452; A = -0.020 / Jahr
 M = 286.825; A = 0.126 / Jahr
 M = 295.117; A = -0.488 / Jahr; 60.00%
 M = 281.721; A = -0.089 / Jahr

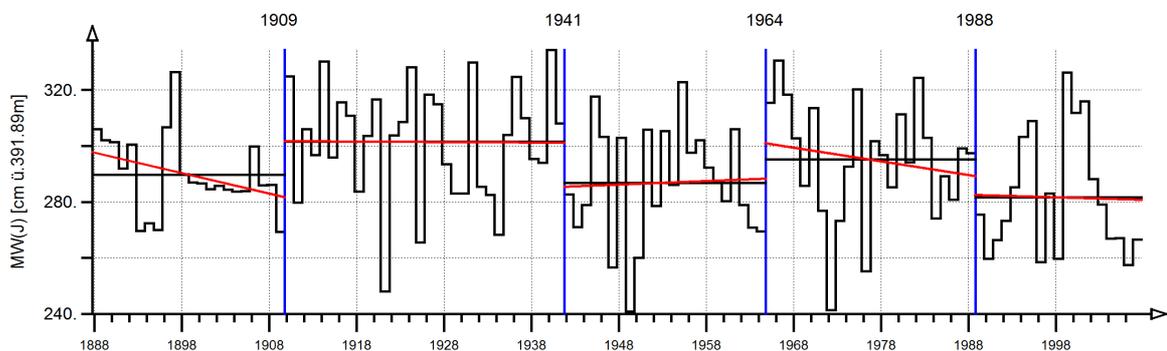


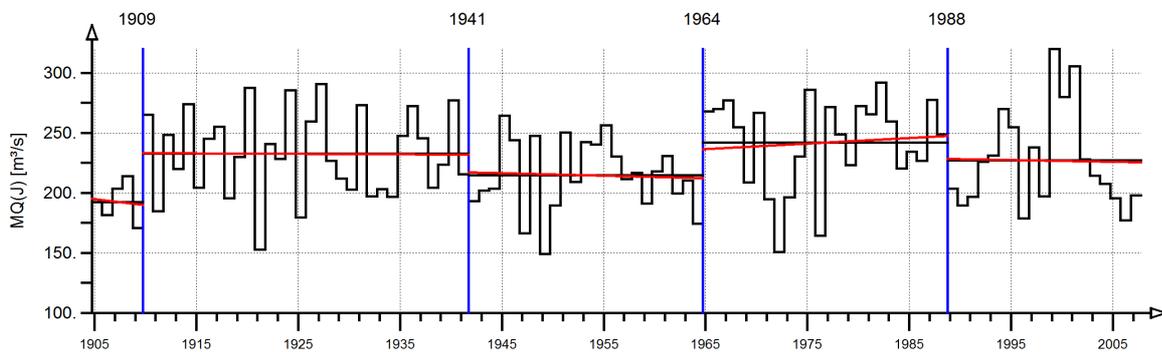
Abb. 5.4: Mittlere jährliche Wasserstände MW(J) an den Bodensee-Pegeln Konstanz, Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1909, 1941, 1964 und 1988

Trendanalyse

Mess-Stelle: Diepoldsau/Rhein (ab 1905)
 Mess-Größe: Abfluss
 Zeitspanne: Okt 1904 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Mittel MQ(J)

Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 192.508; A = -1.022 / Jahr
 M = 232.648; A = -0.041 / Jahr
 M = 214.803; A = -0.197 / Jahr
 M = 241.992; A = 0.470 / Jahr
 M = 226.940; A = -0.154 / Jahr



Trendanalyse

Mess-Stelle: Neuhausen-Flurl.Brücke/Rhein
 Mess-Größe: Abfluss
 Zeitspanne: Okt 1904 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Mittel MQ(J)

Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 343.807; A = -10.170 / Jahr; 60.00%
 M = 386.819; A = 0.248 / Jahr
 M = 344.539; A = 0.074 / Jahr
 M = 383.319; A = 0.105 / Jahr
 M = 359.196; A = 0.375 / Jahr

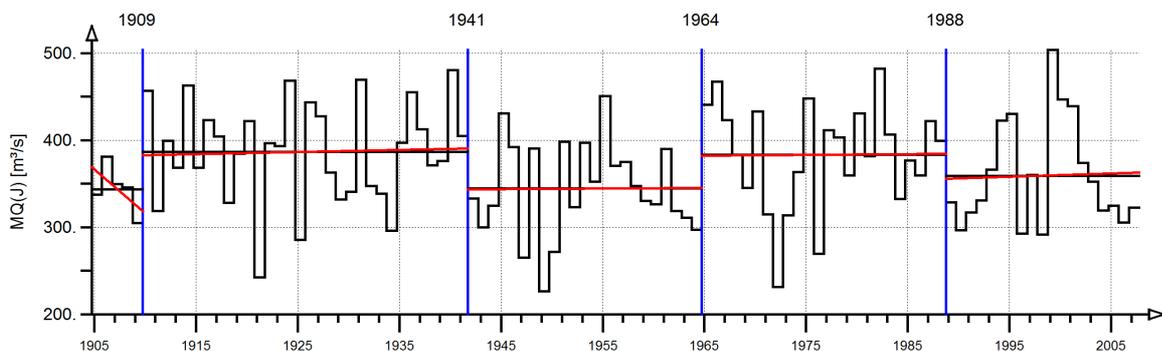


Abb. 5.5: Mittlere jährliche Abflüsse MQ(J) an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1909, 1941, 1964 und 1988

5.2 MITTLERE WASSERSTÄNDE UND ABFLÜSSE IM WINTERHALBJAHR

In den Abb. 5.6 bis Abb. 5.8 sind die mittleren Wasserstände MW(WiHj) und die mittleren Abflüsse MQ(WiHj) des Winterhalbjahres der einbezogenen Pegel über die jeweiligen Beobachtungszeitspannen dargestellt. In diese Graphiken sind zusätzlich eingetragen der langjährige Mittelwert MW bzw. MQ, der lineare Trend über die gesamte Zeitreihe und der Bruchpunkt. Für die Zeitreihen der Wasserstandspegel Konstanz und Berlingen am Bodensee sowie dem Pegel Stein-Burg am Hochrhein ergibt sich folgendes Langzeitverhalten (Tabelle 5.2):

Die mittleren Wasserstände MW(WiHj) des Winterhalbjahres (Abb. 5.6) weisen am Pegel Konstanz/Bodensee einen fallenden Trend von $-0,10$ cm/Jahr auf, der auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 92\%$ signifikant ist. An den Pegeln Berlingen und Stein-Burg sind dagegen steigende Trends vorhanden, die auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 80\%$ schwach signifikant sind und ein Steigungsmaß von $+0,08$ cm/Jahr bzw. $+0,09$ cm/Jahr aufweisen. Während am Pegel Konstanz ein Bruchpunkt im Jahr 1946 ausgewiesen ist, zeigen die beiden Pegel Berlingen und Stein-Burg jeweils einen Bruchpunkt im Jahr 1909.

Der Pegel Diepoldsau am Alpenrhein (Hauptzufluss) und der Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke am Hochrhein (Ausfluss des Bodensees) zeigen bei den mittleren Abflüssen MQ(WiHj) des Winterhalbjahres (Abb. 5.7) beide steigende Tendenzen. Am Pegel Diepoldsau ergibt sich bei einem Steigungsmaß von $+0,63 \text{ m}^3/\text{s}/\text{Jahr}$ ein hochsignifikanter Trend auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 99,999\%$. Der Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke zeigt auf dem Signifikanzniveau von $\alpha = 92\%$ einen signifikanten Trend mit Steigungsmaß $+0,43 \text{ m}^3/\text{s}/\text{Jahr}$. Der Bruchpunkt liegt am Pegel Diepoldsau im Jahr 1960 und am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke im Jahr 1973.

Nach weitergehender Verifikation der Bruchpunkte über die Summenlinienanalyse lassen sich bei den mittleren Wasserstands-Zeitreihen des Winterhalbjahres insgesamt folgende Bruchpunkte feststellen: Während am Pegel Konstanz/Bodensee in den Jahren 1909 und 1941 eine Veränderung im Langzeitverhalten (Bruchpunkt) vorhanden ist, zeigen die beiden Pegel Berlingen/Bodensee und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein nur im Jahr 1909 eine Veränderung. Beim Zuflusspegel Diepoldsau/Rhein zeigen sich Veränderungen in den Jahren 1909, 1960 und 1975. Am Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein tritt im Jahr 1960 keine Veränderung auf, so dass hier die Jahre 1909 und 1975 als Bruchpunkte vorliegen. In Abb. 5.9 und Abb. 5.10 sind die Änderungen der partiellen Mittelwerte der verschiedenen Teilzeitreihen, die sich über die erkannten Bruchpunkte ergeben, dargestellt.

Für die Wasserstands- und Abflusspegel ergeben sich folgende Veränderungen im Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(WiHj) und der mittleren Abflüsse MQ(WiHj) des Winterhalbjahres, die sich aus den partiellen Mittelwerten der Teilzeitreihen ableiten lassen:

- Nach 1909 steigen die mittleren Wasserstände des Winterhalbjahres an den Pegeln Konstanz,

Berlingen und Stein-Burg (Abb. 5.9) zunächst um 13 cm bis 15 cm an.

- Während die Wasserstände am Pegel Konstanz nach 1941 um fast 15 cm abnehmen, zeigen die Wasserstände an den beiden Pegeln Berlingen und Stein-Burg jeweils nach 1909 keine Veränderungen.
- Nach dem jeweils letzten Bruchpunkt zeigen die entsprechenden Teilzeitreihen der 3 Wasserstandspegel einen trendfreien (stationären) Verlauf der mittleren Wasserstände.
- Der Zuflusspegel Diepoldsau/Rhein (Abb. 5.10) steigt nach jedem erkannten Bruchpunkt kontinuierlich an. Nach 1909 ergibt sich in den partiellen Mittelwerten zunächst eine deutliche Abflusszunahme um ca. $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Nach 1960 steigt der partielle Mittelwert zunächst um knapp $21 \text{ m}^3/\text{s}$ und nach 1975 um weitere knapp $18 \text{ m}^3/\text{s}$ an. Zwischen den einzelnen Bruchpunkten sind trendfreie Zeitabschnitte vorhanden.
- Auch am Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein (Abb. 5.10) ergeben sich kontinuierliche Zunahmen in den mittleren Abflüssen des Winterhalbjahres. An diesem Pegel steigt der Abfluss zunächst nach 1909 um ca. $58 \text{ m}^3/\text{s}$ und zusätzlich nach 1975 um weitere ca. $26 \text{ m}^3/\text{s}$ an. Im Jahr 1960 ist keine Veränderung erkennbar. Auch an diesem Pegel ergeben sich nach den Bruchpunkten 1909 und 1975 jeweils trendfreie Zeitabschnitte.

Die weiteren Bodenseezuflüsse mit kürzeren Reihen (Abb. 5.7, Abb. 5.8 und Tabelle 5.2) an Brengenerach, Argen und Schussen, weisen in ihren mittleren Abflüssen MQ(WiHj) des Winterhalbjahres teilweise signifikant steigende Trends auf. Der Rheintalinnenkanal und die Radolfzeller Aach weisen jeweils signifikant bzw. nichtsignifikant fallende Trends auf.

Tabelle 5.2: Langzeitveränderung der mittleren Wasserstände MW(WiHj) und Abflüsse MQ(WiHj) im Winterhalbjahr

Pegel/Gewässer	Trendbewertung	Trendmaß	Bruchpunkte
Wasserstandspegel			
Konstanz/Bodensee	fallend signifikant	-0,095 cm/a	1909, 1941
Berlingen/Bodensee	schwach steigend schwach signifikant	+0,078 cm/a	1909
Stein-Burg/Rhein	schwach steigend schwach signifikant	+0,087 cm/a	1909
Hauptzufluss-/Ausflusspegel			
Diepoldsau/Alpenrhein	stark steigend hochsignifikant	+0,63 m³/s/a	1909, 1960, 1975
Neuhausen/Hochrhein	steigend signifikant	+0,43 m³/s/a	1909, 1975
übrige Zuflusspegel			
St. Margrethen/ Rheintalinnenkanal	stark fallend hochsignifikant	-0,075 m³/s/a	1959
Kennelbach/Bregenzerach	schwach steigend schwach signifikant	+0,11 m³/s/a	1973
Gießen/Argen	steigend signifikant	+0,055 m³/s/a	1973
Gerbertshaus/Schussen	steigend signifikant	+0,027 m³/s/a	1973
Rielasingen/Radolfzeller Aach	gering fallend nicht signifikant	-0,019 m³/s/a	1959

MW(WiHj) Wasserstandspegel

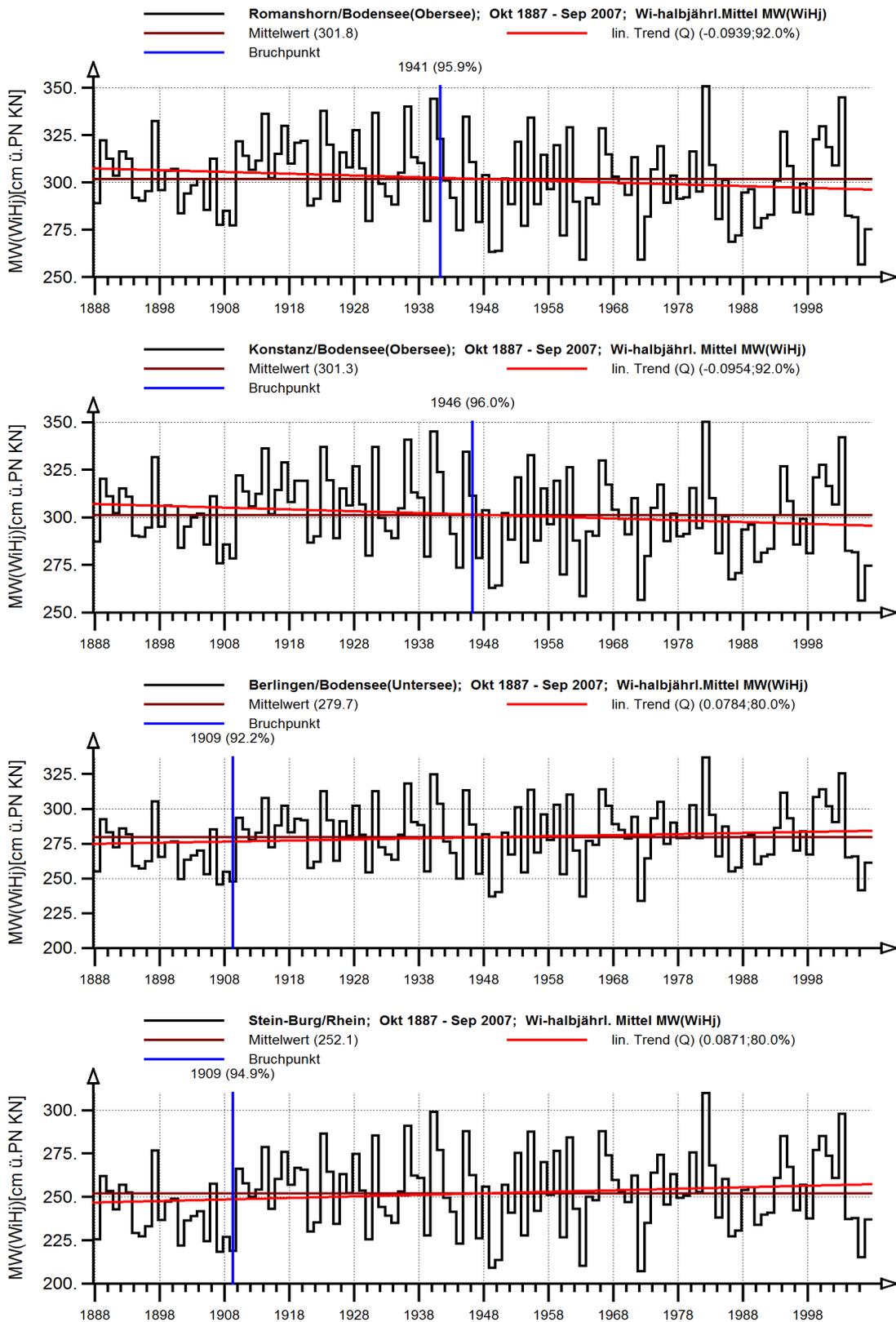


Abb. 5.6: Mittlere Wasserstände MW(WiHj) im Winterhalbjahr an den Bodensee-Pegeln Romanshorn, Konstanz und Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

MQ(WiHj) Pegel mit Abfluss-Erfassung I

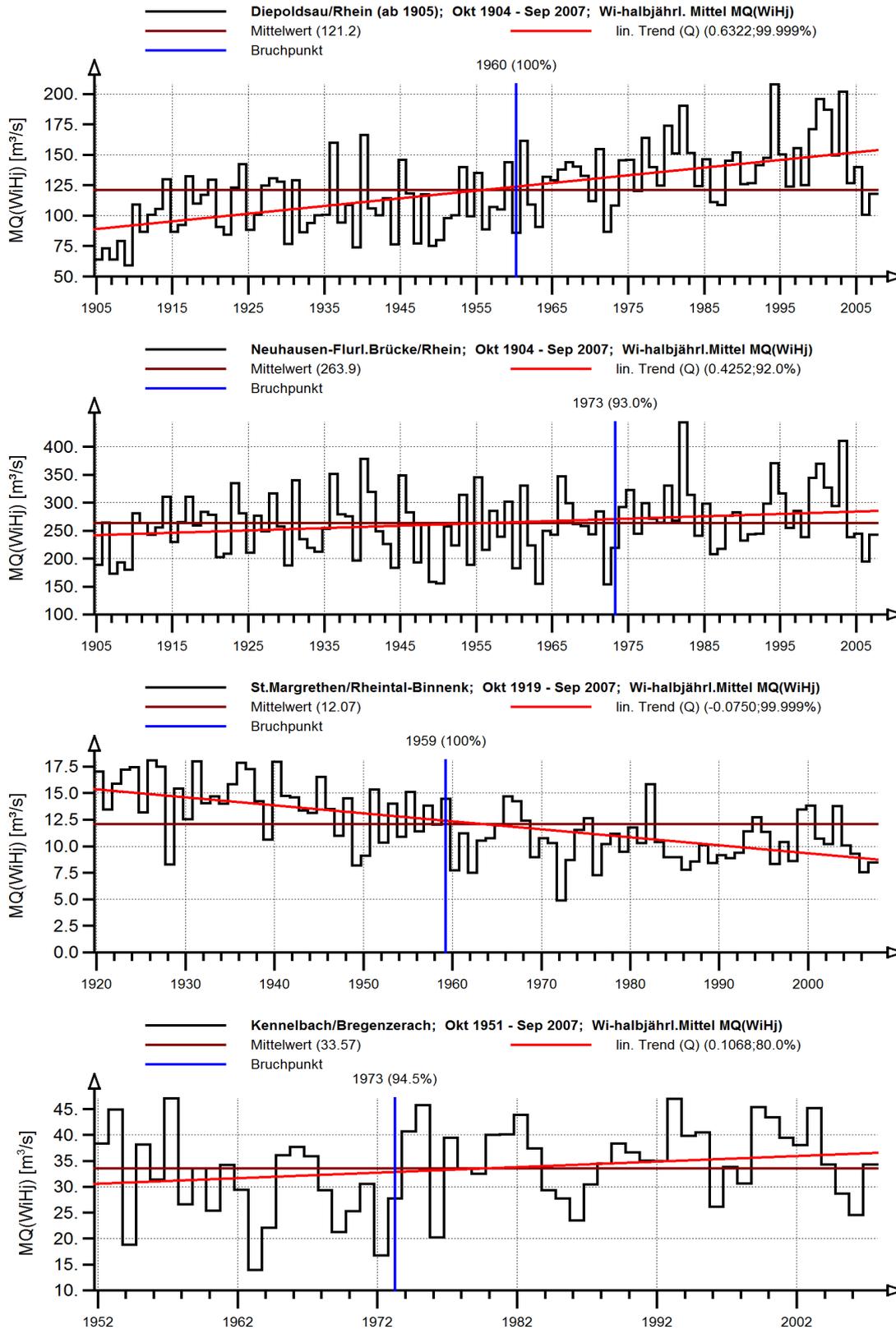


Abb. 5.7: Mittlere Abflüsse MQ(WiHj) im Winterhalbjahr an den Pegeln Diepoldsau/ Rhein, Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein, St. Margrethen/Rheintal-Binnenkanal, Kennelbach/Bregenzerach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

MQ(WiHj) Pegel mit Abfluss-Erfassung II

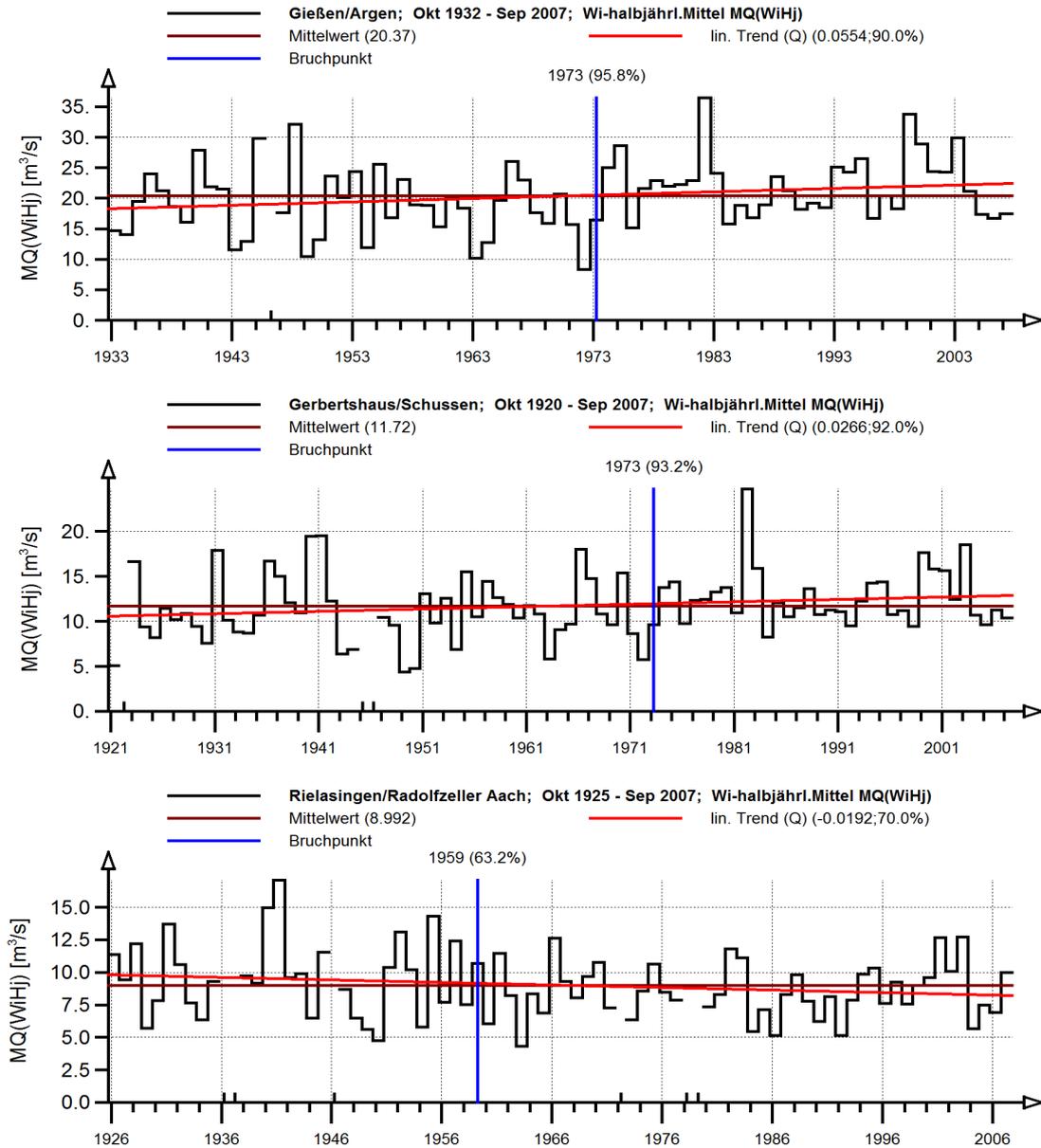


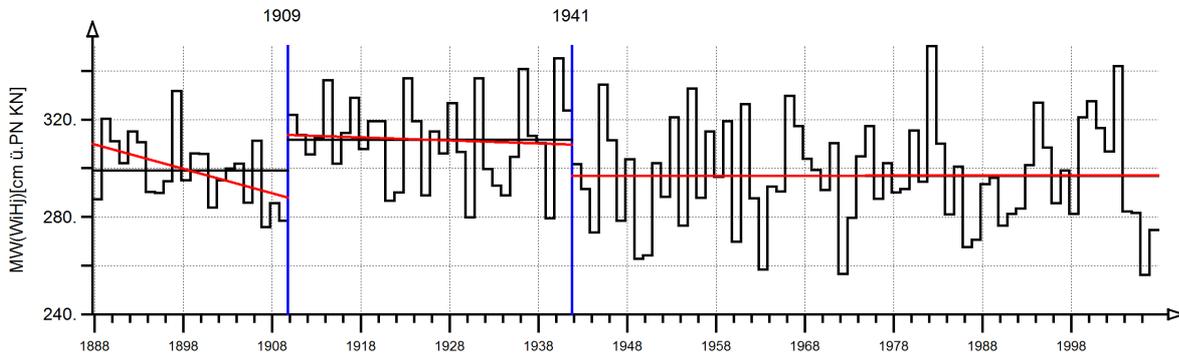
Abb. 5.8: Mittlere Abflüsse MQ(WiHj) im Winterhalbjahr an den Pegeln Gießen/Argen, Gerbertshaus/Schussen, Rielasingen/Radolfzeller Aach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

Trendanalyse

Mess-Stelle: Konstanz/Bodensee(Obersee); Nr: 906
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Wi-halbjährl. Mittel MW(WiHj)

Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 299.012; A = -1.006 / Jahr; 95.00%
 M = 311.701; A = -0.123 / Jahr
 M = 296.968; A = 0.002 / Jahr

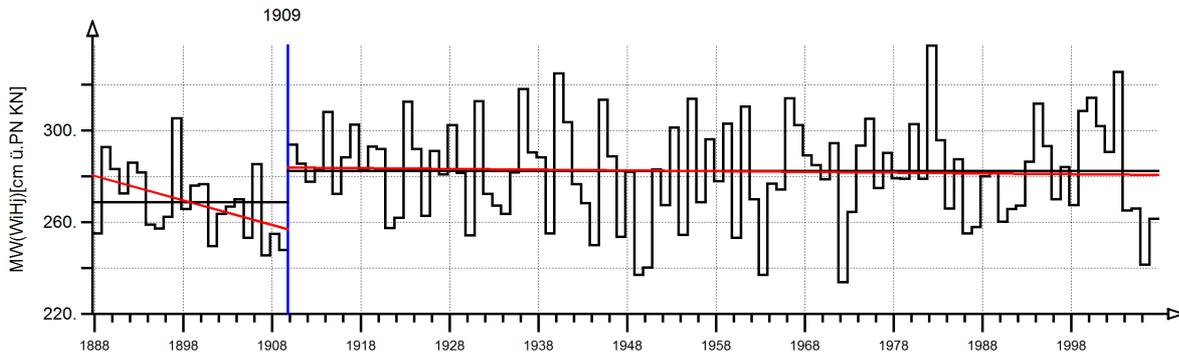


Trendanalyse

Mess-Stelle: Berlingen/Bodensee(Untersee)
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Wi-halbjährl.Mittel MW(WiHj)

Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 268.602; A = -1.071 / Jahr; 95.00%
 M = 282.191; A = -0.031 / Jahr



Trendanalyse

Mess-Stelle: Stein-Burg/Rhein; Nr: 36229
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Wi-halbjährl. Mittel MW(WiHj)

Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 239.952; A = -0.962 / Jahr; 92.00%
 M = 254.779; A = -0.033 / Jahr

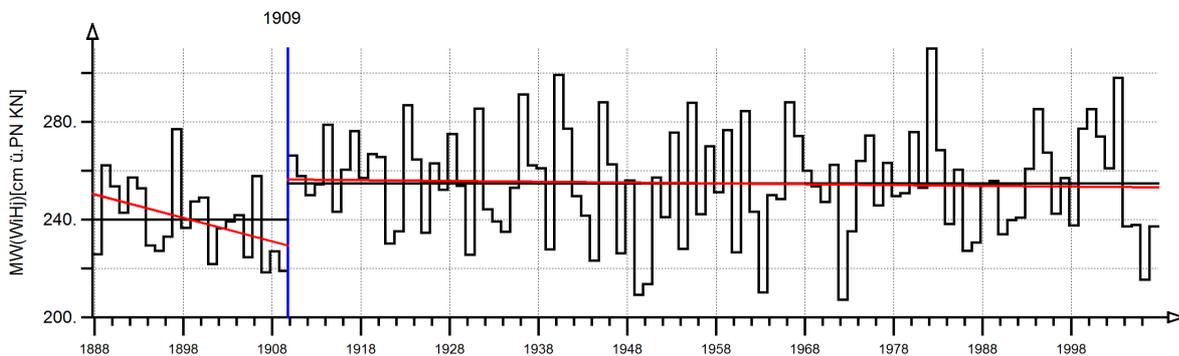


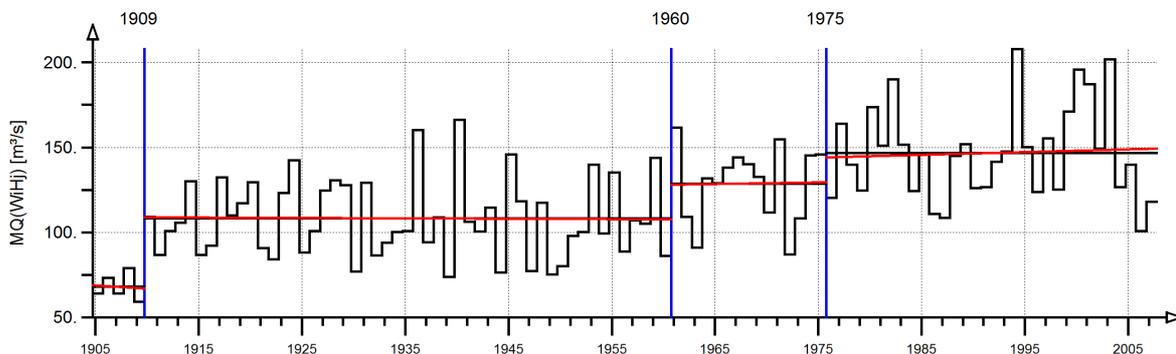
Abb. 5.9: Mittlere Wasserstände MW(WiHj) im Winterhalbjahr an den Bodensee-Pegeln Konstanz, Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf verschiedene Bruchpunkte

Trendanalyse

Mess-Stelle: Diepoldsau/Rhein (ab 1905)
 Mess-Größe: Abfluss
 Zeitspanne: Okt 1904 - Sep 2007
 Datenart: Wi-halbjährl. Mittel MQ(WiHj)

Trendtest : Mann-Kendall

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 67.936; A = -0.417 / Jahr
 M = 108.230; A = -0.021 / Jahr
 M = 128.685; A = 0.094 / Jahr
 M = 146.764; A = 0.164 / Jahr



Trendanalyse

Mess-Stelle: Neuhausen-Flurl.Brücke/Rhein
 Mess-Größe: Abfluss
 Zeitspanne: Okt 1904 - Sep 2007
 Datenart: Wi-halbjährl. Mittel MQ(WiHj)

Trendtest : Mann-Kendall

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 200.101; A = -8.828 / Jahr
 M = 258.604; A = -0.210 / Jahr
 M = 284.793; A = -0.094 / Jahr

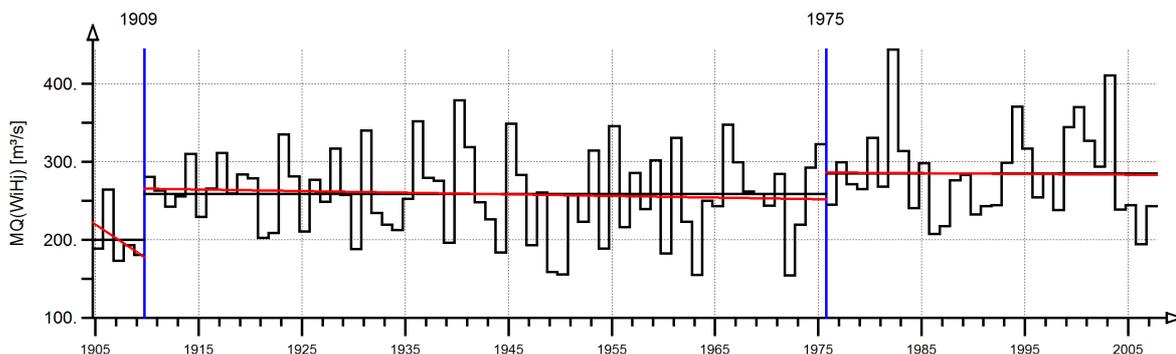


Abb. 5.10: Mittlere Abflüsse MQ(WiHj) im Winterhalbjahr an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf verschiedene Bruchpunkte

5.3 MITTLERE WASSERSTÄNDE UND ABFLÜSSE IM SOMMERHALBJAHR

In den Abb. 5.11 bis Abb. 5.13 sind die mittleren Wasserstände MW(SoHj) und die mittleren Abflüsse MQ(SoHj) des Sommerhalbjahres der einbezogenen Pegel über die jeweiligen Beobachtungszeitspannen dargestellt. In diese Graphiken sind zusätzlich eingetragen der langjährige Mittelwert MW bzw. MQ, der lineare Trend über die gesamte Zeitreihe und der Bruchpunkt. Für die Zeitreihen der Wasserstandspegel Konstanz und Berlingen am Bodensee sowie dem Pegel Stein-Burg am Hochrhein ergibt sich folgendes Langzeitverhalten (Tabelle 5.3):

Die mittleren Wasserstände MW(SoHj) des Sommerhalbjahres (Abb. 5.11) weisen am Pegel Kon-

stanz/Bodensee einen stark fallenden Trend von $-0,32 \text{ cm/Jahr}$ auf, der auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 99,99\%$ hochsignifikant ist. Auch an den Pegeln Berlingen und Stein-Burg ist ein stark fallender Trend vorhanden, der auf dem Signifikanzniveau von jeweils $\alpha = 99,95\%$ ebenfalls hochsignifikant ist mit ungefähr gleichartigem Steigungsmaß von $-0,26 \text{ cm/Jahr}$ bzw. $-0,28 \text{ cm/Jahr}$. Während an den beiden Pegeln Konstanz und Berlingen ein Bruchpunkt im Jahr 1941 ausgewiesen wird, zeigt der Pegel Stein-Burg einen Bruchpunkt erst im Jahr 1970.

Der Pegel Diepoldsau am Alpenrhein (Hauptzufluss) und der Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke am Hochrhein (Ausfluss des Bodensees) zeigen bei den mittleren Abflüssen MQ(SoHj) des Sommer-

halbjahres (Abb. 5.12) beide fallende Trends, die auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 95\%$ bzw. $\alpha = 97,5\%$ als signifikant zu beurteilen sind. Das Steigungsmaß beträgt am Pegel Diepoldsau $-0,39 \text{ m}^3/\text{s}/\text{Jahr}$ und vergrößert sich am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke auf $-0,63 \text{ m}^3/\text{s}/\text{Jahr}$. Der Bruchpunkt liegt am Pegel Diepoldsau im Jahr 1988 und am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke im Jahr 1941.

Nach Verifikation der Bruchpunkte über die Summenlinien-Analyse lassen sich bei den mittleren Wasserstands-Zeitreihen und auch bei den mittleren Abflusszeitreihen des Sommerhalbjahres zwei gemeinsame Bruchpunkte in den Jahren 1941 und 1988 feststellen. In Abb. 5.14 und Abb. 5.15 sind die Änderungen der partiellen Mittelwerte der verschiedenen Teilzeitreihen, die sich über die erkannten Bruchpunkte ergeben, dargestellt.

An den Wasserstands- und Abflusspegeln ergeben sich folgende Veränderungen im Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände $MW(\text{SoHj})$ und der mittleren Abflüsse $MQ(\text{SoHj})$ des Sommerhalbjahres, die sich aus den partiellen Mittelwerten der Teilzeitreihen ableiten lassen:

- Nach 1941 und auch 1988 nehmen bei den drei Wasserstandspegeln die mittleren Wasserstände des Sommerhalbjahres jeweils ab. Am Pegel Konstanz/Bodensee ergibt sich nach 1941 eine Abnahme um ca. 15 cm und nach 1988 um weitere ca. 21 cm. An den Pegeln Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein betragen die Abnahmen nach 1941 jeweils ca. 12 cm und

nach 1988, ähnlich wie am Pegel Konstanz/Bodensee, weitere 20 bis 21 cm (Abb. 5.14).

- Die mittleren Wasserstände der 3 Wasserstandspegel weisen im Sommerhalbjahr in den entsprechenden Teilzeitreihen einen nahezu trendfreien (stationären) Verlauf auf.
- Der Hauptzuflusspegel Diepoldsau/Rhein (Abb. 5.15) und auch der Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein bestätigen die Tendenz der Wasserstands-Zeitreihen. Sowohl der Alpenrhein (Hauptzufluss) als auch der Hochrhein (Ausfluss) zeigen an den Bruchpunkten jeweils deutliche Abnahmen bei den partiellen Mittelwerten. Am Pegel Diepoldsau/Rhein nimmt der Abfluss im Jahr 1941 zunächst um ca. $16 \text{ m}^3/\text{s}$ und im Jahr 1988 um weitere $30 \text{ m}^3/\text{s}$ ab. Am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein ergibt sich im Jahr 1941 eine Abnahme um ca. $34 \text{ m}^3/\text{s}$ und im Jahr 1988 um weitere ca. $37 \text{ m}^3/\text{s}$. Zwischen den beiden Bruchpunkten ist eine geringe (nichtsignifikante) Zunahme der Abflüsse erkennbar.

Die weiteren Bodenseezuflüsse mit kürzeren Zeitreihen (Abb. 5.12 und Abb. 5.13) an Rheintalinnenkanal, Bregenzerach und Radolfzeller Aach zeigen über die gesamte Beobachtungszeitreihe ebenfalls fallende Veränderungen, die teilweise hohe Trendsignifikanzen aufweisen. Die Zeitreihen der Pegel an Argen und Schussen haben dagegen bei den mittleren Abflüssen $MQ(\text{SoHj})$ des Sommerhalbjahres sehr stabile Mittelwerte und zeigen keine Trends.

Tabelle 5.3: Langzeitveränderung der mittleren Wasserstände MW(SoHj) und Abflüsse MQ(SoHj) im Sommerhalbjahr

Pegel/Gewässer	Trendbewertung	Trendmaß	Bruchpunkte
Wasserstandspegel			
Konstanz/Bodensee	stark fallend, hochsignifikant	-0,32 cm/a	1941, 1988
Berlingen/Bodensee	stark fallend hochsignifikant	-0.26 cm/a	1941, 1988
Stein-Burg/Rhein	stark fallend hochsignifikant	-0,28 cm/a	1941, 1988
Hauptzufluss-/Ausflusspegel			
Diepoldsau/Alpenrhein	fallend signifikant	-0,39 m ³ /s/a	1941, 1988
Neuhausen/Hochrhein	fallend signifikant	-0,63 m ³ /s/a	1941, 1988
übrige Zuflusspegel			
St. Margrethen/ Rheintalbinnenkanal	stark fallend hochsignifikant	-0,095 m ³ /s/a	1970
Kennelbach/Bregenzerach	schwach fallend schwach signifikant	-0.15 m ³ /s/a	1968
Gießen/Argen	gering steigend nicht signifikant	+0,001 m ³ /s/a	-
Gerbertshaus/Schussen	gering steigend nicht signifikant	0,0002 m ³ /s/a	1941
Rielasingen/Radolfzeller Aach	fallend signifikant	-0,036m ³ /s/a	1970

MW(SoHj) Wasserstandspegel

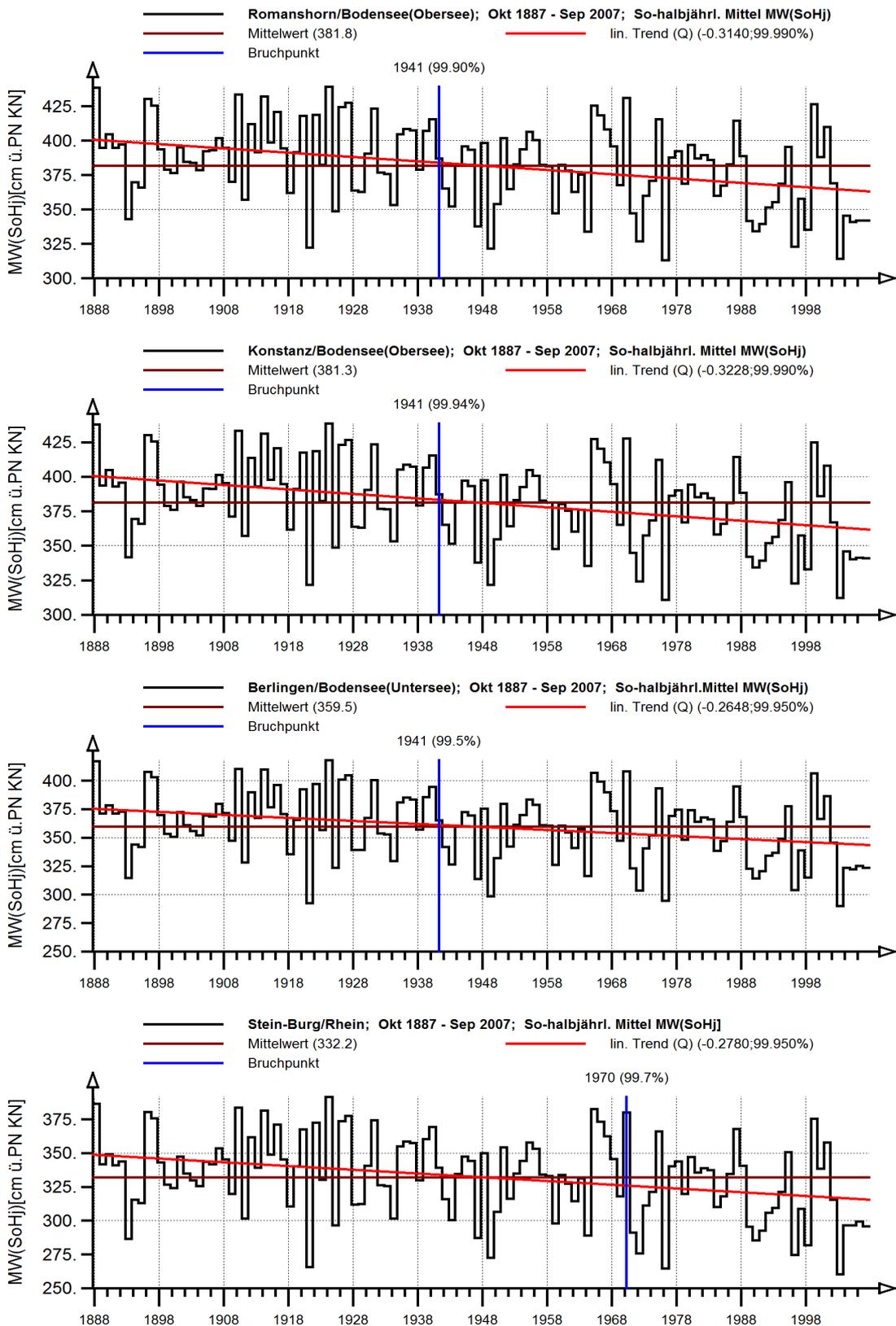


Abb. 5.11: Mittlere Wasserstände MW(SoHj) im Sommerhalbjahr an den Bodensee-Pegeln Romanshorn, Konstanz und Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

MQ(SoHj) Pegel mit Abfluss-Erfassung I

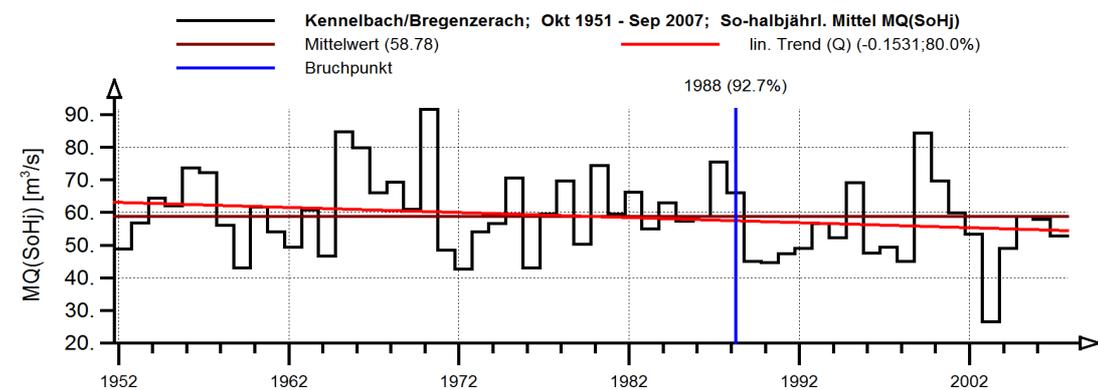
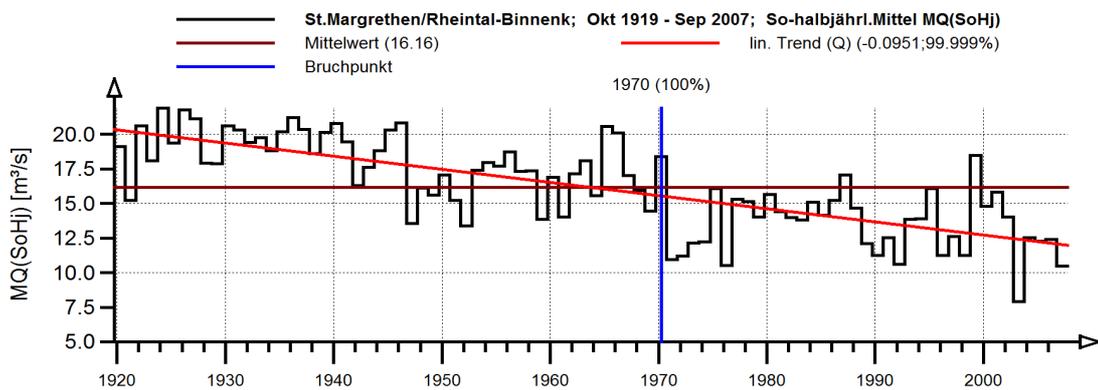
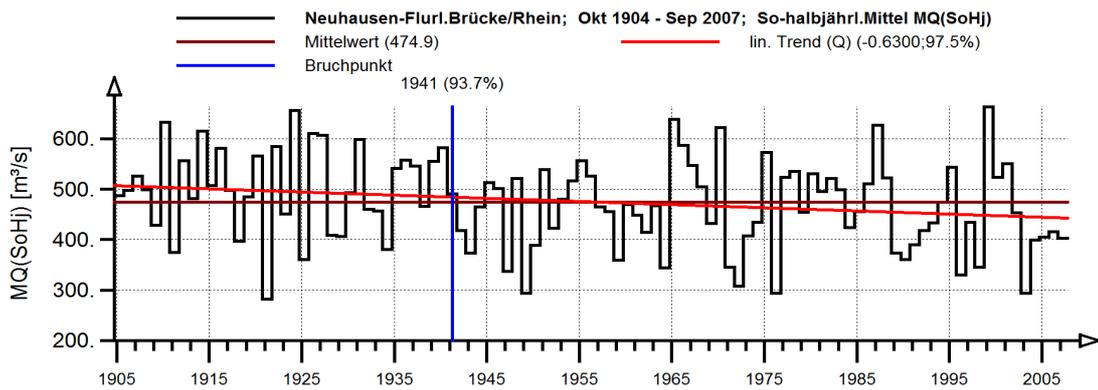
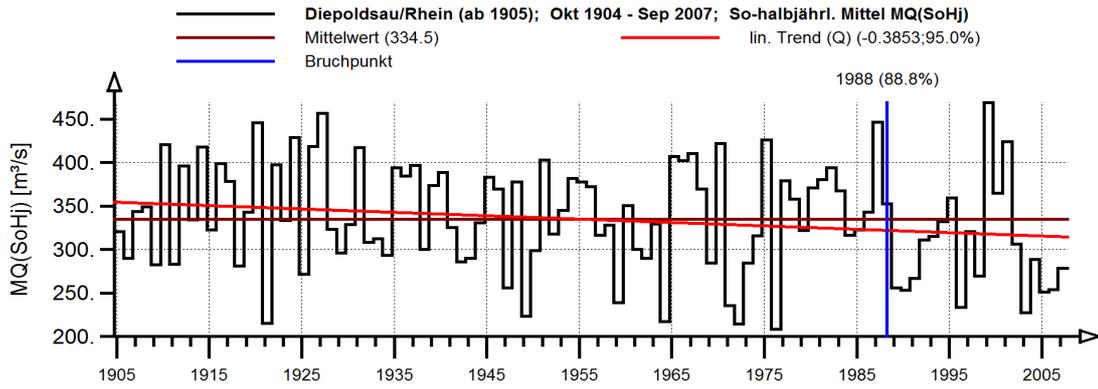


Abb. 5.12: Mittlere Abflüsse MQ(SoHj) im Sommerhalbjahr an den Pegeln Diepoldsau/ Rhein, Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein, St. Margrethen/Rheintal-Binnenkanal, Kennelbach/Bregenzerach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

MQ(SoHj) Pegel mit Abfluss-Erfassung II

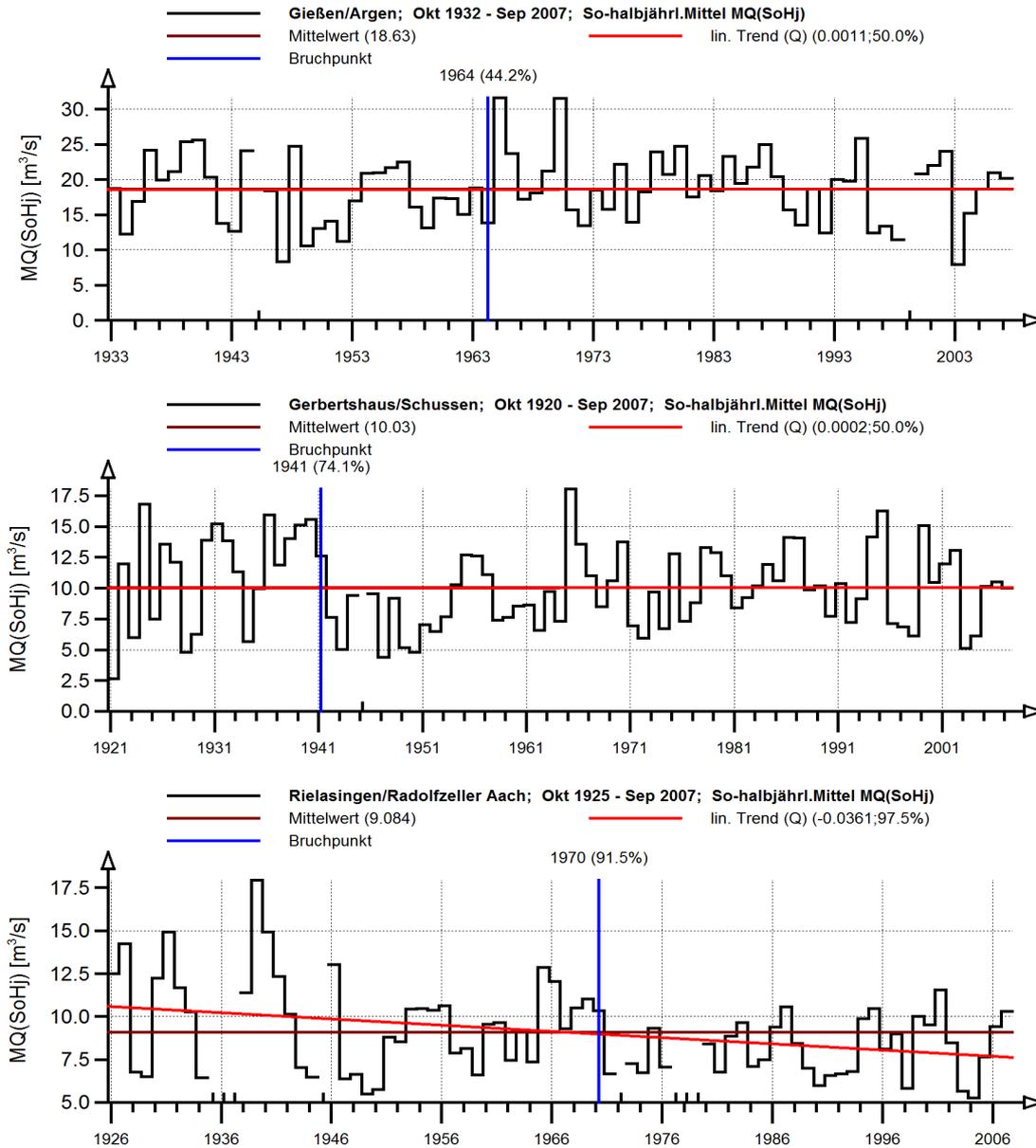


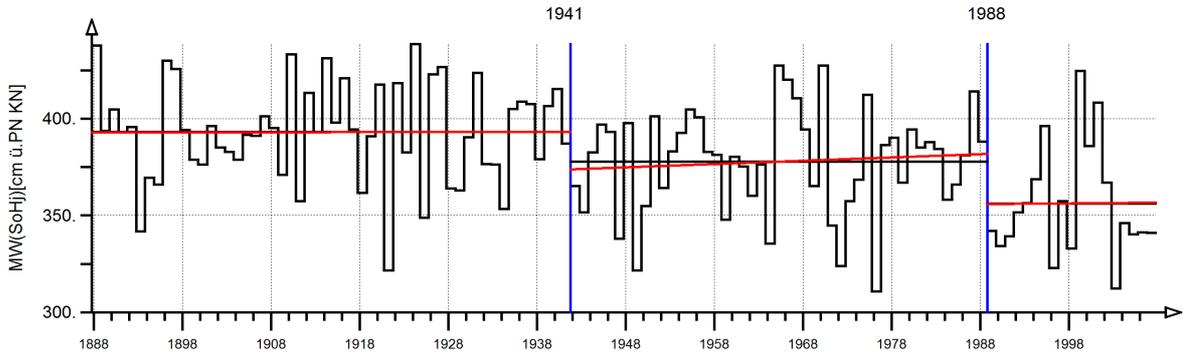
Abb. 5.13: Mittlere Abflüsse MQ(SoHj) im Sommerhalbjahr an den Pegeln Gießen/Argen, Gerbertshaus/Schussen, Rielasingen/Radolfzeller Aach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

Trendanalyse

Mess-Stelle: Konstanz/Bodensee(Obersee); Nr: 906
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: So-halbjährl. Mittel MW(SoHj)

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 393.130; A = 0.003 / Jahr
 M = 377.749; A = 0.172 / Jahr
 M = 356.250; A = 0.043 / Jahr

Trendtest : Mann-Kendall

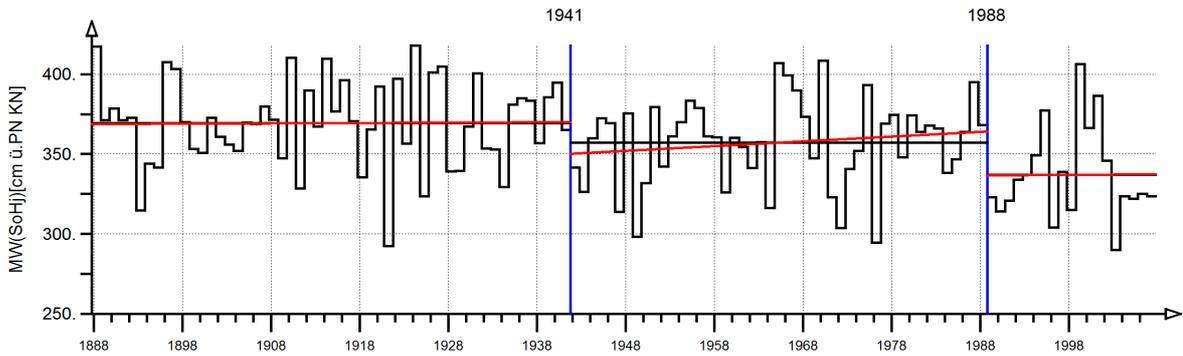


Trendanalyse

Mess-Stelle: Berlingen/Bodensee(Untersee)
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: So-halbjährl. Mittel MW(SoHj)

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 369.361; A = 0.026 / Jahr
 M = 357.241; A = 0.296 / Jahr; 50.00%
 M = 336.977; A = 0.022 / Jahr

Trendtest : Mann-Kendall



Trendanalyse

Mess-Stelle: Stein-Burg/Rhein; Nr: 36229
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: So-halbjährl. Mittel MW(SoHj)

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 342.418; A = 0.068 / Jahr
 M = 329.909; A = 0.210 / Jahr
 M = 308.553; A = 0.067 / Jahr

Trendtest : Mann-Kendall

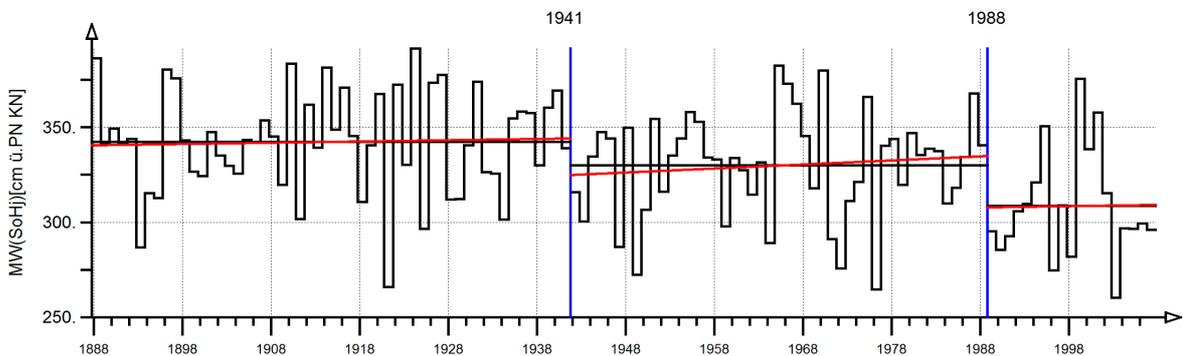


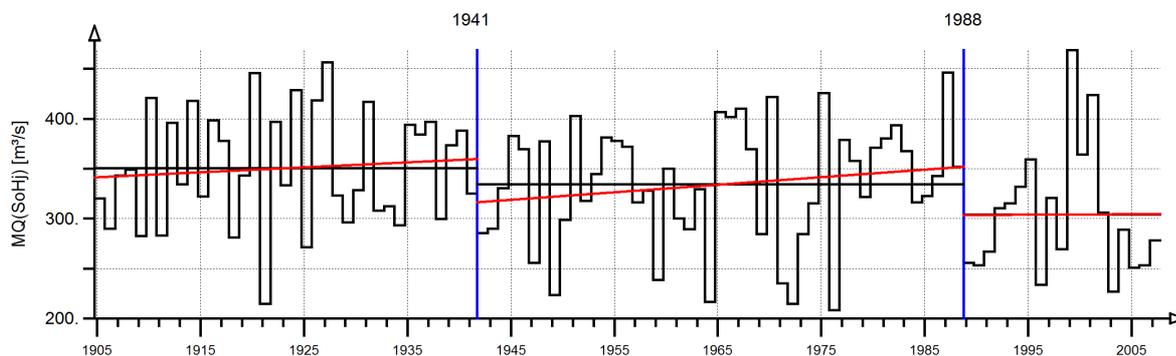
Abb. 5.14: Mittlere Wasserstände MW(SoHj) im Sommerhalbjahr an den Bodensee-Pegeln Konstanz, Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf verschiedene Bruchpunkte

Trendanalyse

Mess-Stelle: Diepoldsau/Rhein (ab 1905)
 Mess-Größe: Abfluss
 Zeitspanne: Okt 1904 - Sep 2007
 Datenart: So-halbjährl. Mittel MQ(SoHj)

Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 350.389; A = 0.504 / Jahr
 M = 334.184; A = 0.760 / Jahr; 60.00%
 M = 304.087; A = 0.034 / Jahr



Trendanalyse

Mess-Stelle: Neuhausen-Flurl.Brücke/Rhein
 Mess-Größe: Abfluss
 Zeitspanne: Okt 1904 - Sep 2007
 Datenart: So-halbjährl.Mittel MQ(SoHj)

Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 503.422; A = 0.254 / Jahr
 M = 469.554; A = 1.394 / Jahr; 80.00%
 M = 432.348; A = 0.970 / Jahr

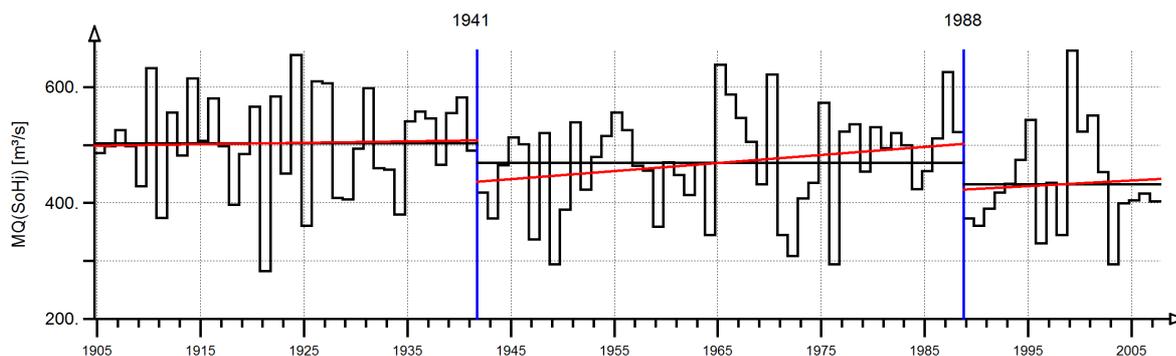


Abb. 5.15: Mittlere Abflüsse MQ(SoHj) im Sommerhalbjahr an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf verschiedene Bruchpunkte

5.4 JÄHRLICHE HÖCHSTWERTE DES WASSERSTANDS UND ABFLUSSES

In den Abb. 5.16 bis Abb. 5.18 sind die jährlich höchsten Wasserstände HW(J) und die jährlich höchsten Abflüsse HQ(J) der einbezogenen Pegel über die jeweiligen Beobachtungszeitspannen dargestellt. In diese Graphiken sind zusätzlich eingetragen der langjährige Mittelwert MHW bzw. MHQ, der lineare Trend über die gesamte Zeitreihe und der Bruchpunkt. Da aufgrund des alpinen Abflussregimes des Alpenrheins, des Bodensees und auch des Bodensee-Ausflusses die jährlichen Höchstwerte des Wasserstands und des Abflusses fast ausschließlich im Sommerhalbjahr auftreten, entsprechen diese Kennwerte gleichzeitig den Höchstwerten HW(SoHj) bzw. HQ(SoHj).

Für die Zeitreihen der Wasserstandspegel Konstanz und Berlingen am Bodensee sowie dem Pegel Stein-Burg am Hochrhein ergibt sich folgendes Langzeitverhalten (Tabelle 5.4):

Die jährlich höchsten Wasserstände HW(J) in Abb. 5.16 weisen an allen einbezogenen Wasserstandspegeln über die gesamte Beobachtungszeitreihe betrachtet stark fallende Trends auf, die hochsignifikant mit Signifikanzniveau von ca. $\alpha = 99,95\%$ sind. Dieser Trend ergibt sich am Pegel Konstanz zu $-0,38$ cm/Jahr, am Pegel Berlingen zu $-0,37$ cm/ Jahr und am Pegel Stein-Burg zu $-0,38$ cm/Jahr. Die vorhandenen Steigungsmaße sind somit nahezu gleich. Auch der Bruchpunkt liegt bei den Wasserstandspegeln gemeinsam im Jahr 1940.

Am Pegel Diepoldsau am Alpenrhein (Hauptzufluss) und am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke am Hochrhein (Ausfluss des Bodensees) ergeben sich jedoch bei den jährlich höchsten Abflüssen HQ(J) (Abb. 5.17) unterschiedliche Tendenzen. Während am Pegel Diepoldsau ein nichtsignifikanter sehr schwach fallender Trend vorhanden ist, zeigt der Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke am Bodenseeausfluss einen hochsignifikant fallenden Trend ($\alpha = 99\%$) mit Steigungsmaß $-1,12 \text{ m}^3/\text{s}/\text{Jahr}$. Am Pegel Diepoldsau wird im Jahr 1958 ein Bruchpunkt ausgewiesen. Am Bodenseeausfluss dagegen liegt der Bruchpunkt im Jahr 1940 und stimmt somit mit dem Bruchpunkt der Wasserstandspegel überein.

Über zusätzliche Auswertungen der Summenlinien bezüglich möglicher Bruchpunkte kann man feststellen, dass auch am Zuflusspegel Diepoldsau mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit im Jahr 1940 ein Bruchpunkt vorliegt. Deshalb wurde zur weiteren Analyse des Langzeitverhaltens für die 3 Wasserstandspegel sowie dem Zufluss- und Ausflusspegel ein einheitlicher Bruchpunkt im Jahr 1940 festgelegt.

In Abb. 5.19 und Abb. 5.20 sind die Änderungen der partiellen Mittelwerte der verschiedenen Teilzeitreihen, die sich bei einem Bruchpunkt im Jahr 1940 ergeben, dargestellt. Für die Wasserstands- und Abflusspegel ergeben sich folgende Veränderungen im Langzeitverhalten der jährlichen Höchstwerte des Wasserstands HW(J) und der jährlichen Höchstwerte der Abflüsse HQ(J), die sich aus den partiellen Mittelwerten der Teilzeitreihen ableiten lassen:

- Nach dem Bruchpunkt im Jahr 1940 nehmen bei den drei Wasserstandspegeln die mittleren jährlichen Höchstwerte des Wasserstands MHW einheitlich um ca. 30 cm ab. Die beiden Teilzeitreihen vor und nach dem Bruchpunkt weisen jeweils schwache, nichtsignifikante Trends auf, die vor dem Bruchpunkt leicht steigende und nach dem Bruchpunkt leicht fallende Veränderungen zeigen.
- Der Zuflusspegel Diepoldsau (Abb. 5.20) zeigt nach dem Bruchpunkt im Jahr 1940 eine geringe Abnahme von ca. $70 \text{ m}^3/\text{s}$. Dieses Änderungsmaß entspricht ca. 5% des langjährig mittleren Jahreshöchstwerts MHQ. Am Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke beträgt die Abnahme ca. 13,2% des entsprechenden MHQ-Werts. Dies entspricht einer Abnahme des partiellen Mittelwerts von ca. $96 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Beide Abflusspegel Diepoldsau und Neuhausen-Flurlingerbrücke zeigen vor dem Bruchpunkt im Jahr 1940 einen schwachsignifikanten Anstieg in den jährlichen Abflusshöchstwerten HQ(J) und nach 1940 einen stationären (trendfreien) Verlauf.

Die weiteren Bodenseezuflüssen mit kürzeren Zeitreihen (Abb. 5.17, Abb. 5.18 und Tabelle 5.4) zeigen für Rheintalinnenkanal, Bregenzerach und Schussen über die gesamte Beobachtungszeitreihe steigende Veränderungen, die teilweise hohe Trends signifikanz aufweisen. An der Schussen ist dagegen ein stationärer (trendfreier) Verlauf vorhanden und an der Radolfzeller Aach ergibt sich ein signifikant fallender Trend.

Tabelle 5.4: Langzeitveränderung der jährlichen Höchstwerte des Wasserstandes HW(J) und der Abflüsse HQ(J)

Pegel/Gewässer	Trendbewertung	Trendmaß	Bruchpunkte
Wasserstandspegel			
Konstanz/Bodensee	stark fallend, hochsignifikant	-0,38 cm/a	1940
Berlingen/Bodensee	stark fallend hochsignifikant	-0.37 cm/a	1940
Stein-Burg/Rhein	stark fallend hochsignifikant	-0,38 cm/a	1940
Hauptzufluss-/Ausflusspegel			
Diepoldsau/Alpenrhein	gering fallend nicht signifikant	-0,50 m ³ /s/a	1940
Neuhausen/Hochrhein	stark fallend hochsignifikant	-1,12 m ³ /s/a	1940
übrige Zuflusspegel			
St. Margrethen/ Rheintalbinnenkanal	steigend signifikant	+0,28 m ³ /s/a	1963
Kennelbach/Bregenzerach	gering steigend nicht signifikant	+1,74 m ³ /s/a	1990
Gießen/Argen	geringfügig nicht signifikant	+0,009 m ³ /s/a	1963
Gerbertshaus/Schussen	stark steigend hochsignifikant	+0,36 m ³ /s/a	1964
Rielasingen/Radolfzeller Aach	fallend signifikant	-0,047m ³ /s/a	1970

HW(J) bzw. HW_d(J) Wasserstandspegel

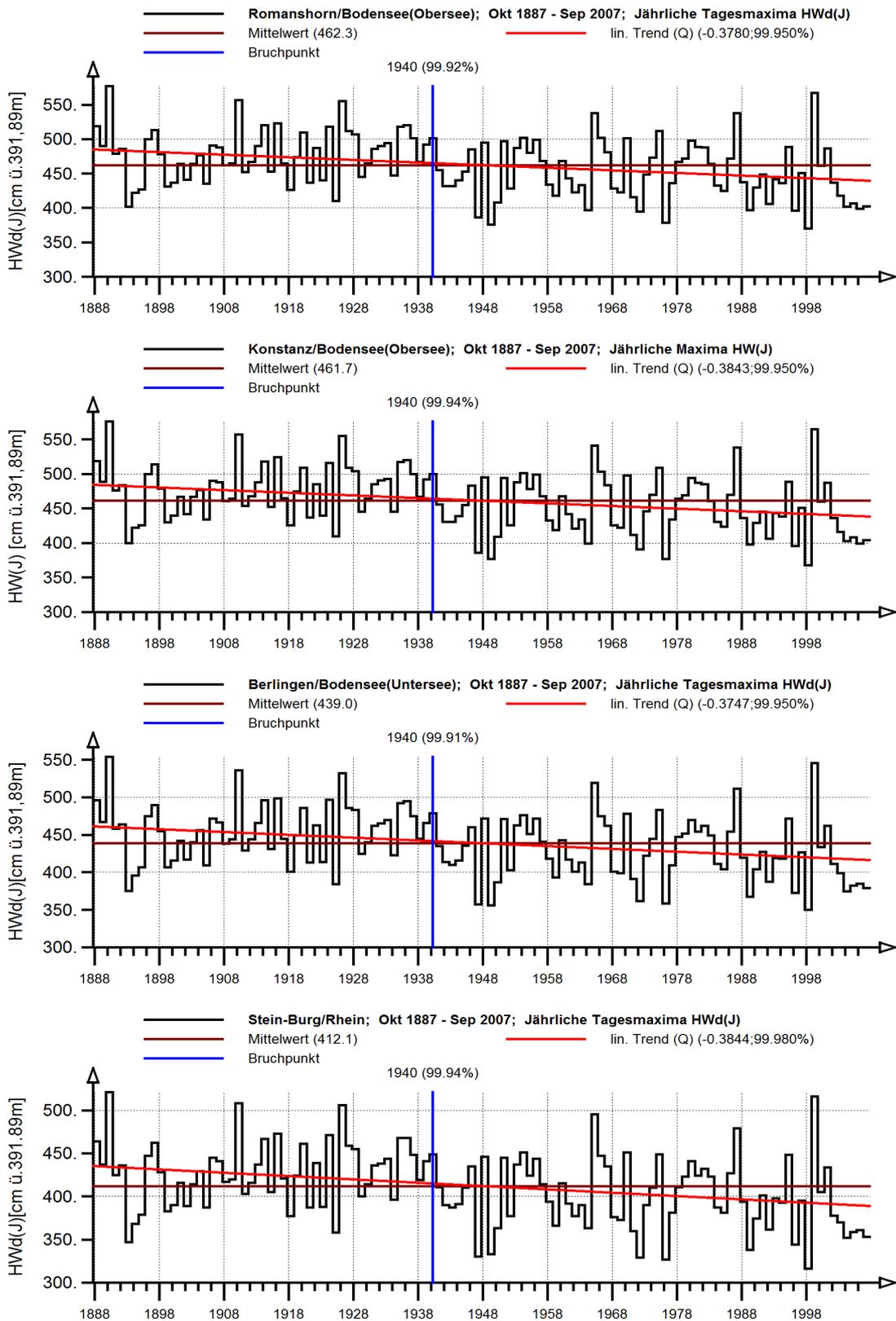


Abb. 5.16: Höchste jährliche Wasserstände HW(J) an den Bodensee-Pegeln Romanshorn, Konstanz und Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

HQ(J) Pegel mit Abfluss-Erfassung I

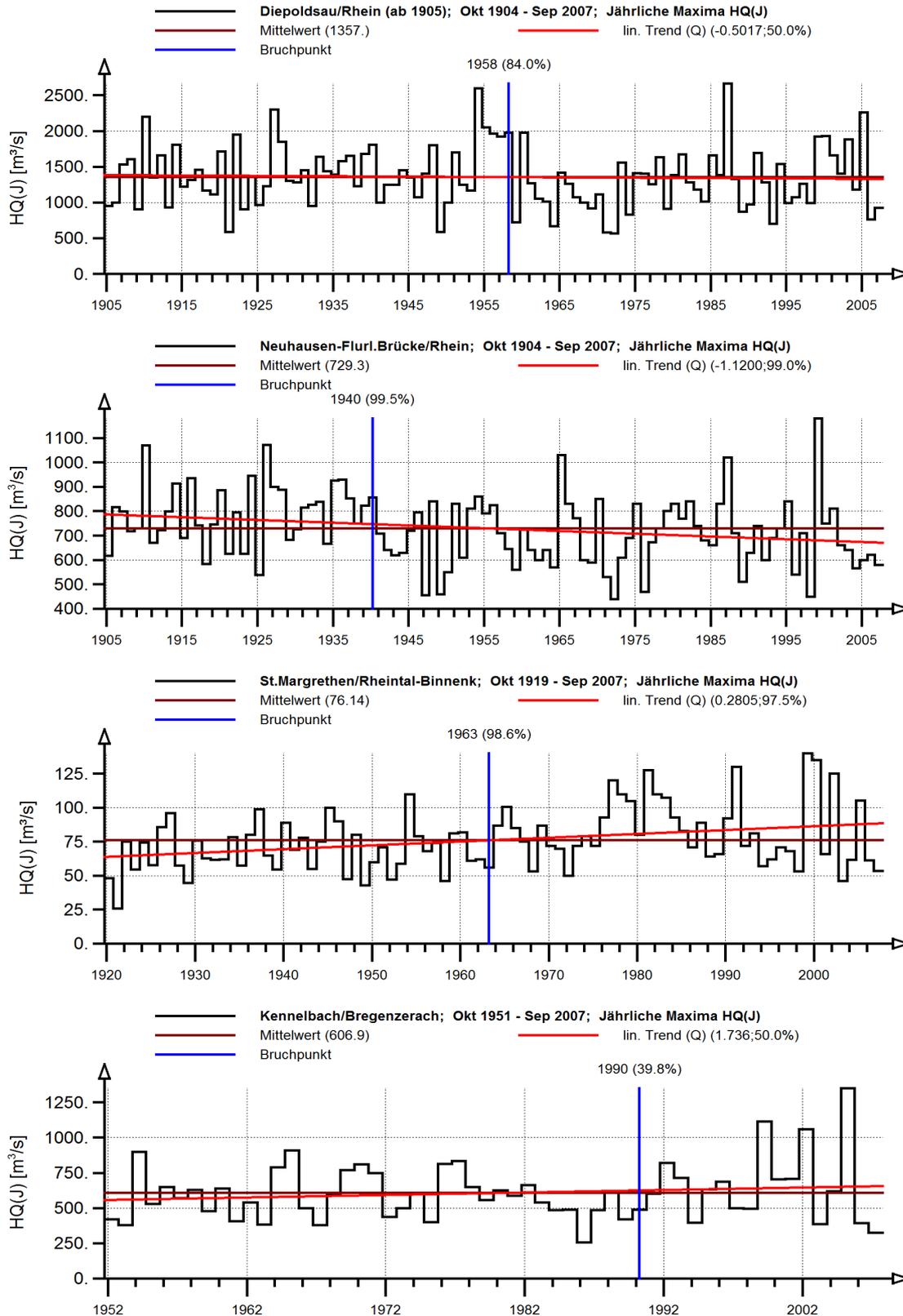


Abb. 5.17: Höchste jährliche Abflüsse HQ(J) an den Pegeln Diepoldsau/ Rhein, Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein, St. Margrethen/Rheintal-Binnenkanal, Kennelbach/Bregenzerach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

HQ(J) Pegel mit Abfluss-Erfassung II

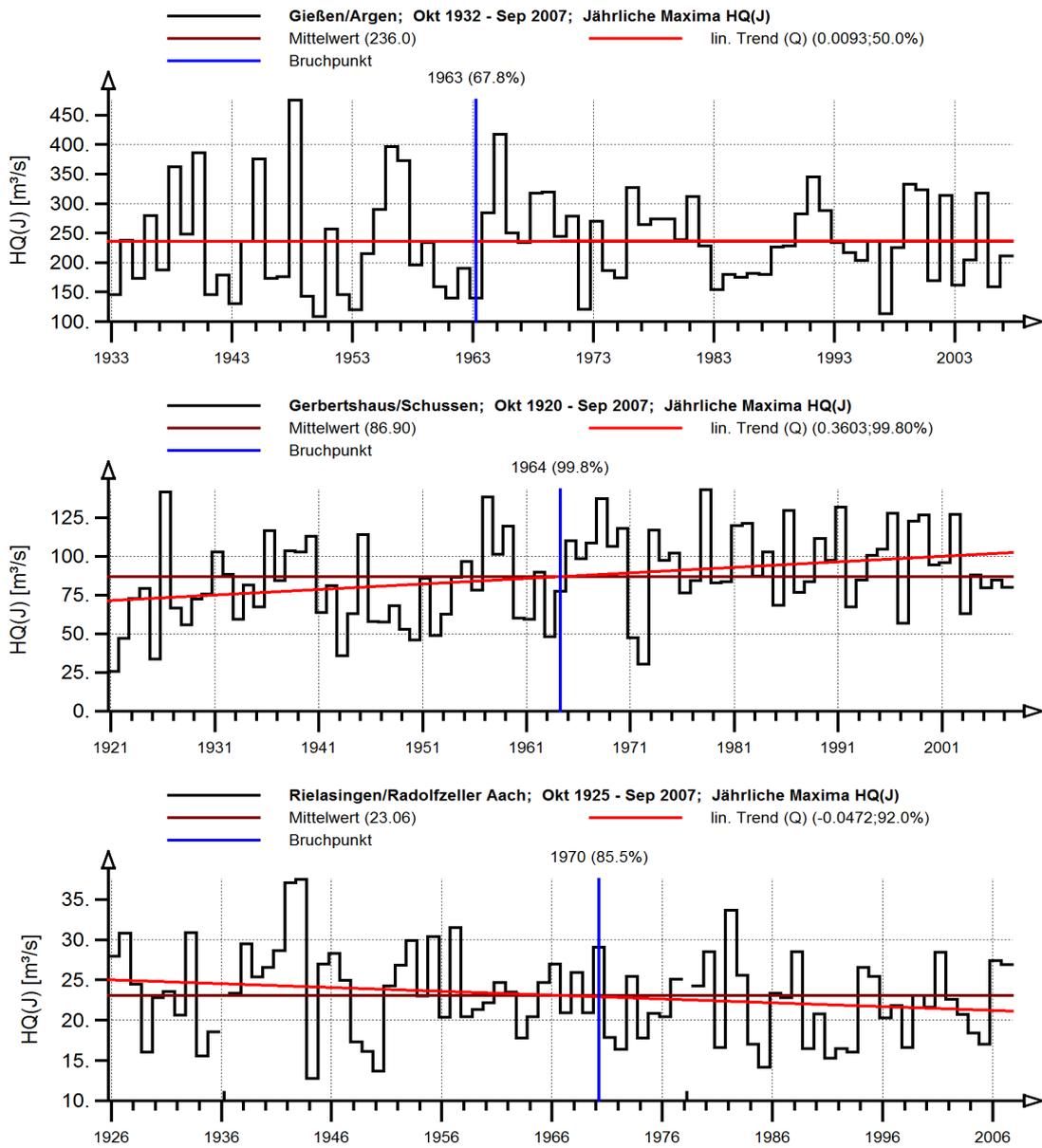


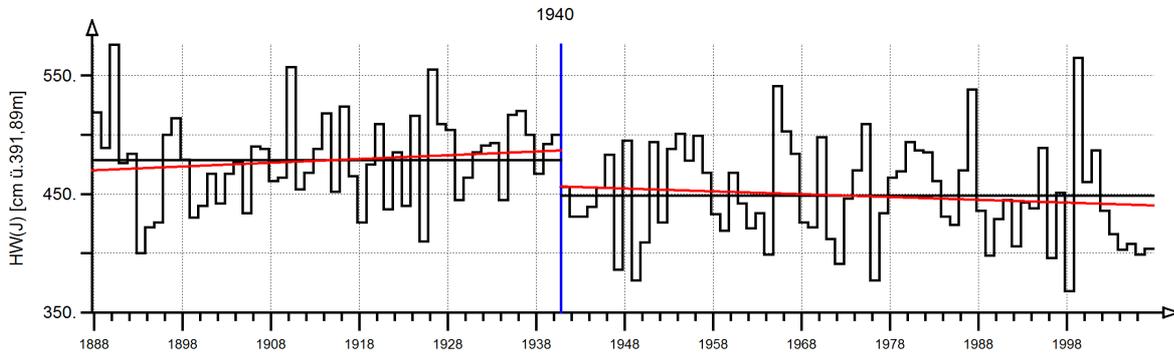
Abb. 5.18: Höchste jährliche Abflüsse HQ(J) an den Pegeln Gießen/Argen, Gerbertshaus/Schussen, Rielasingen/Radolfzeller Aach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

Trendanalyse

Mess-Stelle: Konstanz/Bodensee(Obersee); Nr: 906
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Maxima HW(J)

Trendtest : Mann-Kendall

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 478.415; A = 0.321 / Jahr; 80.00%
 M = 448.433; A = -0.243 / Jahr; 70.00%

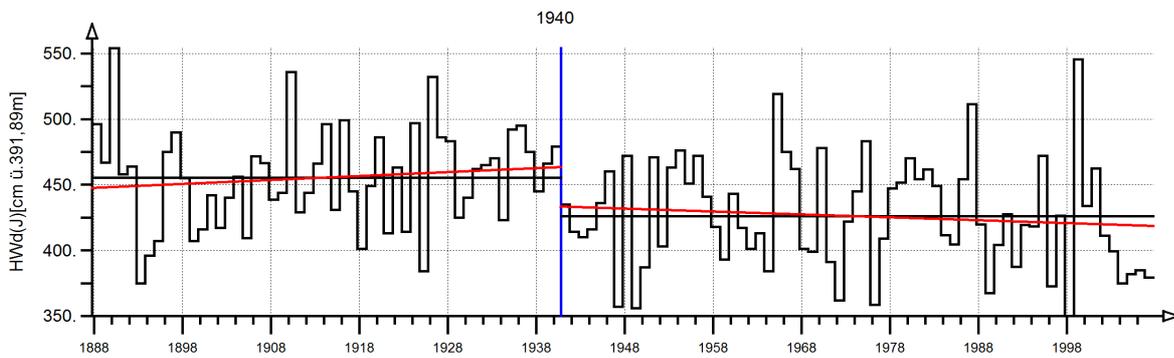


Trendanalyse

Mess-Stelle: Berlingen/Bodensee(Untersee)
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Tagesmaxima HWd(J)

Trendtest : Mann-Kendall

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 455.395; A = 0.301 / Jahr; 70.00%
 M = 426.078; A = -0.225 / Jahr; 70.00%



Trendanalyse

Mess-Stelle: Stein-Burg/Rhein; Nr: 36229
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Tagesmaxima HWd(J)

Trendtest : Mann-Kendall

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 428.699; A = 0.356 / Jahr; 80.00%
 M = 398.903; A = -0.274 / Jahr; 80.00%

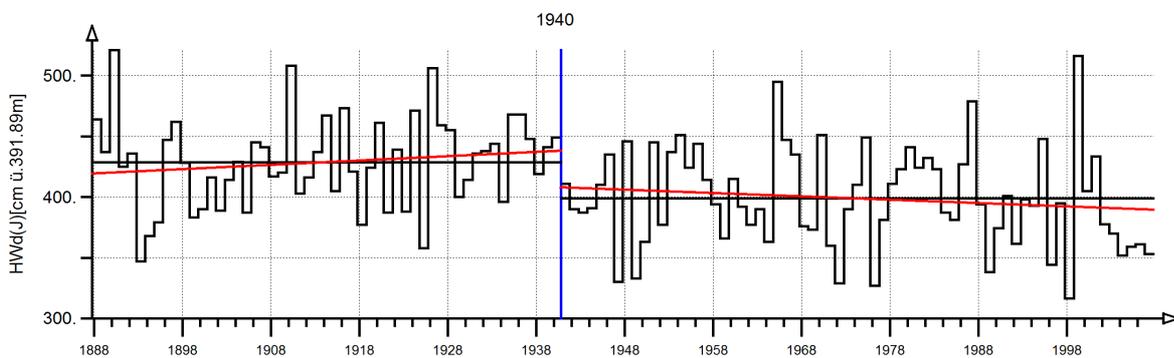
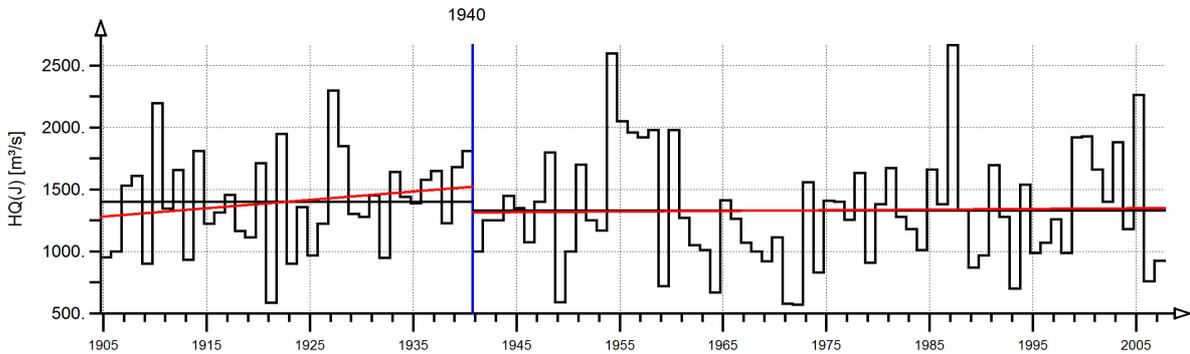


Abb. 5.19: Höchste jährliche Wasserstände HW(J) an den Bodensee-Pegeln Konstanz, Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf den Bruchpunkt im Jahr 1940

Trendanalyse

Mess-Stelle: Diepoldsau/Rhein (ab 1905)
 Mess-Größe: Abfluss
 Zeitspanne: Okt 1904 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Maxima HQ(J)
 Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 1401.972; A = 6.686 / Jahr; 80.00%
 M = 1332.503; A = 0.484 / Jahr



Trendanalyse

Mess-Stelle: Neuhausen-Flurl.Brücke/Rhein
 Mess-Größe: Abfluss
 Zeitspanne: Okt 1904 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Maxima HQ(J)
 Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 791.889; A = 2.202 / Jahr; 80.00%
 M = 695.624; A = 0.222 / Jahr

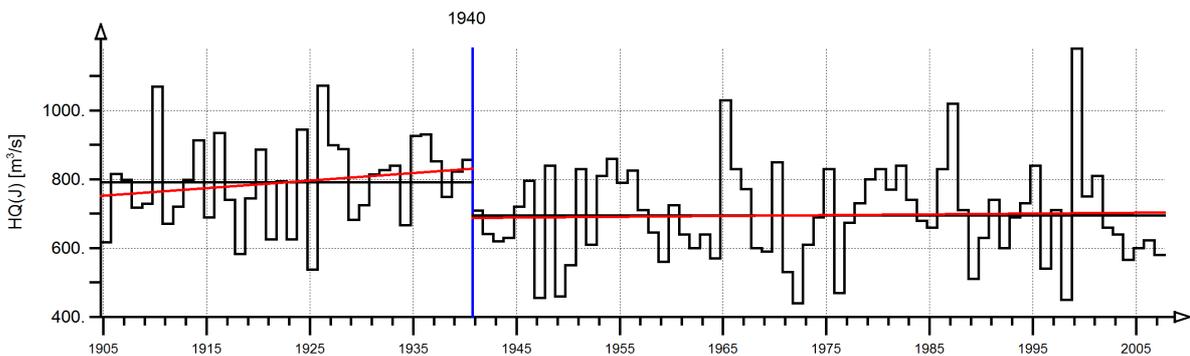


Abb. 5.20: Höchste jährliche Abflüsse HQ(J) an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf den Bruchpunkt im Jahr 1940

5.5 JÄHRLICHE NIEDRIGSTWERTE DES WASSERSTANDS UND ABFLUSSES

In den Abb. 5.21 bis Abb. 5.23 sind die jährlich niedrigsten Wasserstände NW(J) und die jährlich niedrigsten Abflüsse NQ(J) der einbezogenen Pegel über die jeweiligen Beobachtungszeitspannen dargestellt. In diese Graphiken sind zusätzlich eingetragen der langjährige Mittelwert MNW bzw. MNQ, der lineare Trend über die gesamte Zeitreihe und der Bruchpunkt. Da aufgrund des alpinen Abflussregimes des Alpenrheins, des Bodensees und auch des Bodensee-Ausflusses die jährlichen Niedrigstwerte des Wasserstands und des Abflusses fast ausschließlich im Winterhalbjahr auftreten, entsprechen diese Kennwerte gleichzeitig den Niedrigstwerten NW(WiHj) bzw. NQ(WiHj).

Für die Zeitreihen der Wasserstandspegel Konstanz und Berlingen am Bodensee sowie dem Pegel Stein-Burg am Hochrhein ergibt sich folgendes Langzeitverhalten (Tabelle 5.5):

Die jährlich niedrigsten Wasserstände NW(J) in Abb. 5.21 weisen am Pegel Konstanz/Bodensee über die gesamte Beobachtungszeitreihe keinen Trend auf. An den Pegeln Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein ist dagegen ein hochsignifikanter Trend mit einem Signifikanzniveau $\alpha = 99,999\%$ vorhanden. Das Änderungsmaß bei den beiden Pegeln ist sehr vergleichbar und beträgt am Pegel Berlingen +0,21 cm/Jahr und am Pegel Stein-Burg +0,24 cm/Jahr. Als Bruchpunkt wird am Pegel Konstanz das Jahr 1909 und an den Pegeln Berlin-

gen und Stein-Burg jeweils das Jahr 1954 ausgewiesen.

Der Pegel Diepoldsau am Alpenrhein (Hauptzufluss) und der Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke am Hochrhein (Ausfluss des Bodensees) zeigen beide hochsignifikante Zunahmen bei den jährlich niedrigsten Abflüssen NQ(J) (Abb. 5.22) mit einem Signifikanzniveau $\alpha = 99,999\%$. Am Pegel Diepoldsau wird ein Bruchpunkt im Jahr 1954 und am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke im Jahr 1965 ausgewiesen.

Zusätzliche Auswertungen der Summenlinien bezüglich möglicher Bruchpunkte zeigen, dass bei den beiden Wasserstandspegel Berlingen und Stein-Burg sowie an den Abflusspegeln Diepoldsau und Neuhausen-Flurlingerbrücke als Bruchpunkte einheitlich die Jahre 1909 und 1954 festgelegt werden können. Am Wasserstandspegel Konstanz ist dagegen lediglich im Jahr 1909 eine Veränderung erkennbar. Ein Bruchpunkt im Jahr 1954 ist in der NW(J)-Reihe nicht nachweisbar. Der monatliche Jahresgang NW(m) in Abb. 6.11 zeigt dennoch, dass um 1954 eine Veränderung stattgefunden hat.

In Abb. 5.24 und Abb. 5.25 sind die Änderungen der partiellen Mittelwerte der verschiedenen Teilzeitreihen, die sich bei den Bruchpunkten in den Jahren 1909 und 1954 ergeben, dargestellt. Für die Wasserstands- und Abflusspegel ergeben sich folgende Veränderungen im Langzeitverhalten der jährlichen Niedrigstwerte des Wasserstands NW(J) und der jährlichen Niedrigstwerte der Abflüsse NQ(J), die sich aus den partiellen Mittelwerten der Teilzeitreihen ableiten lassen:

- Nach dem Bruchpunkt im Jahr 1909 nehmen bei den drei Wasserstandspegeln die mittleren jährlichen Niedrigstwerte des Wasserstands MNW jeweils zu. Der partielle Mittelwert steigt am Pegel Konstanz um ca. +7 cm. An den Pegeln Berlingen und Stein-Burg ergeben sich da-

gegen 14 cm bis 15 cm. Nach diesem Bruchpunkt zeigt der Pegel Konstanz nichtsignifikante schwache Abnahme über die gesamte Teilzeitreihe. Am Pegel Berlingen und auch am Pegel Stein-Burg ergeben sich jedoch im Jahr 1954 weitere deutliche Zunahmen in den partiellen Mittelwerten, die jeweils ca. 11 cm betragen. Nach diesem zweiten Bruchpunkt zeigen diese beiden Pegel einen weiteren stationären (trendfreien) Verlauf der jährlich niedrigsten Wasserstände NW(J).

- Der Zuflusspegel Diepoldsau (Abb. 5.25) zeigt nach dem Bruchpunkt im Jahr 1909 eine deutliche Zunahme von $+20,6 \text{ m}^3/\text{s}$ und eine weitere Zunahme von $+14,4 \text{ m}^3/\text{s}$ nach 1954. Dies entspricht, bezogen auf den langjährigen mittleren Niedrigstwert, Änderungen von 32% bzw. 22,6%. Am Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke betragen die Zunahmen nach 1909 $+30,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (17,3%) und nach 1954 $+35,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (20,5%).
- Die beiden Abflusspegel Diepoldsau und Neuhausen-Flurlingerbrücke zeigen in den Teilzeitreihen ein unterschiedliches Trendverhalten. Am Pegel Diepoldsau ergibt sich zwischen 1909 und 1954 ein stationärer (trendfreier) Verlauf und nach 1954 eine nichtsignifikante Abnahme der jährlichen Niedrigstwerten. Am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke dagegen weist der Zeitabschnitt zwischen 1909 und 1954 einen signifikant abnehmenden und nach 1954 einen signifikant zunehmenden Trend in den jährlichen Niedrigstwerten auf.

Die weiteren Bodenseezuflüsse mit kürzeren Zeitreihen (Abb. 5.22, Abb. 5.23 und Tabelle 5.5) zeigen für Rheintalbinnenkanal und Bregenzerach über die gesamte Beobachtungszeitreihe einen abnehmenden Trend, der am Rheintalbinnenkanal hochsignifikant ist. An Argen und Radolfzeller Aach ist ein trendfreier Verlauf und an der Schussen ein hochsignifikant steigender Trend vorhanden.

Tabelle 5.5: Langzeitveränderung der jährlichen Niedrigstwerte des Wasserstandes NW(J) und der Abflüsse NQ(J)

Pegel/Gewässer	Trendbewertung	Trendmaß	Bruchpunkte
Wasserstandspegel			
Konstanz/Bodensee	gering steigend nicht signifikant	+0,018 cm/a	1909 (1954 ¹⁾)
Berlingen/Bodensee	stark steigend hochsignifikant	+ 0,21 cm/a	1909, 1954
Stein-Burg/Rhein	stark steigend hochsignifikant	+ 0,23 cm/a	1909, 1954
Hauptzufluss-/Ausflusspegel			
Diepoldsau/Alpenrhein	stark steigend hochsignifikant	+0,24 m ³ /s/a	1909, 1954
Neuhausen/Hochrhein	stark steigend hochsignifikant	+0,65 m ³ /s/a	1909, 1954, 1965
übrige Zuflusspegel			
St. Margrethen/ Rheintalbinnenkanal	stark fallend hochsignifikant	-0,042 m ³ /s/a	1938
Kennelbach/Bregenzerach	schwach fallend schwach signifikant	-0,022 m ³ /s/a	1975
Gießen/Argen	gering steigend nicht signifikant	+0,0034 m ³ /s/a	1973
Gerbertshaus/Schussen	stark steigend hochsignifikant	+0,011 m ³ /s/a	1955
Rielasingen/Radolfzeller Aach	gering steigend nicht signifikant	+0,0018 m ³ /s/a	1965
¹⁾ nur im monatlichen Jahresgang nachweisbar (Abschnitt 6.3, Abb. 6.11)			

NW(J) Wasserstandspegel

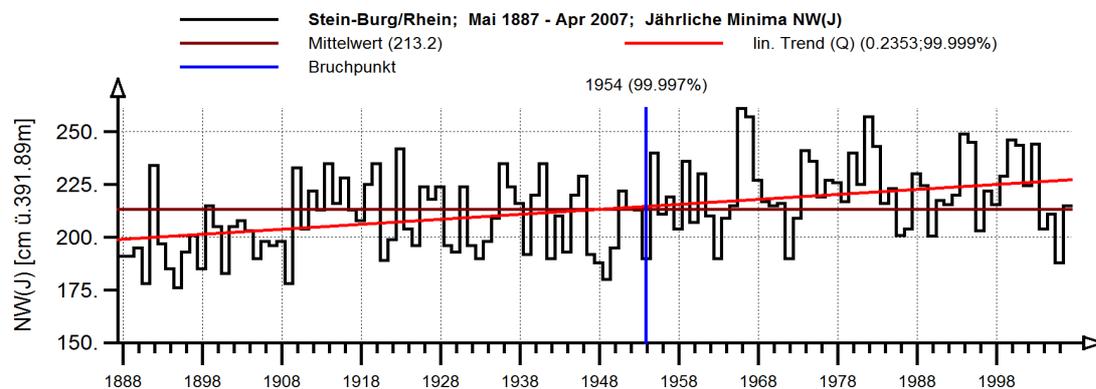
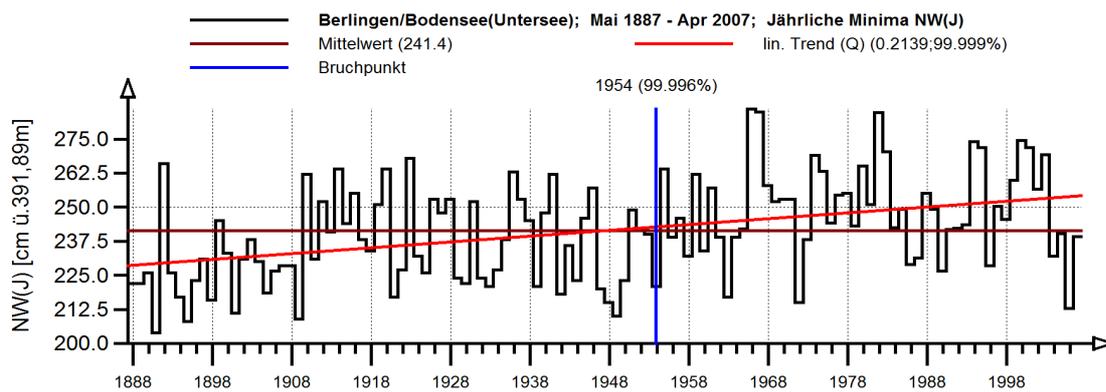
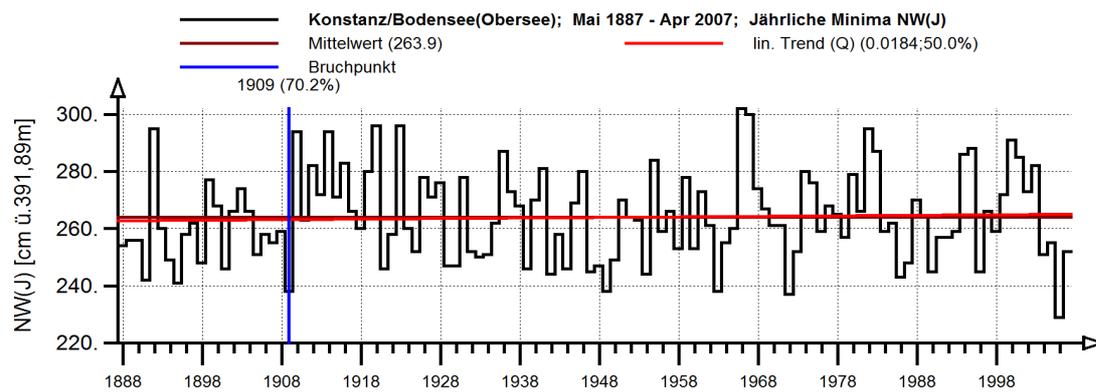
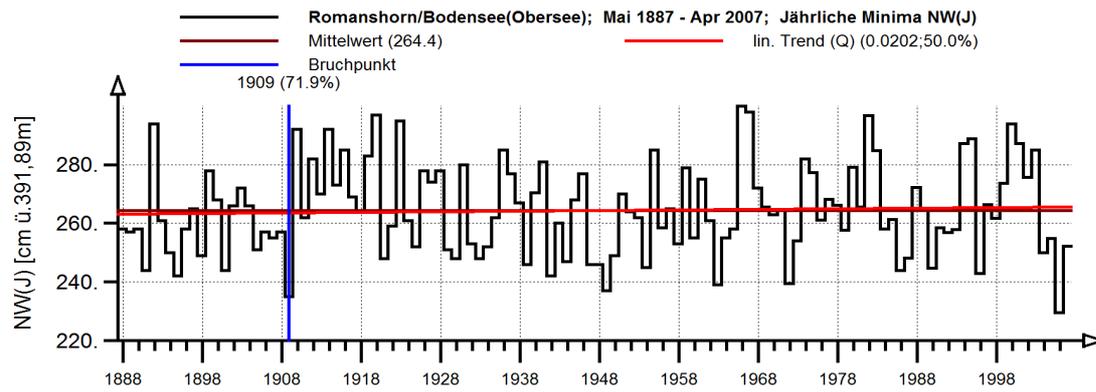


Abb. 5.21: Niedrigste jährliche Wasserstände NW(J) an den Bodensee-Pegeln Romanshorn, Konstanz und Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

NQ(J) Pegel mit Abfluss-Erfassung I

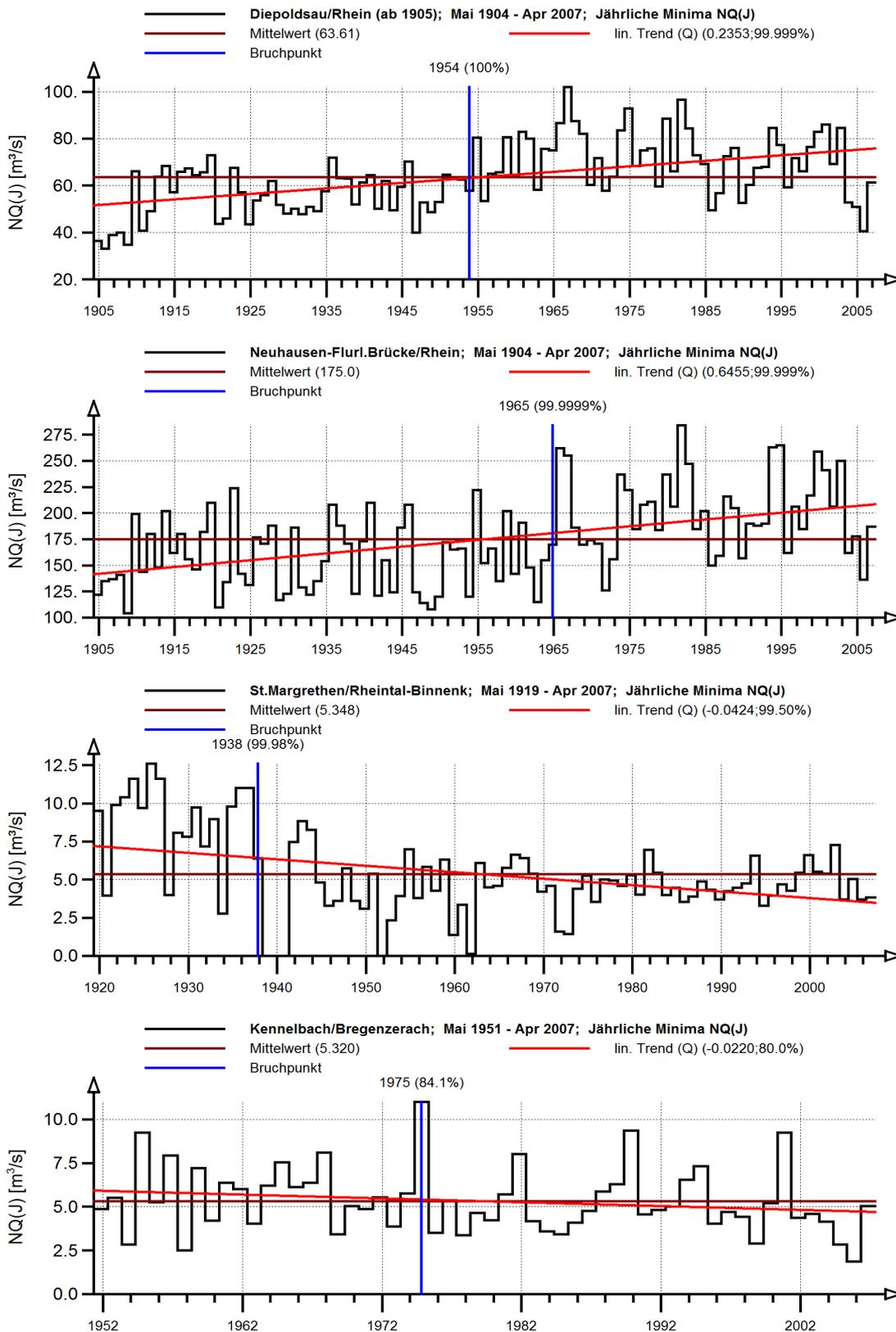


Abb. 5.22: Niedrigste jährliche Abflüsse NQ(J) an den Pegeln Diepoldsau/ Rhein, Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein, St. Margrethen/Rheintal-Binnenkanal, Kennelbach/Bregenzerach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

NQ(J) Pegel mit Abfluss-Erfassung II

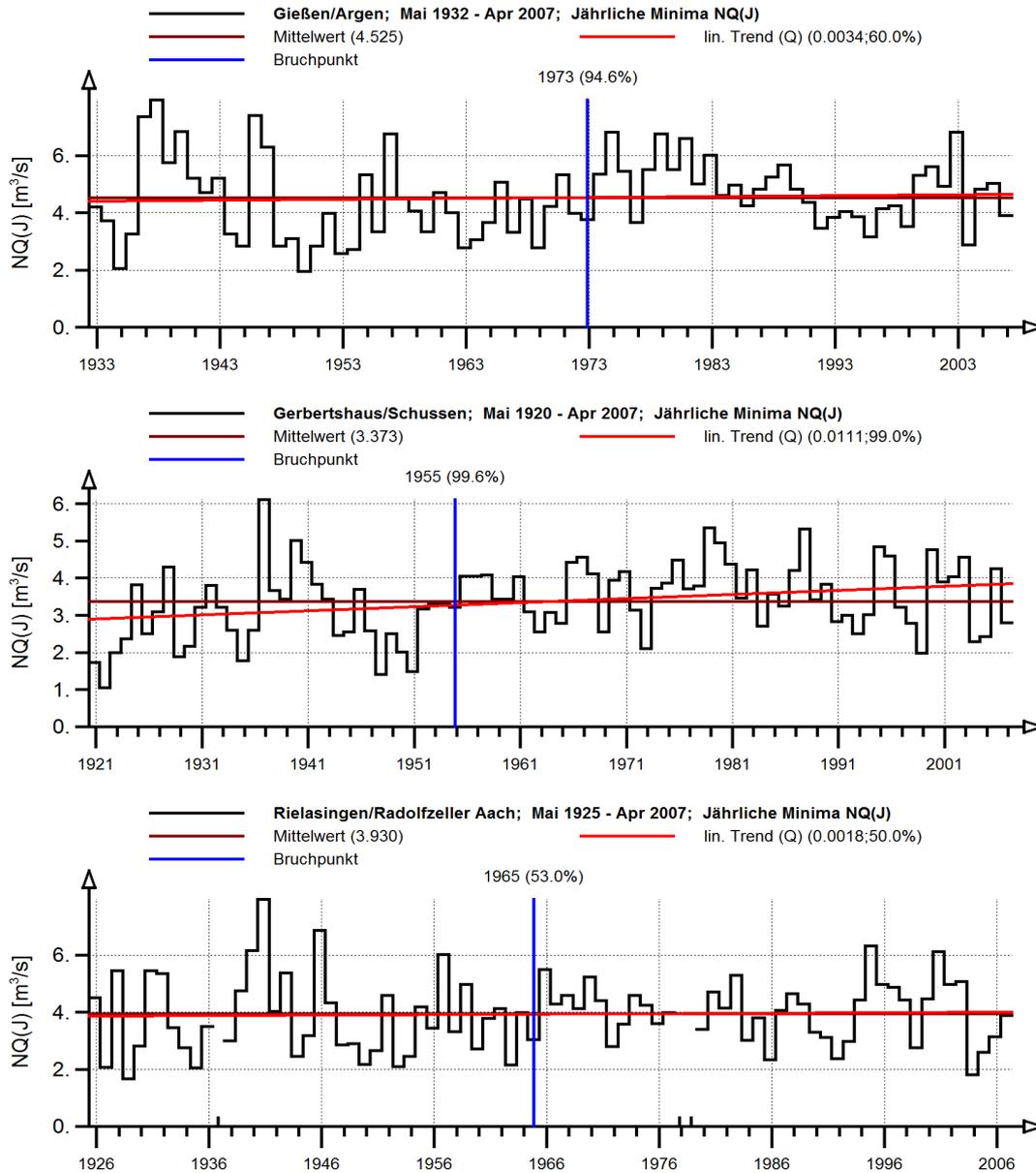


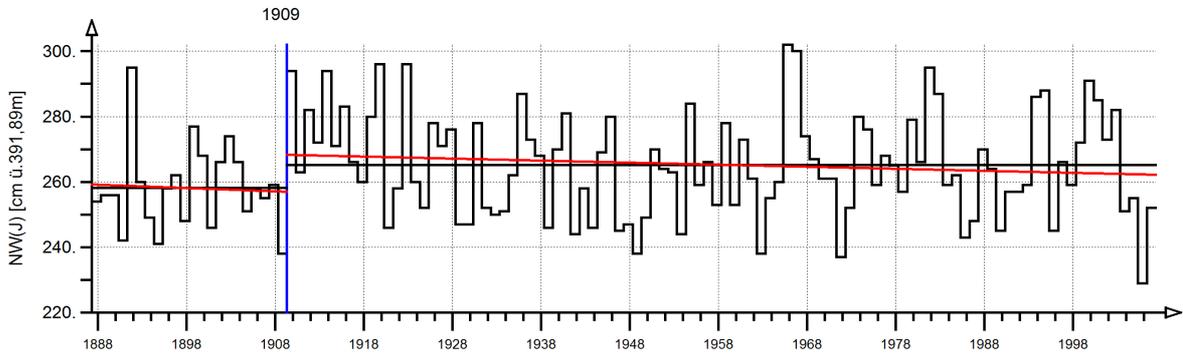
Abb. 5.23: Niedrigste jährliche Abflüsse NQ(J) an den Pegeln Gießen/Argen, Gerbertshaus/Schussen, Rielasingen/Radolfzeller Aach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt

Trendanalyse

Mess-Stelle: Konstanz/Bodensee(Obersee); Nr: 906
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Mai 1887 - Apr 2007
 Datenart: Jährliche Minima NW(J)

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 258.136; A = -0.099 / Jahr
 M = 265.214; A = -0.062 / Jahr; 70.00%

Trendtest : Mann-Kendall

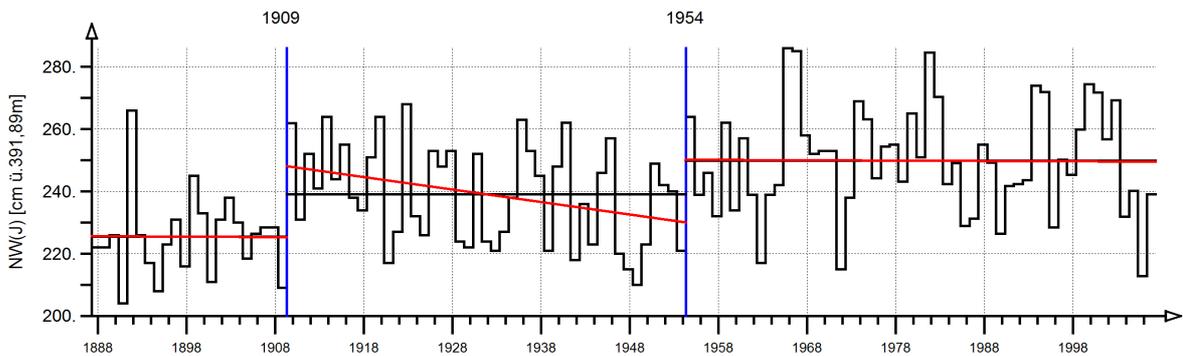


Trendanalyse

Mess-Stelle: Berlingen/Bodensee(Untersee)
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Mai 1887 - Apr 2007
 Datenart: Jährliche Minima NW(J)

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 225.452; A = -0.010 / Jahr
 M = 239.111; A = -0.399 / Jahr; 97.50%
 M = 249.955; A = -0.012 / Jahr

Trendtest : Mann-Kendall



Trendanalyse

Mess-Stelle: Stein-Burg/Rhein; Nr: 36229
 Mess-Größe: Wasserstand[cm P.KN]
 Zeitspanne: Mai 1887 - Apr 2007
 Datenart: Jährliche Minima NW(J)

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 195.683; A = 0.041 / Jahr
 M = 210.934; A = -0.407 / Jahr; 97.50%
 M = 222.368; A = 0.015 / Jahr

Trendtest : Mann-Kendall

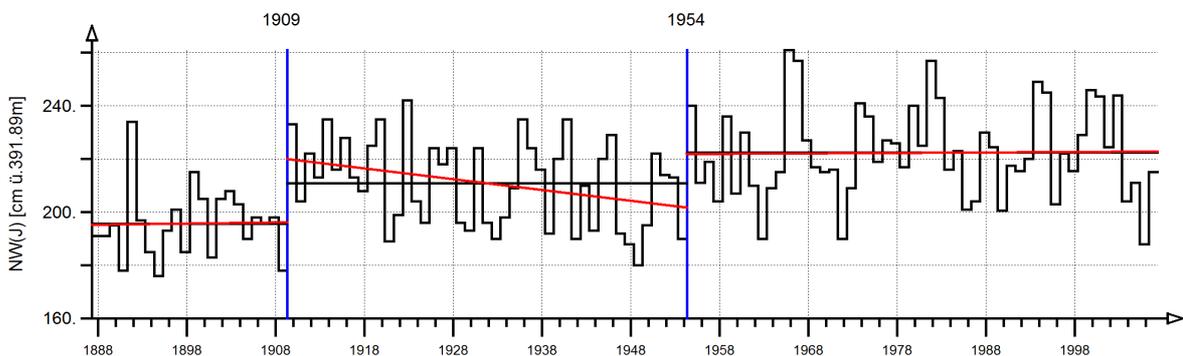


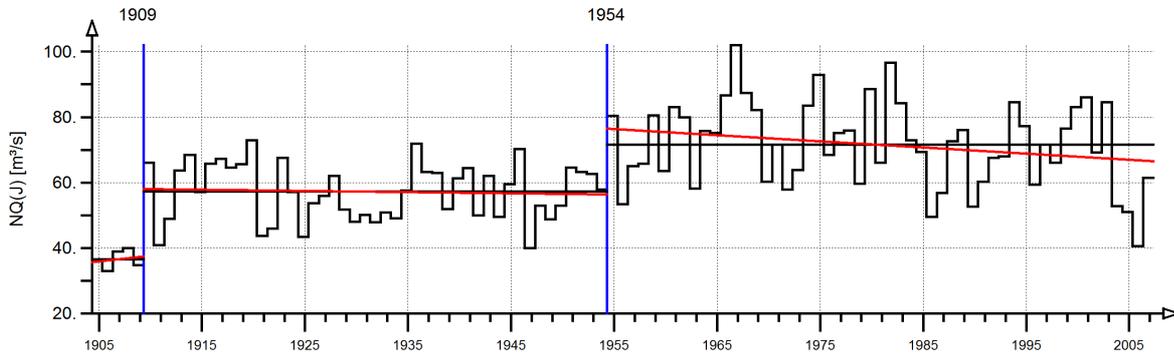
Abb. 5.24: Niedrigste jährliche Wasserstände NW(J) an den Bodensee-Pegeln Konstanz, Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1909 und 1954

Trendanalyse

Mess-Stelle: Diepoldsau/Rhein (ab 1905)
 Mess-Größe: Abfluss
 Zeitspanne: Mai 1904 - Apr 2007
 Datenart: Jährliche Minima NQ(J)

Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 36.616; A = 0.345 / Jahr
 M = 57.237; A = -0.037 / Jahr
 M = 71.559; A = -0.188 / Jahr; 70.00%



Trendanalyse

Mess-Stelle: Neuhausen-Flurl.Brücke/Rhein
 Mess-Größe: Abfluss
 Zeitspanne: Mai 1904 - Apr 2007
 Datenart: Jährliche Minima NQ(J)

Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 127.800; A = -3.000 / Jahr
 M = 157.956; A = -0.597 / Jahr; 92.00%
 M = 193.922; A = 0.669 / Jahr; 95.00%

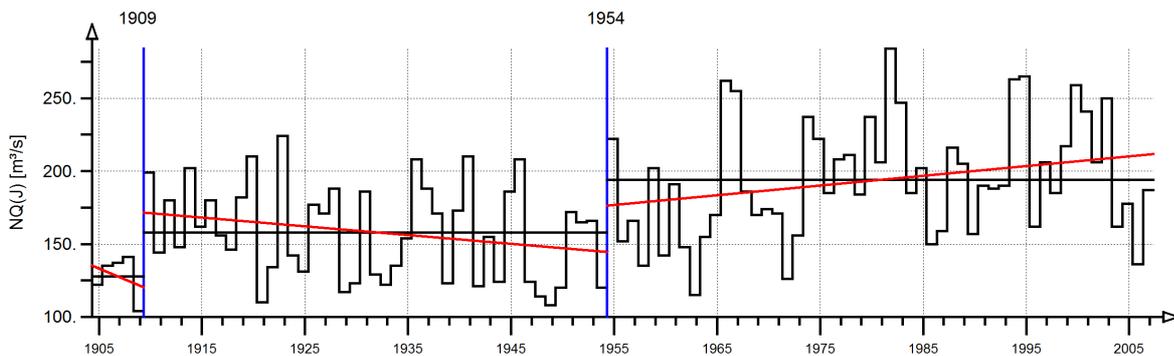


Abb. 5.25: Niedrigste jährliche Abflüsse NQ(J) an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1909 und 1954

5.6 ZUSAMMENFASSENDER BEWERTUNG DES LANGZEITVERHALTENS

Zur Analyse des Langzeitverhaltens der Bodensee-wasserstände wurden die drei Wasserstandspegel Konstanz und Berlingen am Bodensee und Steinburg am Hochrhein sowie der Pegel Diepoldsau/Rhein am Hauptzufluss Alpenrhein und der Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke am Hochrhein bezüglich Trendverhalten und Bruchpunkte (Änderungszeitpunkte) untersucht. Die Datengrundlage bestand aus den Beobachtungszeitreihen der Pegel, die an den Wasserstandspegeln für die Zeitspanne 1988 bis 2007 und an den Abflusspegeln für die Zeitspanne 1909 bis 2007 einbezogen werden konnten. Aus diesen Zeitreihen wurden folgende maßgebenden Kennwerte zur Beschrei-

bung des Langzeitverhaltens der Wasserstände und Abflüsse abgeleitet:

- Mittlere jährliche Wasserstände MW(J) und Abflüsse MQ(J)
- Mittlere Wasserstände MW(WiHj) und Abflüsse MQ(WiHj) des Winterhalbjahres
- Mittlere Wasserstände MW(SoHj) und Abflüsse MQ(SoHj) des Sommerhalbjahres
- Höchste jährliche Wasserstände HW(J) und Abflüsse HQ(J)
- Niedrigste jährliche Wasserstände NW(J) und Abflüsse NQ(J)

Die statistischen Analysen umfassten die Berechnung des linearen Trends über die gesamte Beobachtungszeitspanne, die Ermittlung von wahrscheinlichen Bruchpunkten, an denen eine Verände-

rung des Langzeitverhaltens vorliegen kann, die Verifikation der Bruchpunkte über die Summenlinienanalyse und die Ermittlung von partiellen Mittelwerten und Trends für Teilzeitreihen, die sich durch eine Zeitreihentrennung an den Bruchpunkten ergeben. Die wesentlichen Erkenntnisse aus dieser Langzeituntersuchung bezüglich Bruchpunkte und Trendverhalten sind in Tabelle 5.6 aufgelistet. Hieraus ergibt sich zusammenfassend:

- Die mittleren jährlichen Bodensee- bzw. Hochrhein-Wasserstände zeigen generell signifikant fallende Tendenzen. Der Haupt-Zufluss Alpenrhein sowie der Bodensee-Ausfluss zum Hochrhein zeigen dagegen in etwa gleichbleibende (trendfreie) Tendenzen.
- Im Sommerhalbjahr zeigen die mittleren Wasserstände und Abflüsse an allen Pegeln generell abnehmende Tendenzen und im Winterhalbjahr zunehmende Tendenzen. Ausnahme hiervon ist jedoch der Pegel Konstanz, der gering fallende bis gleichbleibende Tendenz aufweist.
- Bei den höchsten jährlichen Abflüssen und Wasserständen aller Pegel, die fast ausschließlich im Sommerhalbjahr auftreten, ergeben sich generell stark fallende Tendenzen, die signifikant sind.
- Bei den niedrigsten jährlichen Abflüssen und Wasserständen, die ausschließlich im Winterhalbjahr auftreten, ergeben sich signifikante, stark steigende Tendenzen beim Zufluss Alpenrhein und Bodensee-Ausfluss zum Hochrhein. Die Wasserstandspegel Berlingen und Stein-Burg zeigen schwach signifikante, schwach steigende Tendenzen. Der Wasserstandspegel Konstanz weist dagegen eine ungefähr gleichbleibende (trendfreie) Tendenz auf.
- Die Zeitreihen der mittleren jährlichen Wasserstände und Abflüsse zeigen nach der Bruchpunktanalyse, dass jeweils um die Jahre 1909, 1941, 1964 und 1988 eine Veränderung vorhanden ist. Die partiellen Mittelwerte nehmen jeweils nach 1941 und nach 1988 ab, wobei jedoch zwischen 1964 und 1988 eine gewisse Erhöhung der Mittelwerte erkennbar ist.
- Die höchsten jährlichen Wasserstände und Abflüsse (fast alle im Sommerhalbjahr) weisen jeweils nur einen Bruchpunkt im Jahr 1940 und eine Abnahme der partiellen Mittelwerte nach 1940 auf.
- Die niedrigsten jährlichen Wasserstände und Abflüsse (fast alle im Winterhalbjahr) zeigen am Wasserstands-Pegel Konstanz nur einen Bruchpunkt im Jahr 1909 mit einer Zunahme des partiellen Mittelwerts. An den Wasserstands-Pegeln Berlingen und Stein-Burg ergeben sich jeweils zwei Bruchpunkte in den Jahren 1909 und 1954, wobei die Mittelwerte nach den Änderungszeitpunkten jeweils gleichartig ansteigen. Diese beiden Zeitpunkte sind auch beim Zuflusspegel Diepoldsau und beim Ausflusspegel Neuhausen mit jeweils ansteigenden partiellen Mittelwerten vorhanden.
- Am Pegel Konstanz/Bodensee ist in der NW(J)-Jahresreihe im Jahr 1954 kein Bruchpunkt nachweisbar. Im Jahresgang ist jedoch ein Bruchpunkt um 1954 erkennbar (siehe Abschnitt 6.3).

Tabelle 5.6: Zusammenstellung der Bruchpunkte und Bewertung des Trendverhaltens in den jährlich mittleren, jährlich höchsten und jährlich niedrigsten Wasserstands- und Abfluss-Zeitreihen

Kennwert	MW(J), MQ(J)	MW(WiHj), MQ(WiHj)	MW(SoHj), MQ(SoHj)	HW(J), HQ(J)	NW(J), NQ(J)
Pegel/Gewässer	Bruchpunkte Trendbewertung	Bruchpunkte Trendbewertung	Bruchpunkte Trendbewertung	Bruchpunkte Trendbewertung	Bruchpunkte Trendbewertung
Wasserstandspegel					
Konstanz/Bodensee	1909, 1941, 1964, 1988 stark fallend	1909, 1941 fallend	1941, 1988 stark fallend	1940 stark fallend	1909 kein Trend
Berlingen/Bodensee	1909, 1941, 1964, 1988 fallend	1909 schwach steigend	1941, 1988 stark fallend	1940 stark fallend	1909, 1954 steigend stark
Stein-Burg/Rhein	1909, 1941, 1964, 1988 fallend	1909 schwach steigend	1941, 1988 stark fallend	1940 stark fallend	1909, 1954 stark steigend
Hauptzufluss-/Ausflusspegel					
Diepoldsau/Alpenrhein	1909, 1941, 1964, 1988 kein Trend	1909, 1960, 1975 fallend	1941, 1988 fallend	1940 kein Trend	1909, 1954 stark steigend
Neuhausen/Hochrhein	1909, 1941, 1964, 1988 kein Trend	1909, 1975 steigend	1941, 1988 fallend	1940 stark fallend	1909, 1954 stark steigend
übrige Zuflusspegel					
St. Margrethen/ Rheintalinnenkanal	1968 stark fallend	1959 stark fallend	1970 stark fallend	1963 steigend	1938 stark fallend
Kennebach/Bregenzerach	- kein Trend	1973 schwach steigend	1968 schwach fallend	1990 kein Trend	1975 schwach fallend
Gießen/Argen	1964 kein Trend	1973 steigend	- kein Trend	1963 kein Trend	1973 kein Trend
Gerbertshaus/Schussen	1964 kein Trend	1973 steigend	1941 kein Trend	1964 stark steigend	1955 stark steigend
Rielasingen/ Radolfzeller Aach	1970 fallend	1959 kein Trend	1970 fallend	1970 fallend	1965 kein Trend
Kennwerte:	Mittlere jährliche Wasserstände MW(J) und Abflüsse MQ(J) Mittlere Wasserstände MW(WiHj) und Abflüsse MQ(WiHj) des Winterhalbjahres Mittlere Wasserstände MW(SoHj) und Abflüsse MQ(SoHj) des Sommerhalbjahres Höchste jährliche Wasserstände HW(J) und Abflüsse HQ(J) Niedrigste jährliche Wasserstände NW(J) und Abflüsse NQ(J)				

6 Jahrgang der Wasserstände und Abflüsse

Zur Beurteilung des saisonalen Verhaltens der Bodensee-Wasserstände sowie des Hauptzuflusses und des Ausflusses wurden für die wesentlichen Kennwerte die Jahrgänge abgeleitet und deren zeitliche Veränderung bewertet. Die Datengrundlage bestand dabei aus den monatlichen Kennwerten, deren mittlere Jahrgänge über die jeweils gesamte einbezogene Zeitreihe ermittelt wurden. Anschließend erfolgte eine Aufteilung dieser Zeitreihe in Teilzeitreihen, die unter Berücksichtigung der Bruchpunkte aus der Langzeitanalyse (Abschnitt 5) gebildet wurden. Betrachtet wurden dabei folgende Kennwerte:

- monatliche mittlere Wasserstände MW(m) und Abflüsse MQ(m)
- monatliche höchste Wasserstände HW(m) und Abflüsse HQ(m)
- monatliche niedrigste Wasserstände NW(m) und Abflüsse NQ(m)

In die Untersuchung wurden die Wasserstandspegel Konstanz und Berlingen am Bodensee sowie Steinburg am Hochrhein einbezogen. Der Wasserstandspegel Romanshorn/Bodensee wird auch bei diesen Auswertungen nicht näher beschrieben, da auch bei den Jahrgängen der verschiedenen Kennwerte der Pegel die gleichen Ergebnisse liefert wie der Wasserstandspegel Konstanz/Bodensee. Als Abflusspegel wurden berücksichtigt der Zuflusspegel Diepoldsau am Alpenrhein und der Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke am Hochrhein.

Die Auswertungen basieren dabei auf der gemeinsamen Zeitspanne von 1910 bis 2007. Die einbezogenen Zeitreihen der Wasserstände und Abflüsse wurden dabei verkürzt, da aus der Langzeitanalyse in Abschnitt 5 zu erkennen ist, dass im Jahr 1909 häufig ein Bruchpunkt und damit eine zeitliche Inkonsistenz in den Kennwerten vorhanden ist. Die Bewertung der Langzeitveränderung der Jahrgänge erfolgte vor allem anhand der mittleren Halbjahreswerte (Winter- und Sommerhalbjahr), die aus

den jeweiligen mittleren Monatswerten berechnet wurden. Die Jahrgänge der jeweiligen Gesamtzeitspanne werden mit denen der Teilzeitspannen verglichen.

6.1 JAHRESGANG DER MITTLEREN WASSERSTÄNDE UND ABFLÜSSE

Die Jahrgänge der mittleren monatlichen Wasserstände MW(m) und Abflüsse MQ(m) sowie deren winter- und sommerhalbjährlichen Mittelwerte sind in Abb. 6.1 bis Abb. 6.5 für die einbezogenen Pegel für folgende 5 Zeitspannen dargestellt, die sich an den Bruchpunkten aus der Langzeitanalyse orientieren:

- Gesamtzeitspanne von 1910 bis 2007
- 1. Teilzeitspanne von 1910 bis 1941
- 2. Teilzeitspanne von 1942 bis 1964
- 3. Teilzeitspanne von 1965 bis 1988
- 4. Teilzeitspanne von 1989 bis 2007

Die Jahrgänge in Abb. 6.1 bis Abb. 6.5 zeigen über alle einbezogenen Pegel, dass im Sommerhalbjahr (April - September) für alle betrachteten Zeitspannen ein sehr vergleichbarer Verlauf der mittleren monatlichen Werte und auch der Mittelwerte der Halbjahre vorhanden ist. Über die einzelnen Monate ergibt sich eine sehr gleichartige Abnahme der Mittelwerte. Die Mittelwerte der 1. Teilzeitspanne (1910-1941) liegen dabei jeweils am höchsten und die Mittelwerte der 4. Teilzeitspanne am tiefsten. Die beiden mittleren Zeitspannen (1942-1964 und 1965-1988) ordnen sich in diese Spannweite ein, wobei jedoch zu beachten ist, dass die 3. Teilzeitspanne (1965-1988) etwas höhere Werte liefert als die 2. Teilzeitspanne (1942-1964). Diese temporäre Erhöhung der mittleren Werte der 3. Teilzeitspanne war bereits in der Langzeitanalyse der mittleren Werte des Sommerhalbjahres (Abb. 5.4) sichtbar geworden. Sieht man von diesem Phänomen ab, so ergibt sich im Sommerhalbjahr bei den Wasserstands- und Abfluss-Pegeln generell eine abnehmende Tendenz. Dabei ist die größte

Abnahme nach 1988 vorhanden. In Tabelle 6.1 sind die Abweichungen der mittleren halbjährlichen Wasserstände und Abflüsse, abgeleitet aus den verschiedenen Teilzeitspannen, zu den jeweiligen Werten der Gesamtzeitspanne zusammengestellt. Bei den Wasserständen sind dabei jeweils die Wasserstands-differenzen ΔW in [cm] und bei den Abflüssen die prozentualen Abweichungen ΔQ in [%] nach Gl. (4.14) angegeben.

Im Winterhalbjahr (Oktober bis März) verhalten sich die monatlichen Mittelwerte im Jahresgang und die winterhalbjährlichen Mittelwerte der Wasserstands- und Abflusspegel kontrovers. Am Zuflusspegel Diepoldsau (Abb. 6.4) und am Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke (Abb. 6.5) liegen im Winterhalbjahr die Monatsmittelwerte der jeweils 3. und 4. Teilzeitspanne über der jeweiligen Gesamtzeitspanne, wobei die vierte Zeitspanne (1989-2007) die höchsten Werte aufweist. In der 1. und 2. Teilzeitspanne liegen die monatlichen Mittelwerte jeweils unter denen der Gesamtzeitspanne. Damit ergeben sich bei beiden Pegeln nach 1965 deutliche Abflusserhöhungen. Dies kann als Folge des Ausbaus und des Betriebs der Speicherkraftwerke im Einzugsgebiet des Bodensees interpretiert werden. Nach 1988 können die Verände-

rungen möglicherweise auch klimatisch bedingt sein, da im alpinen Einzugsgebiet eine geringere Schneespeicherung vermutet wird. Weitere Auswertungen hierzu enthalten die Abschnitte 2.5 und 7.

Bei den drei Wasserstandspegeln (Abb. 6.1 bis Abb. 6.3) liegen dagegen die monatlichen und halbjährlichen Mittel in der ersten Teilzeitspanne deutlich über und in der 2. Teilzeitspanne deutlich unter den Werten der Gesamtzeitspanne. Die monatlichen und halbjährlichen Mittel der 3. und 4. Teilzeitspanne liegen am Pegel Konstanz um ca. 4 cm unter dem Mittelwert der Gesamtzeitspanne. An den Pegeln Berlingen und Stein-Burg liegen die Mittelwerte sehr nahe beim Mittelwert der Gesamtzeitspanne. Daraus ergeben sich im Winterhalbjahr an den Pegeln Berlingen und Stein-Burg geringfügige Aufhöhungen der Niedrigwasserstände, am Pegel Konstanz dagegen geringfügige Abnahmen. Auf Ursachen für das unterschiedliche Verhalten der Wasserstände am Pegel Konstanz im Vergleich zu denen an den Pegeln Berlingen und Stein-Burg wird in Abschnitt 8 eingegangen.

Tabelle 6.1: Abweichung der mittleren halbjährlichen Wasserstände MW und Abflüsse MQ der Teilzeitreihen zur Gesamtzeitreihe; abgeleitet aus den mittleren monatlichen Wasserständen MW(m) und Abflüssen MQ(m)

Pegel/Gewässer (Messgröße)	Zeitspanne	Winterhalbjahr		Sommerhalbjahr	
		MW _{TZ} , MQ _{TZ}	ΔW, ΔQ	MW _{TZ} , MQ _{TZ}	ΔW, ΔQ
Konstanz/Bodensee (Wasserstand)	1910 - 2007	301,8	-	379,1	-
	1910 - 1941	311,7	9,9 cm	394,6	15,5 cm
	1942 - 1964	295,5	-6,3 cm	373,4	-5,7 cm
	1965 - 1988	298,1	-3,7 cm	381,9	2,8 cm
	1989 - 2007	297,3	-4,5 cm	356,3	-22,8 cm
Berlingen/Bodensee (Wasserstand)	1910 - 2007	282,2	-	357,8	-
	1910 - 1941	286,0	3,8 cm	371,0	13,2 cm
	1942 - 1964	274,9	-7,3 cm	351,4	-6,4 cm
	1965 - 1988	284,1	1,9 cm	362,8	5,0 cm
	1989 - 2007	282,2	0,0 cm	337,0	-20,8 cm
Stein-Burg/Rhein (Wasserstand)	1910 - 2007	254,8	-	330,5	-
	1910 - 1941	258,5	3,7 cm	344,4	13,9 cm
	1942 - 1964	248,4	-6,4 cm	325,2	-5,3 cm
	1965 - 1988	255,8	1,0 cm	334,4	3,9 cm
	1989 - 2007	254,9	0,1 cm	308,6	-21,9 cm
Diepoldsau/Rhein (Abfluss)	1910 - 2007	123,9	-	335,3	-
	1910 - 1941	109,7	-11,5 %	355,6	6,1 %
	1942 - 1964	108,8	-12,2 %	320,8	-4,3 %
	1965 - 1988	142,6	15,1 %	328,1	-2,2 %
	1989 - 2007	149,8	20,9 %	304,1	-9,3 %
Neuhausen-Flurlinger- brücke/Rhein (Abfluss)	1910 - 2007	267,2	-	474,2	-
	1910 - 1941	267,7	0,2 %	505,9	6,7 %
	1942 - 1964	242,3	-9,3 %	446,8	-5,8 %
	1965 - 1988	275,3	3,0 %	491,4	3,6 %
	1989 - 2007	286,0	7,0 %	432,3	-8,8 %
MW _{TZ}	mittlerer Wasserstand der Teilzeitreihe [cm a. P. KN]				
MQ _{TZ}	mittlerer Abfluss der Teilzeitreihe [m ³ /s]				
ΔW	Differenz zum Wasserstand der Gesamtzeitspanne [cm] nach Gl. (4.14)				
ΔQ	prozentuale Abweichung zum Abfluss der Gesamtzeitspanne [%] nach Gl. (4.14)				

Pegel Konstanz/Bodensee

Jahresgänge MW(m) und Halbjahresmittel MW(HJ)

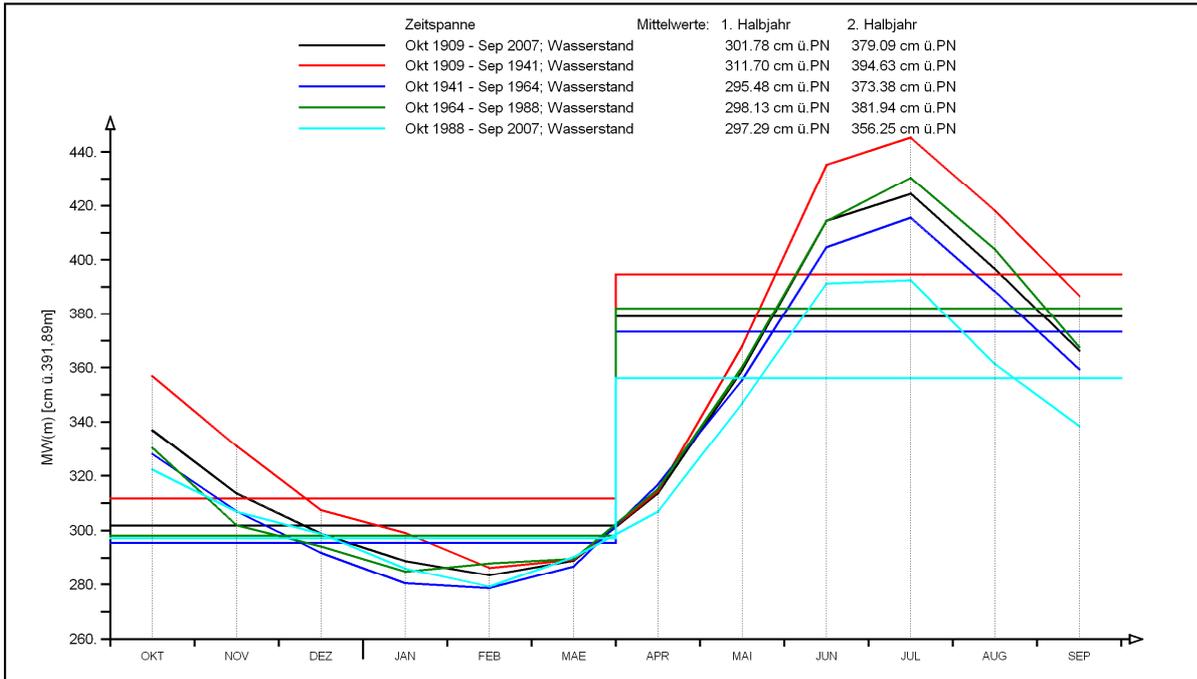


Abb. 6.1: Jahresgang der mittleren monatlichen Wasserstände MW(m) am Pegel Konstanz/Bodensee für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über die Bruchpunkte in den Jahren 1941, 1964, 1988

Pegel Berlingen/Bodensee

Jahresgänge MW(m) und Halbjahresmittel MW(HJ)

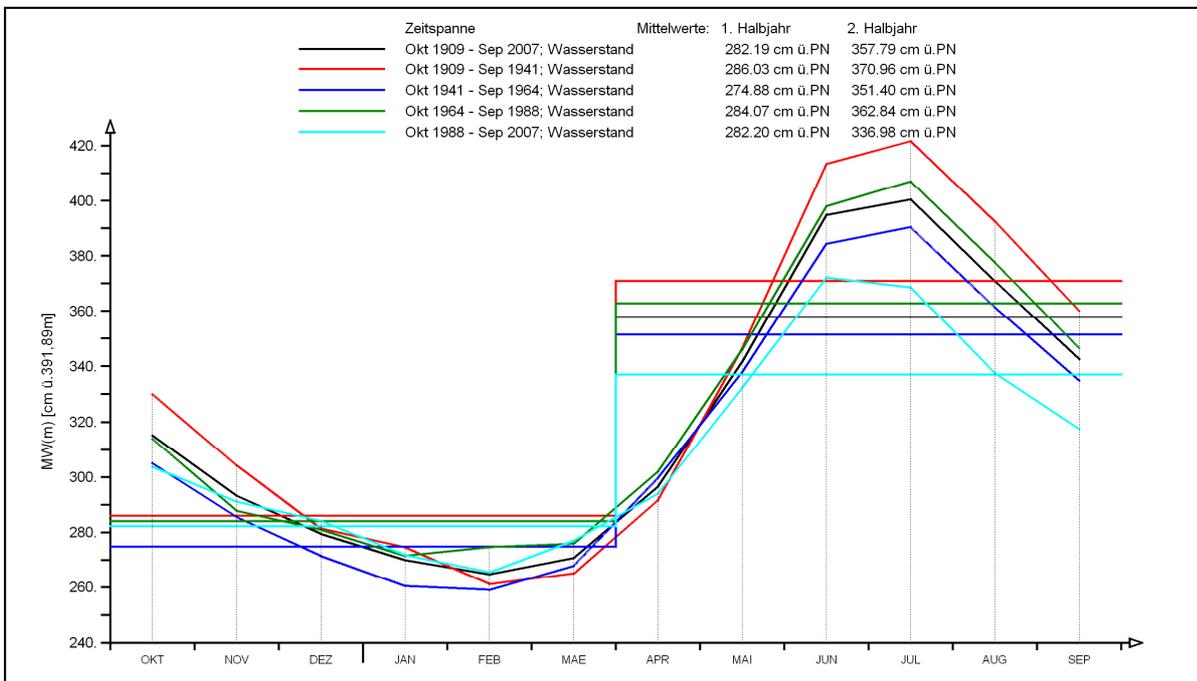


Abb. 6.2: Jahresgang der mittleren monatlichen Wasserstände MW(m) am Pegel Berlingen/Bodensee für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über die Bruchpunkte in den Jahren 1941, 1964, 1988

Pegel Stein-Burg/Rhein

Jahresgänge MW(m) und Halbjahresmittel MW(HJ)

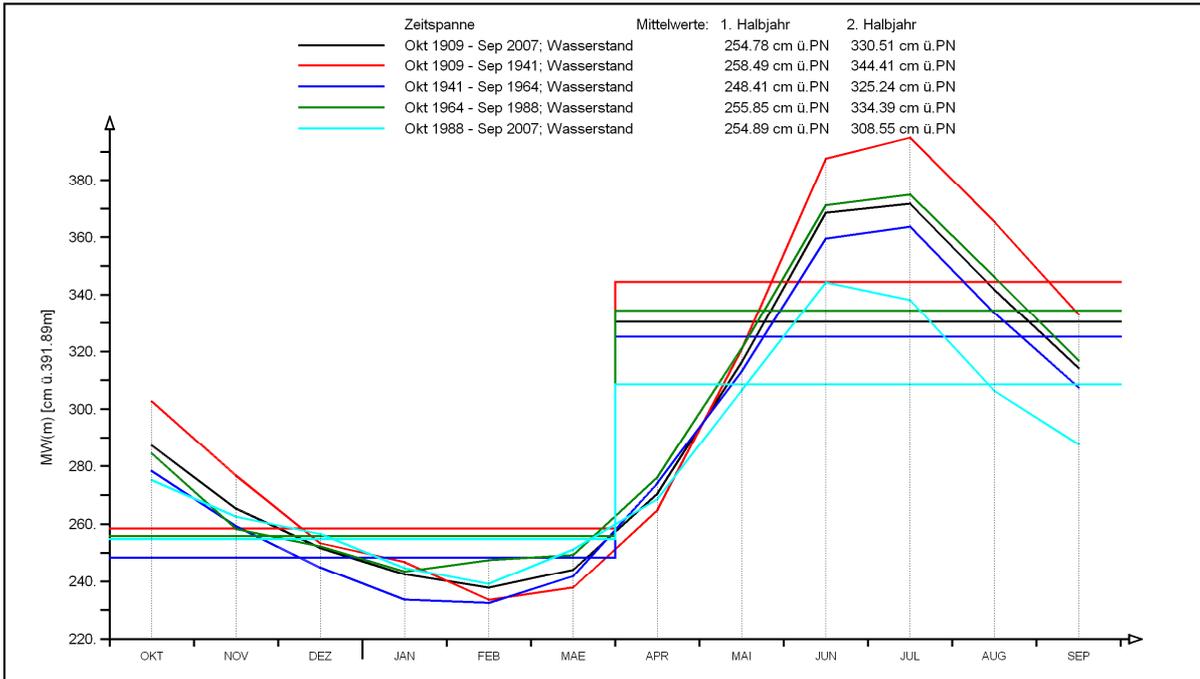


Abb. 6.3: Jahresgang der mittleren monatlichen Wasserstände MW(m) am Pegel Stein-Burg/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über die Bruchpunkte in den Jahren 1941, 1964, 1988

Pegel Diepoldsau/Rhein

Jahresgänge MQ(m) und Halbjahresmittel MQ(HJ)

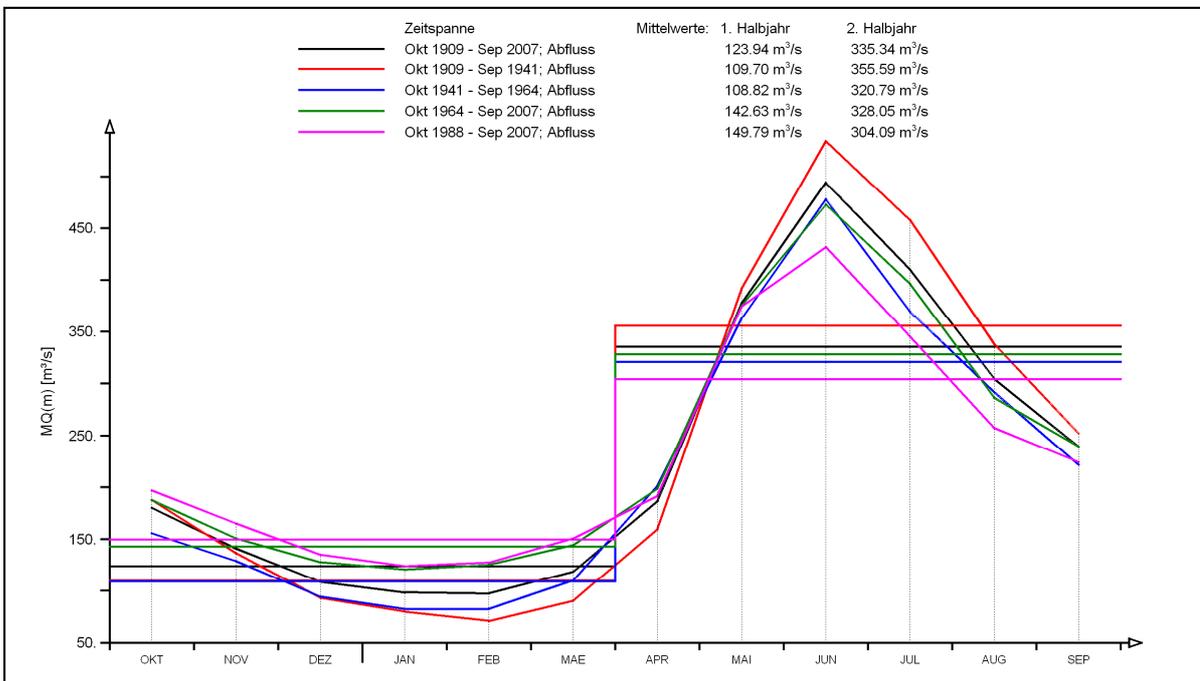


Abb. 6.4: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflüsse MQ(m) am Pegel Diepoldsau/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über die Bruchpunkte in den Jahren 1941, 1964, 1988

Pegel Neuhausen/Rhein

Jahresgänge MQ(m) und Halbjahresmittel MQ(HJ)

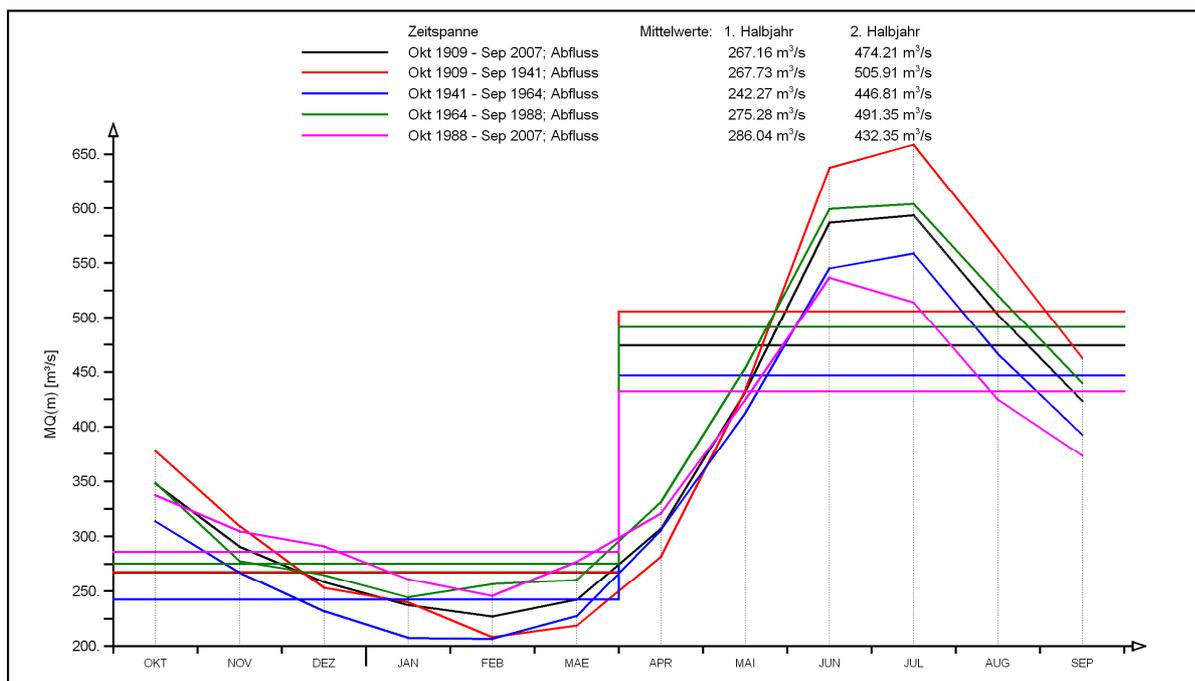


Abb. 6.5: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflüsse MQ(m) am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über die Bruchpunkte in den Jahren 1941, 1964, 1988

6.2 JAHRESGANG DER MONATLICHEN HÖCHSTWERTE DES WASSERSTANDES UND ABFLUSSES

Die Jahresgänge der mittleren monatlichen Höchstwerte des Wasserstandes HW(m) und des Abflusses HQ(m) sowie deren winter- und sommerhalbjährlichen Mittelwerte sind in Abb. 6.6 bis Abb. 6.10 für die einbezogenen Pegel für folgende 3 Zeitspannen dargestellt, die sich an dem Bruchpunkt aus der Langzeitanalyse orientieren:

- Gesamtzeitspanne von 1910 bis 2007
- 1. Teilzeitspanne von 1910 bis 1941
- 2. Teilzeitspanne von 1942 bis 2007

Beim Jahresgang der mittleren monatlichen Höchstwerte kann nur das Sommerhalbjahr (April - September) beurteilt werden, da aufgrund des alpinen Abflussregimes Wasserstands- und Abflusshöchstwerte nur im Sommerhalbjahr auftreten.

Die Jahresgänge in Abb. 6.6 bis Abb. 6.10 zeigen für die einbezogenen Pegel, dass im Sommerhalbjahr für alle betrachteten Zeitspannen ein sehr vergleichbarer Verlauf der mittleren monatlichen Höchstwerte und auch der zugehörigen Mittelwerte des Sommerhalbjahres vorhanden ist. Über die ein-

zelnen Monate ergibt sich eine sehr gleichartige Abnahme der mittleren monatlichen Höchstwerte. Die Mittelwerte der 1. Teilzeitspanne (1910-1941) liegen dabei jeweils deutlich über den Mittelwerten der 2. Teilzeitspanne. In Tabelle 6.2 sind die Abweichungen der mittleren halbjährlichen Höchstwerte des Wasserstands und Abflusses, abgeleitet aus den betrachteten Teilzeitspannen, zu den jeweiligen Werten der Gesamtzeitspanne zusammengestellt. Bei den Wasserständen sind dabei jeweils die Wasserstandsdifferenzen ΔW in [cm] und bei den Abflüssen die prozentualen Abweichungen ΔQ in [%] nach Gl. (4.14) angegeben. Die entsprechenden Werte für das Winterhalbjahr sind aus Gründen der Vollständigkeit mit in die Tabelle übernommen worden, obwohl sie nicht weiter bewertet werden können.

Für die Wasserstandspegel Konstanz, Berlingen und Stein-Burg ergibt sich, dass die mittleren Hochwasserstände des Sommerhalbjahres bei der 1. Teilzeitspanne zwischen 15,7 cm und 17,2 cm über den entsprechenden Wasserständen der Gesamtzeitspanne liegen. Die 2. Teilzeitspanne liegt

zwischen 7,3 cm und 8,0 cm unter dem Wert der Gesamtzeitspanne. Dabei zeigt der Pegel Konstanz jeweils die größten Abweichungen. Hieraus ergibt sich eine deutliche Abnahme der mittleren Hochwasserstände des Bodensees.

Bei den Abflusspegeln Diepoldsau und Neuhausen-Flurlingerbrücke liegt der mittlere Hochwasserabfluss des Sommerhalbjahres bei der 1. Teilzeit-

spanne um 4,6% am Alpenrhein und um 6,9% am Hochrhein über dem Mittelwert der Gesamtzeitspanne. Die 2. Teilzeitspanne liegt am Alpenrhein um 2,1% und am Hochrhein um 3,2% unter dem Mittelwert der Gesamtzeitreihe. Hieraus ist deutlich zu erkennen, dass auch die Hochwasserabflüsse im Zufluss- und Ausflussbereich des Bodensees nach 1941 deutlich abgenommen haben.

Tabelle 6.2: Abweichung der mittleren halbjährlichen Hochwasserstände MHW und -abflüsse MHQ der Teilzeitreihen zur Gesamtzeitreihe; abgeleitet aus den monatlichen Hochwasserständen HW(m) und -abflüssen HQ(m)

Pegel/Gewässer (Messgröße)	Zeitspanne	Winterhalbjahr		Sommerhalbjahr	
		MHW _{TZ} , MHQ _{TZ}	ΔHW, ΔHQ	MHW _{TZ} , MHQ _{TZ}	ΔHW, ΔHQ
Konstanz/Bodensee (Wasserstand)	1910 - 2007	318,2		404,2	
	1910 - 1940	328,6	10,4 cm	421,4	17,2 cm
	1941 - 2007	313,3	-4,9 cm	396,2	-8,0 cm
Berlingen/Bodensee (Wasserstand)	1910 - 2007	298,7		382,3	
	1910 - 1940	303,8	5,1 cm	398,0	15,7 cm
	1941 - 2007	296,3	-2,4 cm	375,0	-7,3 cm
Stein-Burg/Rhein (Wasserstand)	1910 - 2007	271,8		355,4	
	1910 - 1940	276,8	5,0 cm	371,7	16,3 cm
	1941 - 2007	269,5	-2,3 cm	347,8	-7,6 cm
Diepoldsau/Rhein (Abfluss)	1910 - 2007	260,6		762,2	
	1910 - 1940	233,9	-10,3 %	797,6	4,6 %
	1941 - 2007	273,0	4,8 %	745,9	-2,1 %
Neuhausen-Flurlinger- brücke/Rhein (Abfluss)	1910 - 2007	317,4		556,6	
	1910 - 1940	320,8	1,1 %	595,2	6,9 %
	1941 - 2007	315,9	-0,5 %	538,7	-3,2 %
MW _{TZ}	mittlerer Wasserstand der Teilzeitreihe [cm a. P. KN]				
MQ _{TZ}	mittlerer Abfluss der Teilzeitreihe [m ³ /s]				
ΔW	Differenz zum Wasserstand der Gesamtzeitspanne [cm] nach Gl. (4.14)				
ΔQ	prozentuale Abweichung zum Abfluss der Gesamtzeitspanne [%] nach Gl. (4.14)				

Pegel Konstanz/Bodensee

Jahresgänge MHW(m) und Halbjahresmittel MHW(HJ)

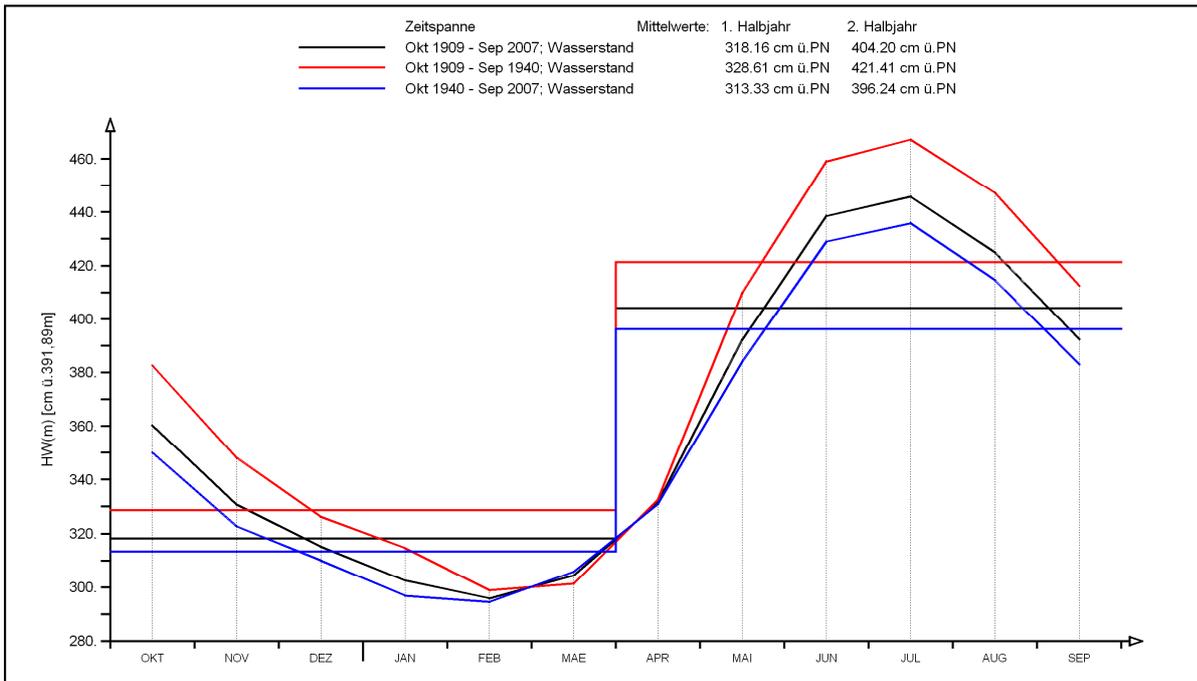


Abb. 6.6: Jahresgang der mittleren monatlichen Höchstwerte des Wasserstandes HW(m) am Pegel Konstanz/Bodensee für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1941

Pegel Berlingen/Bodensee

Jahresgänge MHW(m) und Halbjahresmittel MHW(HJ)

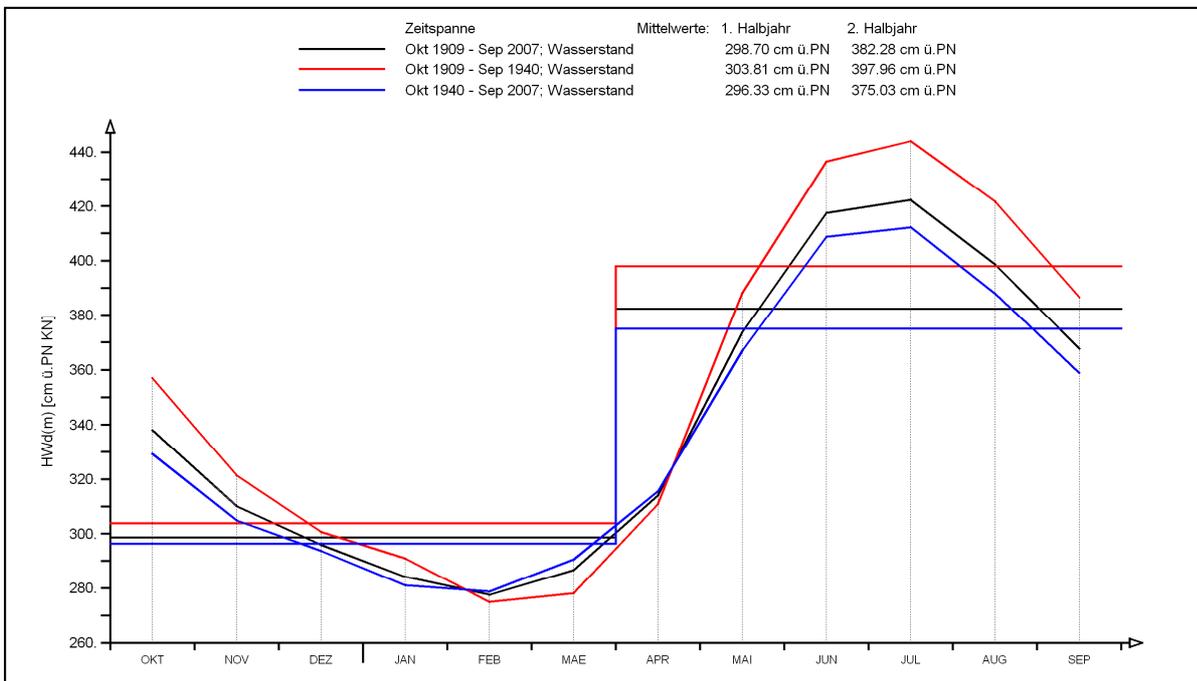


Abb. 6.7: Jahresgang der mittleren monatlichen Höchstwerte des Wasserstandes HW(m) am Pegel Berlingen/Bodensee für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1941

Pegel Stein-Burg/Rhein

Jahresgänge MHW(m) und Halbjahresmittel MHW(HJ)

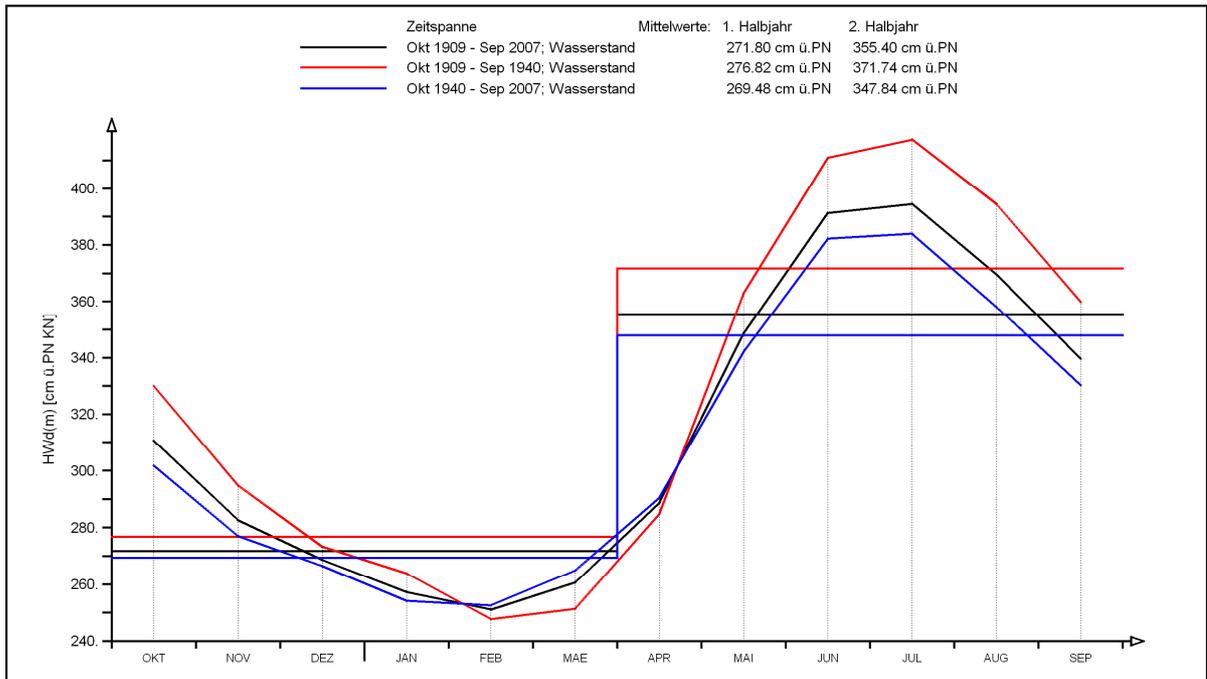


Abb. 6.8: Jahresgang der mittleren monatlichen Höchstwerte des Wasserstandes HW(m) am Pegel Stein-Burg/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1941

Pegel Diepoldsau/Rhein

Jahresgänge MHQ(m) und Halbjahresmittel MHQ(HJ)

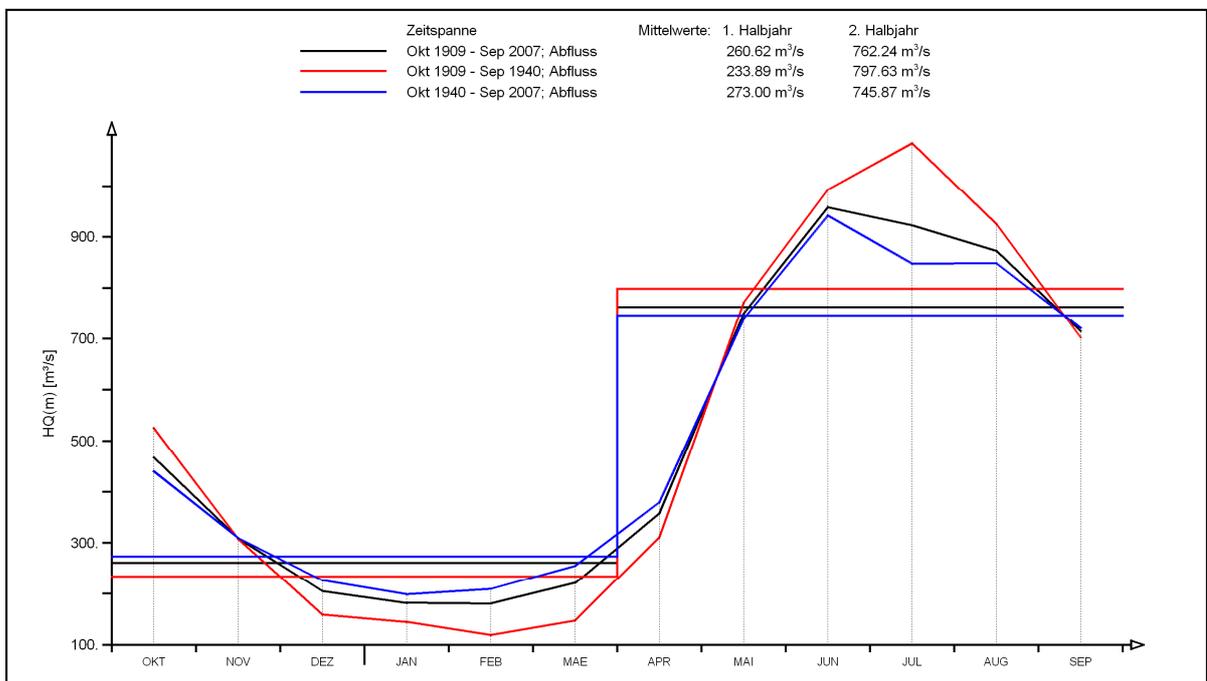


Abb. 6.9: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflusshöchstwerte HQ(m) am Pegel Diepoldsau/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1941

Pegel Neuhausen/Rhein

Jahresgänge MHQ(m) und Halbjahresmittel MHQ(HJ)

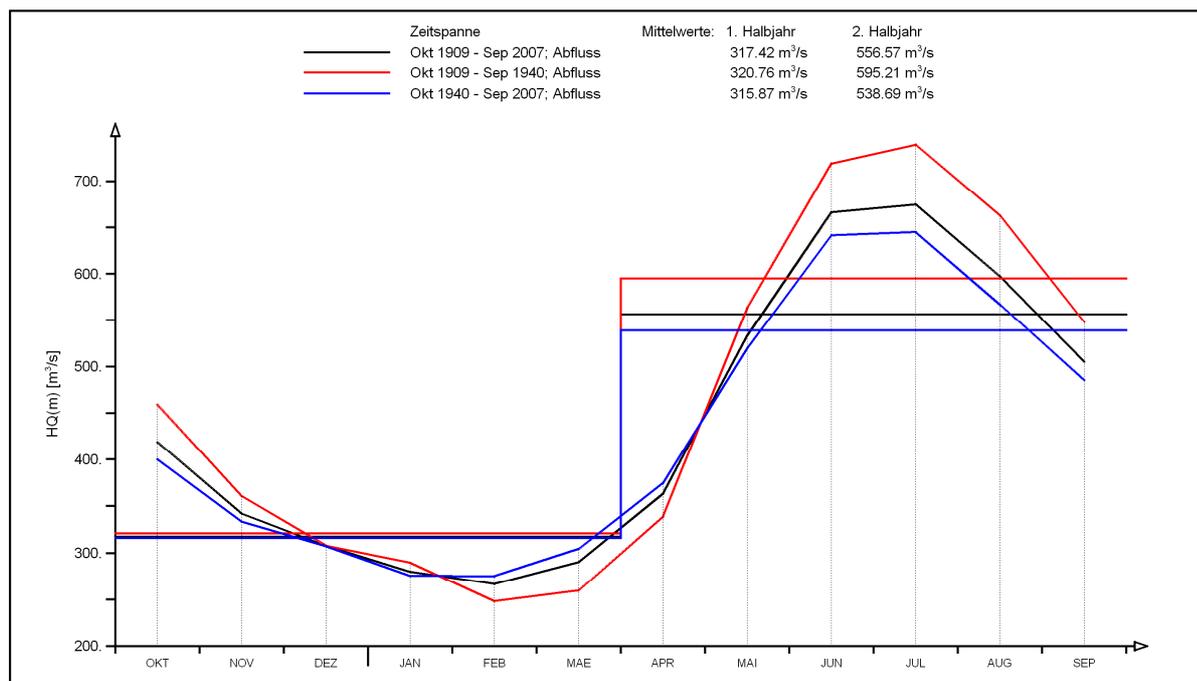


Abb. 6.10: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflusshöchstwerte HQ(m) am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1941

6.3 JAHRESGANG DER MONATLICHEN NIEDRIGSTWERTE DES WASSERSTANDES UND ABFLUSSES

Die Jahresgänge der mittleren monatlichen Niedrigstwerte des Wasserstandes NW(m) und des Abflusses NQ(m) sowie deren winter- und sommerhalbjährlichen Mittelwerte sind in Abb. 6.11 bis Abb. 6.15 für die einbezogenen Pegel für folgende 3 Zeitspannen dargestellt, die sich an dem Bruchpunkt aus der Langzeitanalyse orientieren:

- Gesamtzeitspanne von 1910 bis 2007
- 1. Teilzeitspanne von 1910 bis 1954
- 2. Teilzeitspanne von 1955 bis 2007

Beim Jahresgang der mittleren monatlichen Niedrigstwerte kann nur das Winterhalbjahr (November - April) beurteilt werden, da aufgrund des alpinen Abflussregimes Wasserstands- und Abflussniedrigstwerte nur im Winterhalbjahr auftreten.

Die Jahresgänge in Abb. 6.11 bis Abb. 6.15 zeigen für die einbezogenen Pegel, dass mit Ausnahme des Pegels Konstanz (Abb. 6.11) im Winterhalbjahr für alle betrachteten Zeitspannen ein sehr vergleichbarer Verlauf der mittleren monatlichen Niedrigstwerte und auch der zugehörigen Mittelwerte des Halb-

jahres vorhanden ist. Über die einzelnen Monate ergibt sich eine sehr gleichartige Zunahme der mittleren Niedrigstwerte. Die Mittelwerte der 1. Teilzeitspanne (1910-1941) liegen dabei jeweils deutlich unter den Mittelwerten der 2. Teilzeitspanne. In Tabelle 6.3 sind die Abweichungen der mittleren halbjährlichen Niedrigst-Wasserstände und Niedrigst-Abflüsse, abgeleitet aus den betrachteten Teilzeitspannen, zu den jeweiligen Werten der Gesamtzeitspanne zusammengestellt. Bei den Wasserständen sind dabei jeweils die Wasserstandsdifferenzen ΔW in [cm] und bei den Abflüssen die prozentualen Abweichungen ΔQ in [%] nach Gl. (4.14) angegeben. Die entsprechenden Werte für das Sommerhalbjahr sind aus Gründen der Vollständigkeit mit in die Tabelle übernommen worden, obwohl sie nicht weiter bewertet werden können.

Für die Wasserstandspegel Berlingen und Steinburg ergibt sich, dass die mittleren Niedrigwasserstände des Winterhalbjahres bei der 1. Teilzeitspanne um 3,5 cm bzw. 3,7 cm unter den entsprechenden Wasserständen der Gesamtzeitspanne liegen. Die zweite Teilzeitspanne liegt um 3,0 cm

bzw. 3,1 cm über dem Wert der Gesamtzeitspanne. Hieraus ergibt sich für den Bodensee eine Zunahme der mittleren Niedrigwasserstände. Der Pegel Konstanz zeigt dagegen ein nahezu unverändertes Verhalten. Die Veränderungen sind an diesem Pegel sehr gering und betragen +1,9 cm (Zunahme) bei der 1. Teilzeitspanne und -1,6 cm (Abnahme) bei der 2. Teilzeitspanne.

Bei den Abflusspegeln Diepoldsau und Neuhausen-Flurlingerbrücke ergibt sich qualitativ das gleiche Verhalten wie auch bei den Wasserstandspegeln Berlingen und Stein-Burg. Der mittlere Niedrigwasserabfluss des Winterhalbjahres ist bei der 1. Teilzeitspanne um 7,3% am Alpenrhein und um 7,0% am Hochrhein kleiner als bei der Gesamtzeit-

spanne. Die 2. Teilzeitspanne liegt am Alpenrhein um 6,2% und am Hochrhein um 5,9% über dem Mittelwert der Gesamtzeitreihe. Hieraus ist deutlich zu erkennen, dass die Niedrigwasserabflüsse im Zufluss- und Ausflussbereich des Bodensees nach 1955 deutlich zugenommen haben.

Danach ergeben sich nach 1955 deutlich erkennbare Niedrigwasser- und Abflussaufhöhungen, die im Zusammenhang mit dem Ausbau der Kraftwerk-speicherbecken im alpinen Bodensee-Einzugsgebiet stehen. Weiteres hierzu siehe Abschnitte 6.4, 7, 8 und 9.

Tabelle 6.3: Abweichung der mittleren halbjährlichen Niedrigwasserstände MNW und -abflüsse MNQ der Teilzeitreihen zur Gesamtzeitreihe; abgeleitet aus den monatlichen Niedrigwasserständen NW(m) und -abflüssen NQ(m)

Pegel/Gewässer (Messgröße)	Zeitspanne	Sommerhalbjahr		Winterhalbjahr	
		MNW _{TZ} , MNQ _{TZ}	ΔNW, ΔNQ	MNW _{TZ} , MNQ _{TZ}	ΔNW, ΔNQ
Konstanz/Bodensee (Wasserstand)	1910 - 2007	357,6		284,0	
	1910 - 1954	366,3	8,7 cm	285,9	1,9 cm
	1955 - 2007	350,1	-7,5 cm	282,4	-1,6 cm
Berlingen/Bodensee (Wasserstand)	1910 - 2007	335,6		264,7	
	1910 - 1954	341,5	6,0 cm	261,2	-3,5 cm
	1955 - 2007	330,5	-5,1 cm	267,6	2,9 cm
Stein-Burg/Rhein (Wasserstand)	1910 - 2007	307,5		237,0	
	1910 - 1954	314,7	7,2 cm	233,3	-3,7 cm
	1955 - 2007	301,4	-6,1 cm	240,1	3,1 cm
Diepoldsau/Rhein (Abfluss)	1910 - 2007	205,4		82,9	
	1910 - 1954	215,4	4,9 %	76,8	-7,3 %
	1955 - 2007	196,9	-4,1 %	88,0	6,2 %
Neuhausen-Flurlinger- brücke/Rhein (Abfluss)	1910 - 2007	403,9		223,2	
	1910 - 1954	414,0	2,5 %	207,7	-6,9 %
	1955 - 2007	395,3	-2,1 %	236,4	5,9 %
MW _{TZ} mittlerer Wasserstand der Teilzeitreihe [cm a. P. KN] MQ _{TZ} mittlerer Abfluss der Teilzeitreihe [m ³ /s] ΔW Differenz zum Wasserstand der Gesamtzeitspanne [cm] nach Gl. (4.14) ΔQ prozentuale Abweichung zum Abfluss der Gesamtzeitspanne [%] nach Gl. (4.14)					

Pegel Konstanz/Bodensee

Jahresgänge MNW(m) und Halbjahresmittel MNW(HJ)

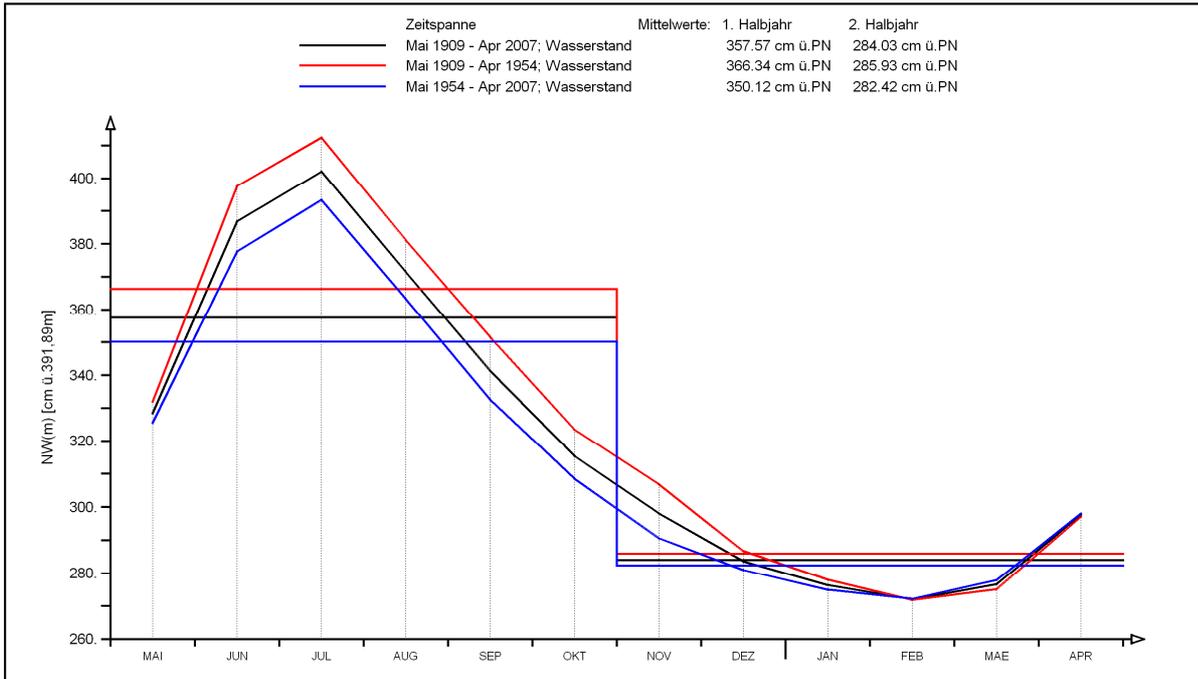


Abb. 6.11: Jahresgang der mittleren monatlichen Niedrigstwerte des Wasserstandes NW(m) am Pegel Konstanz/Bodensee für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1954

Pegel Berlingen/Bodensee

Jahresgänge MNW(m) und Halbjahresmittel MNW(HJ)

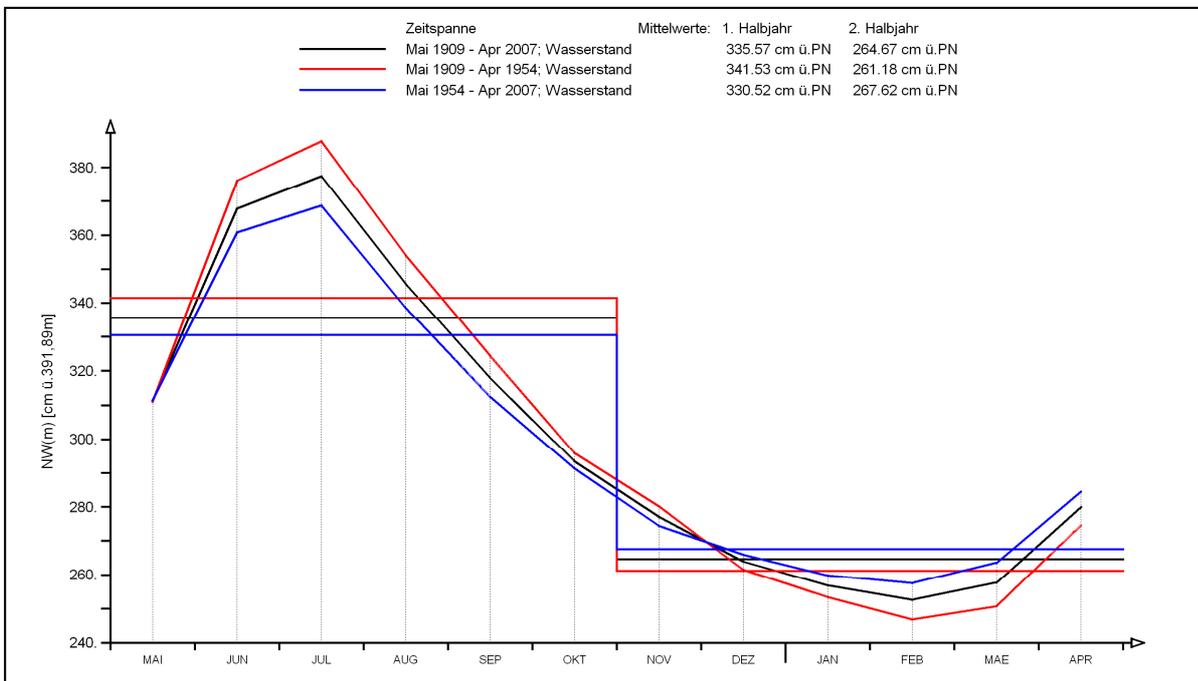


Abb. 6.12: Jahresgang der mittleren monatlichen Niedrigstwerte des Wasserstandes NW(m) am Pegel Berlingen/Bodensee für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1954

Pegel Stein-Burg/Rhein

Jahresgänge MNW(m) und Halbjahresmittel MNW(HJ)

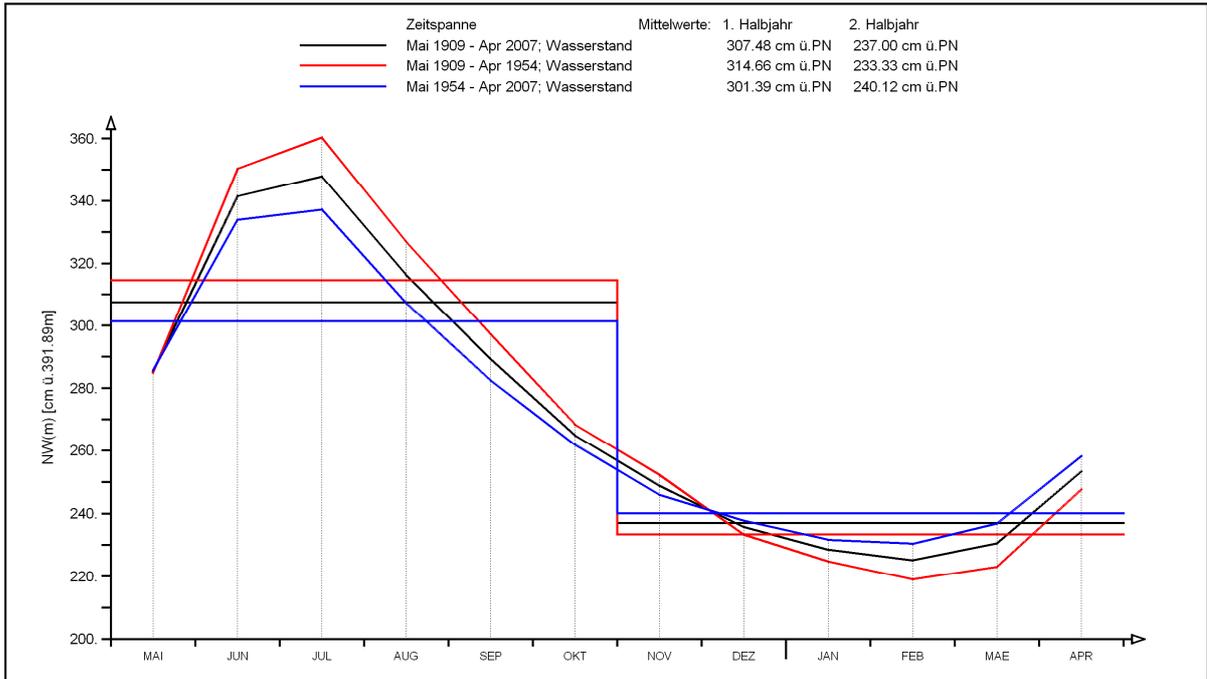


Abb. 6.13: Jahresgang der mittleren monatlichen Niedrigstwerte des Wasserstandes NW(m) am Pegel Stein-Burg/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1954

Pegel Diepoldsau/Rhein

Jahresgänge MNQ(m) und Halbjahresmittel MNQ(HJ)

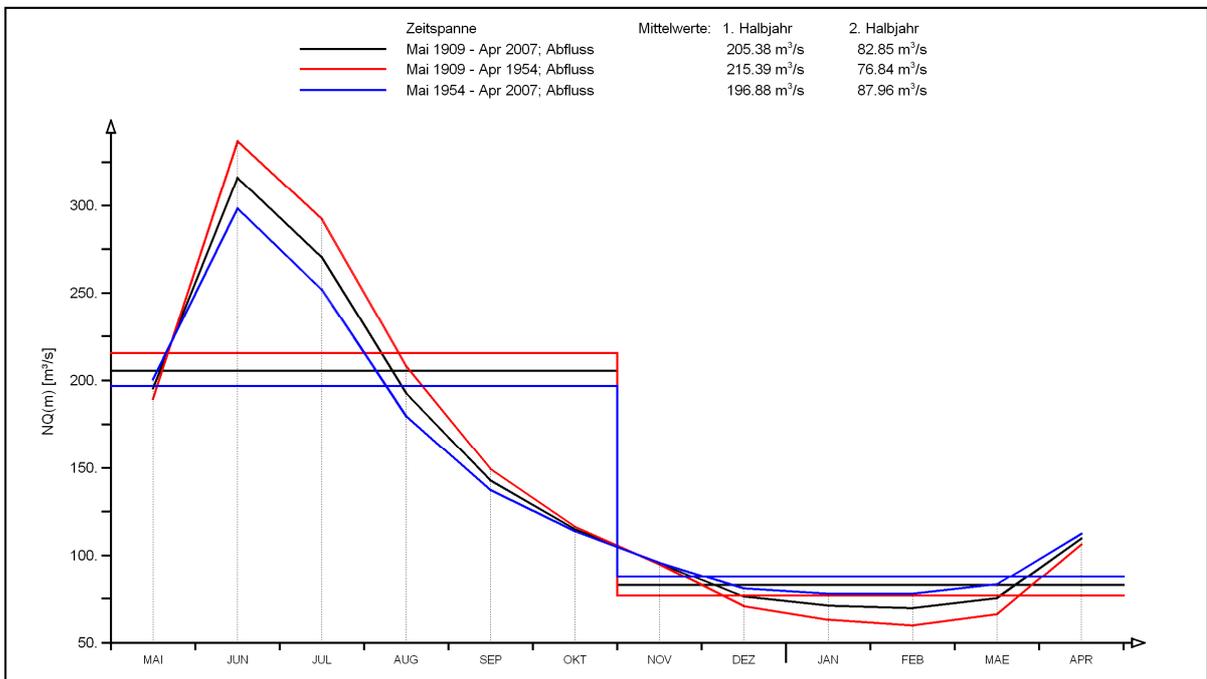


Abb. 6.14: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflussniedrigstwerte NQ(m) am Pegel Diepoldsau/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1954

Pegel Neuhausen/Rhein

Jahresgänge MNQ(m) und Halbjahresmittel MNQ(HJ)

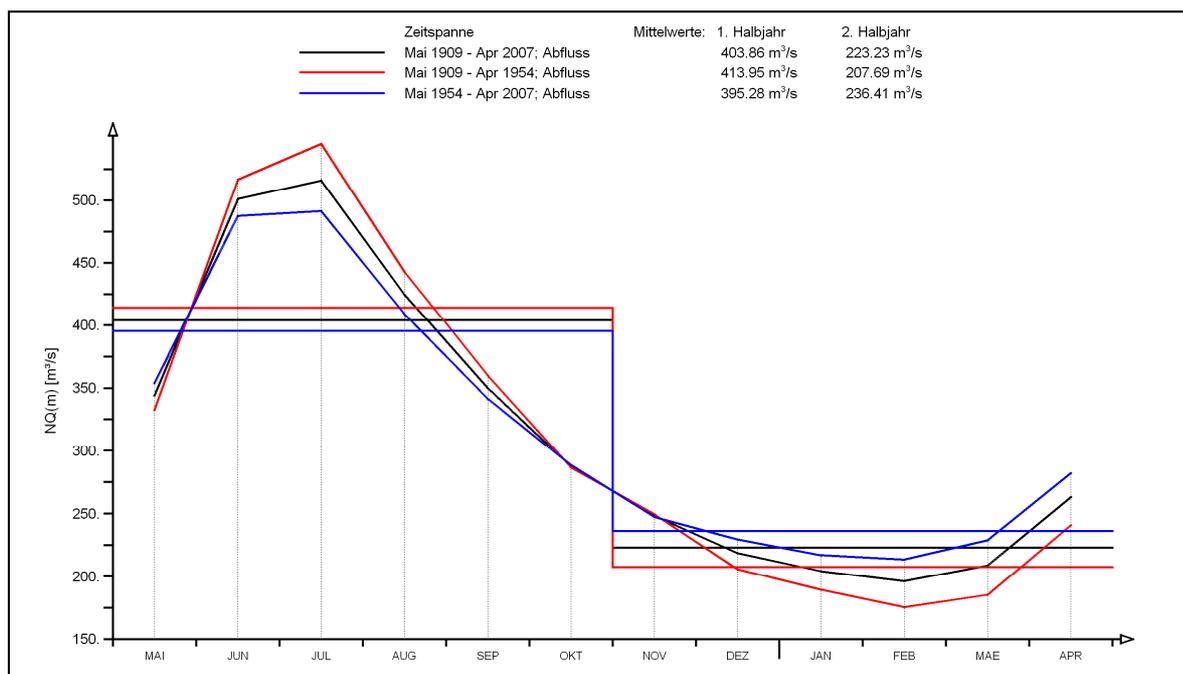


Abb. 6.15: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflussniedrigstwerte $NQ(m)$ am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1954

6.4 ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DES JAHRESGANGS DER KENNWERTE

Zur Bewertung des saisonalen Verhaltens der Wasserstands- und Abflusskennwerte wurde für die mittleren monatlichen Werte, die monatlichen Höchstwerte und die monatlichen Niedrigstwerte der mittlere Jahresgang ermittelt. Verglichen wurden dabei jeweils verschiedene Teilzeitreihen, die auf der Grundlage der Bruchpunkte aus der Langzeitanalyse in Abschnitt 5 erstellt wurden, mit der Gesamtzeitreihe. Bewertet wurde vor allem die Veränderung, die bei den halbjährlichen Mittelwerten erkennbar ist. Die wesentlichen Erkenntnisse hieraus sind:

- Die mittleren monatlichen Wasserstände und Abflüsse zeigen im Sommerhalbjahr generell abnehmende Tendenzen. Im Winterhalbjahr ergeben sich bei den mittleren monatlichen Abflüssen zunehmende Tendenzen. Die drei Wasserstandspegel Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein weisen dagegen auch in den Wintermonaten leicht abnehmende Tendenzen auf. Beim Zufluss und Aus-

fluss erfolgt eine Verlagerung der Abflüsse vom Sommer- in das Winterhalbjahr.

- Die höchsten monatlichen Wasserstände und Abflüsse zeigen nach 1941 im Sommerhalbjahr generell abnehmende Tendenzen. Bei den Wasserstandspegeln zeigt dabei der Pegel Konstanz etwas größere Veränderungen als die Pegel Berlingen und Stein-Burg. Bei den Abflüssen zeigt der Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke größere prozentuale Veränderungen als der Zuflusspegel Diepoldsau.
- Die niedrigsten Wasserstände und Abflüsse weisen im Winterhalbjahr generell zunehmende Tendenzen auf. Ausnahme hiervon ist jedoch der Pegel Konstanz/Bodensee mit nahezu konstant bleibenden Wasserständen.
- Der Jahresgang der Wasserstände und Abflüsse bleibt im Wesentlichen erhalten.
- Bei allen betrachteten Wasserstands- und Abflusspegeln ergeben sich deutliche Veränderungen sowohl im Sommerhalbjahr als auch im Winterhalbjahr. Weitere Beschreibungen hierzu befinden sich in den Abschnitten 2.5 und 7.

7 Monatliche Trends der Wasserstände und Abflüsse

Wie aus den Ergebnissen in Abschnitt 6, in dem die Jahresgänge der verschiedenen Kennwerte (mittlere, höchste und niedrigste Monatswerte) des Wasserstands und Abflusses betrachtet wurden, deutlich hervorgeht, liegt offenbar eine saisonale Verschiebung im Langzeitverhalten der Bodenseewasserstände und auch des Abflusses im Zu- und Ausflussbereich vor. Höchstwerte im Sommerhalbjahr sind abgemindert und Niedrigstwerte im Winterhalbjahr erhöht. Um dieses Verhalten näher beurteilen zu können, wurde zusätzlich auch eine Langzeituntersuchung der einzelnen Monatswerte durchgeführt.

Aufgrund der großen Wasserfläche des Bodensees kann der Wasserstand nicht auf relativ schnell ablaufende Zufluss- bzw. Abflussereignisse reagieren. Es ist vielmehr immer eine große Volumendifferenz zwischen dem Zu- und Ausfluss des Bodensees erforderlich, die verteilt auf die Wasserfläche, zu einem merklichen Anheben oder Absenken des Wasserspiegels führt. Um diesem gerecht werden zu können, wurden in die Untersuchung des Langzeitverhaltens der Monatswerte nur mittlere Monatswerte und keine Höchst- oder Niedrigstwerte einbezogen.

Somit wurden für die Wasserstandspegel Konstanz, Berlingen und Stein-Burg sowie für die Abflusspegel Diepoldsau und Neuhausen-Flurlingerbrücke die Jahresreihen der jeweils mittleren monatlichen Wasserstände MW(m) bzw. Abflüsse MQ(m) für die einheitliche Beobachtungszeitspanne 1910 bis 2007 ausgewertet. Ermittelt wurden jeweils der lineare Trend und die Trendsignifikanz für die gesamte Beobachtungszeitspanne. Beispielhaft zeigt Abb. 7.1 für den Monat März die Langzeitanalyse

der Jahresreihen der mittleren Monatswerte für die einbezogenen Pegel. Hieraus ergibt sich:

- Die mittleren monatlichen Wasserstände für den Monat März am Pegel Konstanz/Bodensee stellen eine stationäre (trendfreie) Zeitreihe dar, für die kein Bruchpunkt ausgewiesen wird.
- Die Wasserstände am Pegel Berlingen/Bodensee zeigen einen steigenden Trend, der auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 92\%$ signifikant ist. Der Bruchpunkt liegt im Jahr 1954.
- Am Pegel Stein-Burg/Rhein ergibt sich ebenfalls ein signifikant steigender Trend mit $\alpha = 92\%$ und einen Bruchpunkt im Jahr 1954.
- Die Zuflüsse am Pegel Diepoldsau/Rhein weisen einen hochsignifikanten, stark steigenden Trend mit $\alpha = 99,999\%$ auf und einen Bruchpunkt im Jahr 1964.
- Der Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke zeigt einen hochsignifikant steigenden Trend mit $\alpha = 99,95\%$ und einen Bruchpunkt im Jahr 1965.

Die Graphiken mit den Auswertungen der Jahresreihen für alle Monate sind in Anlage B zusammengestellt. Zur Beurteilung der Ergebnisse aus der Langzeitanalyse der monatlichen Mittelwerte sind die wesentlichsten Informationen in Tabelle 7.1 aufgelistet.

Der Jahresgang der jeweils mittleren Monatswerte und der Trendsteigungen ist in Abb. 7.2 und Abb. 7.3 dargestellt. Die Ergebnisse der Langzeituntersuchung zu den Trends der mittleren Monatswerte des Wasserstandes und des Abflusses sind:

- Der Wasserstandspegel Konstanz/Bodensee (Abb. 7.2, oberes Diagramm) zeigt über das gesamte Jahr deutlich fallende Trends, die für die Monate Juni bis November hochsignifikant sind

(Tabelle 7.1). Ausnahme hiervon ist lediglich der März, der eine unbedeutende, nichtsignifikante Zunahme aufweist.

- An den beiden weiteren Wasserstandspegeln Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein (Abb. 7.2, mittleres und unteres Diagramm) sind ebenfalls vorwiegend fallende Trends vorhanden, die in den Monaten Juni bis September hochsignifikant sind (Tabelle 7.1). In den Monaten zwischen Dezember und April ergeben sich mit Ausnahme im Januar jedoch gering steigende Tendenzen, die deutlich geringere oder keine Signifikanzen aufweisen. Lediglich in den Monaten Februar und März sind schwachsignifikante bis signifikante Trends vorhanden.
- Der Zuflusspegel Diepoldsau/Rhein (Abb. 7.3, oberes Diagramm) zeigt sowohl in den mittleren monatlichen Abflüsse MQ(m) als auch in den Trends der mittleren Monatswerte einen deutlich ausgeprägten Jahresgang. Im gesamten Winterhalbjahr zwischen Oktober und April sind in der Phase der niedrigeren Abflüsse deutlich steigende Veränderungen in den mittleren Monatsabflüssen vorhanden. Die Trends sind zwischen Dezember und April hochsignifikant (Tabelle 7.1) und weisen darauf hin, dass im Winterhalbjahr erhebliche Abflusszunahmen vorhanden sind. In den Monaten Mai bis September ist dagegen eine Abflussabnahme mit fallenden Trends vorhanden, die in den Monaten Juni bis August signifikant bis hochsignifikant sind. Aus diesem Jahresgang der Trendsteigungen ergibt sich eindeutig, dass am Hauptzufluss des Bodensees eine Verlagerung der Abflüsse vom Sommerhalbjahr ins Winterhalbjahr vorliegt.
- Am Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein (Abb. 7.3, oberes Diagramm) setzt sich die Tendenz, die am Pegel Diepoldsau/Rhein vorhanden ist, ähnlich abgemindert, wie an den Wasserstandspegeln Berlingen und Stein-Burg, fort. Auch an diesem Pegel sind signifikante bis hochsignifikante Trends im Sommer und Winter vorhanden (Tabelle 7.1). Diese Trends führen insbesondere im Sommer-

halbjahr zu einer Abnahme der Abflüsse und stehen somit in einem engen Zusammenhang zum gleichzeitigen Rückgang der Wasserstände im Bodensee. Die Abflusszunahmen im Winterhalbjahr sind jedoch deutlich weniger ausgeprägt und sind infolge des großen Wasserkörpers des Bodensees gedämpft.

Die Verlagerung der monatlichen Abflüsse aus dem alpinen Einzugsgebiet des Bodensees vom Sommerhalbjahr ins Winterhalbjahr ist vor allem auf den Ausbau und Betrieb der Kraftwerkspeicher im Einzugsgebiet des Alpenrheins zurückzuführen. Wie bereits im Abschnitt 2.5 beschrieben ist, erfolgte der Ausbau der Kraftwerk-Speicher schwerpunktmäßig in den Jahren zwischen 1950 und 1976. In diesen Jahren wurden ca. 690 von insgesamt ca. 783 Mio. m³ Speichervolumen hergestellt. Infolge des Speicherbetriebs sind insbesondere im Bereich der Niedrigwasserperiode im Winterhalbjahr erhebliche Abflussbeeinflussungen vorhanden, die sich als Abfluss- und Wasserstands-Erhöhungen bemerkbar machen. Ein vergleichbares Verhalten ist auch im Jahresgang des Speicherinhalts der schweizerischen Kraftwerksspeicher in Abschnitt 2.5 erkennbar.

Bedingt durch die ungleiche Auslastung der Kraftwerk-Speicher wird bei den Wasserabgaben im Tag/Nacht-Betrieb (IGKB 2004 [27]) bzw. im Werktag/Wochenend-Betrieb trotz der Ausgleichsbecken (z.B. bei Reichenau) Schwall erzeugt, der im Alpenrhein am Pegel Diepoldsau/Alpenrhein während der natürlichen Niedrigwasserzeiten (Monate Dezember bis März) gut erkennbar ist. Ab ca. 1958 zeichnet sich der Beginn des Schwallbetriebs mit Wochenend-Schwankungsamplituden von ca. 15 m³/s ab. Diese nehmen zu und erreichen an Wochenenden in den Wintermonaten Januar bis März der Jahre 1976 bis 1980 Schwankungs-Amplituden von 60 m³/s bis 80 m³/s. Abb. 7.4 zeigt hierzu beispielhaft die Auswirkung des wöchentlichen Schwallbetriebs am Pegel Diepoldsau/Rhein während der Wintermonate Januar bis März 2005. Im Wochenrhythmus ergeben sich an diesem Pegel zwischen den Werktagen

und dem Wochenende heute Abflussschwankungen zwischen ca. 100 bis 120 m³/s. Diese Zufluss-Schwankungen werden jedoch infolge des großen Wasserkörpers des Bodensees sehr stark gedämpft, so dass sie bei den Bodensee-Wasserständen beispielsweise am Pegel Romanshorn nur schwach und am Ausflusspegel Neuhausen-Flurlingerbrücke kaum erkennbar sind.

Weitergehende Bruchpunktanalysen und auch Trendberechnungen zeigen, dass die deutlich zunehmenden Trends in den Abflüssen des Pegels Diepoldsau/Rhein sehr gut mit der zeitlichen Entwicklung der Kraftwerkspeicher in der Alpenregion korrelieren. Abb. 7.5 und Abb. 7.6 zeigen hierzu für zwei ausgewählte Monate die Jahresreihen der mittleren Monatsabflüsse sowie die partiellen Mittelwerte und Trends anhand von Bruchpunkten in den Jahren 1952 und 1982. Aus Abb. 7.5 ist deutlich die zeitliche Entwicklung der Niedrigwassererhöhung im Februar erkennbar. Vor dem Bruchpunkt im Jahr

1952 ist ein stationärer (trendfreier) Verlauf der mittleren Monatsabflüsse mit einem Mittelwert von 71,3 m³/s vorhanden und nach 1982 eine nichtsignifikante geringe Abnahme bei einem Mittelwert von 127,4 m³/s. Die mittlere Zunahme beträgt somit ca. 56 m³/s. Zwischen den Jahren 1952 und 1976, in denen die Inbetriebnahme der meisten Kraftwerkspeicher stattfand, steigen die mittleren Monatsabflüsse um diesen Differenzbetrag kontinuierlich an.

Im Monat August (Abb. 7.6) dagegen ist eine Abnahme der monatlichen Abflüsse vorhanden. Der Mittelwert des Abflusses nimmt dabei von 318,4 m³/s vor 1952 auf 268,7 m³/s nach 1982 ab. Diese Abnahme, die vorwiegend infolge der Speicherfüllungen entsteht, entspricht ca. 50 m³/s und entspricht somit ungefähr der Niedrigwassererhöhung im Februar.

mittlere Monatswerte: MW(Mrz), MQ(Mrz)

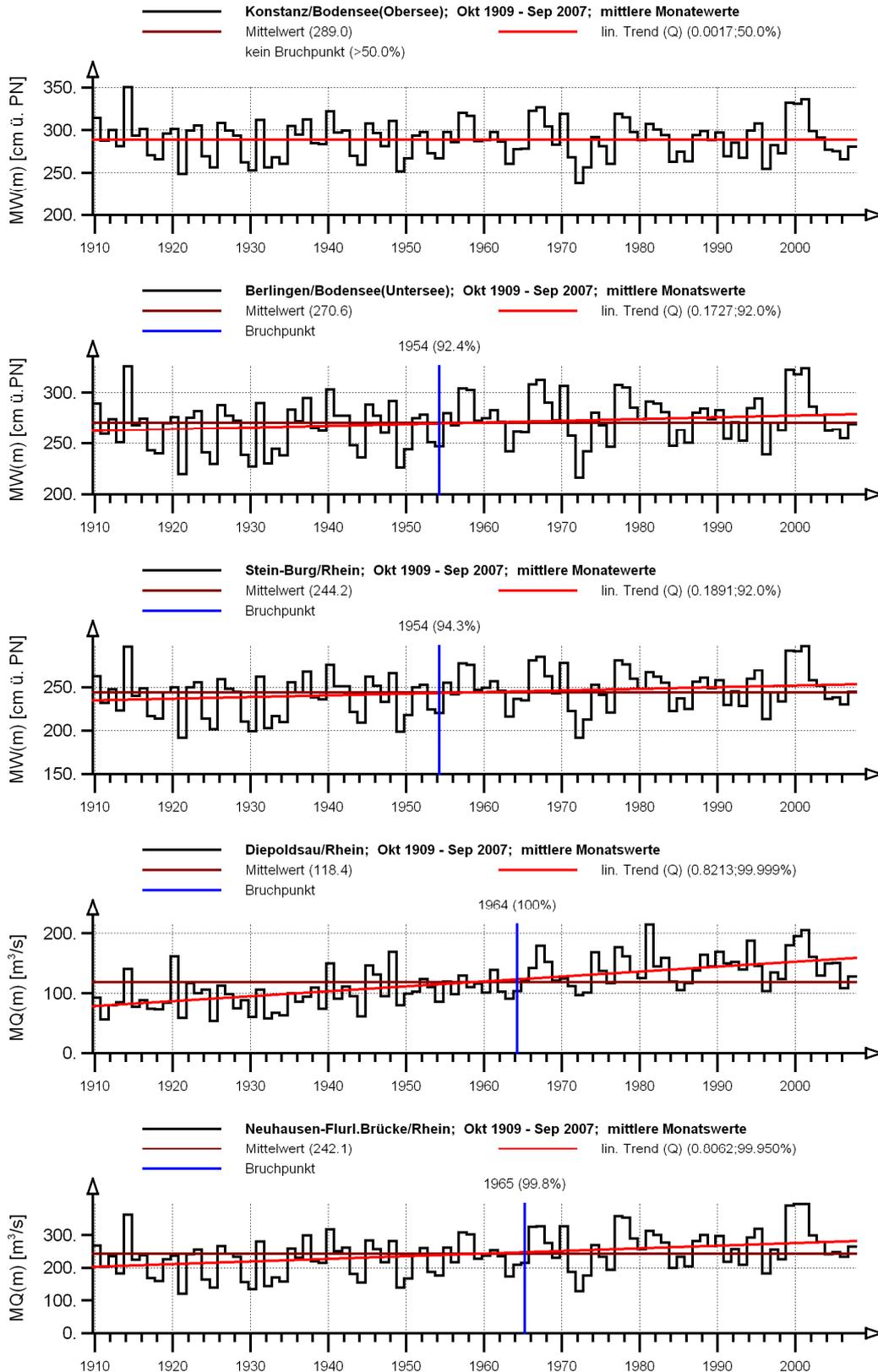


Abb. 7.1: Jahresreihen der mittleren monatlichen Wasserstände MW(m) und Abflüsse MQ(m) des Monats März für die einbezogenen Pegel mit linearem Trend über die gesamte Zeitreihe und Kennzeichnung des Bruchpunkts

Tabelle 7.1: Mittlere Monatswerte der Wasserstände MW und Abflüsse MQ sowie Trend der Monatswerte mit Signifikanzniveau und Jahr des Bruchpunkts

Monat	MW, MQ	Trend/Jahr	α	Jahr	MW, MQ	Trend/Jahr	α	Jahr	MW, MQ	Trend/Jahr	α	Jahr
Pegel	Konstanz/Bodensee				Berlingen/Bodensee				Stein-Burg/Rhein			
10	336.9	-0.410	99,95	1946	315.1	-0.267	98	1946	287.1	-0.292	98	1946
11	313.6	-0.347	99,8	1946	293.2	-0.165	80	1946	265.3	-0.188	92	1946
12	298.9	-0.163	92	1942	279.5	0.021	-	-	251.7	0.021	-	-
1	288.8	-0.226	95	1932	269.9	-0.061	-	1932	242.5	-0.055	-	1920
2	283.6	-0.067	-	1928	264.8	0.114	80	1954	237.8	0.128	80	1954
3	289.0	0.002	-	-	270.6	0.173	92	1954	244.2	0.189	92	1954
4	313.7	-0.086	-	1970	296.5	0.065	-	1934	270.5	0.083	-	1934
5	359.1	-0.270	95	1970	341.6	-0.160	80	1970	316.2	-0.157	80	1970
6	414.4	-0.515	99,99	1946	394.8	-0.456	99,95	1946	368.6	-0.482	99,95	1946
7	424.4	-0.580	99,98	1957	400.4	-0.581	99,98	1941	371.7	-0.650	99,99	1957
8	396.7	-0.568	99,98	1981	370.8	-0.551	99,98	1981	341.7	-0.615	99,99	1941
9	366.3	-0.514	99,98	1970	342.6	-0.424	99,9	1970	314.3	-0.465	99,95	1970
Pegel	Diepoldsau/Rhein				Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein							
10	180.0	0.156	-	1973	347.5	-0.309	-	1946				
11	140.8	0.343	98	1963	290.6	-0.067	-	1946				
12	108.6	0.565	99,999	1960	258.4	0.438	80	1972				
1	98.3	0.636	99,999	1960	237.4	0.206	80	1973				
2	97.4	0.833	99,999	1957	226.9	0.638	99,8	1965				
3	118.4	0.821	99,999	1964	242.1	0.806	99,95	1965				
4	186.6	0.470	99	1942	307.0	0.639	98	1938				
5	377.5	-0.379	-	1927	431.5	0.008	-	-				
6	494.0	-1.061	99,5	1955	586.9	-1.047	98	1946				
7	409.9	-1.027	98	1941	593.7	-1.623	99,9	1941				
8	304.5	-0.786	99,5	1941	502.8	-1.329	99,8	1941				
9	239.6	-0.243	-	1946	423.5	-0.780	92	1941				

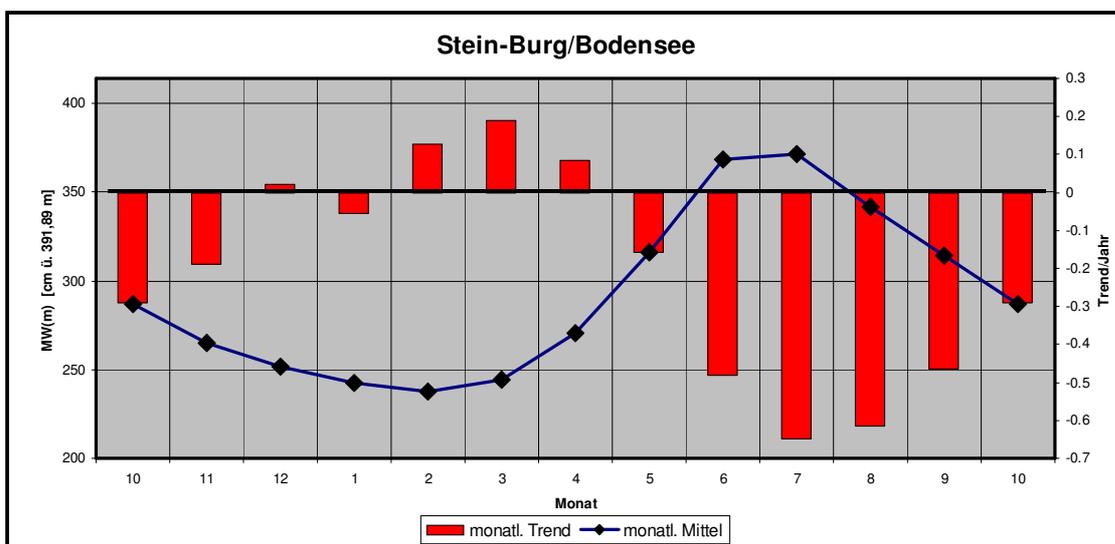
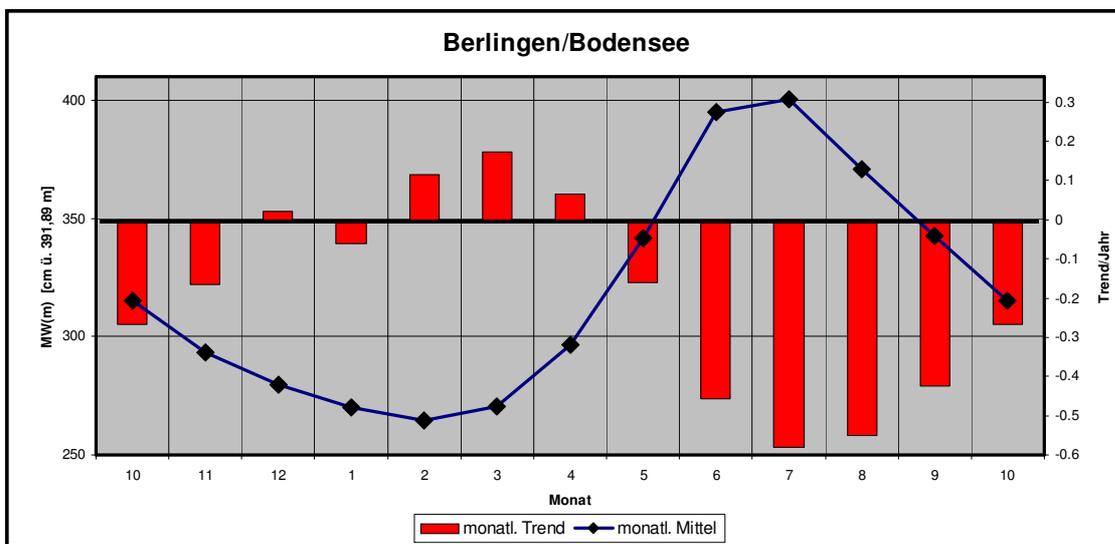
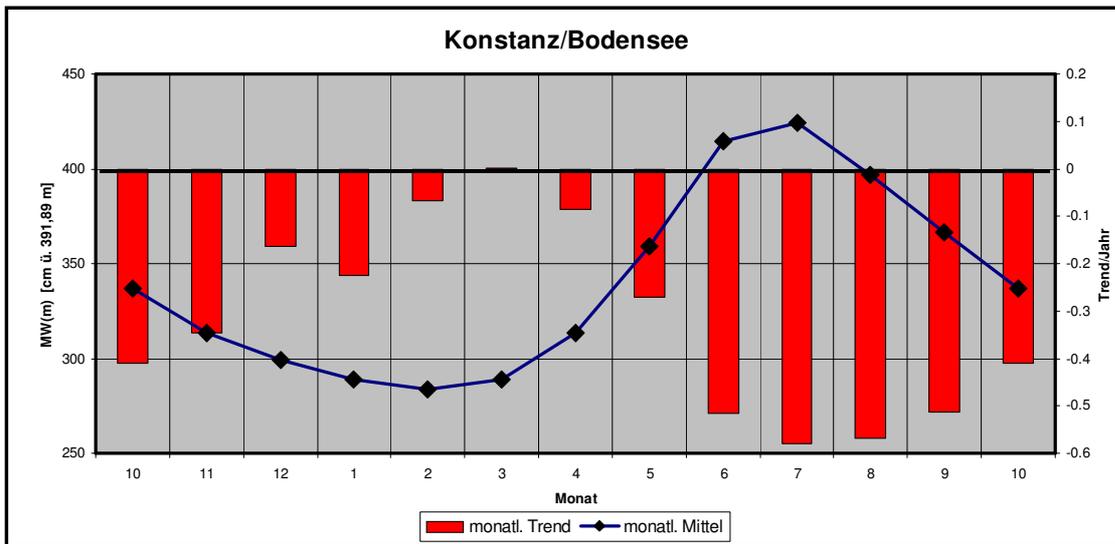


Abb. 7.2: Jahrgang der mittleren monatlichen Wasserstände MW(m) sowie Jahrgang der monatlichen Trends [cm/Jahr] an den Pegeln Konstanz, Berlingen und Stein-Burg für die Zeitspanne 1910 - 2007

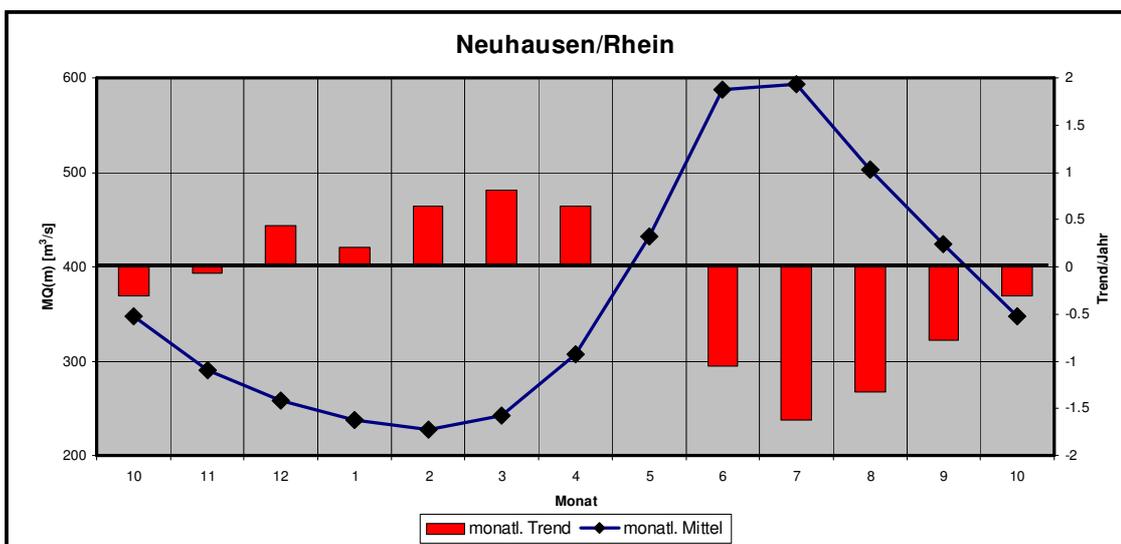
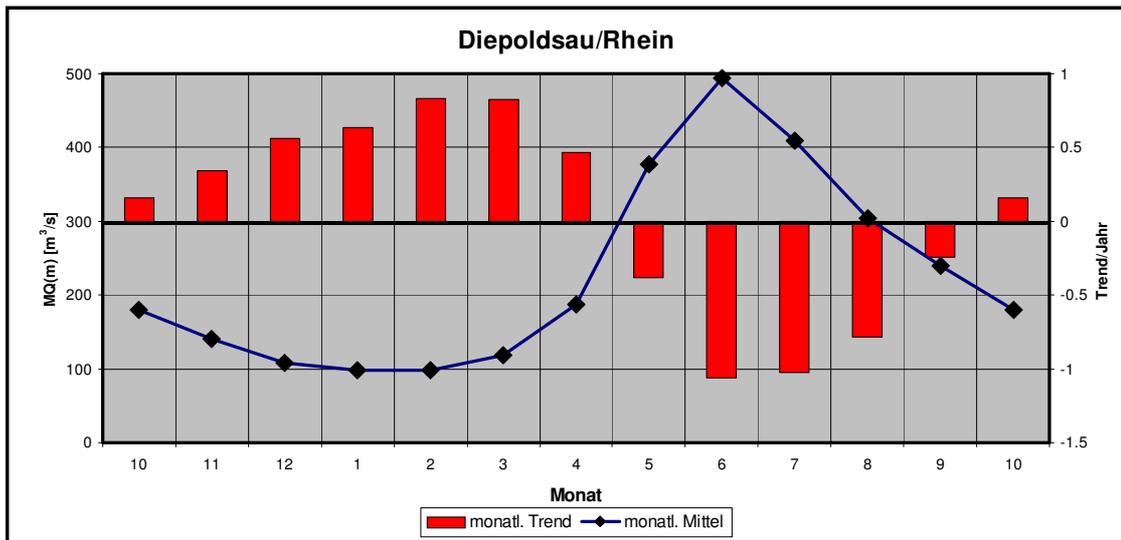


Abb. 7.3: Jahrgang der mittleren monatlichen Abflüsse MQ(m) sowie Jahrgang der monatlichen Trends [m³/s/Jahr] an den Pegeln Diepoldsau und Neuhausen-Flurlingerbrücke für die Zeitspanne 1910 - 2007

Q(d) Diepoldsau,Neuhsn.; W(d) Romanshorn

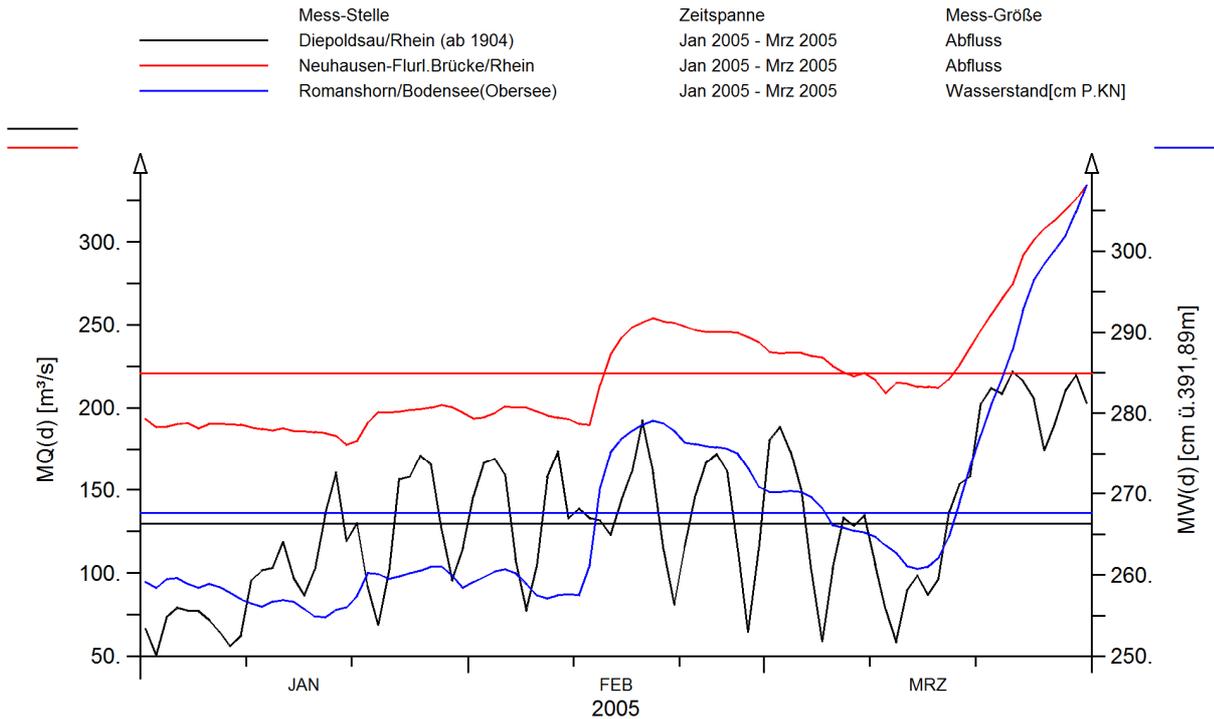


Abb. 7.4: Tägliche Abflüsse MQ(d) mit Einfluss des wöchentlichem Schwallbetriebs am Pegel Diepoldsau/Rhein (schwarz) in den Wintermonaten Januar bis März 2005 im Vergleich zu den täglichen Wasserständen MW(d) am Pegel Romanshorn (blau) sowie den täglichen Abflüsse MQ(d) am Pegel Neuhausen/Rhein (rot)

Trendanalyse

Mess-Stelle: Diepoldsau/Rhein; Nr: 2473
 Mess-Größe: Abfluss (Februar)
 Zeitspanne: Okt 1909 - Sep 2007
 Datenart: mittlere Monatswerte

Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 71.314; A = 0.043 / Jahr
 M = 109.858; A = 1.767 / Jahr; 99.95%
 M = 127.378; A = -0.377 / Jahr

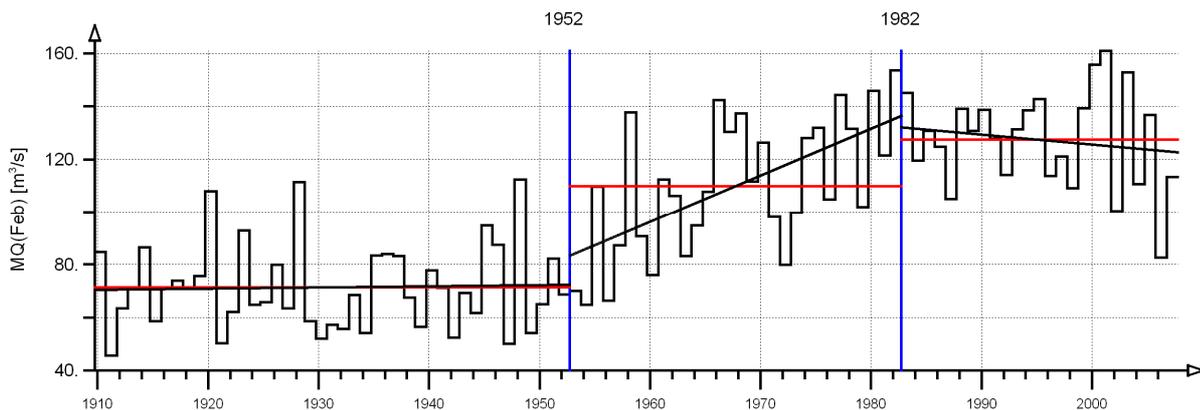


Abb. 7.5: Jahresreihe der mittleren Monatsabflüsse MQ(m) im Februar mit partiellen Mittelwerten und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1952 und 1982

Trendanalyse

Mess-Stelle: Diepoldsau/Rhein; Nr: 2473
 Mess-Größe: Abfluss (August)
 Zeitspanne: Okt 1909 - Sep 2007
 Datenart: mittlere Monatswerte

Trendtest : Mann-Kendall

— Mittelwerte M
 — linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 318,439; A = -1,968 / Jahr; 95,00%
 M = 314,270; A = -1,082 / Jahr
 M = 268,724; A = 0,227 / Jahr

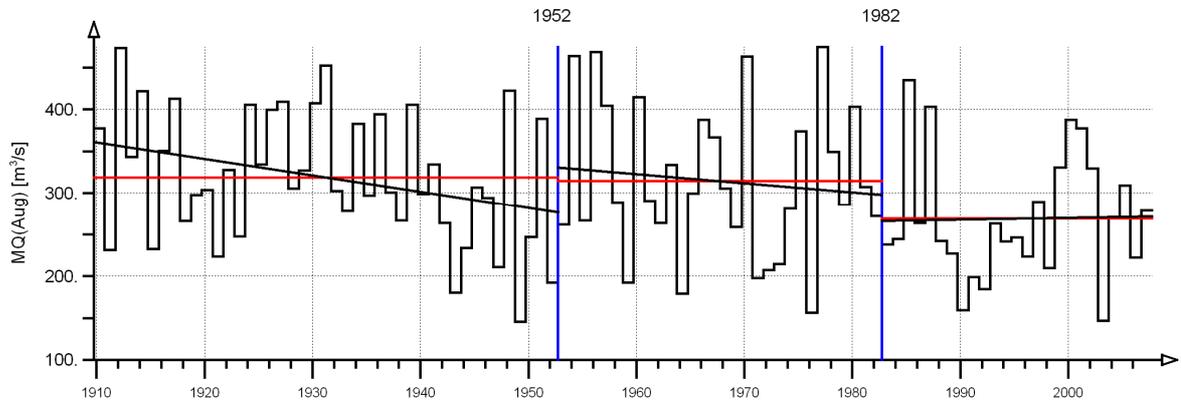


Abb. 7.6: Jahresreihe der mittleren Monatsabflüsse MQ(m) im August mit partiellen Mittelwerten und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1952 und 1982

8 Langzeitverhalten von Wasserstands-Differenzen

Im Ausflussbereich des Bodensees zwischen dem Obersee und dem Hochrhein werden Veränderungen der Ausflussbedingungen und damit verbunden auch Veränderungen der Wasserspiegellagen vermutet. Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben ist, beginnt der Ausflussbereich am Obersee ab der Konstanzer Schwelle. Der Rhein fließt durch den Seerhein zum Untersee, der im Winterhalbjahr zwischen Gottlieben und Ermatingen Flachwasserzonen aufweist, und geht über das Eschenzer Horn und die Engstelle an der Steiner Rheinbrücke in den freifließenden Hochrhein über. Zur Untersuchung von Veränderungen der Wasserspiegellagen in diesem Bereich wurden die Wasserstände der Pegel Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein bezüglich ihrer Differenzen ausgewertet.

Über die Differenzen der Wasserstände der drei Wasserstandspegel kann das Langzeitverhalten der Wasserspiegellagen abgeschätzt werden. Hierzu wurden die jährlich mittleren Wasserstands-Differenzen der drei einbezogenen Pegel ermittelt und bezüglich Trends und Bruchpunkte statistisch ausgewertet. Abb. 8.1 zeigt das Langzeitverhalten der Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln Konstanz und Berlingen (oberes Diagramm), den Pegeln Konstanz und Stein-Burg (mittleres Diagramm) sowie den Pegeln Berlingen und Stein-Burg (unteres Diagramm) für die Zeitspanne 1888 bis 2007 zusammen mit den langjährigen Mittelwerten, den Trends und den Bruchpunkten. Sowohl die Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln Konstanz und Berlingen als auch zwischen den Pegeln Konstanz und Stein-Burg zeigen über die gesamte Zeitspanne jeweils hochsignifikant fallende Trends mit einem Signifikanzniveau von

$\alpha = 99,999\%$. Die Trendsteigung beträgt bei beiden Zeitreihen ca. $-0,11$ cm pro Jahr. Als Bruchpunkt wird jeweils das Jahr 1950 ausgewiesen. Bei den Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln Berlingen und Stein-Burg liegt dagegen eine stationäre (trendfreie) Zeitreihe mit einem Bruchpunkt im Jahr 1966 vor, der derzeit nicht bewertet werden kann. Hieraus ergibt sich deutlich, dass sich die Wasserspiegellagen zwischen den Pegeln Konstanz und Berlingen mit der Zeit deutlich verändert haben. Zwischen den Pegeln Berlingen und Stein-Burg sind dagegen keine signifikanten Veränderungen erkennbar.

Weitere Auswertungen über die Summenlinie der Wasserstands-Differenzen weisen darauf hin, dass Veränderungen insbesondere zwischen den Jahren 1921 und 1962 aufgetreten sind. Die partiellen Mittelwerte und Trends in Abb. 8.2 zeigen für die Wasserstands-Differenzen der Pegel Konstanz und Berlingen, dass vor 1921 ein trendfreier Verlauf bei einem Mittelwert von 26,8 cm vorhanden ist. Nach 1962 ergibt sich ebenfalls ein trendfreier Verlauf bei einem Mittelwert von 16,9 cm. Zwischen diesen beiden Zeitpunkten nehmen die mittleren jährlichen Wasserstands-Differenzen recht gleichmäßig um knapp 10 cm ab. Die Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln Berlingen und Stein-Burg (Abb. 8.3) zeigen dagegen zu diesen Zeitpunkten nur unerhebliche Veränderungen, die als zufällig zu bewerten sind. Letztgenannte Veränderungen können auch durch kurzfristige Veränderungen der Pegel-Nullpunkte bedingt sein. Bei der halbjährlichen Auswertung der Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln Konstanz und Berlingen erkennt man dagegen eindeutige Tendenzen: Die Wasserstands-Differenzen im Sommerhalbjahr

(Abb. 8.4) weisen vor 1921 einen partiellen Mittelwert von 24,2 cm und nach 1962 einen Mittelwert von 19,2 cm auf. Die Abnahme ergibt sich somit zu 5 cm. Im Winterhalbjahr (Abb. 8.5) liegt der partielle Mittelwert vor 1921 bei 29,6 cm und nach 1962 bei 14,7 cm. Das Winterhalbjahr weist somit eine gesamte Abnahme von 14,9 cm auf. Dies entspricht ca. dem dreifachen Wert aus dem Sommerhalbjahr. Die Veränderung der Wasserspiegellagen zwischen den Pegeln Konstanz und Berlingen sind somit im Winterhalbjahr am größten.

In Abb. 8.6 und Abb. 8.7 sind neben den jeweils mittleren jährlichen Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln Konstanz und Berlingen sowie den Pegeln Berlingen und Stein-Burg zusätzlich die jeweils mittleren halbjährlichen Differenzen dargestellt. Auch bei der halbjährlichen Betrachtung zeigen die Differenzen zwischen Berlingen und Stein-Burg nur unerhebliche Abweichungen, die als zufällig zu bewerten sind. Aus Abb. 8.7 erkennt man zusätzlich, dass bis ca. 1940 die Wasserstands-Differenzen des Winterhalbjahres größer sind als

im Sommerhalbjahr. Ab 1940 haben jedoch die Differenzen soweit abgenommen, dass sie kleiner sind als im Sommerhalbjahr. Da die Differenzen im Sommerhalbjahr deutlich stabiler sind, liegen sie nach 1940 kontinuierlich über den entsprechenden Werten des Winterhalbjahres. Aus diesem Verhalten kann auf eine allmähliche Veränderung der Wasserspiegellagen zwischen den Pegeln Konstanz und Berlingen geschlossen werden, die im Winterhalbjahr am stärksten ausgeprägt ist. Diese Veränderungen können bedingt sein durch lineare und flächenhafte Erosions- und Auflandungsprozesse in der Fließrinne sowie in den Flachwasserzonen, sowie durch Änderung der Wasserpflanzen-Vegetation nach 1940. Im Gegensatz zu dem sich im Streckenabschnitt Konstanz/Bodensee bis Berlingen/Bodensee verändernden Verhalten der Wasserspiegel-Differenzen, sind im Verlauf des See- bzw. Flussabschnitts Berlingen/Bodensee bis Stein-Burg/Rhein, trotz mehrerer erfolgter Abgrabungen im Bereich des Eschenzer Horns (Abschnitt 2.2), keine signifikanten Veränderungen in den Wasserspiegel-Differenzen nachweisbar.

Diff-MW(J) Obersee - Untese - Hochrhein

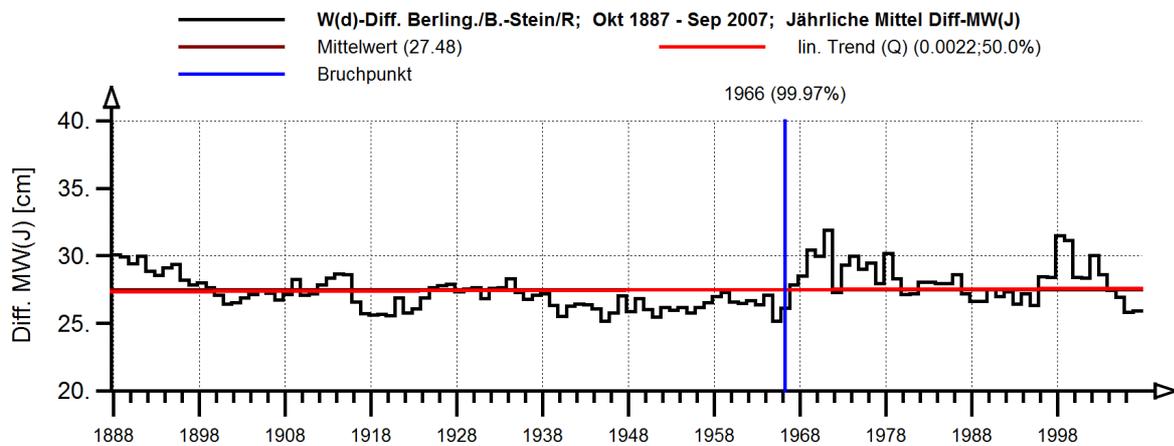
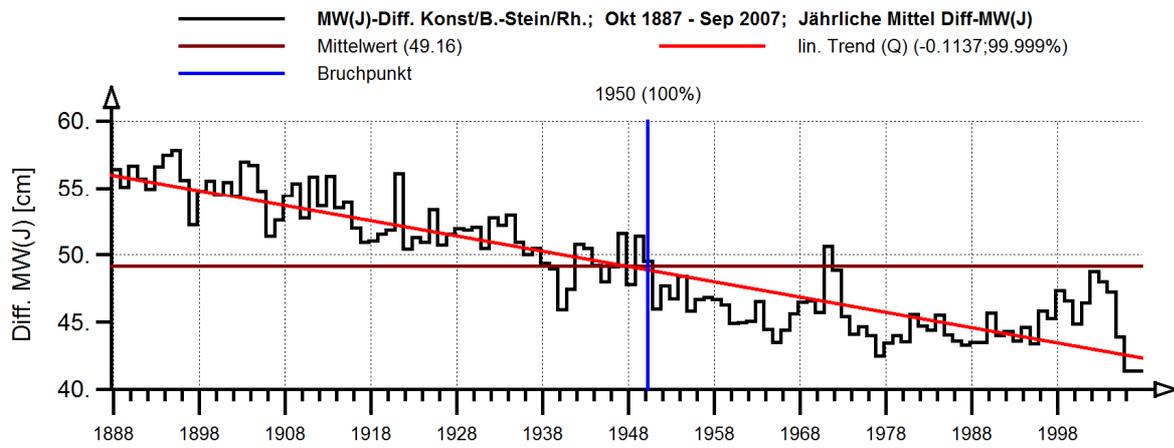
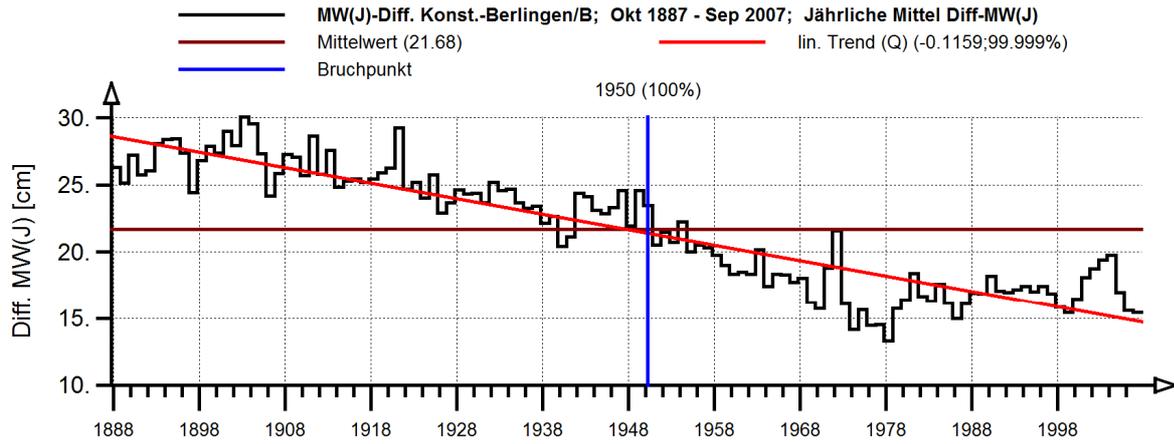


Abb. 8.1: Differenzen der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) in [cm] zwischen den Pegeln Konstanz/Bodensee(Obersee), Berlin/Bodensee (Untese) und Stein-Burg/Rhein für die Zeitspanne 1888 bis 2007 mit Mittelwert, Trend/Jahr und Bruchpunkt

Trendanalyse

Mess-Stelle: MW(J)-Diff. Konst.-Berlingen/B
 Mess-Größe: Wasserstanddifferenz
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Mittel Diff-MW(J)

Trendtest : Mann-Kendall

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 26.846; A = -0.023 / Jahr; 60.00%
 M = 22.592; A = -0.141 / Jahr; 100.00%
 M = 16.935; A = -0.005 / Jahr

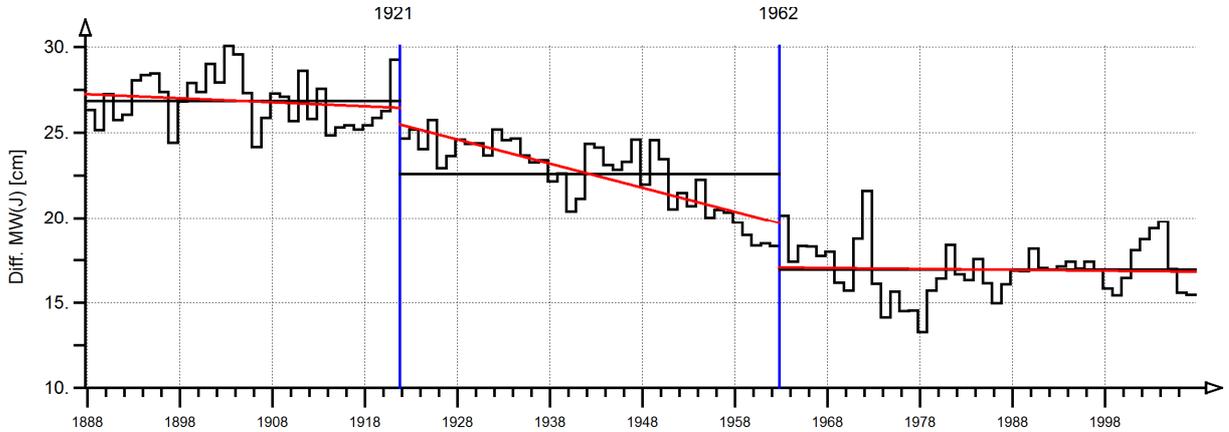


Abb. 8.2: Differenzen der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) in [cm] zwischen den Pegeln Konstanz/Bodensee und Pegel Berlin/Bodensee für die Zeitspanne 1888 bis 1907 bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1921 und 1962

Trendanalyse

Mess-Stelle: W(d)-Diff. Berling./B.-Stein/R
 Mess-Größe: Wasserstanddifferenz
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Jährliche Mittel Diff-MW(J)

Trendtest : Mann-Kendall

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 27.699; A = -0.093 / Jahr; 99.99%
 M = 26.668; A = -0.027 / Jahr; 99.00%
 M = 28.065; A = -0.009 / Jahr; 50.00%

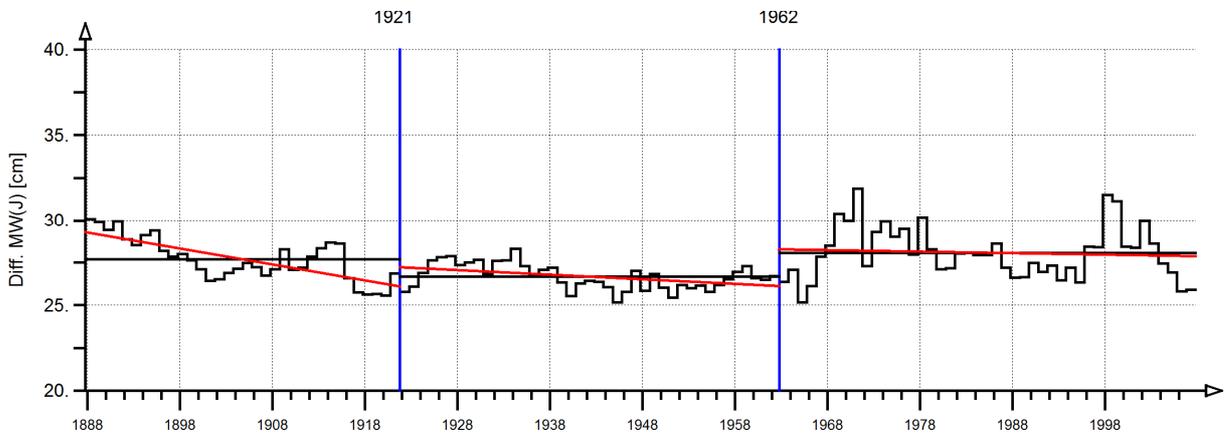


Abb. 8.3: Differenzen der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) in [cm] zwischen den Pegeln Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Hochrhein für die Zeitspanne 1888 bis 1907 bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1921 und 1962

Trendanalyse

Mess-Stelle: MW(SoHj)-Diff. Konst-Berlingen
 Mess-Größe: Wasserstanddifferenz
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: So-halbjährl.Mittel DifW(SoHj)

Trendtest : Mann-Kendall

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 24.235; A = 0.051 / Jahr; 70.00%
 M = 22.611; A = -0.061 / Jahr; 99.90%
 M = 19.168; A = 0.001 / Jahr

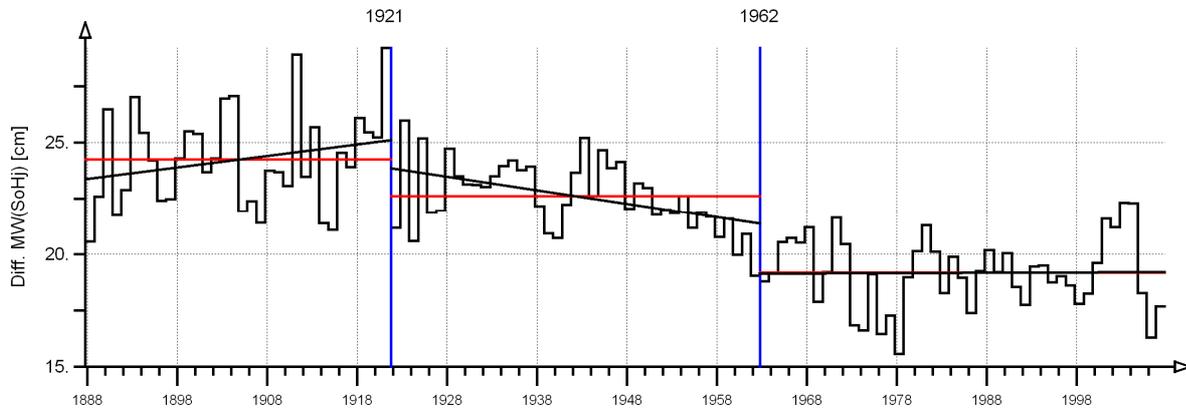


Abb. 8.4: Differenzen der mittleren Wasserstände MW(SoHj) in [cm] des Sommerhalbjahres zwischen den Pegeln Konstanz/Bodensee und Pegel Berlingen/ Bodensee mit partiellen Mittelwerten und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1921 und 1962

Trendanalyse

Mess-Stelle: MW(WiHj)-Diff. Konst-Berlingen
 Mess-Größe: Wasserstanddifferenz
 Zeitspanne: Okt 1887 - Sep 2007
 Datenart: Wi-halbjährl.Mittel DifVW(WiHj)

Trendtest : Mann-Kendall

Mittelwerte M
 linearer Trend: $Y = A * T$
 M = 29.457; A = -0.098 / Jahr; 95.00%
 M = 22.572; A = -0.221 / Jahr; 100.00%
 M = 14.701; A = -0.012 / Jahr; 50.00%

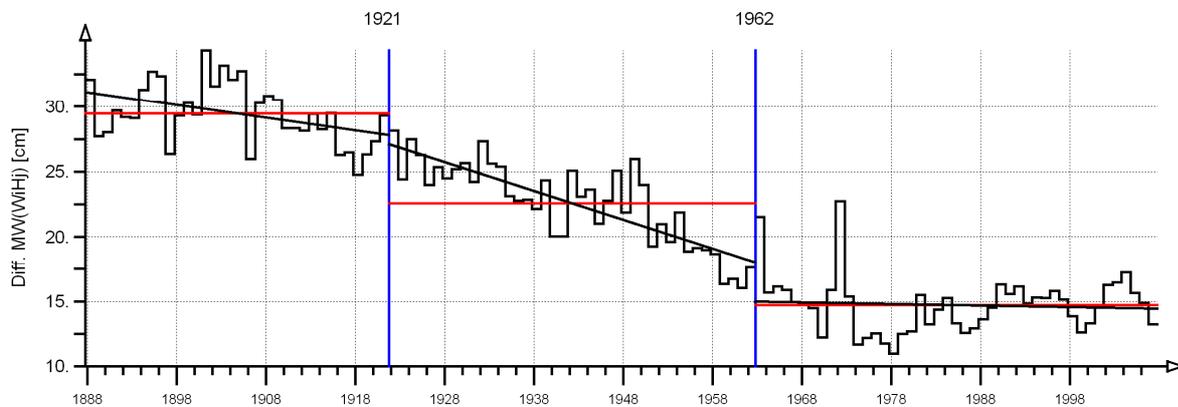


Abb. 8.5: Differenzen der mittleren Wasserstände MW(WiHj) in [cm] des Winterhalbjahres zwischen den Pegeln Konstanz/Bodensee und Pegel Berlingen/ Bodensee mit partiellen Mittelwerten und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1921 und 1962

Diff-MW(J,WiHj,SoHj) Berlingen-Stein/Rh.

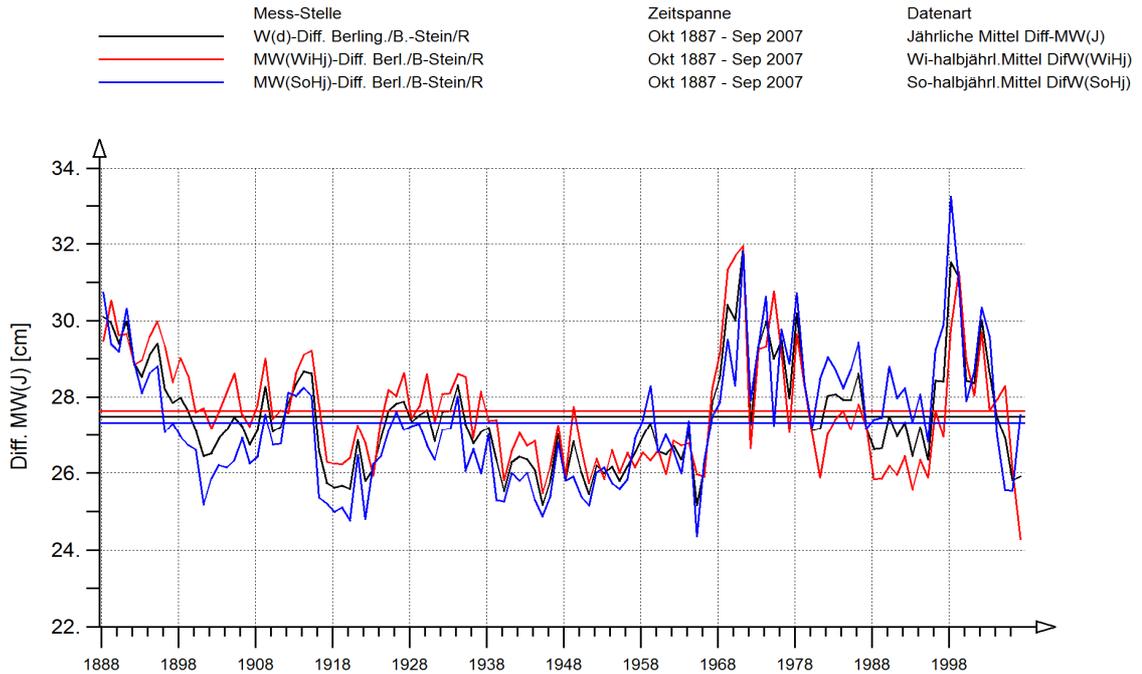


Abb. 8.6: Jährliche, winter- und sommerhalbjährliche mittlere Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Hochrhein für die Zeitspanne 1888 bis 2007

Diff-MW(J,WiHj,SoHj) Konstanz-Berlingen

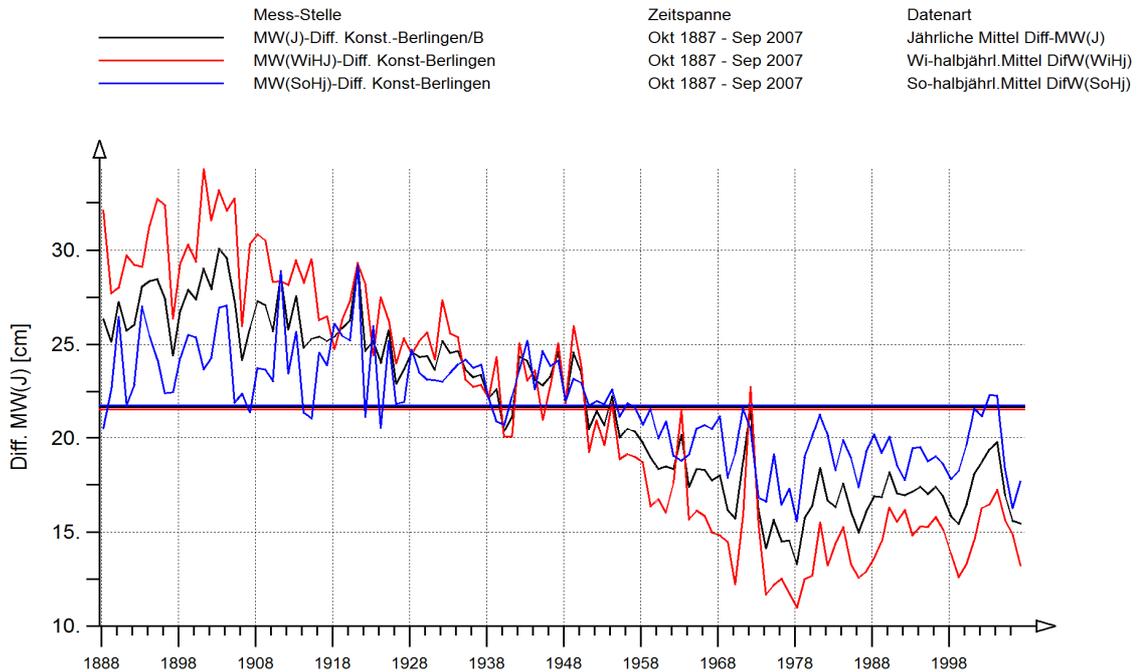


Abb. 8.7: Jährliche, winter- und sommerhalbjährliche mittlere Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln Konstanz/Bodensee und Berlingen/Bodensee für die Zeitspanne 1888 bis 2007

9 Ursachen für die Veränderungen

Die Langzeituntersuchung der Bodenseewasserstände sowie des Zu- und Ausflussverhaltens zeigt deutlich, dass durch die Anwendung der statistischen Methoden der Zeitreihenanalyse verschiedene Veränderungen, die teilweise hochsignifikant sind, festgestellt werden können. Die wesentlichen Veränderungen mit möglichen Ursachen sind:

Zuflussbereich des Bodensees

Am Hauptzuflusspegel Diepoldsau/Alpenrhein ist eine Verlagerung der mittleren monatlichen Abflüsse aus dem Sommerhalbjahr ins Winterhalbjahr nachweisbar. Diese saisonale Umverlagerung kann sehr eindeutig auf den Ausbau der Kraftwerk-Speicher in der Alpenregion zurückgeführt werden. Infolge des Speicherbetriebs erfolgt eine Abminderung der Abflüsse in den Sommermonaten, in denen die Speicherräume gefüllt werden. In den Wintermonaten dagegen werden zusätzliche Wassermengen abgegeben, die am Bodenseezufluss zu einer deutlichen Niedrigwassererhöhung führen.

Die Analyse der mittleren jährlichen Abflüsse am Bodenseezufluss zeigen, dass insbesondere in den Jahren 1941, 1964 und 1988 Änderungen im Langzeitverhalten (Bruchpunkte) vorhanden sind. Diese Veränderungen können lediglich unbedeutend durch den Bau und Betrieb der Kraftwerk-Speicher im alpinen Einzugsgebiet beeinflusst sein. Die saisonale Verlagerung von Abflüssen aus dem Sommer- ins Winterhalbjahr sollte sich in den mittleren Jahreswerten nicht bemerkbar machen. Ursache für diese Langzeitveränderung nach 1988 könnte Veränderungen von Niederschlag, Verdunstung sowie Schneespeicherung sein. Insbesondere beim Bruchpunkt im Jahr 1988 gibt es weitere Hinweise, dass sich auch eine veränderte meteorologische Bedingung, abgeleitet aus der Häufigkeit und Abfolge

von Großwetterlagen (Casparý 2007 [11]), eingestellt haben kann.

Die Regulierung und der Ausbau des Alpenrhein (Abschnitt 2.1) kann eine Veränderung der Hochwasserwasser-Abflüsse im Zuflussbereich des Bodensees verursachen. Über mögliche Auswirkungen auf die Wasserstände des Bodensees liegen aber keine weiteren Untersuchungen vor. Eine signifikante Beeinflussung ist jedoch nicht zu erwarten.

Wasserstände des Bodensees

Die Auswertung des Langzeitverhaltens der Bodensee-Wasserstände zeigt in der Gesamtzeitreihe 1888-2007, dass bei den mittleren jährlichen Bodensee- und Hoahrhein-Wasserständen generell signifikant fallende Tendenzen vorhanden sind. Im Sommerhalbjahr ergeben sich generell stark fallende Tendenzen in den mittleren Werten. Das Winterhalbjahr dagegen zeigt am Pegel Konstanz eine fallende Tendenz, wobei die Pegel Berlingen und Stein-Burg schwach steigende Tendenzen aufweisen.

Die Ursache für diese zeitliche Entwicklung ist zunächst in den o.a. veränderten Zufluss-Bedingungen aus dem alpinen Einzugsgebiet zu vermuten. Die generelle Tendenz der im Sommerhalbjahr fallenden und im Winterhalbjahr steigenden Wasserstände entspricht der saisonalen Umverlagerung der Zuflüsse aus dem Alpenraum vom Sommer- ins Winterhalbjahr.

Der Einfluss der veränderten Zufluss-Bedingungen muss jedoch durch weitere Einflüsse überlagert sein. Der Pegel Konstanz zeigt ein verändertes zeitliches Verhalten (gering fallende Tendenz) im Winterhalbjahr im Vergleich zu den anderen Wasserstandspegeln am Untersee und Hoahrhein (steigen-

de Tendenzen), deren Veränderung mit den veränderten Zuflussbedingungen überein stimmt. Die Ursache hierfür kann nur in einer veränderten hydraulischen Durchflussbedingung zwischen dem Obersee und dem Untersee liegen. Dies wird dadurch bestätigt, da auch das Langzeitverhalten der mittleren Wasserstands-Differenzen zeigt, dass sich die Wasserspiegellagen zwischen dem Pegel Konstanz und Berlingen signifikant verändert haben. Mögliche Ursachen hierfür könnten sein: Veränderungen der Schifffahrtsrinne im Bereich der „Konstanzer Schwelle“, Erosionen und Ablagerungen im Bereich der Konstanzer Schwelle und des Seerheins sowie im Flachwasserbereich des östlichen Untersees. Zusätzlich können die Ursachen auch in vegetationsbedingten Veränderungen der Strömungsbedingungen im Bereich der Konstanzer Schwelle und des Seerheins sowie der Flachwasserzonen im Untersee liegen.

Dieser letztgenannte Prozess überlagert den Prozess der oben erklärten Niedrigwasser-Aufhöhungen

während des Winterhalbjahres aufgrund des Speicherbetriebs. Damit erklärt sich auch, dass die jährlich niedrigsten Bodensee-Wasserstände sowie die während der natürlichen Niedrigwasserstandszeit von Dezember bis März auftretenden winterhalbjährlichen mittleren und niedrigsten Wasserstände am Pegel Konstanz, trotz der durch den Kraftwerk-Speicherbetrieb verursachten Niedrigwasser-Aufhöhungen, etwa gleichbleibende bis gering fallende Tendenz und keine Anstiege wie bei den Pegeln am Alpenrhein, Untersee und Hochrhein zeigen.

Die Entnahmen der Wasser-Fernversorgung aus dem Bodensee-Obersee durch die BWV (Abschnitt 2.4) beeinflussen die Wasserstände des Bodensees nicht wesentlich und werden durch die Überleitungen der Ill-Kraftwerke AG aus dem Inn-Einzugsgebiet in das Ill-Gebiet kompensiert.

10 Auswirkung der Veränderung von Wasserständen auf archäologische Siedlungsareale und Bootshäfen

10.1 PROBLEMSTELLUNG

Im Rahmen der Bearbeitung des Langzeitverhaltens der Wasserstände am Bodensee wurden zusätzlich praxisorientierte Auswirkungen von Veränderungen, insbesondere im Jahresgang-Verhalten der Mittleren Wasserstände und der Niedrigwasserstände, untersucht. Hierzu wurden einerseits die im Ufer- und Flachwasserbereich des Obersees liegende archäologische Siedlungsareale (prähistorische Kulturschichten, Pfahlfelder etc.) betrachtet. Diese Flächen treten bei fallenden Wasserständen und vor allem bei Niedrigwasser i.d.R. zwischen November und März immer häufiger in den Bereich von Wellenschlag oder sie fallen gänzlich trocken. Bei Frost kann es zu Frosthub kommen. All dies führt zu teilweisen bis vollständigen Zerstörungen und machen zunehmend Rettungsgrabungen, Unterwasserbergungen, Erosionsschutzmaßnahmen oder Dokumentation erforderlich [62], [54], [52], [37], [36], [5], [38], [37]. Daher werden 5 ausgewählte archäologische Siedlungsareale am Obersee (Tabelle 10.1), für die im Rahmen eines Interreg-IV-Projekts [30] schon Vermessungskarten erstellt wurden, bezüglich der veränderten Niedrigwasserstände untersucht.

Weiterhin wurden die am baden-württembergischen Ober- und Unterseeufer liegenden Sportboothäfen betrachtet. Aufgrund der unterschiedlichen Hafentiefen können diese während der Saison von April bis Oktober nicht in allen Monaten durchgehend angefahren werden. Deshalb wird die Nutzbarkeit der Häfen für Sportboote (Segel- und Motorschiffe bis 1,5 m Tiefgang) in Abhängigkeit von veränderten Wasserständen und deren Langzeitverhalten

gekennzeichnet. Die beiden Bearbeitungen haben das Ziel, statistische Wasserstands-Kennwerte anzugeben, mit denen die Auswirkung der Wasserstands-Veränderungen bezüglich der Nutzbarkeit der Bootshäfen und auch bezüglich des Eintretens von extremem Niedrigwasser bzw. des Trockenfallens im Bereich von archäologischen Siedlungsarealen beurteilt werden können.

Die für die Standorte am Obersee maßgeblichen Wasserstände wurden auf den Pegel Konstanz/Bodensee (Pegelnull: 391,89 m+NN) bezogen. Wegen Inkonsistenz des Untersee-Pegels Radolfzell/Bodensee werden die maßgeblichen Wasserstände für die Standorte am Untersee auf den schweizerischen Pegel Berlingen/Bodensee bezogen, dessen Wasserstände im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung ebenfalls auf Pegelnull Konstanz umgerechnet wurden (Abschnitt 3.2).

Tabelle 10.1 führt die Standorte mit den untersuchten archäologischen Siedlungsareale² einschließlich ihrer Wasserstände an den jeweils flächenspezifischen Ober- und Untergrenzen nach Höhe in [m+NN] und Höhe bezogen auf den Pegel Konstanz/Bodensee [cm a. P. KN] auf. Danach beträgt die Spannweite der bei Niedrigwasser am Bodensee frei fallenden bzw. der in extremem Flachwasser liegenden Pfahlfelder und Kulturschichten zwischen 236 cm a. P. KN und 331 cm a. P. KN. Je nach Höhenlage fallen diese Flächen in den Win-

² Die Auswahl der Standorte erfolgte in Abstimmung mit dem RP Stuttgart, Landesamt für Denkmalpflege - Außenstelle Hemmenhofen, das auch die neuen Kartierungen zur Verfügung stellte

termonaten, manche aber auch in Sommermonaten, über mehrere Tage frei (siehe Abschnitt 10.3). Die unter 394,20 m+NN (~ 230 cm a. P. KN) liegenden Siedlungsareale verbleiben, bezogen auf die Wasserstandszeitreihe 1910 - 2007, immer unter Wasser.

Tabelle 10.2 zeigt die Spannweiten der Wasserstände an Ober- und Untersee, die die Nutzbarkeit der Häfen für Sportboote einschränken. Tabelle Anlage C enthält alle einbezogenen Häfen. Gemäß den Abschnitten 5 und 7 unterscheiden sich die Wasserstände am Obersee (maßgebender Pegel: Konstanz/Bodensee) durch Höhe und zeitlichen Verlauf von denen am Untersee (maßgebender Pegel: Berlingen/Bodensee). Da die Ergebnisse in den Abschnitten 5 und 7 ein unterschiedliches Langzeitverhalten der Niedrigwasserstände und mittleren Wasserstände belegen, werden die entsprechenden statistischen Wasserstands-Kennwerte getrennt für die Häfen an Ober- und Untersee abgeleitet.

Für die Untersuchung der Nutzbarkeit der Häfen durch Sportboote wurden in Abstimmung mit den Schifffahrtsämtern der Landkreise Friedrichshafen und Konstanz die für Sportboote öffentlichen Häfen an Ober- und Untersee ausgewählt (Anlage C). Für die Hafen-Standorte liegen jedoch keine aktuellen Tiefenpläne vor. Deshalb wurden in Abstimmung mit den o. g. Schifffahrtsämtern jeweils die mittleren Tiefen der Hafen-Einfahrten und Hafensohlen bzw. die mittlere Höhe der Hafensohle auf der Grundlage von Karten und Beschreibungen aus Leg an [45] abgeschätzt³, wobei nur die Belange der Sportboote mit 1,0 m bzw. 1,5 m Tiefgang berücksichtigt wurden. Die mittleren Sohlen- und Tiefen-Angaben berücksichtigen die Hafen-Tiefen einschließlich der Liegeplätze sowie die Höhen der Hafensohlen einschließlich der Zufahrten. Diese sind in Leg an [45] generell bezogen auf NW = 2,5 m Pegel Konstanz/Bodensee. Für die unterschiedlich tiefen Häfen am Obersee wurden

³ In [45] werden i.d.R. jährlich die Hafen- und Zufahrts-Tiefen, bezogen auf 2,5 m Wasserstand am Pegel Konstanz/ Bodensee aktualisiert. Die Genauigkeit beträgt ca. 5 cm bis 10 cm

jeweils der **Minimal-Wasserstand** am Pegel Konstanz/Bodensee (für Boote mit 1,0 m Tiefgang) und der **Optimal-Wasserstand** am Pegel Konstanz/Bodensee (für Boote mit 1,5 m Tiefgang) abgeleitet.

Die in Leg an [45] angegebenen Tiefen der Häfen einschließlich der Hafenzufahrten an Ober- und Untersee sind ermittelt über Lotung unter aktuellem Ober- und Untersee-Wasserspiegel. Beiden Seespiegeln wird aber der aktuelle Wasserstand am Pegel Konstanz/Bodensee zugeordnet und die jeweiligen Tiefen auf NW = 2,5 m am Pegel Konstanz/Bodensee bezogen. Sollen die für die Untersee-Häfen maßgebenden Wasserstandshöhen (Hafensohle, Optimal- und Minimal-Wasserstand) statistisch anhand der Beobachtungen am Untersee-Pegel Berlingen/Bodensee bewertet werden, so ist zu beachten, dass die Niedrigwasserstände und die Mittleren Wasserstände am Untersee (Pegel Berlingen/Bodensee) ca. 20 cm tiefer liegen als am Obersee (Pegel Konstanz/ Bodensee). Deshalb wurden die Hafentiefen sowie die Minimal- und Optimalwasserstände am Untersee auf NW = 2,3 m am Pegel Berlingen am Untersee bezogen. In diesem Zusammenhang wird nochmals darauf hingewiesen, dass im Rahmen der vorliegenden Untersuchung der Pegel-Nullpunkt und die Wasserstände des für den Untersee maßgebenden Pegels Berlingen/Bodensee(CH) auf Pegel-Null Konstanz/Bodensee (391,89 m+NN) umgerechnet wurden (Abschnitt 3.2).

Die Tabelle in Anlage C enthält, ausgehend von der jeweils gemittelten Hafen-, Zufahrtstiefe und Hafensohle, die Höhen für den Minimal-Wasserstand für Boote mit 1 m Tiefgang sowie für den Optimal-Wasserstand für Boote mit 1,5 m Tiefgang. Die Wasserstände sind am Obersee auf Pegel Konstanz/Bodensee [cm a. P. KN] und am Untersee auf Pegel Berlingen/Bodensee [cm a. P. Berl.] bezogen. Zusätzlich sind die Wasserstands-Höhen in [m+NN] angegeben. Die Spannweiten der zu untersuchenden Minimal- und Optimal-Wasserstände an Ober- und Untersee ergeben sich aus der Übersicht in Tabelle 10.2: Zusammengestellt sind die hafenspezifischen Minimal- und Optimal-Wasserstände

für Sportboot-Häfen am Obersee mit Maßeinheit [cm a. P. KN] bzw. Wasserstands-Höhe [m+NN] sowie am Untersee mit Maßeinheit [cm a. P. Berl.] bzw. Wasserstands-Höhe [m+NN]. Danach liegt die zu untersuchende Spannweite der Wasserstände zwischen Niedrigwasserstand und höherem Middle-

rem Wasserstand am Obersee im Bereich von 240 cm bis 410 cm a. P. KN und am Untersee im Bereich von 220 cm bis 340 cm a. P. Berl..

Tabelle 10.1: Archäologische Siedlungsareale, die bei Niedrigwasser am Bodensee frei fallen

Freifallen von archäologischen Siedlungsarealen aus dem Neolithikum/Bronzezeit bei Niedrigwasser am Bodensee/Obersee					
Wasserstands-Kennwerte (1910-2007) am Pegel Konstanz / Bodensee ¹⁾		NNW = 229 cm a. P. (394,18 m+NN)	MNW = 265 cm a. P. (394,54 m+NN)	MW = 340 cm a. P. (394,19 m+NN)	
archäologische Siedlungsareale in Flachwasserzone		Flächen-Höhen: WS [cm] am P. Konstanz/B. und [m+NN]			
		Flächen-Obergrenze		Flächen-Untergrenze	
1	Unteruhldingen/Stollenwiese				
1 a	Neolithisches und spätbronzezeitliche Pfahlfelder	394,50 m+NN	261 cm a. P.	393,25 m+NN	136 cm a. P.
1 b	Frühbronzezeitliches Pfahlfeld	395,20 m+NN	331 cm a. P.	394,25 m+NN	236 cm a. P.
2	Obermaurach/Ziegelhütte				
2 a	Neolithisches Pfahlfeld	395,00 m+NN	311 cm a. P.	394,00 m+NN	211 cm a. P.
2 b	Kulturschichten (Reste)	394,50 m+NN 394,25 m+NN	261 cm a. P. 236 cm a. P.	394,25 m+NN 393,40 m+NN	236 cm a. P. 151 cm a. P.
3	Siplingen/Osthafen				
	Neolithische Pfahlfelder / Kulturschichten	394,30 m+NN	241 cm a. P.	393,20 m+NN	131 cm a. P.
4	Bodman-Schachen (I / II)				
4 a	Schachen I ¹⁾ (vornehmlich Erosion) Kulturschicht/Pfahlfeld	394,00 m+NN	211 cm a. P.	<393,00 m+NN	<111 cm a. P.
4 b	Schachen II Neolithisches Pfahlfeld/ Kulturschicht	394,50 m+NN	261 cm a. P.	394,00 m+NN	211 cm a. P.
5	Litzelstetten/Krähenhorn Neolithische Pfahlfelder/ Kulturschichten	395,00 m+NN	311 cm a. P.	393,80 m+NN	291 cm a. P.
bei NW = 260 cm a. P. KN frei NW = 394,49 m+NN Die farblich nicht gekennzeichneten Höhen liegen ständig unter Wasser		Flächen, die bei schon aufgetretenen NW-Ereignissen an mehreren Tagen freigefallen sind, z. B. historisches NNW = 226 cm 17.02.1858 (394,15 m) NW= 229 cm 13.02.2006 (394,18m); NW = 236 cm 30.12.2005 (394,29 m); NW = 237 cm 12.03.1972 (394,26 m); NW=238 cm 10.03.1909 (394,27 m), NW = 238 cm 14.01.1949 (394,27 m); NW=238 cm 05.03.1963 (394,27 m)			
¹⁾ Flächen liegen ständig unter NW-Spiegel					

Tabelle 10.2: Spannweite der Wasserstände an Ober- und Untersee, die die Nutzbarkeit der Häfen für Sportboote (Tiefgang 1,0 m und 1,5 m) einschränken

Spannweite der Wasserstände für Nutzbarkeit der Häfen durch Sportboote mit Tiefgang von 1,0 m und 1,5 m				
Bodensee - Obersee				
Wasserstands-Kennwerte (1910-2007) am Pegel Konstanz / Bodensee ¹⁾	NNW= 229 cm a. P. (394,18 m+NN)		MNW=265 cm a. P. (394,54 m+NN)	
	MW = 340 cm a. P. (395,29 m+NN)		MHW =460 cm a. P. (396,49 m+NN)	
Häfen am Obersee ²⁾	Spannweite der Nutzbarkeit der Häfen			
	Minimal-Wasserstand am P. KN bei Mindestwassertiefe 1,0 m:		Optimal-Wasserstand am P. KN bei Mindestwassertiefe 1,5 m:	
Kressbronn - Bodanwerft/Yachthafen Langenargen – BMK-Yachthafen	150 cm a. P.	393,39 m+NN	200 cm a. P.	393,89 m+NN
Ludwigshafen – Alter Hafen Grethaus	160 cm a. P.	393,49 m+NN	210 cm a. P.	393,99 m+NN
Meersburg - Gondelhafen	350 cm a. P.	395,39 m+NN	400 cm a. P.	395,89 m+NN
Hagnau - Osthafen	340 cm a. P.	395,29 m+NN	390 cm a. P.	395,79 m+NN
Hagnau - Westhafen	310 cm a. P.	394,99 m+NN	360 cm a. P.	395,49 m+NN
Bodensee - Untersee				
Wasserstands- Kennwerte (1910-2007) am Pegel Berlingen/Bodensee ¹⁾	NNW= 209 cm a.P. (393,99 m+NN)		MNW=245 cm a. P. (394,34 m+NN)	
	MW = 320 cm a.P. (395,09 m+NN)		MHW =437 cm a P. (396,26 m+NN)	
Häfen am Untersee ²⁾	Spannweite Nutzbarkeit der Häfen bei			
	Minimal-Wasserstand a. P. Berl. bei Mindestwassertiefe 1,0 m:		Optimal-Wasserstand a. P. Berl. bei Mindestwassertiefe 1,5 m:	
Radolfzell - Werfthafen Martin / Schutzhafen	130 cm a. P.	393,19 m+NN	180 cm a. P.	393,69 m+NN
Reichenau-Mittelzell Hafen Herrenbruck	180 cm a. P.	393,69 m+NN	230 cm a. P.	394,19 m+NN
Reichenau- Bootswerft Beck / Schutzhafen	290 cm a. P.	394,79 m+NN	340 cm a. P.	395,29 m+NN
bei MNW=265 cm a. P. KN bzw. bei MNW= 245 cm a. P. Berl. frei				
¹⁾ Pegel-Null Konstanz/Bodensee (Obersee) und Berlingen/Bodensee (Untersee) = 391,89 m+NN; NW und MW am Untersee rd. 20 cm tiefer als am Obersee ²⁾ Die Bootshäfen am Obersee: Kressbronn – Bodanwerft/Yachthafen; Kressbronn-Gohren – Marina Ultramarin; Langenargen – BMK-Yachthafen; Friedrichshafen – BSB-Schiffshafen; Meersburg – Yachthafen bei der Halttau; Unteruhldingen-Yachthafen; Überlingen – Sportboothafen Ost; Überlingen - Bahnhof Therme; Sipplingen – Westhafen; Ludwigshafen - Alter Hafen am Grethaus; Konstanz – Neuer Sportboothafen Staad; Konstanz – BSB-Hafen sowie am Untersee: Radolfzell – Werfthafen Martin/ Schutzhafen sind aufgrund ihrer tiefen Minimal- und Optimal Wasserstände uneingeschränkt nutzbar.				

10.2 UNTERSUCHUNGSMETHODIK UND STATISTISCHE AUSWERTUNGEN

10.2.1 UNTERSUCHUNGSMETHODIK

Zur Beurteilung der archäologischen Siedlungsarealen in Ufer- und Flachwasserzonen am Obersee sowie der Nutzbarkeit der Bootshäfen am Ober- und Untersee wurden Wasserstands-Kennwerte abgeleitet, die sich an den flächenspezifischen oberen und unteren Grenzwerten der Wasserstände aus Tabelle 10.1 bzw. an den hafenspezifischen Minimal- und Optimal-Wasserständen und Tabelle 10.2 sowie Tabelle in Anlage C orientieren. Als maßgebende Kennwerte wurden dabei betrachtet:

- Unterschreitungswahrscheinlichkeit (Jährlichkeit): Zur Beschreibung der Wahrscheinlichkeit, dass der Wasserstand einen bestimmten Grenzwert unterschreitet, wurden über extremwertstatistische Auswertungen der monatlichen Niedrigwasserstände $NW(m)$, die Jährlichkeit $T_{NW(m)}$ für maßgebende Wasserstands-Schwellenwerte ermittelt. Als Schwellenwerte wurden bei den archäologischen Siedlungsarealen die Wasserstände jeweils an den flächenspezifischen Ober- und Untergrenzen (Tabelle 10.1) und bei den Bootshäfen die hafenspezifischen Minimal- und Optimal-Wasserstände (Tabelle 10.2, Anlage C) betrachtet. Zur Beurteilung der archäologischen Flächen in Flachwasserzonen stehen dabei die Monate Oktober bis April (Niedrigwasserperiode im Winterhalbjahr) und zur Beurteilung der Nutzbarkeit der Bootshäfen die Monate April bis Oktober (Schifffahrts-Saison) im Vordergrund.
- monatliche Unterschreitungstage: Zur Beschreibung der Dauer von Niedrigwasserständen wurde einerseits die mittlere monatliche Anzahl von Tagen $MUT(m)$ [d], an denen die Wasserstands-Grenzwerte unterschritten werden, und andererseits die Höchst-Anzahl von Tagen $HUT(m)$ [d], die in der Bezugszeitreihe mindestens einmal pro Monat aufgetreten ist, ermittelt. Auch für diese Kennwerte, die die oberen Hüllwerte darstellen, stehen die o.g. Betrachtungsmonate im Vordergrund.

Die Spannweiten der zu untersuchenden Wasserstände liegen bei den archäologischen Siedlungsarealen am Obersee zwischen 331 cm und 236 cm am Pegel Konstanz/Bodensee. Bei den Bootshäfen liegt die Spannweite am Obersee im Bereich zwischen 240 cm und 410 cm am Pegel Konstanz/Bodensee und am Untersee im Bereich zwischen 220 cm und 340 cm am Pegel Berlingen/Bodensee.

Wie in der Langzeituntersuchung der Wasserstandszeitreihen des Bodensees in den Abschnitten 6 und 7 beschrieben ist, ergeben sich im Jahresgang der Bodensee-Wasserstände für verschiedene Zeitschnitte deutliche Unterschiede, die auch durch Bruchpunkte (1941, 1954 und 1976) dokumentiert sind. Da diese Veränderungen sowohl für die Beurteilung der archäologischen Flächen als auch der Bootshäfen von wesentlicher Bedeutung sind, erfolgen die statistischen Auswertungen für drei unterschiedliche Zeitspannen im Vergleich:

- Gesamtzeitspanne von 1910 bis 2007
- Teilzeitspanne von 1955 bis 2007
- Teilzeitspanne von 1977 bis 2007.

Die Auswahl dieser Zeitspannen orientiert sich im Wesentlichen an den festgestellten Bruchpunkten, an denen markante Veränderungen im Zeitverhalten vorhanden sind, sowie an der Inbetriebnahme von Speicherraum im Einzugsgebiet des Bodensees. Dabei treten gerade die Jahre 1955 und 1977 deutlich hervor. Beispielsweise waren im Jahr 1955 ca. 18% und im Jahr 1977 fast 98% des Speicherraums im Einzugsgebiet des Alpenrheins in Betrieb. Die Ergebnisse aus der Zeitspanne 1941-2007 verhalten sich fast gleich wie diejenigen aus der Zeitspanne 1954-2007 und werden deshalb nicht gesondert untersucht. Abb. 10.1 zeigt hierzu für den Pegel Konstanz/Bodensee (obere Diagramm) und den Pegel Berlingen/Bodensee (unteres Diagramm) die Jahresgänge der mittleren monatlichen Wasserstände $MW(m)$ und der monatlichen Niedrigwasserstände $NW(m)$ für die ausgewählten Zeitreihen im Vergleich. Für beide Kennwerte $MW(m)$ und $NW(m)$ ist hieraus deutlich erkennbar, dass sowohl am Obersee als auch am Untersee insbesondere in den Sommermonaten bei den verkürzten Zeitreihen ab 1955 und 1977 eine deutliche Reduktion der

Wasserstände vorhanden ist. Die Wintermonate dagegen zeigen insbesondere am Untersee eine Zunahme bei beiden Wasserstands-Kennwerten.

Die statistischen Auswertungen basieren somit auf folgender Datengrundlage:

- Ausgehend von den täglichen Wasserstands-Zeitreihen $MW(d)$ der beiden Pegel Konstanz/Bodensee und Berlingen/Bodensee (Abb. 10.2, oben) werden die monatlichen Niedrigwasserstände $NW(m)$ (Abb. 10.2, unten) sowie die Jahresreihen der monatlichen Niedrigwasserstände (Abb. 10.3) abgeleitet. Diese monatlichen Niedrigwasserstände $NW(m)$ werden monatsweise extremwertstatistisch zur Bestimmung der T-jährlichen Niedrigwasserstände $NW_T(m)$ ausgewertet. Beispielhaft zeigen Abb. 10.4 und Abb. 10.5 die monatlichen Extremwertstatistiken für die Wintermonate (November bis April) im jeweils oberen Diagramm und für die Sommermonate (Mai bis Oktober) im jeweils unteren Diagramm für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee und Berlingen/Bodensee. Aus diesen Extrem-

wertstatistiken lassen sich die monatlichen T-jährlichen Niedrigwasserstände $NW_T(m)$ ableiten.

- Die Ermittlung der monatlichen Unterschreitungstage vorgegebener Wasserstands-Schwellenwerte basiert auf den täglichen Wasserständen $MW(d)$ (Abb. 10.2, oben). Pro Monat wird aus diesen Zeitreihen die Anzahl der Unterschreitungstage, bezogen auf einen Wasserstands-Schwellenwert W , ermittelt. Beispielhaft zeigt Abb. 10.6 für die Zeitreihe 1910-2007 die monatlichen Unterschreitungstage bezogen auf Wasserstands-Schwellenwerte W für die Pegel Konstanz/Bodensee und Berlingen/Bodensee. Diese monatlichen Unterschreitungstage lassen sich anschließend bezüglich dem mittleren Jahresgang als monatlich mittlere Anzahl der Unterschreitungstage $MUT(m)$ oder auch bezüglich der monatlich höchsten Anzahl von Unterschreitungstagen $HUT(m)$, die mindestens einmal in der betrachteten Zeitreihe aufgetreten ist, auswerten.

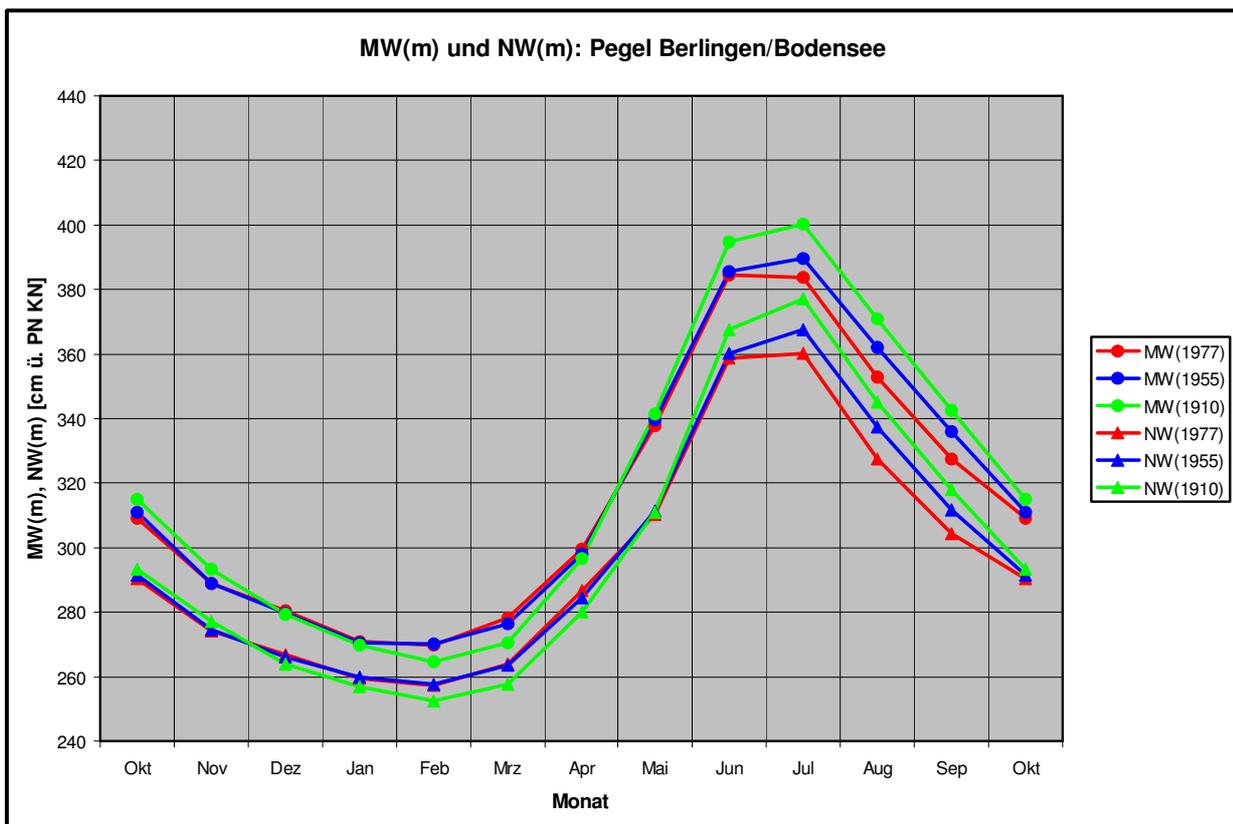
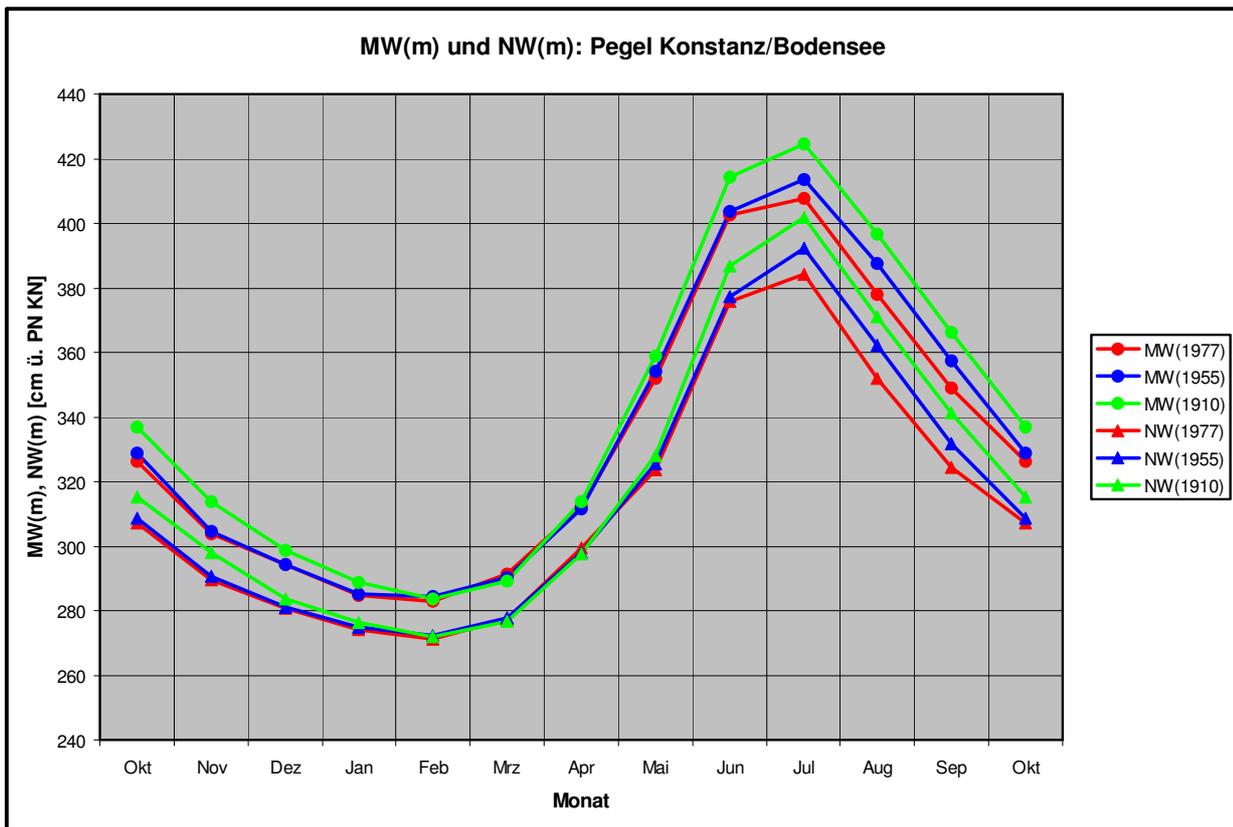


Abb. 10.1: Jahrgang der monatlich mittleren Wasserstände MW(m) sowie Jahrgang der Niedrigstwerte des Wasserstands MNW(m) an den Bodensee-Pegeln Konstanz (Obersee) und Berlingen (Untersee). Vergleich der Zeitspannen 1910 bis 2007 sowie 1955 bis 2007 und 1977 bis 2007

MW(d); NW(m) Konstanz/B.und Berlingen/B.

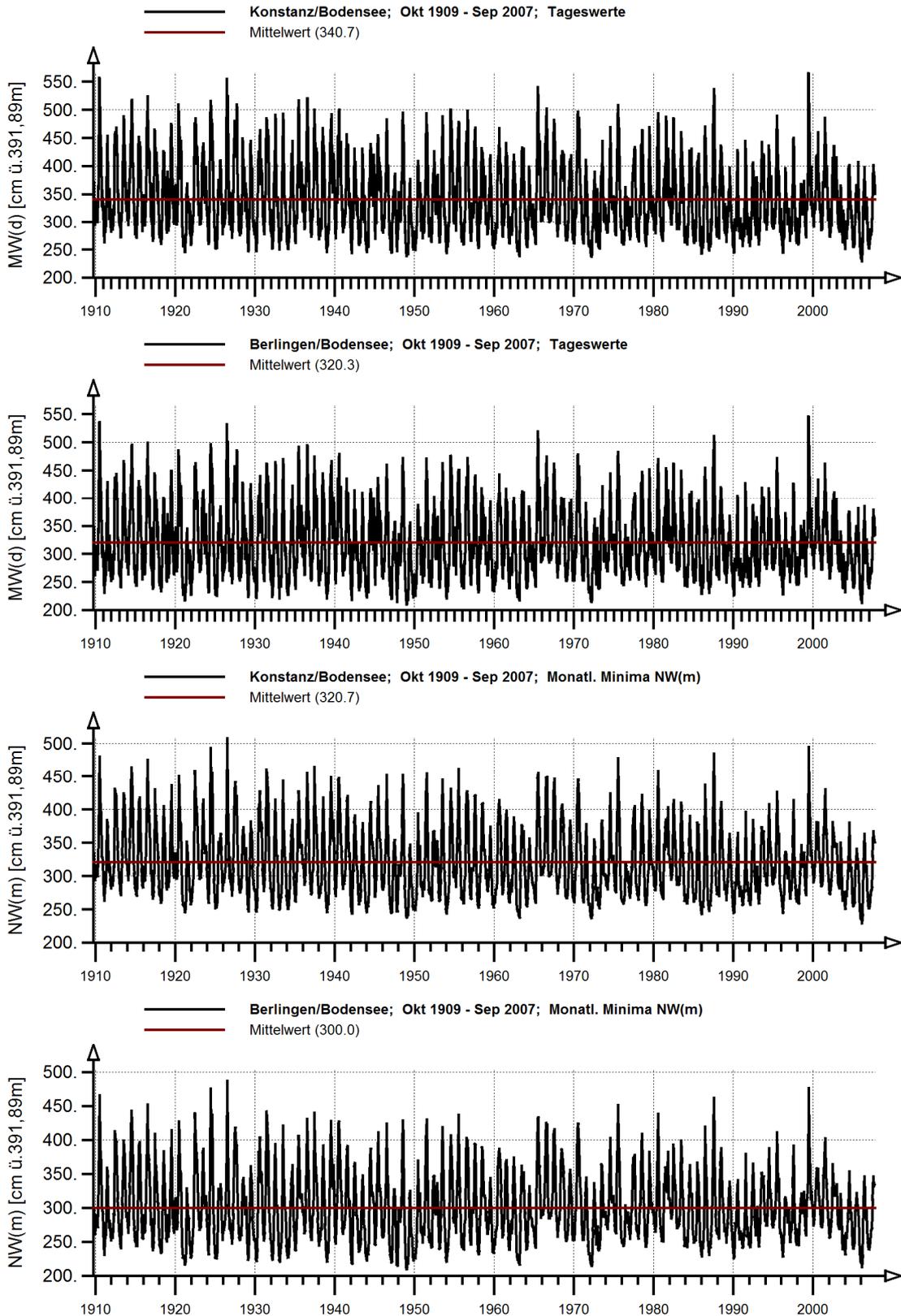


Abb. 10.2: Pegel Konstanz/B.(Obersee) und Berlingen/B.(Untersee): Mittlere tägliche Wasserstände MW(d) sowie Niedrigste Monatliche Wasserstände NW(m), Zeitspanne 1910 bis 2007

Konst.,Berl.: Jahresreihen Monats-Minima

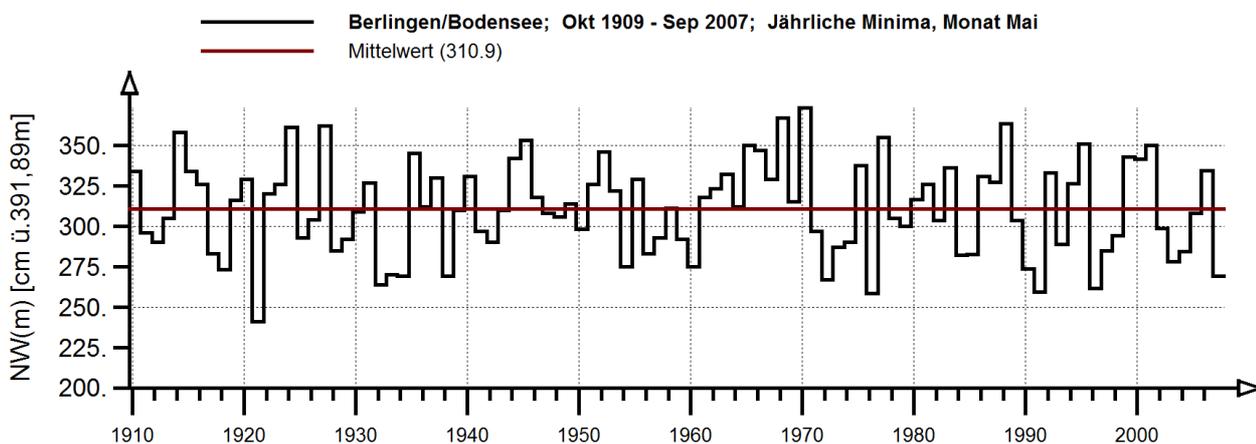
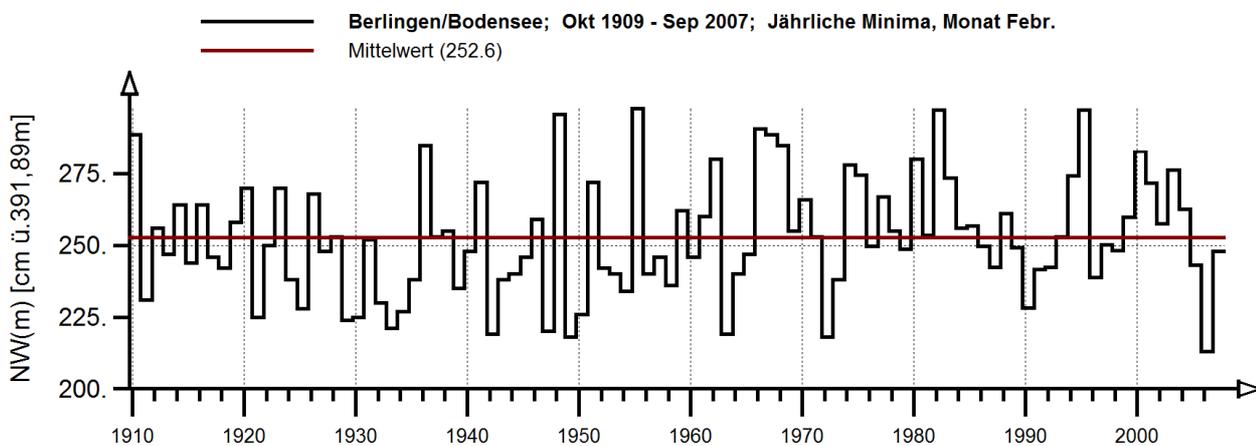
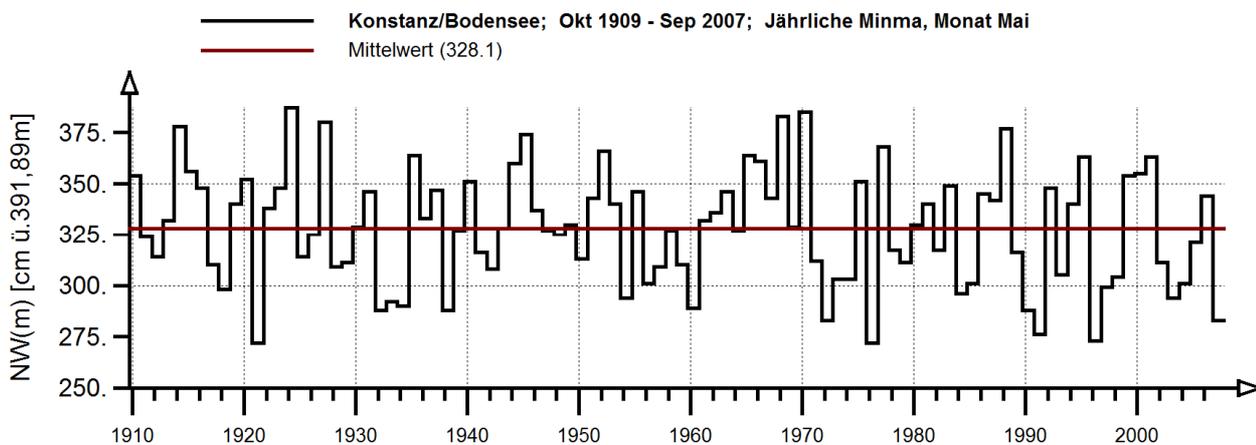
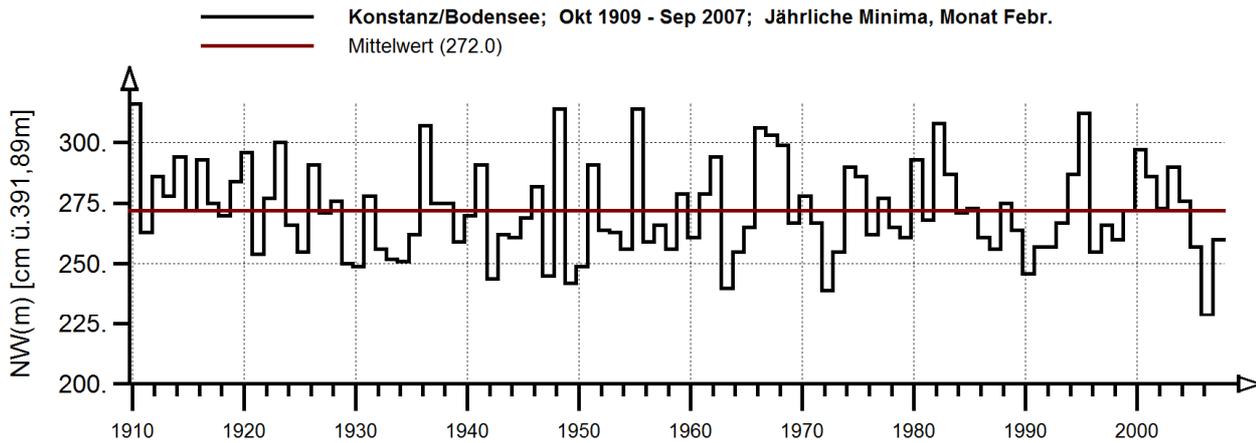


Abb. 10.3: Pegel Konstanz/B.(Obersee). und Berlingen/B.(Untersee): Beispiele für Jahresreihen der monatlich niedrigsten Wasserstände NW(m) der Monate Februar und Mai, Zeitspanne 1910 bis 2007

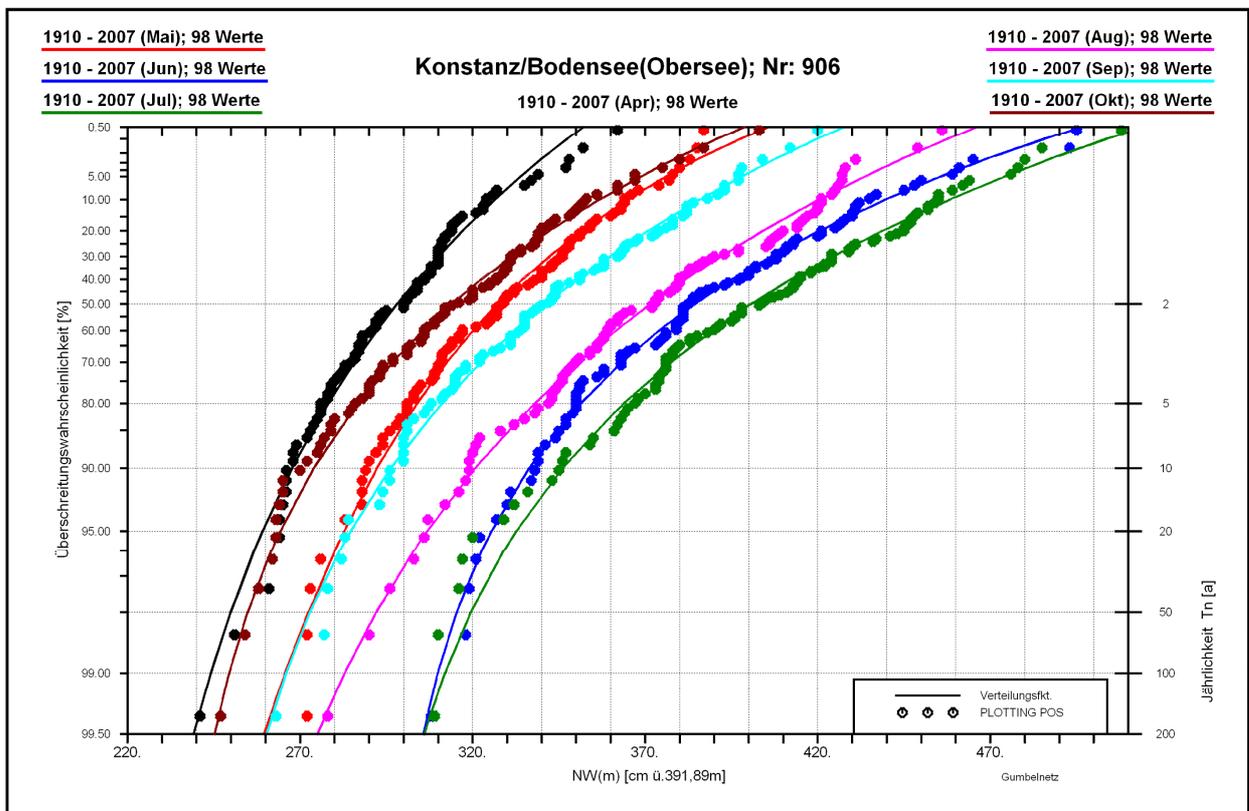
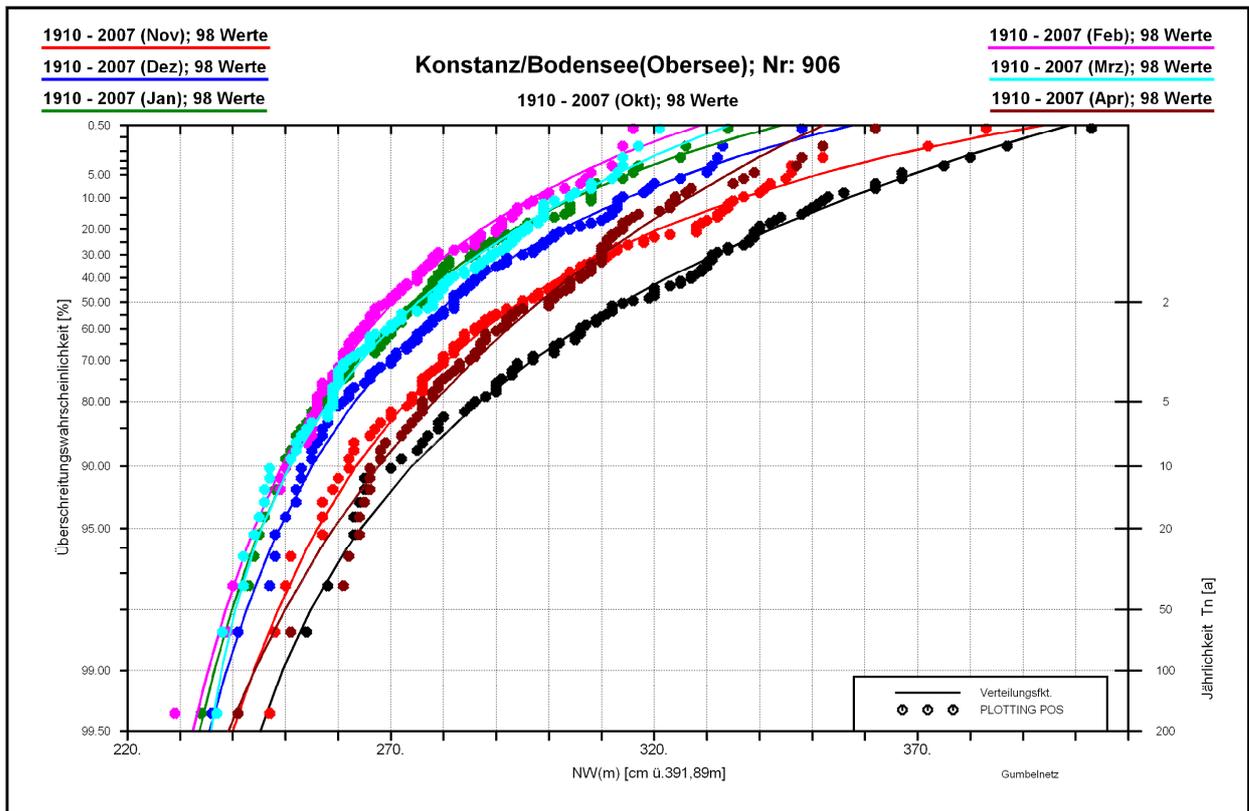


Abb. 10.4: Jährlichkeiten der monatlichen Niedrigwasserstände NW(m) am Pegel Konstanz/Bodensee für die Zeitreihe 1910-2007; Monate November bis April (oben) und Mai bis Oktober (unten)

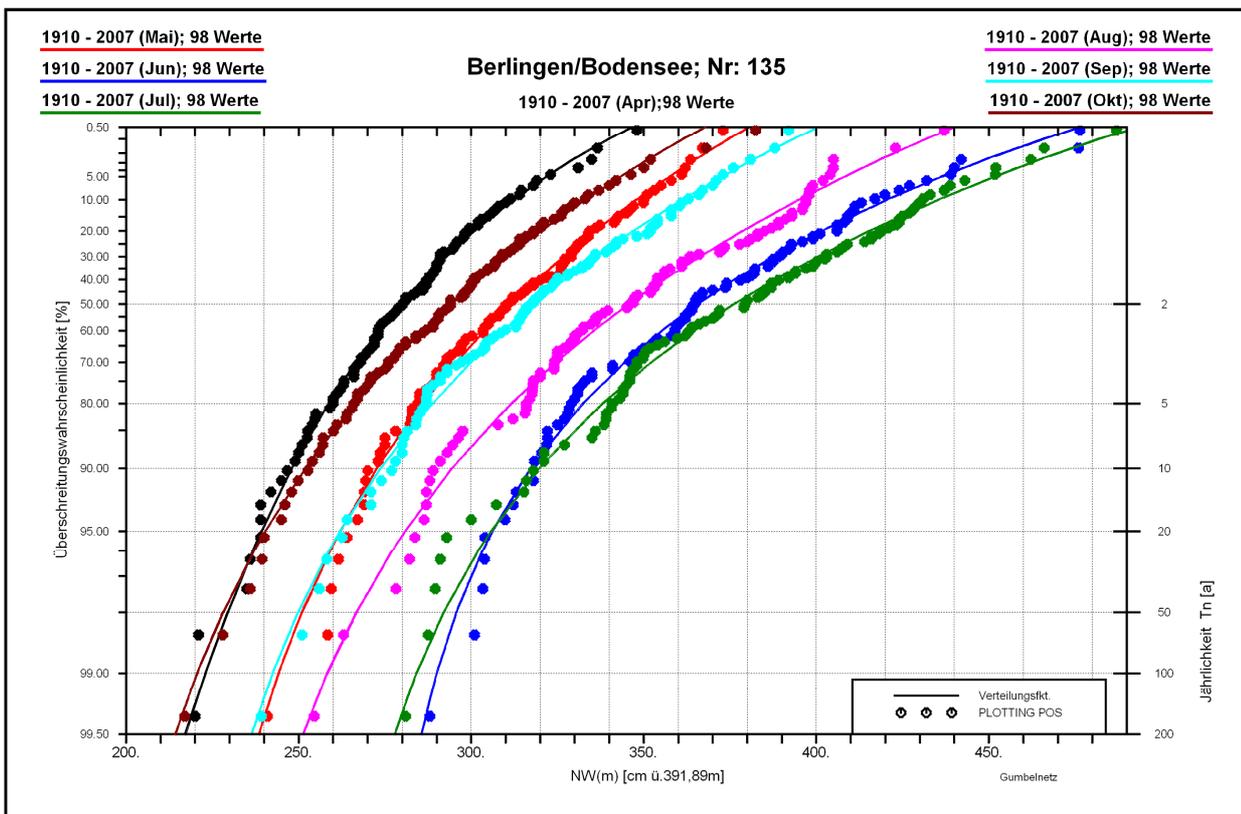
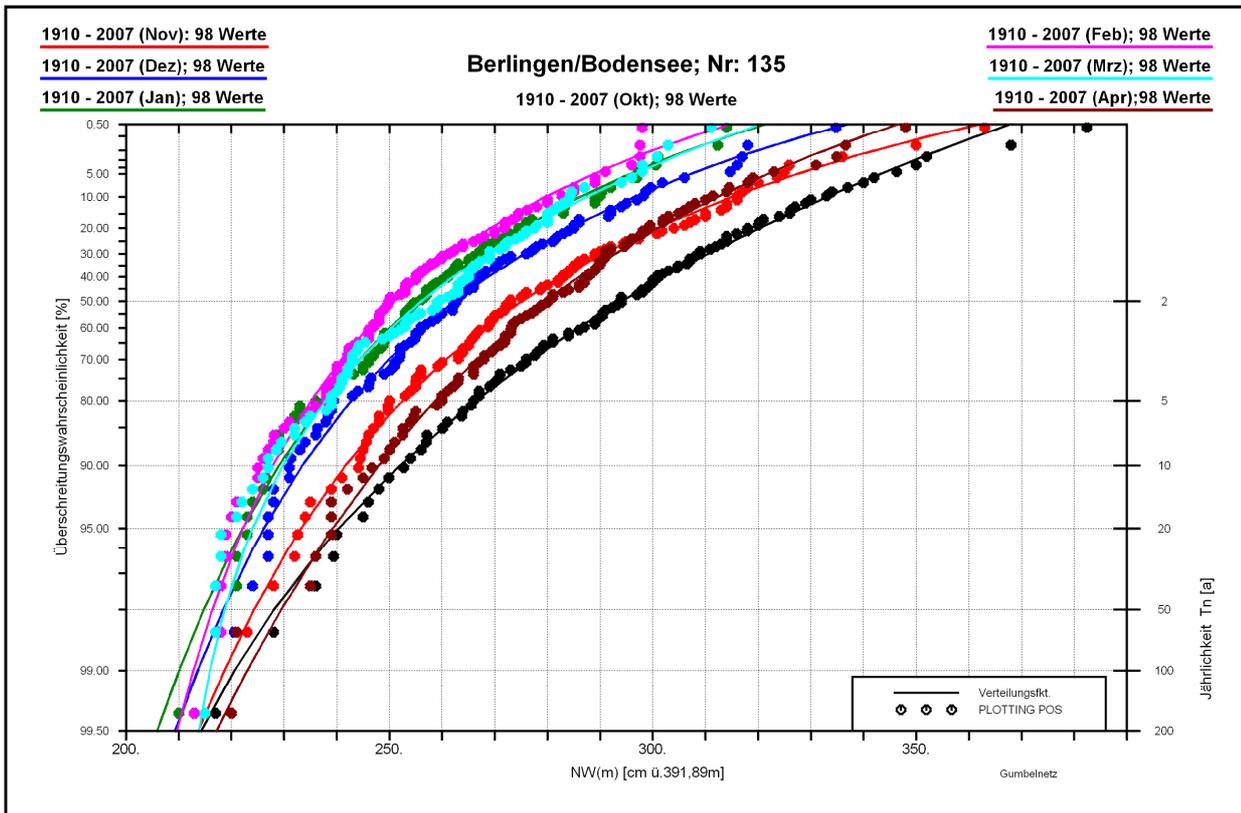


Abb. 10.5: Jährlichkeiten der monatlichen Niedrigwasserstände NW(m) am Pegel Berlingen/Bodensee für die Zeitreihe 1910-2007; Monate November bis April (oben) und Mai bis Oktober (unten)

Unterschr.-Tage Konstanz/B; Berlingen/B.

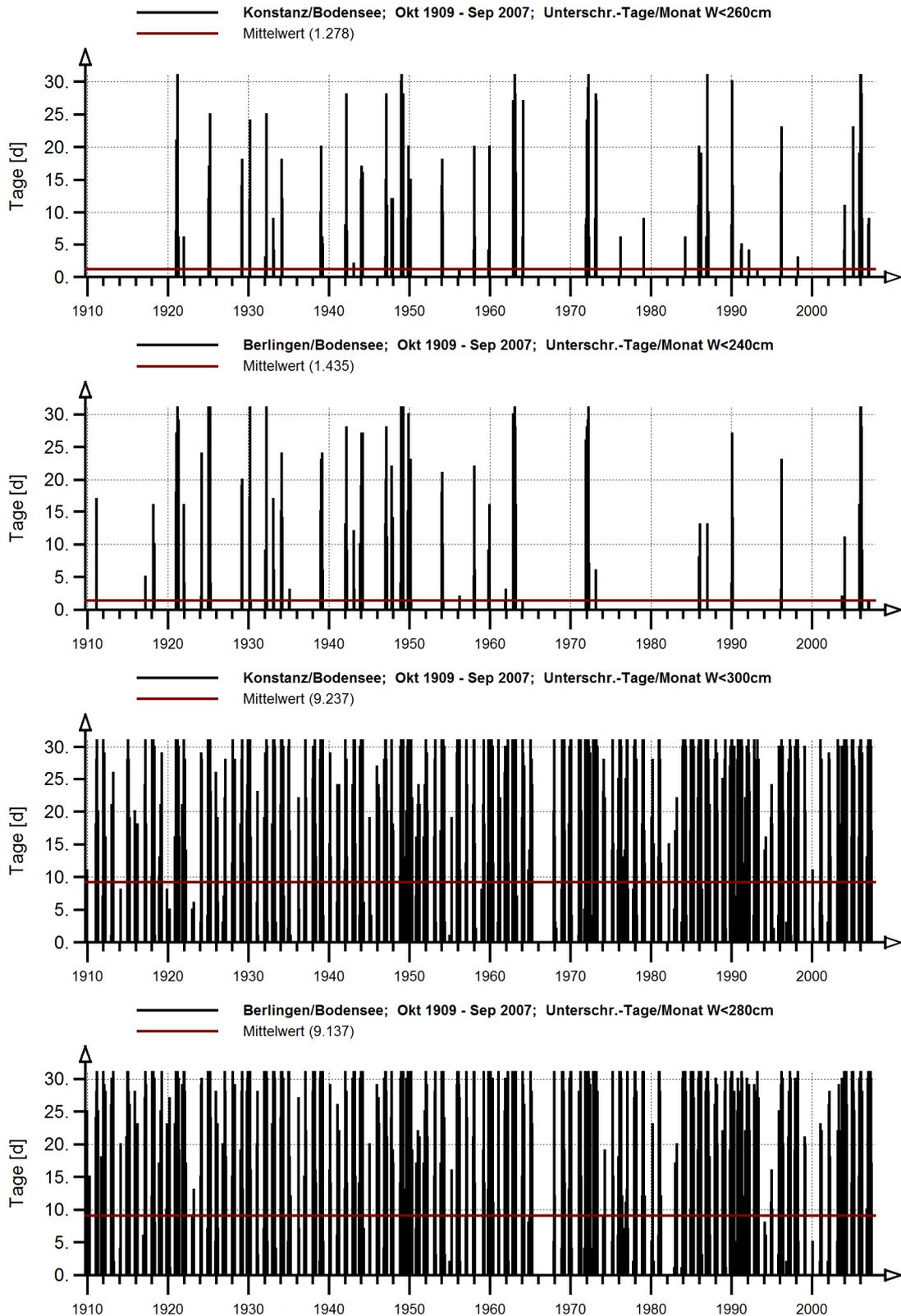


Abb. 10.6: Monatliche Unterschreitungstage von Wasserstands-Schwellenwerten W am Beispiel der Zeitreihe 1910-2007 für die Pegel Konstanz/Bodensee und Berlingen/Bodensee

10.2.2 JÄHRLICHKEITEN DER MONATLICHEN NIEDRIGSTWASSERSTÄNDE

Aus den monatlichen Niedrigstwasserständen $NW(m)$ für die Zeitreihen 1910-2007, 1955-2007 und 1977-2007 wurden über extremwertstatistische Auswertungen für jeden Monat die T-jährlichen Niedrigstwasserstände $NW_T(m)$ abgeleitet. Dabei wurden die Jährlichkeiten $T = 2, 5, 10, 20, 50$ und 100 Jahre betrachtet (Abb. 10.4 und Abb. 10.5). Die hieraus abgeleiteten $NW_T(m)$ -Werte lassen sich als Jahresgang darstellen. In Abb. 10.7 bis Abb. 10.9 sind die Jahresgänge der $NW_T(m)$ -Werte der drei untersuchten Zeitreihen für die Pegel Konstanz/Bodensee (oberes Diagramm) und Berlingen/Bodensee (unteres Diagramm) dargestellt. Für ausgewählte Jährlichkeiten ($T = 2, 10$ und 100 a) zeigt Abb. 10.10 den Vergleich der Jahresgänge zwischen den drei Zeitspannen.

Insbesondere aus Abb. 10.10 ergibt sich, dass in den Monaten zwischen Mai und Oktober des Sommer-Halbjahres die monatlichen T-jährlichen Niedrigstwasserstände $NW_T(m)$ sowohl am Obersee (Pegel Konstanz/Bodensee) als auch am Untersee (Pegel Berlingen/Bodensee) kontinuierlich abgenommen haben. Diese Veränderungen sind bei den häufigeren Niedrigwassersituationen (kleine Jährlichkeiten) größer als bei den seltenen Situationen (große Jährlichkeiten). Beispielsweise ergibt sich für den Monat Juli am Pegel Konstanz/Bodensee der 2-jährliche Wert aus der Gesamtzeitspanne 1910-2007 zu $NW_2(\text{Jul}) = 401 \text{ cm a. P. KN}$. Dieser Wert nimmt bei der Zeitspanne 1955-2007 zunächst auf $NW_2(\text{Jul}) = 391 \text{ cm a. P. KN}$ und anschließend bei der Zeitspanne 1977-2007 auf $NW_2(\text{Jul}) = 383 \text{ cm a. P. KN}$ ab. Dies entspricht insgesamt einer Abnahme von knapp 20 cm zwischen der Gesamtzeitspanne und der Zeitspanne ab 1977. Mit steigender Jährlichkeit nimmt diese Wasserstandsänderung jedoch ab. Bei den 10- und 100-jährlichen Werten im Juli ergeben sich jeweils Abnahmen von ca. 8 cm. In den Monaten zwischen November und April des Winter-Halbjahres verschwinden die Veränderungen am Pegel Konstanz/Bodensee nahezu. Am Pegel Berlingen/Bodensee ergeben sich im Sommerhalbjahr ähnliche $NW_T(m)$ -Abnahmen wie

am Pegel Konstanz/Bodensee. Im Winterhalbjahr dagegen ist eine leichte Tendenz zu Wasserstandserhöhungen vorhanden.

10.2.3 ANZAHL DER UNTERSCHREITUNGSTAGE VON WASSERSTANDS-SCHWELLENWERTEN

Aus den mittleren täglichen Wasserständen $MW(d)$ für die Zeitspannen 1910-2007, 1955-2007 und 1977-2007 wurden, bezogen auf verschiedene Wasserstands-Schwellenwerte, die monatliche Anzahl von Unterschreitungstagen abgeleitet. Die Wasserstands-Schwellenwerte W orientierten sich dabei an den Spannweiten der flächenspezifischen Ober- und Untergrenzen der archäologischen Siedlungsareale sowie an den Spannweiten der Minimal- und Optimal-Wasserstände der Bootshäfen. Insgesamt ergab sich dabei für den Obersee eine Spannweite der Schwellenwerte zwischen $W = 240 \text{ cm a. P. KN}$ und $W = 410 \text{ cm a. P. KN}$ sowie am Untersee zwischen $W = 220 \text{ cm a. P. Berl.}$ und $W = 360 \text{ cm a. P. Berl.}$.

Die hieraus abgeleitete monatlich mittlere Anzahl der Unterschreitungstage lässt sich wiederum als Jahresgang darstellen. In Abb. 10.11 bis Abb. 10.13 sind die Jahresgänge der monatlich mittleren Anzahl von Unterschreitungstagen $MUT(m)$ für die drei untersuchten Zeitspannen an den Pegeln Konstanz/Bodensee (oberes Diagramm) und Berlingen/Bodensee (unteres Diagramm) dargestellt. Die maximal mögliche Anzahl von Unterschreitungstagen, die in einem Monat auftreten können, entspricht der Anzahl der jeweiligen Monatstage. Für ausgewählte Schwellenwerte ($W = 280, 300$ und 360 cm a. P. KN bzw. $W = 260, 280$ und $340 \text{ cm a. P. Ber.}$) zeigt Abb. 10.14 den Vergleich der Jahresgänge zwischen den drei Zeitspannen.

Der Vergleich in Abb. 10.14 zeigt, dass in den Monaten zwischen Mai und Oktober die mittleren monatlichen Unterschreitungstage am Obersee (Pegel Konstanz/Bodensee) und am Untersee (Pegel Berlingen/Bodensee) zugenommen haben. Beispielsweise ergibt sich für den Monat August am Pegel Konstanz/Bodensee (Abb. 10.14 oben), dass der Schwellenwert $W < 360 \text{ cm a. P. KN}$ bei der Ge-

samtzeitspanne 1910-2007 im Mittel an 7 Tagen, bei der Zeitspanne 1955-2007 im Mittel an ca. 9 Tagen und bei der Zeitspanne 1977-2007 im Mittel an knapp 11 Tagen unterschritten wird. Dies entspricht einer Verlängerung der Unterschreitungsdauer von knapp 4 Tagen. Der Pegel Berlingen/Bodensee (Abb. 10.14 unten) hat für den Wasserstands-Schwellenwert $W < 340$ cm a. P. Berl. eine sehr vergleichbare Tendenz. Bei der Gesamtzeitspanne 1910-2007 wird dieser Schwellenwert im Mittel ca. 9 Tagen, bei der Zeitspanne 1955-2007 im Mittel an knapp 11 Tagen und bei der Zeitspanne 1977-2007 im Mittel an ca. 13 Tagen unterschritten. Auch diese Veränderung entspricht einer Verlängerung der Unterschreitungsdauer von ca. 4 Tagen.

Nicht gesondert dargestellt ist die pro Monat mindestens einmal während der jeweiligen Zeitspanne auftretende Höchst-Anzahl der Unterschreitungstage HUT. Diese werden für die archäologischen Siedlungsareale bzw. für die Bootshäfen zusätzlich ausgewiesen. Sie kennzeichnen seltene, aber bereits aufgetretene Extremsituationen: Für die archäologischen Siedlungsareale sind das i. d. R. Tage, an denen die Flächen in extremes Flachwasser bzw. trocken fallen. Für die Bootshäfen wären das im betreffenden Monat zusammenhängende Ausfalltage für die Hafennutzung.

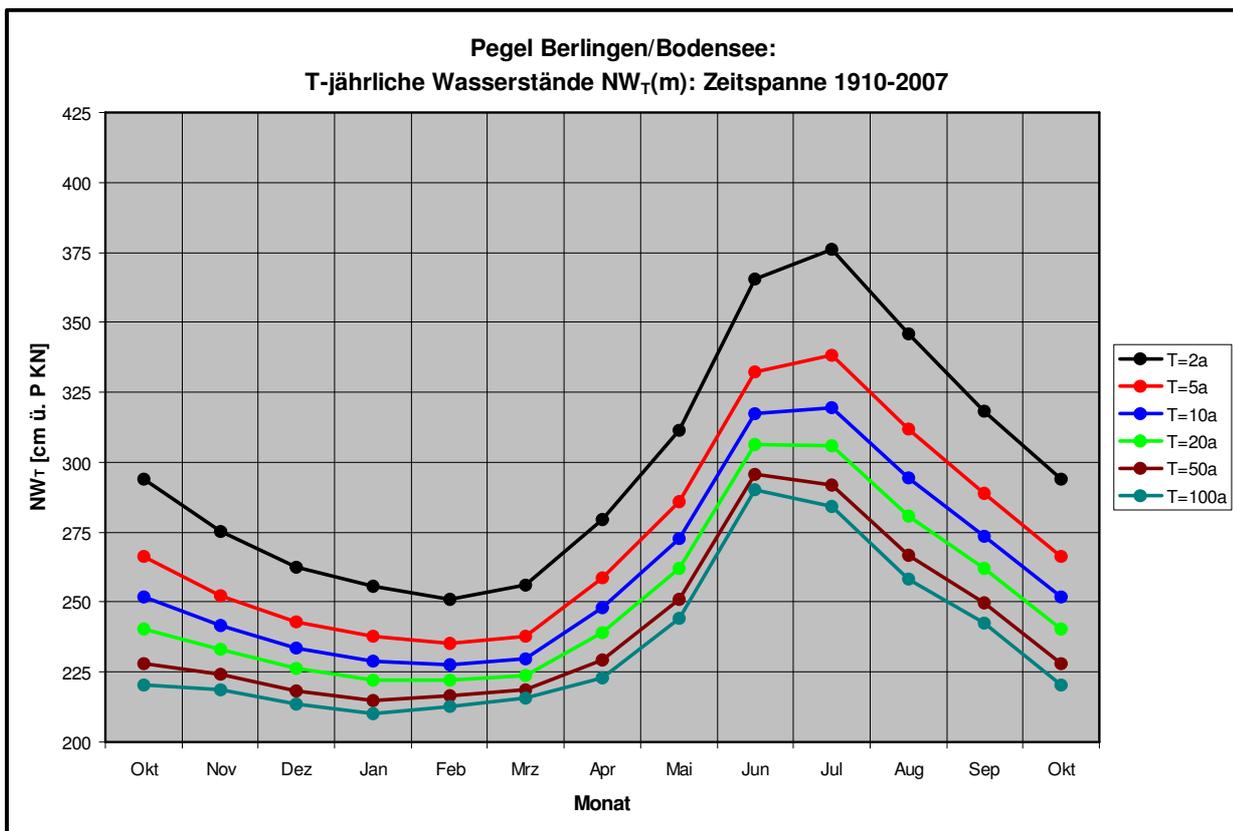
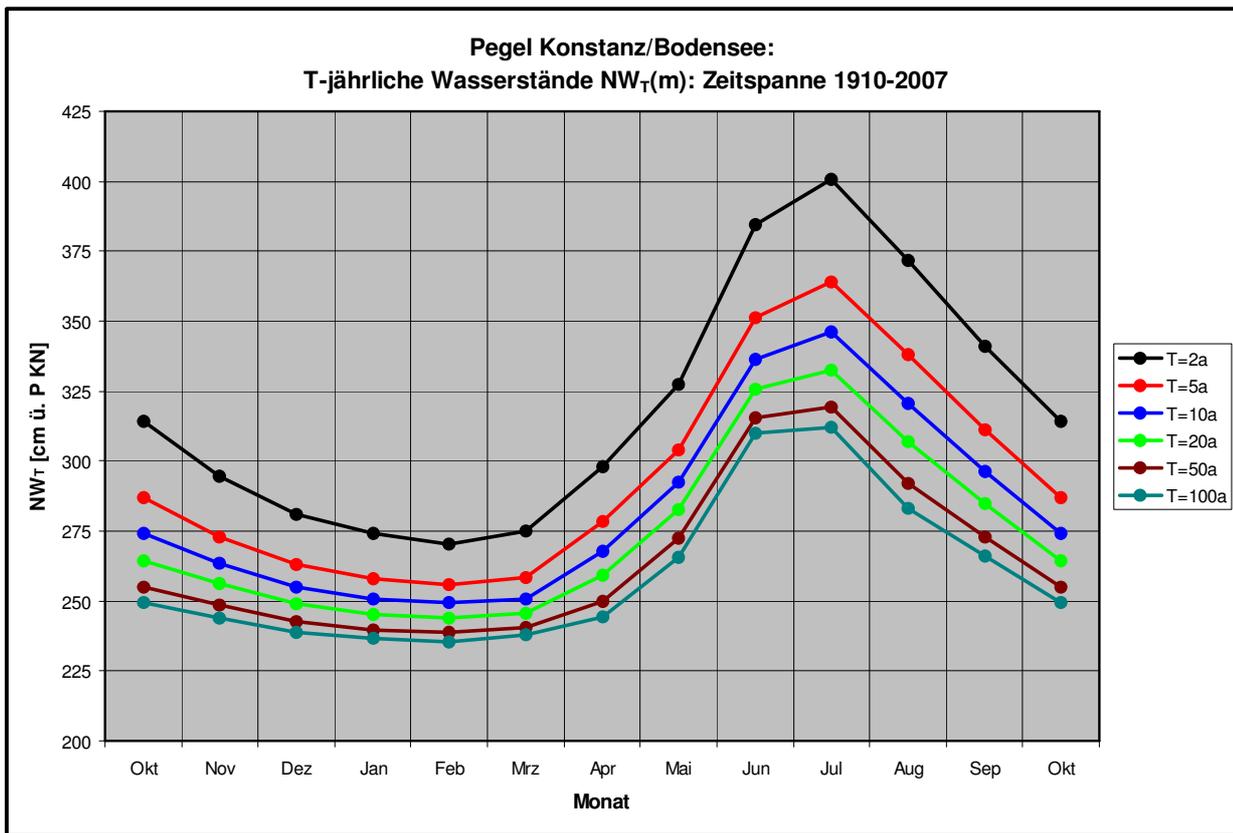


Abb. 10.7: Monatliche T-jährliche Niedrig-Wasserstände $NW_T(m)$ am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und Pegel Berlingen/Bodensee (unten) für die Zeitsreihe 1910-2007

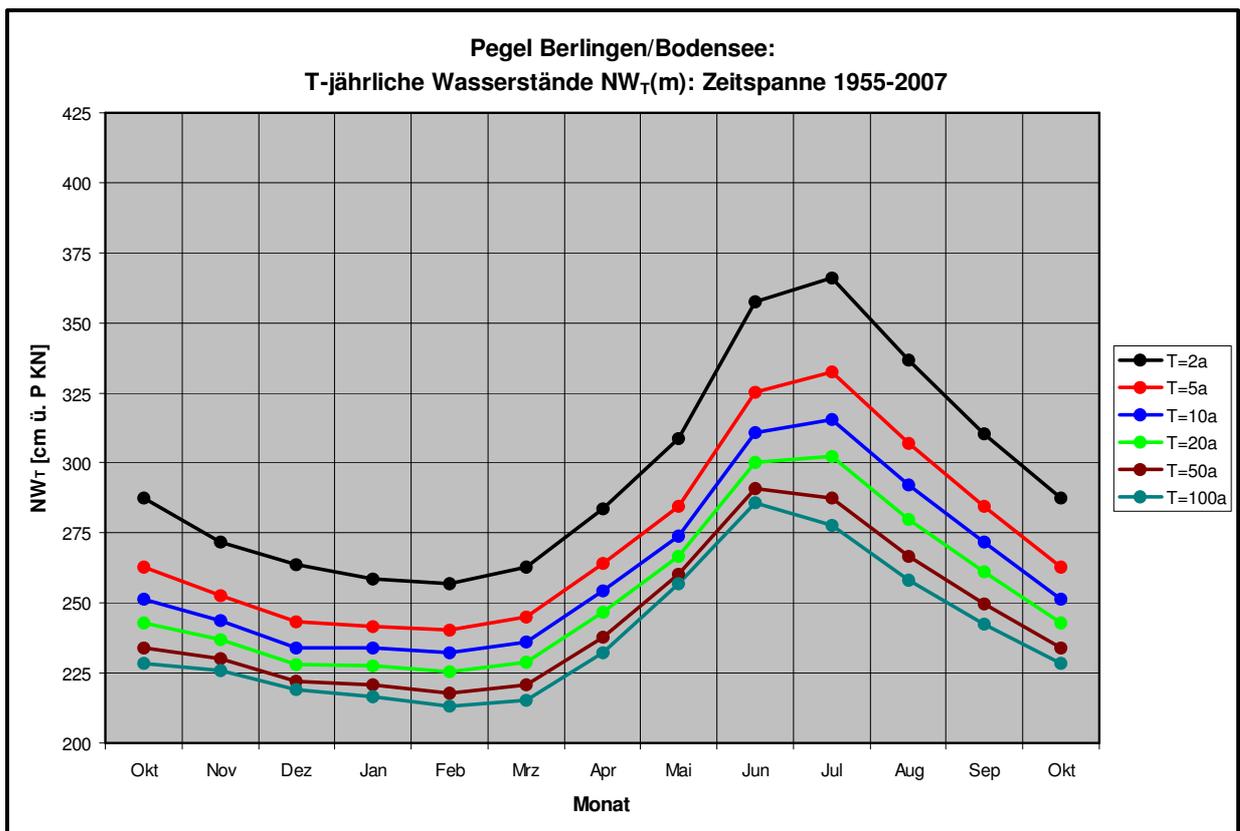
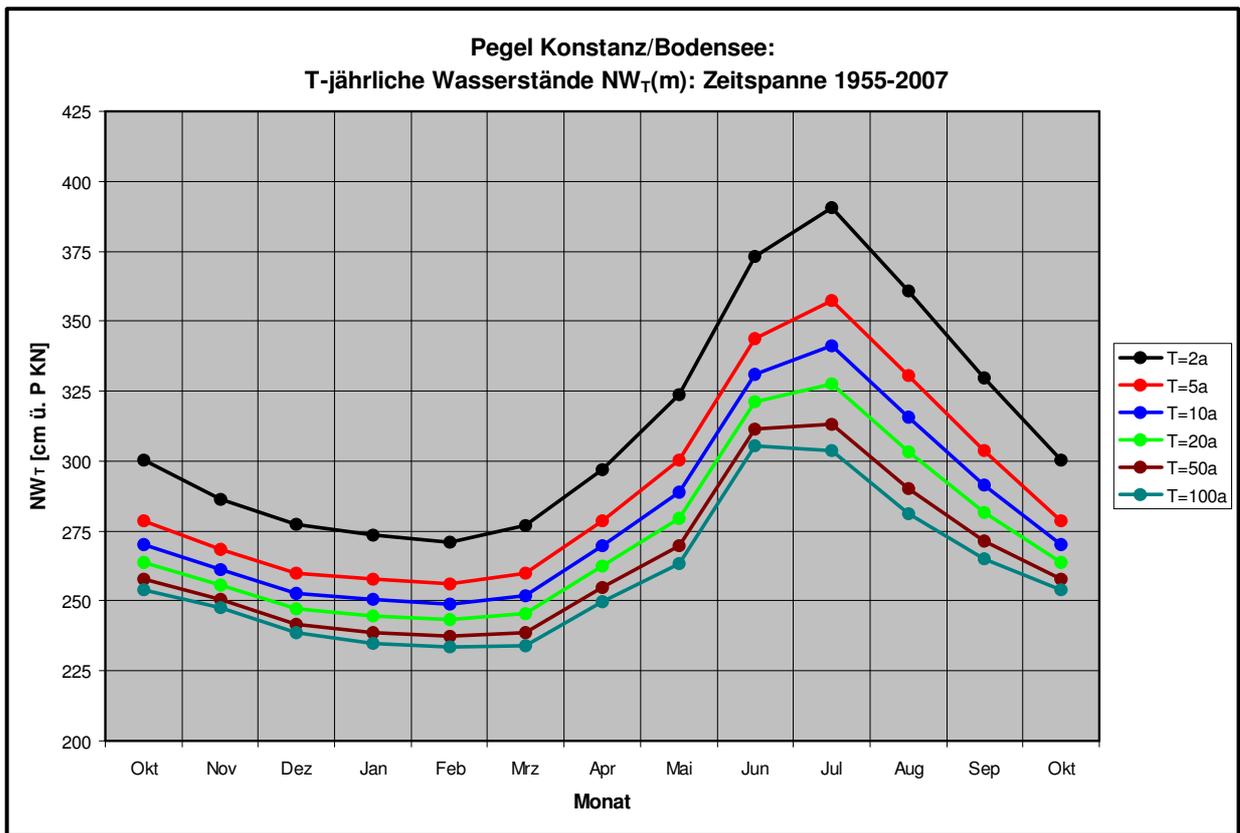


Abb. 10.8: Monatliche T-jährliche Niedrig-Wasserstände $NW_T(m)$ am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und Pegel Berlingen/Bodensee (unten) für die Zeitreihe 1955-2007

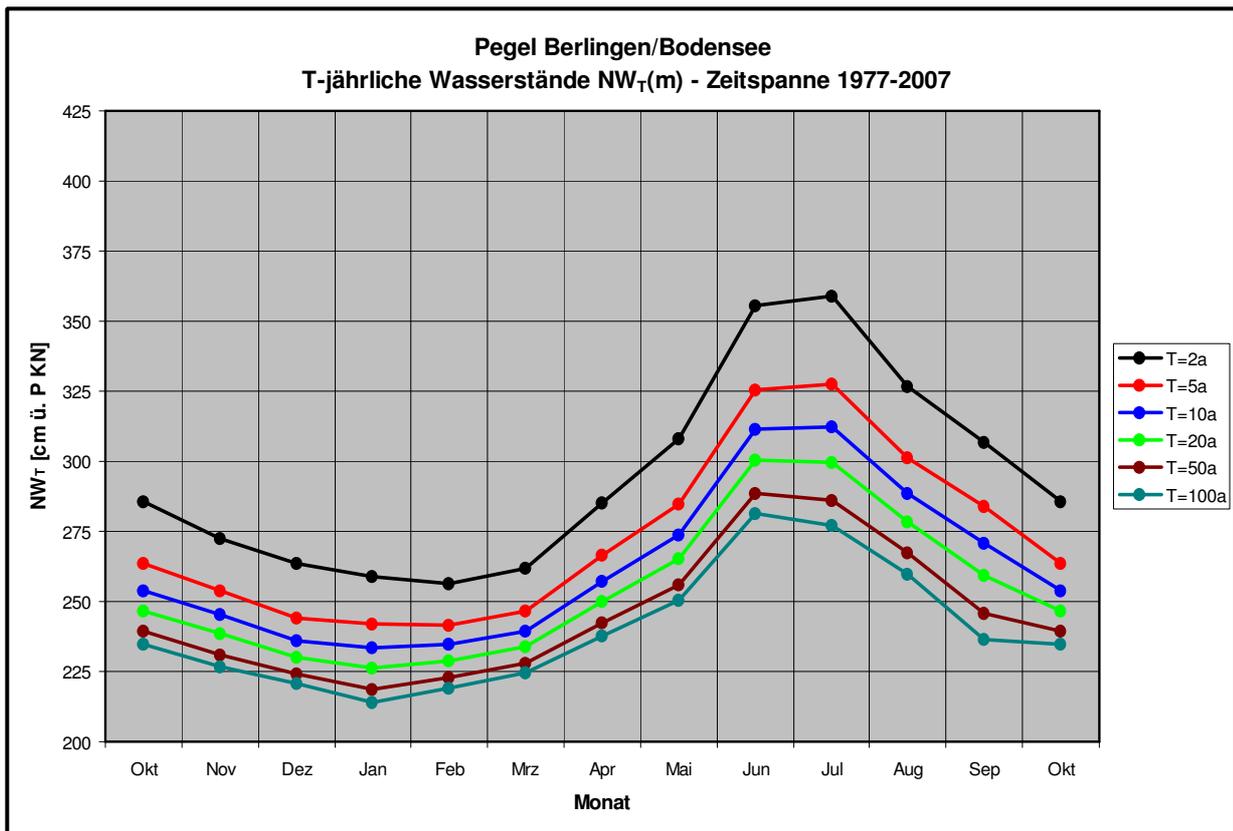
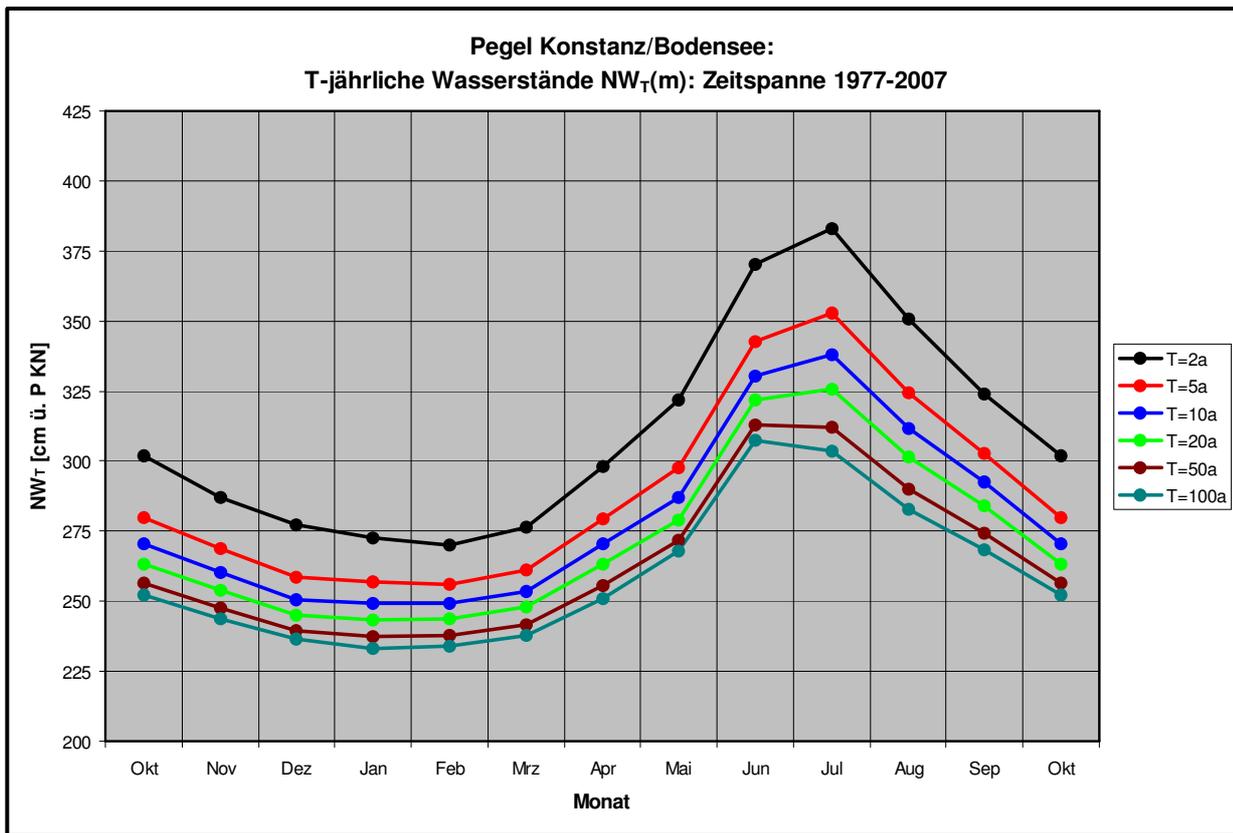


Abb. 10.9: Monatliche T-jährliche Niedrig-Wasserstände $NW_T(m)$ am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und Pegel Berlingen/Bodensee (unten) für die Zeitreihe 1977-2007

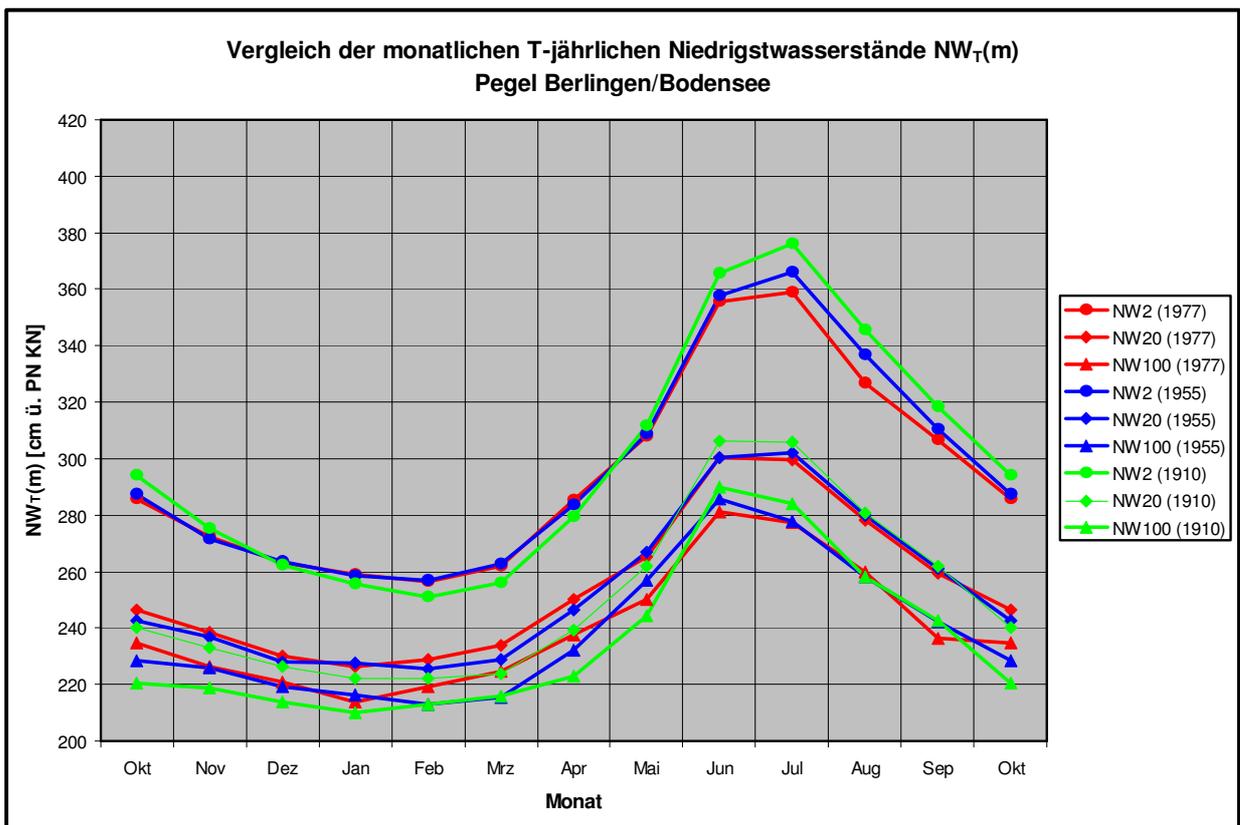
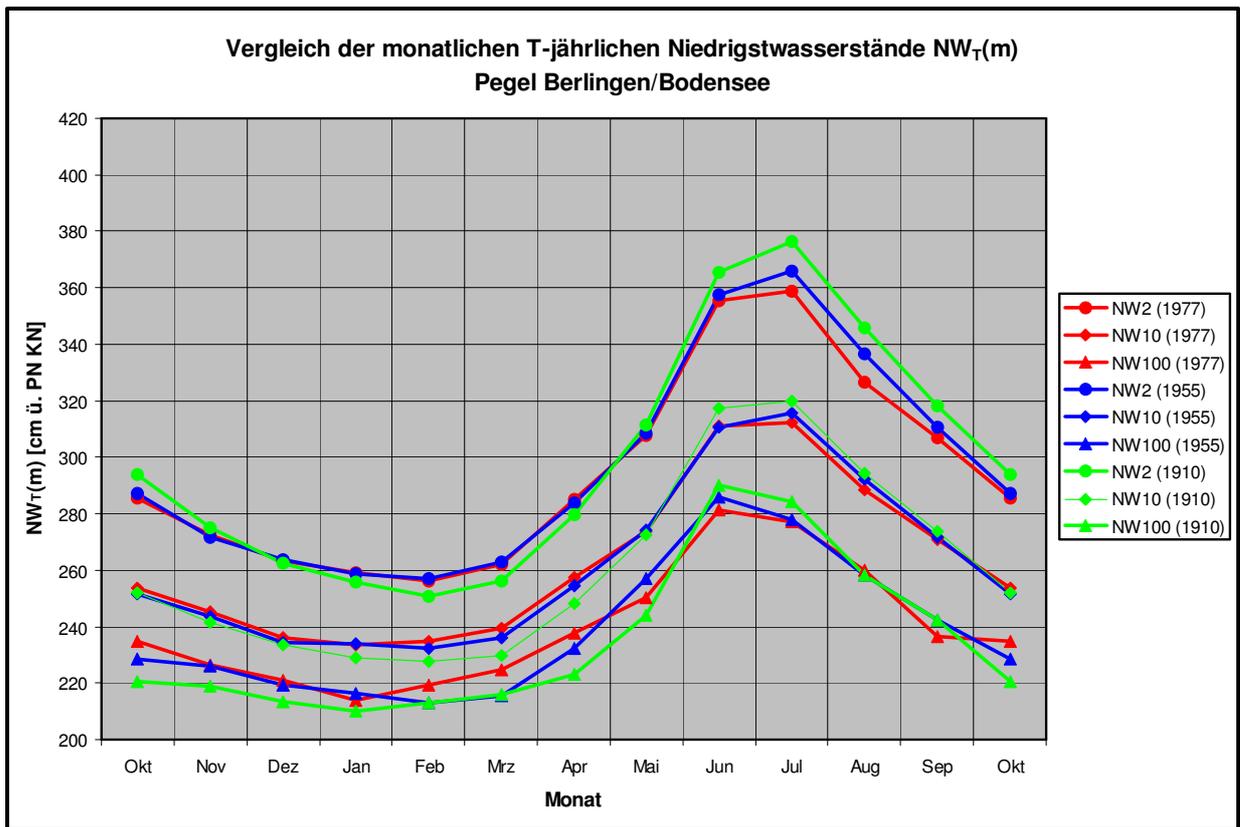


Abb. 10.10: Monatliche 2-, 10- und 100-jährliche Niedrigwasserstände $NW_T(m)$ am Pegel Konstanz/Bodensee (oben) und Pegel Berlingen/Bodensee (unten); Vergleich der Zeitreihen 1910-2007, 1955-2007 und 1977-2007

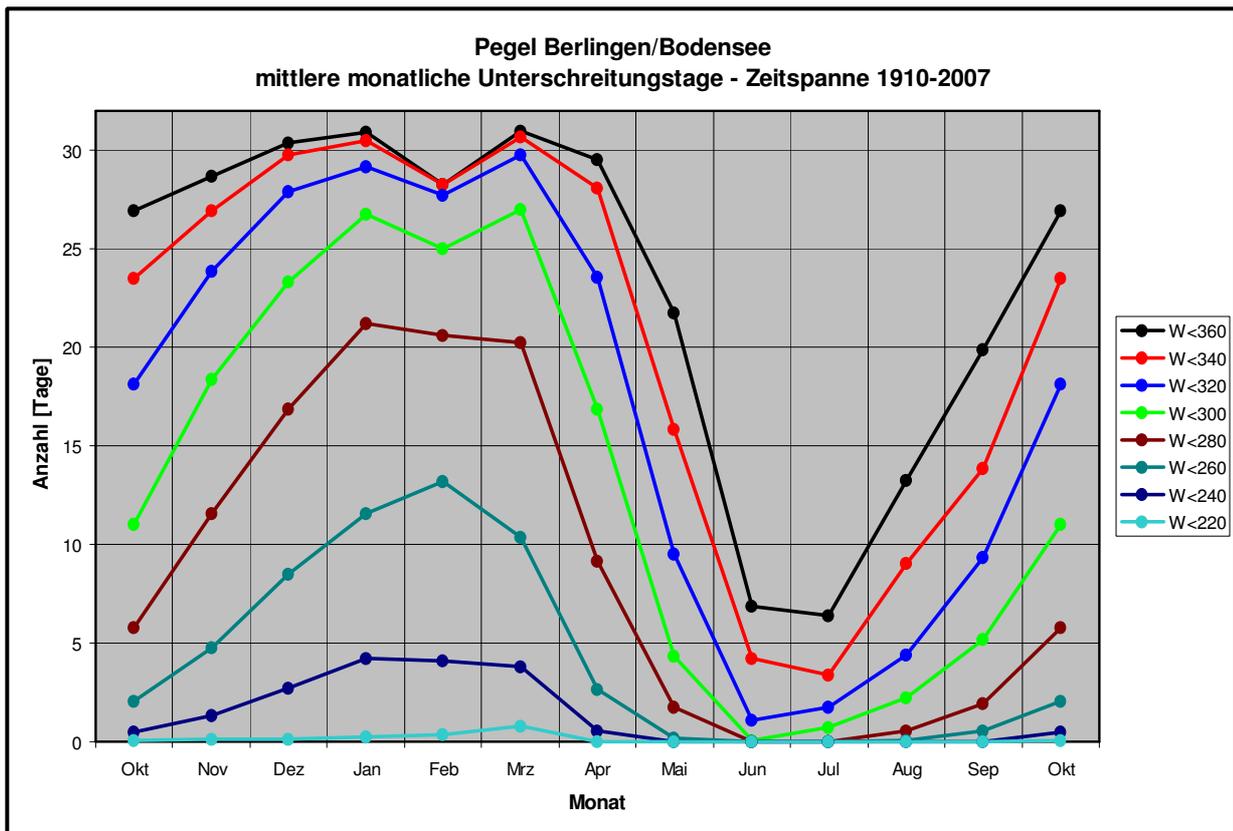
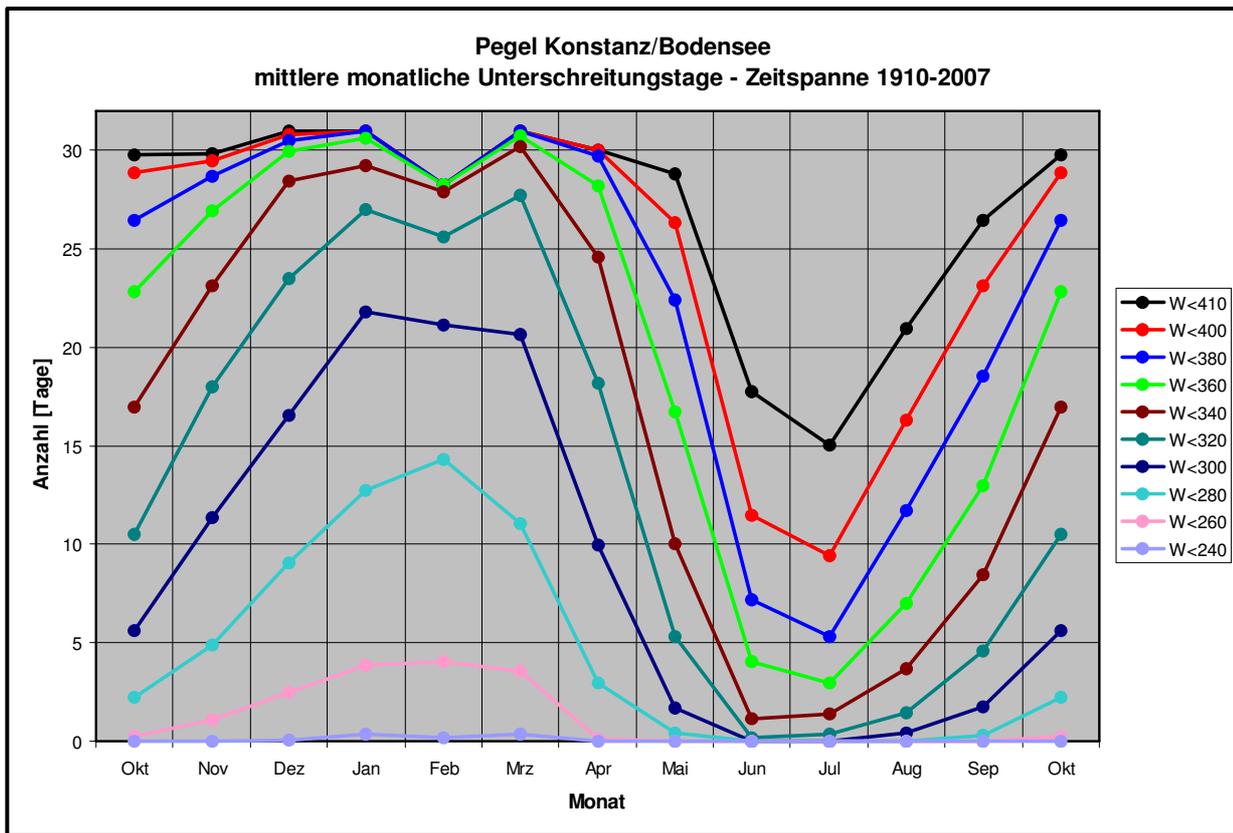


Abb. 10.11: Mittlere monatliche Anzahl der Unterschreitungstage am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und am Pegel Berlingen/Bodensee (unten); Zeitreihe 1910-2007

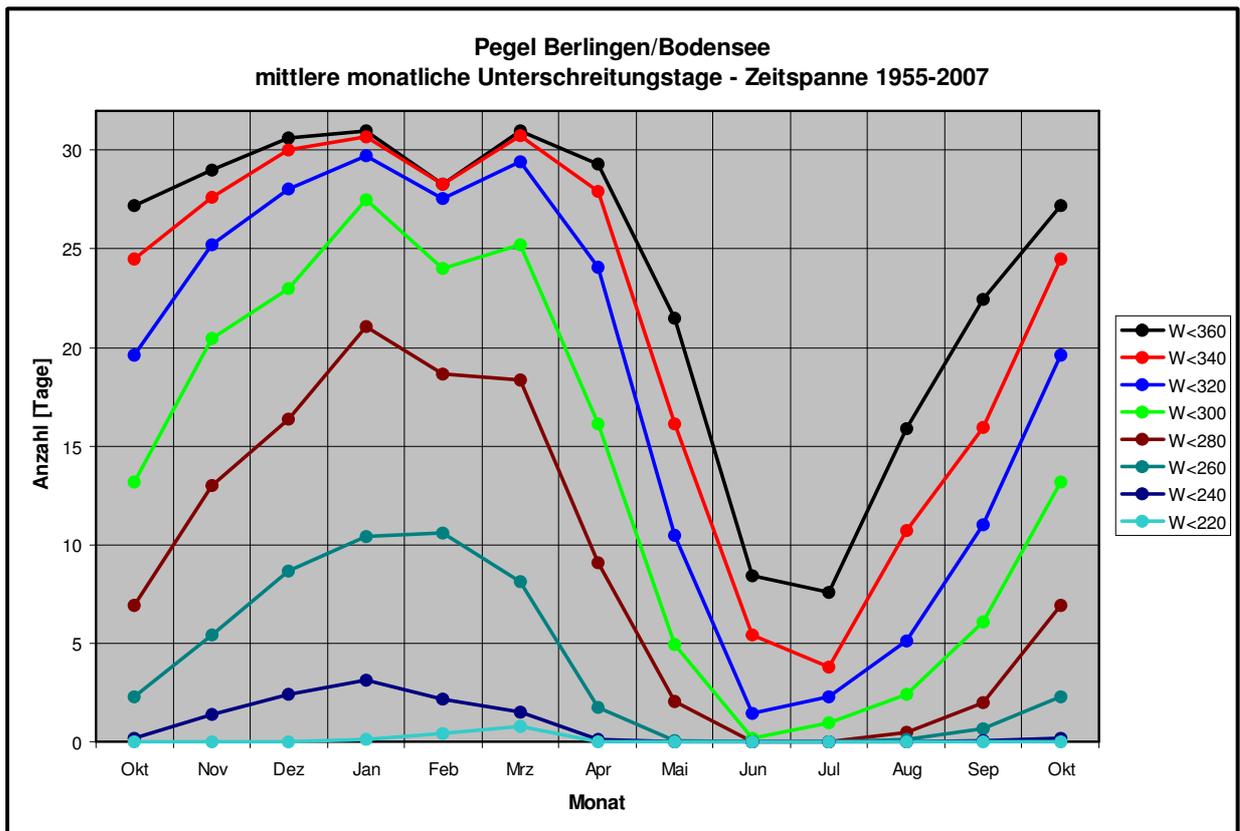
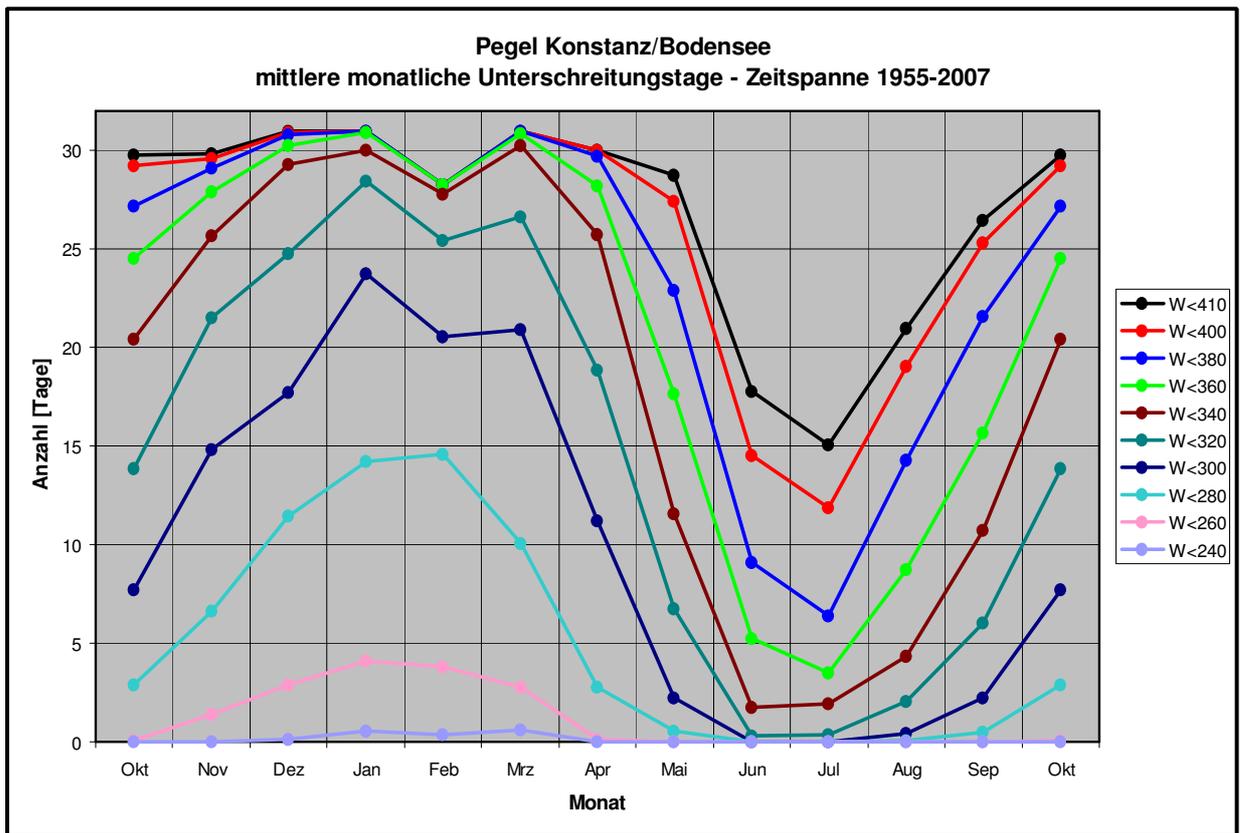


Abb. 10.12: Mittlere monatliche Anzahl der Unterschreitungstage am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und am Pegel Berlingen/Bodensee (unten); Zeitreihe 1955-2007

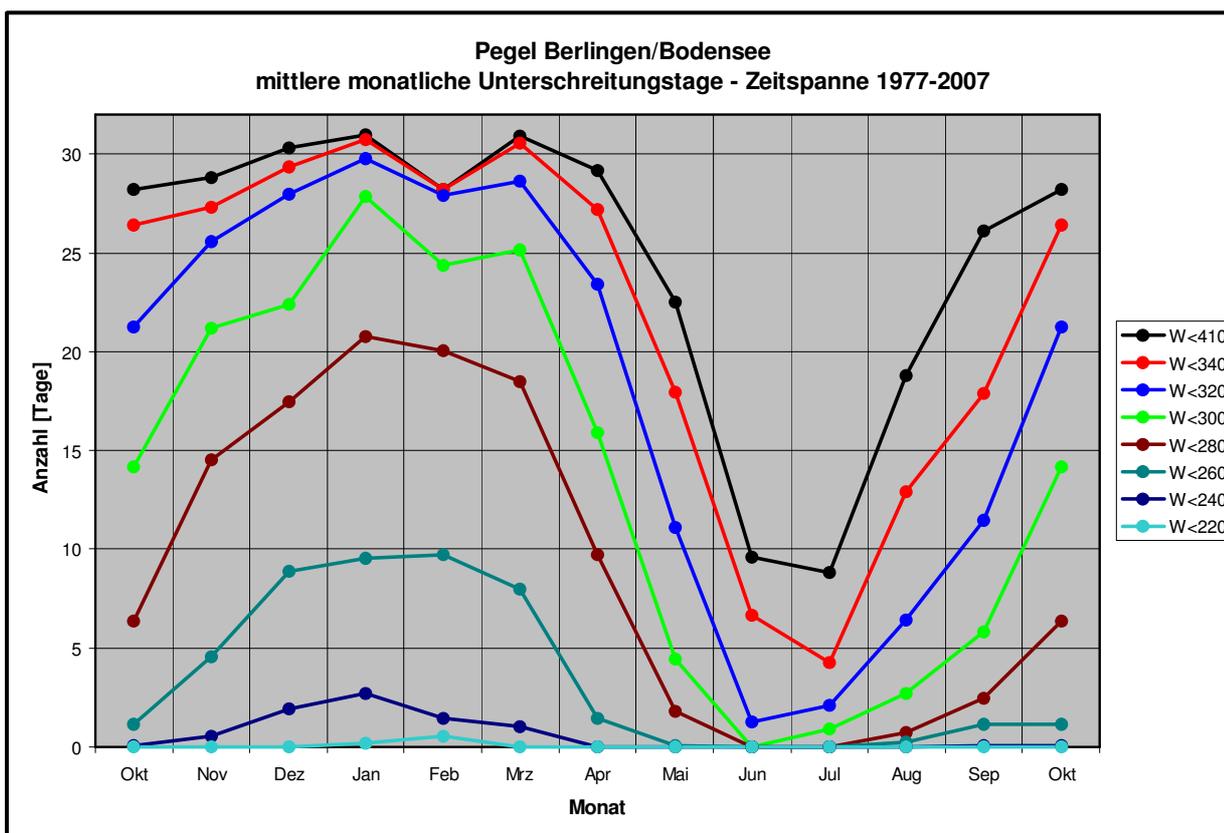
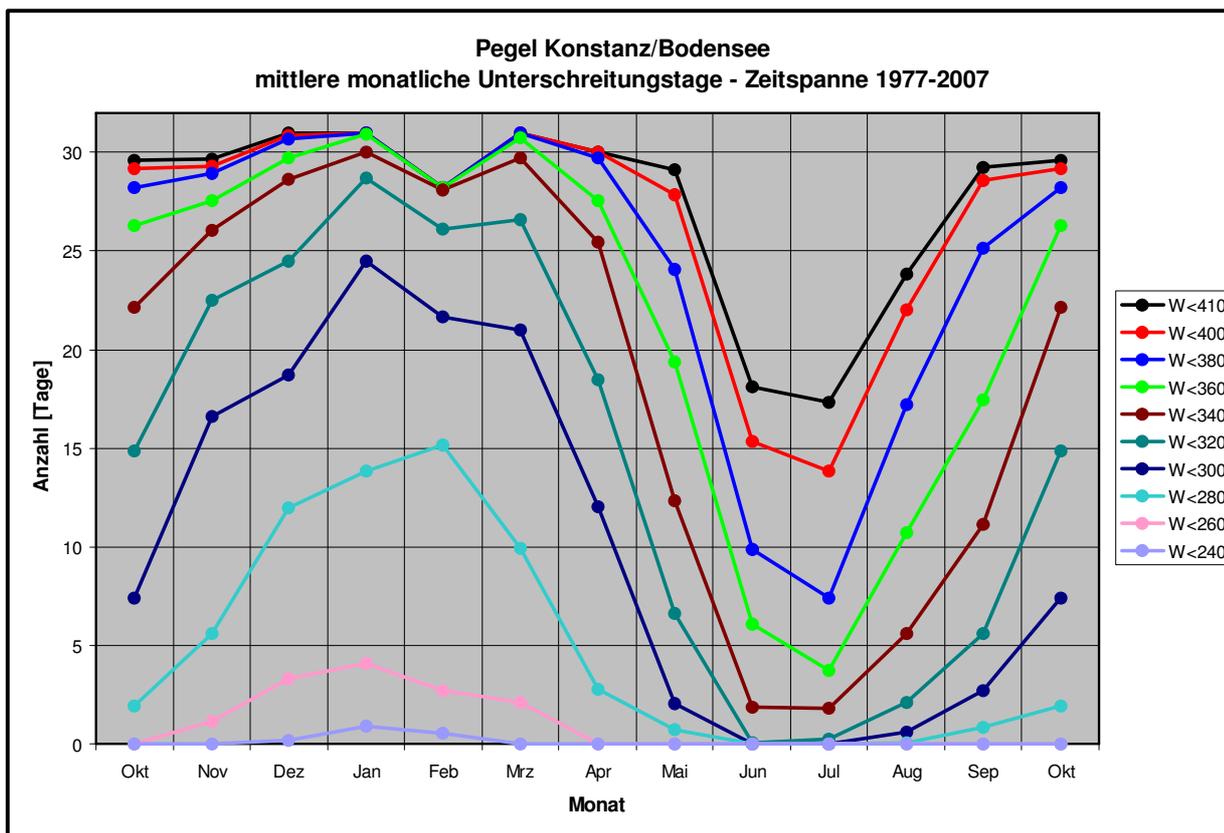


Abb. 10.13: Mittlere monatliche Anzahl der Unterschreitungstage am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und am Pegel Berlingen/Bodensee (unten); Zeitreihe 1977-2007

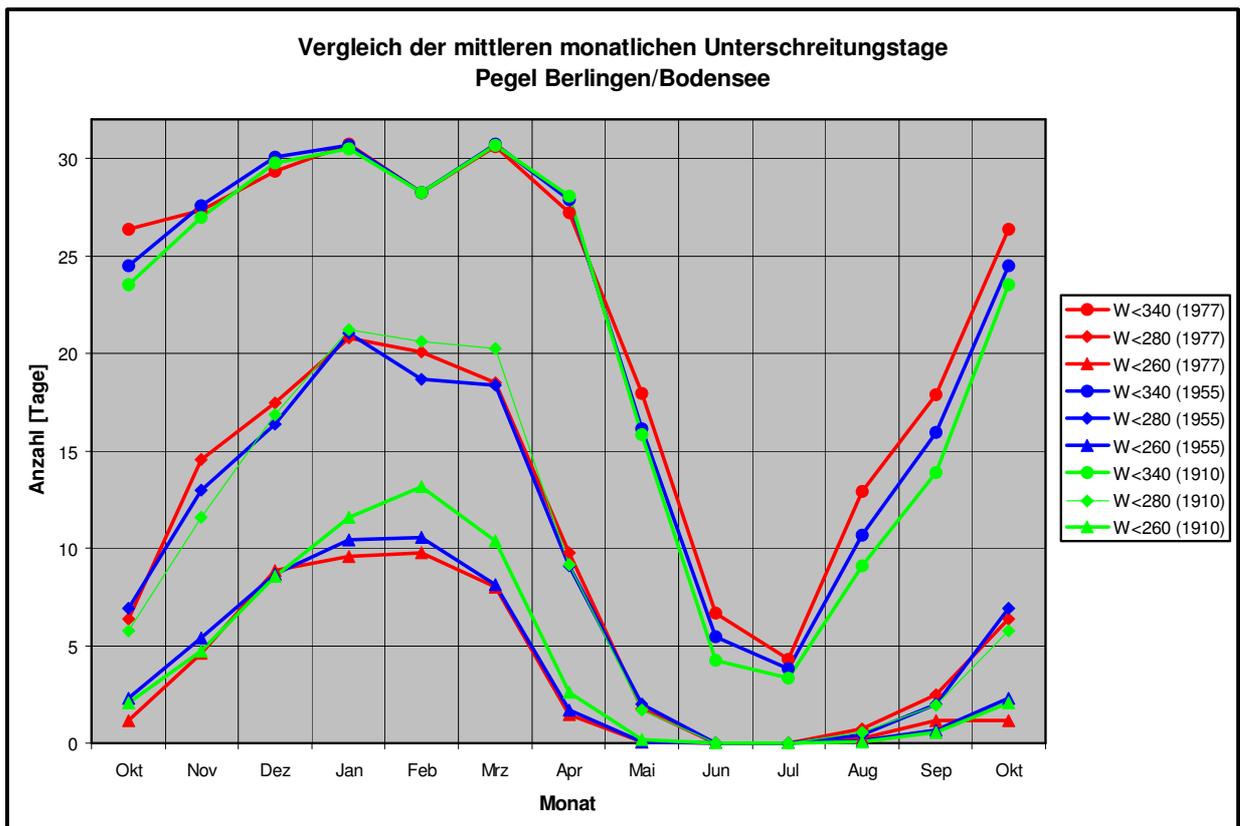
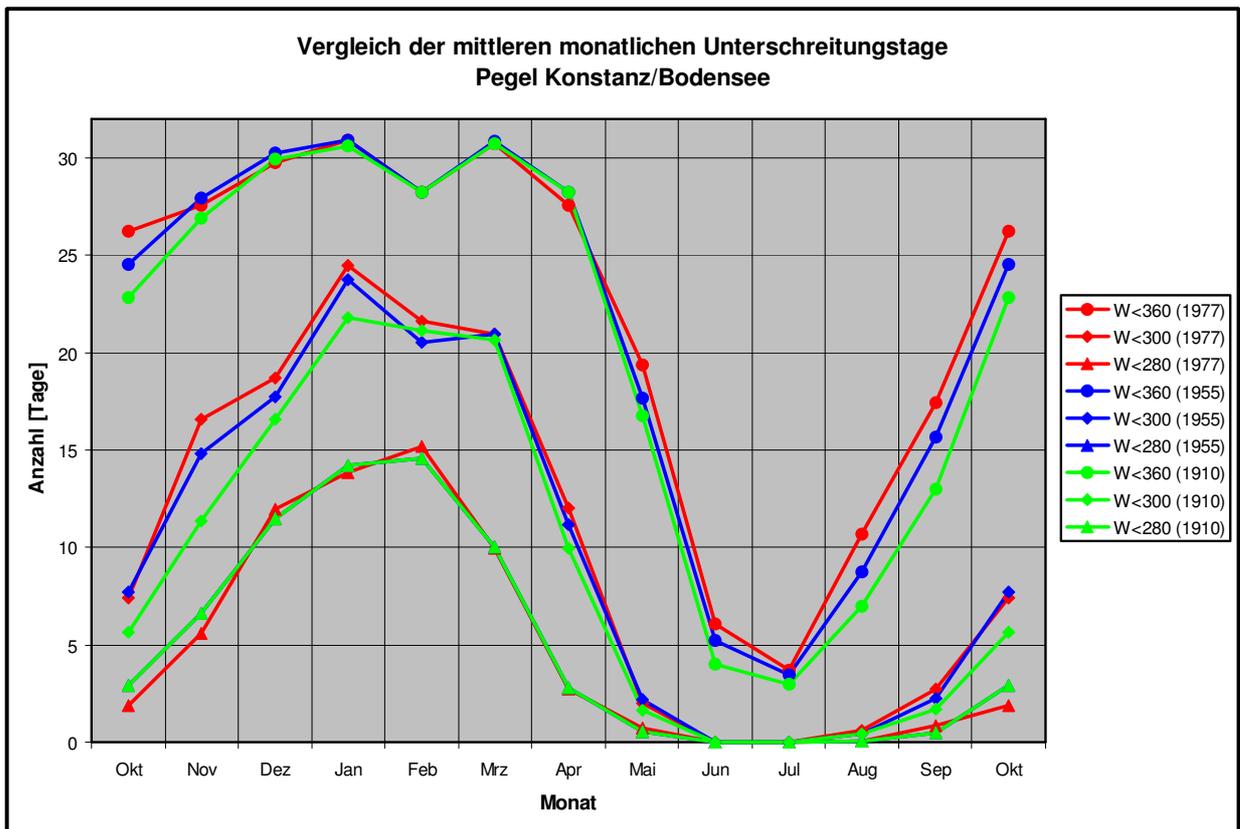


Abb. 10.14: Mittlere monatliche Anzahl der Unterschreitungstage am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und am Pegel Berlingen/Bodensee (unten) ; Vergleich der Zeitreihen 1910-2007, 1955-2007 und 1977-2007 für verschiedene Wasserstandsschwellenwerte W

10.3 AUSWIRKUNG DER VERÄNDERUNGEN BEI ARCHÄOLOGISCHEN SIEDLUNGSAREALEN

Die Auswirkungen der Veränderungen werden durch Vergleich der Ergebnisse von 3 Zeitspannen beurteilt. Für die aktuelle Beurteilung werden die Ergebnisse der Zeitspanne 1977-2007 empfohlen. Wie die Analyse der Bodenseewasserstände in den Abschnitten 5, 7 und 10.2 zeigen, haben die mittleren und Niedrigwasserstände in den letzten 100 Jahren Veränderungen im Langzeitverhalten erfahren. Hauptursache hierfür ist der Ausbau und Betrieb der Kraftwerk-Speicher im alpinen Bodensee-Einzugsgebiet, der seit Mitte der 50-er Jahre Veränderungen im monatlichen Jahresgang auslöste und der nach Abschluss des Ausbaus seit Ende der 70-er Jahre bis heute den Zufluss zum Bodensee und damit die Wasserstände deutlich prägt. Die wesentlichen Merkmale der Veränderungen im Wasserstands-Verhalten sind im Winterhalbjahr in etwa Erhalt der Niedrigwasserstände am Obersee sowie im Sommerhalbjahr eine deutliche Reduzierung der monatlichen Niedrigwasserstände.

Für fünf archäologische Siedlungsareale im Ufer- und Flachwasser-Bereich des Obersees (Tabelle 10.1) liegen Kartierungen mit Höhenangaben vor (siehe auch Anlage F). Die Flächen liegen größtenteils unter Wasser. Während der Niedrigwasserzeiten kann jedoch der Wasserstand bis zu Ober- bzw. Untergrenzen⁴⁾ dieser Flächen fallen. Erreicht oder unterschreitet der Wasserstand die Obergrenze, führt dies zu sehr geringer Wasserüberdeckung, meist verbunden mit starkem Wellengang, evt. auch verstärkter Strömung und Sedimenterosion und damit zu Schädigung bzw. Zerstörung der Siedlungsareale. Erreicht der Niedrigwasserstand die Untergrenzen der Flächen, fallen die Siedlungsareale (Pfahlfelder und Kulturschichten) trocken und können durch Frost und Lufteinwirkung zerstört werden.

⁴⁾ Bei archäologisch relevante Flächen, deren Untergrenze bis unterhalb des NNW reichen, wird das Trockenfallen bei $NW = 236 \text{ cm a. P. KN}$ kalkuliert. Mittleres Niedrigwasser $MNW = 265 \text{ cm}$; Niedrigwasserstände: $NNW(\text{Febr. 2006}) = 229 \text{ cm}$; $NW(\text{Dez. 2005}) = 236 \text{ cm}$; $NW(\text{März 1972}) = 237 \text{ cm}$.

Zur Beurteilung der Veränderungen im Langzeitverhalten der Bodenseewasserstände bei Niedrigwasser auf die verschiedenen archäologischen Siedlungsareale werden auf Grundlage der drei Zeitspannen (1910-2007, 1955-2007 und 1977-2007) einerseits die monatlichen Jährlichkeiten $T_{NW(m)}$ für das Unterschreiten von flächenspezifischen Grenzwasserständen und andererseits die monatlich mittleren Unterschreitungstage $MUT(m)$ sowie die monatliche Höchstanzahl der Unterschreitungstage $HUT(m)$ für die einzelnen Siedlungsareale abgeleitet. In Anlage E sind die Ergebnisse der statistischen Auswertungen für alle drei untersuchten Zeitspannen im Vergleich zusammengestellt.

Die Zeitspanne 1977-2007 stellt den heutigen Zustand des Wasserstandsverhaltens dar. Deshalb wird empfohlen, diese Zeitspanne zur Beurteilung der archäologischen Siedlungsareale heran zu ziehen. Für diese Zeitspanne sind in Tabelle 10.3 die maßgebenden Informationen zur Beurteilung der Standorte monatspezifisch zusammengestellt. Nicht betrachtet wurde das Unterwasser-Denkmal Bodman-Schachen I, da diese ständig unter dem Niedrigwasserstand des Obersees liegt.

In Tabelle 10.3 und in Anlage E sind für jeden ausgewerteten Standort aufgeführt:

- oberer und unterer Grenzwasserstand der archäologischen Siedlungsareale in [cm a. P. KN] und in [m+NN]
- Monat, in dem die jeweiligen flächenspezifischen Grenzwasserstände unterschritten werden
- Jährlichkeit $T_{NW(m)}$ für das Unterschreiten der Grenzwasserstände in den jeweiligen Monaten
- monatlich mittlere Anzahl der Unterschreitungstage $MUT(m)$ und die monatliche Höchstanzahl der Unterschreitungstage $HUT(m)$, die in der betrachteten Zeitspanne mindestens einmal aufgetreten ist (aktueller Zustand: Tabelle 10.3). Für die archäologischen Siedlungsareale bedeuten Unterschreitungstage im betreffenden Monat i. d. R. zusammenhängende Tage, an denen die Flächen nur geringfügige Wasserüberdeckung haben oder trocken fallen.

Beispiel für die Beurteilung von archäologischen Siedlungsarealen:

Der Standort Litzelstetten-Krähenhorn (Nr. 5) weist als Obergrenze der Fläche die Höhe 311 cm a. P. KN und als Untergrenze die Höhe 291 cm a. P. KN auf. Bezogen auf diese Höhen ergibt sich für den heutigen Zustand der Bodensee-Wasserstände aus Tabelle 10.3:

- Wasserüberdeckung (Flächen-Obergrenze): Der Bodensee-Wasserstand erreicht die Flächen-Obergrenze in den Monaten Oktober bis April im Mittel pro Monat an $MUT = 11$ d bis $MUT = 28$ d. Die monatlichen Niedrigwasserstände an der Obergrenze treten mit einer Jährlichkeit zwischen $T_{NW} = 1$ a bis $T_{NW} = 2$ a auf. Die monatliche Höchstanzahl der Unterschreitungstage betrug mindestens einmal in der Zeitspanne 1977 - 2007 zwischen $HUT = 29$ d und $HUT = 30$ bzw. 31 d.

Im Mai sowie von August bis September wird die Flächen-Obergrenze im monatlichen Mittel zwischen $MUT = 2$ d und $MUT = 4$ d erreicht. Die monatlichen Niedrigwasserstände treten mit Jährlichkeiten zwischen $T_{NW} = 3$ a (Mai, September) und $T_{NW} = 10$ a (August) ein. In diesen drei Monaten betrug die monatliche Höchstanzahl der Unterschreitungstage mindestens einmal zwischen $HUT = 24$ d (August) und $HUT = 30$ d (September).

Im Juni ergeben sich keine Unterschreitungstage und der Juli weist für MUT und HUT jeweils 1 Tag auf. Der Wasserstand erreicht die Obergrenze mit einer Jährlichkeiten von $T_{NW} = 65$ a bzw. $T_{NW} = 60$ a.

- Trockenfallen der Fläche (Flächen-Untergrenze): Die Flächen-Untergrenze wird von Oktober bis April im Mittel zwischen $MUT = 4$ d (Oktober) und $MUT = 19$ d (Januar, Februar) vom Wasserstand erreicht. Die monatlichen Niedrigwasserstände erreichen den Grenzwert mit einer Jährlichkeit zwischen $T_{NW} = 1$ a und $T_{NW} = 3$ a. Die Höchstanzahl der Unterschreitungstage lag mindestens einmal während der Zeitspanne 1977-2007 zwischen $HUT = 25$ d und $HUT = 31$ d.

Im Mai und September wird die Flächen-Untergrenze im monatlichen Mittel an $MUT = 2$ d und im August an $MUT = 1$ d vom Wasserstand erreicht. Die monatlichen Niedrigwasserstände treten mit Jährlichkeiten zwischen $T_{NW} = 7$ a (Mai) und $T_{NW} = 45$ a (August) ein. Die monatliche Höchstanzahl der Unterschreitungstage betrug jeweils zwischen $HUT = 19$ d (Mai) und $HUT = 30$ d (September). Im Juni und Juli treten keine Unterschreitungstage auf. Die Jährlichkeiten für monatliche Niedrigwasserstände betragen $T_{NW} > 100$ a.

Insgesamt über die 3 betrachteten Zeitspannen (Anlage E) lassen sich die Veränderungen folgendermaßen beurteilen:

- Im Wasserstandsbereich $W < 236$ cm a. P. KN weisen die ermittelten Unterschreitungstage und Jährlichkeiten für die Unterschreitung der monatlichen Niedrigwasserstände bei allen 3 Zeitspannen im Januar und Februar jeweils nur einen Unterschreitungstag auf, an denen die Standorte, deren Flächen-Untergrenzen bei NNW bzw. unter NNW liegen, völlig oder teilweise trocken fallen. Dies gilt für alle Flächen-Untergrenzen der 5 archäologischen Siedlungsareale, mit Ausnahme von Litzelstetten-Krähenhorn (Nr. 5).

- Im Wasserstandsbereich $W < 241$ cm a. P. KN zeigen die in der Zeitspanne 1977-2007 ermittelten Unterschreitungstage und Jährlichkeiten für Unterschreitung der monatlichen Niedrigwasserstände kaum Veränderungen, ausgenommen der Monat März.

Die Veränderung im März zeigt sich bei der Obergrenze der archäologischen Fläche Sipplingen-Osthafen (Nr. 3). Bei dieser Fläche wird die Obergrenze nur in den Monaten Dezember bis Februar im Mittel jeweils um 1 Tag unterschritten. Im März ist keine Unterschreitung vorhanden. Die Untergrenze der archäologischen Fläche reicht bis unter den niedrigsten Wasserstand (NNW). Flächenteile können im Januar und Februar durchschnittlich 1 Tag vollkommen trocken fallen.

- Im Wasserstandsbereich W < 261 cm a. P. KN zeigen die in der Zeitspanne 1977-2007 ermittelten Unterschreitungstage Abnahmen im Oktober, Februar, März und April. Die Jährlichkeiten für eine Unterschreitung der monatlichen Niedrigwasserstände erhöhen sich. Ab November bis Januar nehmen die Unterschreitungstage geringfügig zu und die Jährlichkeiten für eine Unterschreitung verringern sich. Dies zeigt sich bei den Obergrenzen der archäologischen Siedlungsareale Unteruhldingen - Stollenwiese (Nr. 1a) und Bodman-Schachen II (Nr. 4). Die Flächen haben in den Monaten November bis April im Mittel jeweils zwischen 2 und 5 Tagen extremen Niedrigwasserstand. Beide Untergrenzen der archäologischen Siedlungsareale reichen bis unter den niedrigsten Wasserstand (NNW). Flächenteile können im Januar und Februar durchschnittlich an 1 Tag vollständig trocken fallen.
- Im Wasserstandsbereich W < 291 cm a. P. KN zeigen die in der Zeitspanne 1977-2007 ermittelten Unterschreitungstage zwischen Mai und August keine Veränderungen. Im September sind geringe Zunahmen von 1 auf 2 Unterschreitungstage sowie ab November bis Februar/März Zunahmen von 13 auf 19 Unterschreitungstage. Beispiel hierfür ist die archäologische Fläche Litzelstetten-Krähenhorn (Nr. 5) an der Wasserstands-Untergrenze, die in den Monaten des Winterhalbjahrs durchschnittlich an 8 bis 19 Tagen vollkommen frei fällt.
- Im Wasserstandsbereich W < 311 cm a. P. KN zeigen die in der Zeitspanne 1977-2007 ermittelten Unterschreitungstage zwischen Juli und September Zunahmen auf 2 bis 9 Unterschreitungstage und zwischen Oktober und Januar sowie im April verstärkt Zunahmen auf 11 bis 27 Unterschreitungstage. In den übrigen Monaten des Jahres treten geringfügige Abnahmen auf 0 bis 4 Tage auf. Zwischen Juni bis August ergeben sich kaum Änderungen. Beispiele hierfür sind die archäologischen Siedlungsareale (bei Wasserstands-Obergrenze)

Obermaurach-Ziegelhütte (Nr. 2a) sowie Litzelstetten-Krähenhorn (Nr. 5.), die in den Monaten des Winterhalbjahrs durchschnittlich an 15 bis 25 Tagen fast frei liegen. Die Untergrenze der archäologischen Fläche Obermaurach-Ziegelhütte (Nr. 2a) reicht bis unter den niedrigsten Wasserstand (NNW); Flächenteile können im Januar und Februar durchschnittlich 1 Tag vollständig trocken fallen. Vollständiges Trockenfallen der Fläche Litzelstetten-Krähenhorn (Nr. 5) siehe oben.

- Im Wasserstandsbereich W < 331 cm a. P. KN zeigen die in der Zeitspanne 1977-2007 ermittelten Unterschreitungstage im Mai und Juli bis September Zunahmen auf 2 bis 10 Unterschreitungstage und zwischen Oktober bis April Zunahmen auf 18 bis 30 Tage. In den Monaten Dezember, Februar und Juni ergeben sich kaum Änderungen.

Beispiel hierfür ist das archäologische Siedlungsareal (bei Wasserstands-Obergrenze) Unteruhldingen-Stollenwiesen (Nr. 1b; frühbronzezeitliches Pfahlfeld), deren obere Grenzfläche fast bis zur Höhe des mittleren Wasserstands am Pegel Konstanz/Bodensee reicht. In den Monaten des Winterhalbjahrs kann die Fläche im Mittel an 19 bis 30 Tagen und während des Sommerhalbjahrs im Mai, August und September an 5 bis 10 Tagen betroffen sein. Die Untergrenze des archäologischen Siedlungsareals reicht bis unter den niedrigsten Wasserstand (NNW). Flächenteile können im Januar/Februar durchschnittlich an 1 Tag vollständig trocken fallen.

Zusammenfassend verringern sich am Obersee im Bereich des Niedrigwasserstands (W = 241/261 cm a. P. KN) die Unterschreitungstage von Februar bis April. In den übrigen Monaten ergeben sich kaum Änderungen. Im Bereich des mittleren Wasserstands (W = 330/340 cm a. P. KN) nehmen, außer im März und April, die Unterschreitungstage in fast allen Monaten zu. Eine verstärkte Zunahme ist in den Monaten August bis November vorhanden.

Tabelle 10.3: Jährlichkeiten für das Unterschreiten der flächenspezifischen Ober- und Untergrenze des Wasserstands sowie mittlere monatliche Anzahl und Höchst-Anzahl der mindestens einmal in der Zeitspanne 1977 bis 2007 auftretenden Unterschreitungstage für die archäologischen Siedlungsareale am Bodensee-Obersee

Bodensee - Obersee		Jährlichkeiten $T_{NW(m)}$ [a] für das Unterschreiten der flächenspezifischen Grenz-Wasserstände							
Bezug: Pegel Konstanz/Bodensee Zeitreihe: 1977 bis 2007		Mittlere Anzahl der Unterschreitungs-Tage MUT(m) [d] Höchst-Anzahl der Unterschreitungs-Tage HUT(m) [d]							
Nr.	Standort Archäologische Siedlungsareale (Pfahlfelder, Kulturschichten)	Monat ²⁾	Obergrenze Wasserstand a. P. KN			Untergrenze Wasserstand a. P. KN			
			$T_{NW(m)}$	MUT(m)	HUT(m)	$T_{NW(m)}$	MUT(m)	HUT(m)	
maßgebender Wasserstand [cm] / [m+NN]		261 cm / 394,50 m+NN			<236 cm ¹⁾ / <394,25 m+NN				
1 a	Unteruhldingen-Stollenwiesen Neolith. u. spätbronzezeitl. Pfahlfelder Flächen-Untergrenze: 136 cm a. P. KN; 393,25 m+NN	Sept.	<100 a	0 d	0 d				
		Okt.	28 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d	
		Nov.	10 a	2 d	19 d	>100 a	0 d	0 d	
		Dez.	4 a-5 a	4 d	31 d	100 a	0 d	0 d	
		Jan.	4 a	5 d	31 d	50 a	1 d	6 d	
		Feb.	4 a	3 d	28 d	60 a	1 d	15 d	
		März	5 a	3 d	23 d	>100 a	0 d	0 d	
		April	25 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d	
		Mai	>100 a	0 d	0 d				
maßgebender Wasserstand [cm] / [m+NN]		331 cm / 395,20 m+NN			236 cm / 394,25 m+NN				
1 b	Unteruhldingen-Stollenwiesen Frühbronzezeitliches Pfahlfeld	Okt.	<2 a	19 d	31 d	>100 a	0 d	0 d	
		Nov.	~1 a	25 d	30 d	>100 a	0 d	0 d	
		Dez.	~1 a	27 d	31 d	100 a	0 d	0 d	
		Jan.	~1 a	30 d	31 d	50 a	1 d	6 d	
		Feb.	~1 a	28 d	29 d	60 a	1 d	15 d	
		März	~1 a	29 d	31 d	>100 a	0 d	0 d	
		April	~1 a	23 d	30 d	>100 a	0 d	0 d	
				Mai	<2 a	10 d	31 d		
				Jun.	10 a	1 d	8 d		
				Jul.	15 a	2 d	18 d		
				Aug.	4 a	5 d	31 d		
		Sept.	<2 a	9 d	30 d				
maßgebender Wasserstand [cm] / [m+NN]		311 cm / 395,00 m+NN			<236 cm ¹⁾ / <394,25m+NN				
2 a	Obermaurach-Ziegelhütte Neolithisches Pfahlfeld Flächen-Untergrenze: 211 cm a. P. KN; 394,00 m+NN	Okt.	<2 a	11 d	31 d	>100 a	0 d	0 d	
		Nov.	<2 a	20 d	30 d	>100 a	0 d	0 d	
		Dez.	~1 a	22 d	31 d	100 a	0 d	0 d	
		Jan.	~1 a	28 d	31 d	50 a	1 d	6 d	
		Feb.	~1 a	25 d	29 d	60 a	1 d	15 d	
		März	~1 a	25 d	31 d	>100 a	0 d	0 d	
		April	<2 a	15 d	30 d	>100 a	0 d	0 d	
				Mai	3 a	4 d	27 d		
				Jun.	65 a	0 d	0 d		
				Jul.	60 a	1 d	1 d		
				Aug.	10 a	2 d	24 d		
		Sept.	3 a-4 a	4 d	30 d				

¹⁾ Bei archäologischen Siedlungsarealen, die bis unterhalb des NNW reichen, wird Trockenfallen bei NW = 236 cm a. P. Konstanz/B. kalkuliert.
Mittleres Niedrigwasser MNW = 265 cm; NW(Febr. 2006) = 229 cm; NW(Dez. 2005) = 236 cm; NW(März 1972) = 237 cm;
²⁾ In den nicht aufgeführten Monaten erfolgt keine Unterschreitung der Wasserstände

Tabelle 10.3: Jährlichkeiten für das Unterschreiten der flächenspezifischen Ober- und Untergrenze des Wasserstands sowie mittlere monatliche Anzahl und Höchst-Anzahl der mindestens einmal in der Zeitspanne 1977 bis 2007 auftretenden Unterschreitungstage für die archäologischen Siedlungsareale am Bodensee-Obersee (Fortsetzung)

Bodensee - Obersee		Jährlichkeiten $T_{NW(m)}$ [a] für das Unterschreiten der flächenspezifischen Grenz-Wasserstände						
Bezug: Pegel Konstanz/Bodensee Zeitreihe: 1977 bis 2007		Mittlere Anzahl der Unterschreitungs-Tage MUT(m) [d] Höchst-Anzahl der Unterschreitungs-Tage HUT(m) [d]						
Nr.	Standort Archäologische Siedlungsareale (Pfahlfelder, Kulturschichten)	Monat ²⁾	Obergrenze Wasserstand a. P. KN			Untergrenze Wasserstand a. P. KN		
			$T_{NW(m)}$	MUT(m)	HUT(m)	$T_{NW(m)}$	MUT(m)	HUT(m)
maßgebender Wasserstand [cm] / [m+NN]		261 cm / 394,50 m+NN			<236 cm ¹⁾ / <394,25m+NN			
2 b	Obermaurach-Ziegelhütte Neolith. Kulturschicht (Reste) Flächen-Untergrenze: 151 cm a. P. KN; 393,40 m+NN	Sept.	<100 a					
		Okt.	28 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d
		Nov.	10 a	2 d	19 d	>100 a	0 d	0 d
		Dez.	4 a-5 a	4 d	31 d	100 a	0 d	0 d
		Jan.	4 a	5 d	31 d	50 a	1 d	6 d
		Feb.	4 a	3 d	28 d	60 a	1 d	15 d
		März	5 a	3 d	23 d	>100 a	0 d	0 d
		April	25 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d
maßgebender Wasserstand [cm] / [m+NN]		241 cm / 394,30 m+NN			<236 cm ¹⁾ / <394,25m+NN			
3	Siplingen - Osthafen Neolithische Pfahlfelder/ Kulturschichten Flächen-Untergrenze: 131 cm a. P. KN; 393,20 m+NN	Nov.	>100 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d
		Dez.	40 a	1 d	6 d	100 a	0 d	0 d
		Jan.	30 a	1 d	28 d	50 a	1 d	6 d
		Feb.	30 a	1 d	17 d	60 a	1 d	15 d
		März	60 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d
		Apr.	>100 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d
maßgebender Wasserstand [cm] / [m+NN]		261 cm / 394,50 m+NN			<236 cm ¹⁾ / <394,25m+NN			
4 b	Bodman – Schachen II Neolithisches Pfahlfeld/ Kulturschicht Flächen-Untergrenze: 211 cm a. P. KN; 394,00 m+NN	Sept.	<100 a					
		Okt.	28 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d
		Nov.	10 a	2 d	19 d	>100 a	0 d	0 d
		Dez.	4 a-5 a	4 d	31 d	100 a	0 d	0 d
		Jan.	4 a	5 d	31 d	50 a	1 d	6 d
		Feb.	4 a	3 d	28 d	60 a	1 d	15 d
		März	5 a	3 d	23 d	>100 a	0 d	0 d
		April	25 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d
maßgebender Wasserstand [cm] / [m+NN]		311 cm / 395,00 m+NN			291 cm / 393,80 m+NN			
5	Litzelstetten-Krähenhorn Neolithisches Pfahlfelder/ Kulturschichten	Okt.	<2 a	11 d	31 d	3 a	4 d	25 d
		Nov.	<2 a	20 d	30 d	<2 a	13 d	30 d
		Dez.	~1 a	22 d	31 d	<2 a	17 d	31 d
		Jan.	~1 a	28 d	31 d	~1 a	19 d	31 d
		Feb.	~1 a	25 d	29 d	~1 a	19 d	29 d
		März	~1 a	25 d	31 d	<2 a	16 d	31 d
		April	<2 a	15 d	30 d	2 a-3 a	8 d	30 d
		Mai	3 a	4 d	27 d	7 a-8 a	2 d	19 d
		Jun.	65 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d
		Jul.	60 a	1 d	1 d	>100 a	0 d	0 d
		Aug.	10 a	2 d	24 d	45 a	1 d	10 d
Sept.	3 a-4 a	4 d	30 d	10 a	2 d	30 d		

¹⁾ Bei archäologischen Siedlungsarealen, die bis unterhalb des NNW reichen, wird Trockenfallen bei NW = 236 cm a. P. Konstanz/B. kalkuliert.
Mittleres Niedrigwasser MNW = 265 cm; NW(Febr. 2006) = 229 cm; NW(Dez. 2005) = 236 cm; NW(März 1972) = 237 cm;

²⁾ In den nicht aufgeführten Monaten erfolgt keine Unterschreitung der Wasserstände

10.4 AUSWIRKUNG DER VERÄNDERUNGEN AUF BOOTSHÄFEN AM OBER- UND UNTERSEE

Die Auswirkungen der Veränderungen werden durch Vergleich der Ergebnisse von 3 Zeitspannen beurteilt. Für die aktuelle Beurteilung werden die Ergebnisse der Zeitspanne 1977-2007 empfohlen. Wie die Analyse der Bodenseewasserstände in den Abschnitten 5, 7 und 10.2 zeigen, haben die mittleren und Niedrigwasserstände in den letzten 100 Jahren Veränderungen im Langzeitverhalten erfahren. Hauptursache hierfür ist der Ausbau und Betrieb der Kraftwerk-Speicher im alpinen Bodensee-Einzugsgebiet, der seit Mitte der 50-er Jahre Veränderungen im monatlichen Jahresgang auslöste und der nach Abschluss des Ausbaus seit Ende der 70-er Jahre bis heute den Zufluss zum Bodensee sowie den Durchfluss im Seerhein und damit die Wasserstände deutlich prägt. Zusätzlich wurden die Wasserstände des Untersees durch Veränderungen im Auslaufbereich an der Konstanzer Schwelle beeinflusst (Abschnitt 2). Die wesentlichen Merkmale der Veränderungen im Wasserstandsverhalten sind im Winterhalbjahr in etwa Erhalt der Niedrigwasserstände am Obersee sowie Niedrigwasser-Aufhöhung am Untersee. Im Sommerhalbjahr zeigt sich eine deutliche Reduzierung der Niedrigwasserstände in beiden Seeteilen.

Insbesondere in den Sommermonaten (Schifffahrtsaison) wirken sich die Wasserstandsveränderungen auf die Benutzbarkeit der Bootshäfen am badenwürttembergischen Bodensee aus. Deshalb werden die Veränderungen anhand der hafenspezifischen Minimal- und Optimal-Wasserstände an Ober- und Untersee (Tabelle 10.2 und Anlage C) hinsichtlich der Anforderungen von typischen Sportbooten und Klein-Motorschiffen mit Tiefgang 1,0 m (bei Minimal-Wasserstand) und Tiefgang 1,5 m (bei Optimal-Wasserstand) beurteilt. Dabei wird auch ein Vergleich zwischen den drei Zeitspannen 1910-2007, 1955-2007 und 1977-2007 angestellt. Nicht beurteilt werden die Bootshäfen am Ober- und Untersee, deren Optimal-Wasserstände so tief liegen, dass sie uneingeschränkt nutzbar sind. Am Obersee sind dies die Bootshäfen mit Optimal-Wasserstand $W \leq 240$ cm a. P. KN: Kressbronn - Bodanwerft/

Yachthafen; Kressbronn-Gohren - Marina Ultramarin; Langenargen - BMK-Yachthafen; Friedrichshafen - BSB-Schiffshafen; Meersburg - Yachthafen bei der Halttau; Unteruhldingen-Yachthafen; Überlingen - Sportboothafen Ost; Überlingen - Bahnhof Therme; Sipplingen - Westhafen; Ludwigshafen - Alter Hafen am Grethaus; Konstanz - Neuer Sportboothafen Staad; Konstanz - BSB-Hafen. Am Untersee betrifft es den Hafen Radolfzell - Werfthafen Martin/Schutzhafen mit Optimal-Wasserstand $W \leq 220$ cm a. P. Berl..

Zur Beurteilung der Veränderungen im Langzeitverhalten der Bodenseewasserstände bei Niedrigwasser auf die Nutzbarkeit der Bootshäfen werden auf der Grundlage der Zeitreihen (1910-2007, 1955-2007 und 1977-2007) einerseits die monatlichen Jährlichkeiten $T_{NW(m)}$ des Unterschreitens der hafenspezifischen Grenzwasserstände (Minimal- und Optimal-Wasserstand) und andererseits die monatlich mittleren Unterschreitungstage $MUT(m)$ sowie die monatliche Höchstanzahl der Unterschreitungstage $HUT(m)$ für die einzelnen Bootshäfen abgeleitet. In Anlage D sind die Ergebnisse der statistischen Auswertungen für alle drei untersuchten Zeitreihen im Vergleich zusammengestellt. Die Zeitreihe 1977-2007 stellt den heutigen Zustand des Wasserstandsverhaltens dar. Deshalb wird empfohlen, diese Zeitspanne zur Beurteilung der Bootshäfen heran zu ziehen.

Für diese Zeitspanne sind in Tabelle 10.4 (Obersee) und Tabelle 10.5 (Untersee) die maßgebenden Informationen zur Beurteilung der Standorte monatspezifisch zusammengestellt. Dabei sind die verschiedenen Bootshäfen entsprechend ihrer spezifischen Randbedingungen (Hafensohle, Optimal- und Minimal-Wasserstand) gruppiert zusammengestellt.

In Tabelle 10.4 und Tabelle 10.5 sowie in Anlage D sind für jeden ausgewerteten Bootshafen aufgeführt:

- mittlere Höhe der Hafensohle in [cm a. P. KN] bzw. in [cm a. P. Berl.]
- Optimal-Wasserstand für Boote mit Tiefgang 1,5 m und Minimal-Wasserstand für Boote mit

- Tiefgang 1,5 m, jeweils in [cm a. P. KN] am Obersee und in [cm a. P. Berl.] am Untersee
- Monat, in dem die jeweils hafenspezifischen Minimal- und Optimalwasserstände unterschritten werden
 - Jährlichkeit $T_{NW(m)}$ für das monatliche Unterschreiten der Grenzwasserstände
 - monatlich mittlere Anzahl der Unterschreitungstage $MUT(m)$ sowie die monatliche Höchstanzahl der Unterschreitungstage $HUT(m)$, die in der betrachteten Zeitspanne mindestens einmal aufgetreten ist (in Anlage D nicht aufgeführt). Für die Bootshäfen bedeutet Unterschreitungstage im betreffenden Monat i.d.R. zusammenhängende Ausfalltage für die Hafennutzung.

Beispiele für die Beurteilung der Nutzbarkeit von Häfen am Obersee (aktueller Zustand: Tabelle 10.4):

- Der Hafen Langenargen (Nr. 4) mit $W_{opt} = 250$ cm a. P. KN (Optimal-Wasserstand) und $W_{min} = 200$ cm a. P. KN (Minimal-Wasserstand) weist in den Saison-Monaten keine Ausfalltage auf. Die Jährlichkeit, bei der der Optimal-Wasserstand unterschritten wird, ist $T_{NW} = 100$ a oder größer. Der Hafen ist somit während der Boots-Saison mit großer Wahrscheinlichkeit uneingeschränkt nutzbar.
- Der Hafen Sipplingen - Osthafen (Nr. 23) mit $W_{opt} = 290$ cm a. P. KN (Optimal-Wasserstand) und $W_{min} = 240$ cm a. P. KN (Minimal-Wasserstand) hat in den Monaten April, Mai, August, September und Oktober für Sportboote mit 1,5 m Tiefgang Nutzungseinschränkungen: Die Jährlichkeit, bei der der Optimal-Wasserstand in diesen Monaten unterschritten wird, liegt zwischen $T_{NW} = 3$ a (April und Oktober) und $T_{NW} = 50$ a (August). Die mittlere Anzahl der Ausfalltage pro Monat liegt zwischen $MUT = 1$ d (August) und $MUT = 8$ d (April). Die monatliche Höchstanzahl der Ausfalltage lag mindestens einmal während der Zeitspanne 1977-2007 zwischen $HUT = 10$ d (August) und $HUT = 30$ d (April und September).

Für Sportboote mit 1 m Tiefgang (W_{min}) ergeben sich keine Nutzungseinschränkungen. Es treten keine Ausfalltage auf und die Jährlichkeiten, bei denen der Minimal-Wasserstand unterschritten wird, ist größer als $T_{NW} = 100$ a.

- Die Bootshäfen Meersburg - Gondelhafen ($W_{opt} = 400$ cm a. P. KN) und Hagnau - Osthafen ($W_{opt} = 410$ cm a. P. KN) weisen die größten Nutzungseinschränkungen für Sportboote mit 1,5 m Tiefgang auf: Der jeweilige Optimal-Wasserstand wird in allen Saison-Monaten, außer im Juli jährlich unterschritten. Die mittlere Anzahl der Ausfalltage pro Monat liegt zwischen $MUT = 14$ d und $MUT = 30$ d. Die monatliche Höchstanzahl der Ausfalltage betrug mindestens einmal während der Zeitspanne 1977-2007 $HUT = 30$ d bzw. $HUT = 31$ d.

Verglichen werden die drei Zeitspannen aus Anlage D. Gegenüber den 1910 bzw. 1955 beginnenden Zeitspannen zeigen die Ergebnisse der Zeitspanne 1977-2007 folgende Veränderung:

Häfen am Obersee (Anlage D):

- Im Wasserstandsbereich $W < 260$ cm a. P. KN und $W < 270$ cm a. P. KN weisen die in der Zeitspanne 1977-2007 ermittelten Unterschreitungstage jeweils Abnahmen im April und Oktober auf. Von April bis September liegen kaum Unterschreitungen vor. Die Jährlichkeiten für monatliche Niedrigwasserstände erhöhen sich im April, im Oktober bleiben sie gleich bzw. reduzieren sich geringfügig von $T_{NW} = 12$ a auf $T_{NW} = 10$ a. Beispiele hierfür sind bei Optimal-Wasserständen: Ludwigshafen-Ost - Hafen Bürgin/Mollweide (Nr. 25), Ludwigshafen-West - YCL-Hafen (Nr. 27), Konstanz - Yachthafen Staad (Nr. 36), Überlingen - Mantelhafen (Nr. 20), Ludwigshafen - Hafen im Löchle (Nr. 28) sowie bei Minimalwasserständen: Friedrichshafen - Yachthafen Fischbach (Nr. 7) und Bodman - Wagnerhafen (Nr. 31).
- Im Wasserstandsbereich $W < 290$ cm a. P. KN und $W < 300$ cm a. P. KN weisen die in der Zeitspanne 1977-2007 ermittelten Unterschreitungstage ab März bis Mai nur geringfügige

Zunahmen auf. Zwischen Juni bis August ergeben sich kaum Änderungen. Im September und Oktober sind Zunahmen vorhanden. Die Jährlichkeiten für monatliche Niedrigwasserstände bleiben im April in etwa konstant und zwischen Mai und Oktober reduzieren sie sich. Beispiele hierfür sind bei Optimal-Wasserständen: Sippingen - Osthafen (Nr. 23), Immenstaad - Yachthafen Schloss Helmsdorf (Nr. 8), Überlingen - Gondelhafen (Nr. 21) und Konstanz-Egg - WSG-Hafen (Nr. 34).

- Im Wasserstandsbereich W < 310 cm a. P. KN und W < 320 cm a. P. KN weisen die in der Zeitspanne 1977-2007 ermittelten Unterschreitungstage im April und Mai geringe Zunahmen und im Juni geringfügige Abnahmen auf. Im Juli ergeben sich kaum Änderungen und zwischen August und Oktober sind Zunahmen vorhanden. Bei den Bootshäfen ist dieses Verhalten bei Minimal-Wasserstand am Hafen Hagnau - Westhafen (Nr. 12) sowie bei Optimal-Wasserstand an den Häfen Friedrichshafen - Yachthafen Fischbach (Nr. 7) und Bodman - Wagnerhafen (Nr. 31) zu erkennen.
- Im höheren Wasserstandsbereich W < 350 cm a. P. KN bis W < 400 cm a. P. KN ergeben sich für die in der Zeitspanne 1977-2007 ermittelten Unterschreitungstage zwischen Mai bis Oktober zunehmend höhere Werte. In den Monaten August bis Oktober sind die Anstiege der Unterschreitungstage am größten. In allen Saison-Monaten vermindern sich die Jährlichkeiten für das Unterschreiten der monatlichen Niedrigstwerte. Ähnliches Verhalten zeigen die Unterschreitungstage des Optimal-Wasserstands bei Hagnau – Westhafen (Nr. 12), ebenso auch bei den Minimal- und Optimal-Wasserständen von Meersburg – Gondelhafen (Nr. 15) sowie der Optimal-Wasserstand von Hagnau – Osthafen (Nr. 11). Die beiden letztgenannten Häfen haben für Sportboote mit Tiefgang 1,5 m und 1.0 m besonders hohe Ausfallzeiten. Im Mittel liegen diese monatlich zwischen MUT = 14 d und MUT = 30 d.

Zusammenfassend verringern sich am Obersee im Bereich des Niedrigwasserstands (W = 260/270 cm a. P. KN) die Unterschreitungstage von Februar bis April. In den übrigen Monaten ergeben sich kaum Änderungen. Im Bereich des mittleren Wasserstands (W = 330/340 cm a. P. KN) nehmen, außer im März und April, die Unterschreitungstage in fast allen Monaten zu. In den Monaten August bis November verstärkt sich diese Zunahme. Im höheren Wasserstands-Bereich (W = 280/400 cm a. P. KN) erhöhen sich die Unterschreitungstage ab Mai bis Oktober und verstärkt in den Monaten Juni bis September.

Häfen am Untersee (Anlage D):

- Im Wasserstandsbereich W < 230 cm a. P. KN und W < 250 cm a. P. Berl. weisen die in der Zeitspanne 1977-2007 ermittelten Unterschreitungstage im April und Oktober einen geringfügigen Rückgang der Ausfalltage auf. Dies ist verbunden mit Zunahmen bei den Jährlichkeiten für das Unterschreiten der monatlichen Niedrigstwerte. Von Mai bis September ergeben sich in den drei untersuchten Zeitspannen keine Ausfalltage und auch keine Veränderungen. Ab Oktober ist ein zunehmender Rückgang der Unterschreitungstage zu erkennen. Dieses Verhalten zeigt sich jeweils bei den Optimal-Wasserständen der Häfen in Reichenau-Mittelzell - Herrenbruck (Nr. 40), Radolfzell - Yachthafen Waschbruck (Nr. 42), Öhningen - Sportboothafen (Nr. 46) und auch bei den Minimal-Wasserständen bzw. bei den Ausfalltagen von Moos - Yachthafen (Nr. 44) und Wangen - Wassersportverein (Nr. 45).
- Im Wasserstandsbereich W < 280 cm a. P. KN und W < 300 cm a. P. Berl. weisen die in der Zeitspanne 1977-2007 ermittelten Unterschreitungstage im April und Mai kaum Änderungen auf und im Juni und Juli ergeben sich für alle drei Zeitspannen keine Unterschreitungstage. Ab August/September liegen verstärkt Zunahmen der Ausfalltage vor. Bezüglich der Bootshäfen ist dieses Verhalten beim Unterschreiten des Optimal-Wasserstands bzw. bei den Ausfalltagen der Häfen von Moos - Yachthafen

(Nr. 44) und Wangen (Nr. 45) sowie beim Unterschreiten des Minimal-Wasserstands bzw. bei den Ausfalltagen des Hafens von Reichenau - Bootswerft Beck/Schutzhafen (Nr. 39) erkennbar.

- Im Wasserstandsbereich W < 340 cm a. P. Berl. ergeben sich für die in der Zeitspanne 1977-2007 ermittelten Unterschreitungstage ab Mai bis Oktober Zunahmen, insbesondere im September und Oktober. Gleichzeitig reduzieren sich in den Saison-Monaten die Jährlichkeiten für die Unterschreitung der jeweils monatlichen Niedrigwasserstände. Ab November bis April sind bei den hohen Ausfallzeiten kaum Änderungen vorhanden. Ähnliches Verhalten zeigt sich beim Unterschreiten des Optimal-Wasserstands bzw. bei den Ausfalltagen des Hafens Reichenau - Bootswerft Beck/ Schutzhafen (Nr. 39).

Zusammenfassend vermindern sich am Untersee im Niedrigwasserbereich die Ausfalltage für die jeweilige Hafennutzung (W = 230, 250 und 265 cm a. P. Berl.) in den Monaten April und Oktober. In den Sommer-Monaten ergeben sich keine Änderungen. Im Bereich der mittleren Wasserstände (W = 300 und 340 cm a. P. Berl.) erhöhen sich die Unterschreitungstage in den Monaten Mai bis Oktober. Diese Erhöhung tritt im August und September verstärkt auf.

Tabelle 10.4: Jährlichkeiten für das Unterschreiten der hafenspezifischen Minimal- und Optimal-Wasserstände sowie mittlere monatliche Anzahl und Höchst-Anzahl der mindestens einmal in der Zeitspanne 1977 bis 2007 auftretenden Unterschreitungstage für die Bootshäfen am Obersee

Bodensee - Obersee Bezug: Pegel Konstanz/Bodensee Zeitreihe: 1977 bis 2007		Hafen- sohle [cm a.P.KN]	Jährlichkeiten $T_{NW(m)}$ [a] für das Unterschreiten der Optimal- und Minimal-Wasserstände					
Nr.	Ort / Bootshafen ¹⁾ (geordnet nach Wasserstand)		Mittlere Anzahl der Ausfalltage MUT [d] Höchst-Anzahl der Ausfalltage HUT [d]					
		Optimal-Wasserstand (Mindest-Tiefe = 1,5 m)				Minimal-Wasserstand (Mindest-Tiefe = 1,0 m)		
monat ²⁾		$T_{NW(m)}$	MUT	HUT	$T_{NW(m)}$	MUT	HUT	
maßgebender Wasserstand [cm]		100	250			200		
4	Langenargen: Gemeindehafen	April	100 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
6	Friedrichshafen: WYC-Yachthafen	Mai	>100 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
		Sept.	>100 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
14	Meersburg: Seglerhafen Waschplätzle	Okt.	>100 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
16	Meersburg: BSB-Hafen							
19	Überlingen: BYCÜ-Yachthafen							
29	Bodman: Seglerhafen							
32	Wallhausen: Yachthafen (Alter Hafen)							
33	Dingelsdorf: Sportvereinigung Dingelsdorf							
37	Konstanz: KYC-Yachthafen							
maßgebender Wasserstand [cm]		110	260			210		
25	Ludwigshafen-Ost: Hafen Bürgin/Mollweide	April	30 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
		Mai	>100 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
27	Ludwigshafen-West: Yachtclub-Hafen (YCL)	Sept.	>100 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
36	Konstanz: Yachthafen Staad	Okt.	30 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
maßgebender Wasserstand [cm]		120	270			220		
20	Überlingen: Mantelhafen	April	10 a	1 d	8 d	÷	÷	÷
28	Ludwigshafen-West: Hafen im Löchle	Mai	70 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
		Sept.	80 a	1 d	12 d	÷	÷	÷
		Okt.	10 a	1 d	5 d	÷	÷	÷
maßgebender Wasserstand [cm]		140	290			240		
23	Sipplingen: Osthafen	April	3 a	8 d	30 d	>100 a	0 d	0 d
		Mai	8 a	2 d	19 d	>100 a	0 d	0 d
		Aug.	50 a	1 d	10 d	>100 a	0 d	0 d
		Sept.	12 a	2 d	30 d	>100 a	0 d	0 d
		Okt.	3 a	4 d	26 d	>100 a	0 d	0 d
maßgebender Wasserstand [cm]		150	300			250		
8	Immenstaad: Yachthafen: Schloß Helmsdorf	April	2 a	13 d	30 d	100 a	0 d	0 d
		Mai	5 a	3 d	20 d	>100 a	0 d	0 d
21	Überlingen: Gondelhafen	Aug.	20 a	1 d	18 d	>100 a	0 d	0 d
30	Bodman: Hafen /Steganlage (Gemeinde)	Sept.	6 a	3 d	30 d	>100 a	0 d	0 d
34	Konstanz-Egg: Wassersportgemeinschaft	Okt.	2 a	8 d	31 d	>100 a	0 d	0 d

¹⁾ Die Bootshäfen am Obersee: Kressbronn – Bodanwerft/Yachthafen; Kressbronn-Gohren – Marina Ultramarin; Langenargen – BMK-Yachthafen; Friedrichshafen – BSB-Schiffshafen; Meersburg – Yachthafen bei der Halttau; Unteruhldingen - Yachthafen; Überlingen – Sportboothafen Ost; Überlingen - Bahnhof Therme; Sipplingen – Westhafen; Ludwigshafen - Alter Hafen am Grethaus; Konstanz – Neuer Sportboothafen Staad; Konstanz – BSB-Hafen sind aufgrund ihrer tiefen Minimal- und Optimal-Wasserstände uneingeschränkt nutzbar

²⁾ Saison-Monate April bis Oktober: In den nicht aufgeführten Saison-Monaten besteht keine Einschränkung für die Nutzbarkeit

Tabelle 10.4: Jährlichkeiten für das Unterschreiten der hafenspezifischen Minimal- und Optimal-Wasserstände sowie mittlere monatliche Anzahl und Höchst-Anzahl der mindestens einmal in der Zeitspanne 1977 bis 2007 auftretenden Unterschreitungstage für die Bootshäfen am Obersee (Fortsetzung)

Bodensee - Obersee Bezug: Pegel Konstanz/Bodensee Zeitreihe: 1977 bis 2007		Hafen- sole [cm a.P.KN]	Jährlichkeiten $T_{NW(m)}$ [a] für das Unterschreiten der Optimal- und Minimal-Wasserstände					
Nr.	Ort / Bootshafen ¹⁾ (geordnet nach Wasserstand)		Mittlere Anzahl der Ausfalltage MUT [d]			Höchst-Anzahl der Ausfalltage HUT [d]		
			Optimal-Wasserstand (Mindest-Tiefe = 1,5 m)			Minimal-Wasserstand (Mindest-Tiefe = 1,0 m)		
monat ²⁾		$T_{NW(m)}$	MUT	HUT	$T_{NW(m)}$	MUT	HUT	
maßgebender Wasserstand [cm]		170	320			270		
7 31	Friedrichshafen: Yachthafen Fischbach Bodman: Wagnerhafen	April	~1 a	19d	30 d	10 a	1 d	8 d
		Mai	2 a	7 d	29 d	70 a	0 d	0 d
		Juni	22 a	0 d	2 d	>100 a	0 d	0 d
		Juli	30 a	1 d	8 d	>100 a	0 d	0 d
		Aug.	6 a	3 d	31 d	>100 a	0 d	0 d
		Sept.	2 a	6 d	30 d	80 a	1 d	12 d
		Okt.	<2 a	15 d	31 d	10 a	1 d	5 d
maßgebender Wasserstand [cm]		210	360			310		
12	Hagnau: Westhafen bei BSB- Anleger	April	~1 a	28 d	30 d	<2 a	15 d	30 d
		Mai	~1 a	20 d	31 d	3 a	4 d	27 d
		Juni	2 a -3a	7 d	30 d	70 a	0 d	0 d
		Juli	4 a	4 d	31 d	60 a	1 d	1 d
		Aug.	<2 a	11 d	31 d	12 a	2 d	24 d
		Sept.	~1 a	18 d	30 d	3a - 4a	4 d	30 d
		Okt.	~1 a	27 d	31 d	<2 a	11 d	31 d
maßgebender Wasserstand [cm]		250	400			350		
15	Meersburg: Gondelhafen bei BSB- Hafen	April	~1 a	30 d	30 d	~1 a	27 d	30 d
		Mai	~1 a	28 d	31 d	~1 a	17 d	31 d
		Juni	~1 a	16 d	30 d	4 a	4 d	30 d
		Juli	<2 a	14 d	31 d	6 a	4 d	31 d
		Aug.	~1 a	22 d	31 d	2 a	9 d	31 d
		Sept.	~1 a	29 d	30 d	~1 a	15 d	30 d
		Okt.	~1 a	30 d	31 d	~1 a	25 d	31 d
maßgebender Wasserstand [cm]		260	410			360		
11	Hagnau: Osthafen	April	~1 a	30 d	30 d	~1 a	28 d	30 d
		Mai	~1 a	30 d	31 d	~1 a	20 d	31 d
		Juni	~1 a	19 d	30 d	3 a	7 d	30 d
		Juli	<2 a	18 d	31 d	4 a	4 d	31 d
		Aug.	~1 a	24 d	31 d	<2 a	12 d	31 d
		Sept.	~1 a	30 d	30 d	~1 a	18 d	30 d
		Okt.	~1 a	30 d	31 d	~1 a	27 d	31 d

¹⁾ Die Bootshäfen am Obersee: Kressbronn – Bodanwerft/Yachthafen; Kressbronn-Gohren – Marina Ultramarin; Langenargen – BMK-Yachthafen; Friedrichshafen – BSB-Schiffshafen; Meersburg – Yachthafen bei der Halttau; Unteruhldingen - Yachthafen; Überlingen – Sportboothafen Ost; Überlingen - Bahnhof Therme; Sipplingen – Westhafen; Ludwigshafen - Alter Hafen am Grethaus; Konstanz – Neuer Sportboothafen Staad; Konstanz – BSB-Hafen sind aufgrund ihrer tiefen Minimal- und Optimal-Wasserstände uneingeschränkt nutzbar

²⁾ Saison-Monate April bis Oktober: In den nicht aufgeführten Saison-Monaten besteht keine Einschränkung für die Nutzbarkeit

Tabelle 10.5: Jährlichkeiten für das Unterschreiten der hafenspezifischen Minimal- und Optimal-Wasserstände sowie mittlere monatliche Anzahl und Höchst-Anzahl der mindestens einmal in der Zeitspanne 1977 bis 2007 auftretenden Unterschreitungstage für die Bootshäfen am Untersee

Bodensee - Untersee Bezug: Pegel Berlingen/Bodensee Zeitreihe: 1977 bis 2007		Hafen- sohle [cm a. P. KN]	Jährlichkeiten T_{NW(m)} [a] für das Unterschreiten der Optimal- und Minimal-Wasserstände Mittlere Anzahl der Ausfalltage MUT [d] Höchst-Anzahl der Ausfalltage HUT [d]					
Nr.	Ort / Bootshafen ¹⁾ (geordnet nach Wasserstand)		Optimal-Wasserstand (Mindest-Tiefe = 1,5 m)			Minimal-Wasserstand (Mindest-Tiefe = 1,0 m)		
			Monat ²⁾	T _{NW(m)}	MUT	HUT	T _{NW(m)}	MUT
maßgebender Wasserstand [cm]		80	230			180		
40	Reichenau-Mittelzell: Hafen Herrenbruck	April	>100 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
		Mai	>100 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
42	Radolfzell: Yachthafen Wäscherbrück	Sept.	>100 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
46	Öhningen-Oberstaad: Sportboothafen	Okt.	>100 a	0 d	0 d	÷	÷	÷
maßgebender Wasserstand [cm]		115	265			215		
43	Radolfzell: Yachtclubhafen Radolfzell	April	5 a -6 a	3 d	30 d	÷	÷	÷
		Mai	20 a	1 d	10 d	÷	÷	÷
		Aug.	30 a	1 d	9 d	÷	÷	÷
		Sept.	15 a	2 d	30 d	÷	÷	÷
		Okt.	5 a	3 d	20 d	÷	÷	÷
maßgebender Wasserstand [cm]		130	280			230		
44	Moos Yachthafen (Gemeinde Moos)	April	2 a-3 a	10 d	30 d	>100 a	0 d	0 d
		Mai	6 a-7 a	2 d	20 d	>100 a	0 d	0 d
		Juni	60 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d
		Juli	>100 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d
		Aug.	14 a	1 d	22 d	>100 a	0 d	0 d
		Sept.	6 a	3 d	30 d	>100 a	0 d	0 d
		Okt.	2 a-3 a	7 d	30 d	>100 a	0 d	0 d
maßgebender Wasserstand [cm]		150	300			250		
45	Wangen: Wassersportverein Wangen	April	<2 a	16 d	30 d	20 a	0 d	0 d
		Mai	2 a-3 a	5 d	29 d	100 a	0 d	0 d
		Juni	16 a	0 d	0 d	>100 a	0 d	0 d
		Juli	25 a	1 d	17 d	>100 a	0 d	0 d
		Aug.	5 a-6 a	3 d	31 d	75 a	0 d	0 d
		Sept.	2 a-3 a	6d	30 d	40 a	1 d	17 d
		Okt.	<2 a	15 d	31 d	15 a	1 d	5 d
maßgebender Wasserstand [cm]		190	340			290		
39	Reichenau-Mittelzell: Bootswerft Beck/Kleiner Schutzhafen	April	~1 a	28 d	30 d	<2 a	13 d	<2 a
		Mai	~1 a	18 d	31 d	4 a	3 d	4 a
		Juni	3 a	7 d	30 d	30 a	0 d	30 a
		Juli	3 a-4 a	5 d	31 d	60 a	1 d	60 a
		Aug.	<2 a	13 d	31 d	9 a	2 d	9 a
		Sept.	~1 a	18 d	30 d	4 a	4 d	4 a
		Okt.	~1 a	27 d	31 d	<2 a	10 d	<2 a

¹⁾ Der Radolfzell – Werfthafen Martin/Schutzhafen ist aufgrund Minimal-Wasserstand (180 cm a. P. Berl.) und Optimal-Wasserstand (180 cm a. P. Berl.) uneingeschränkt nutzbar.

²⁾ Saison-Monate April bis Oktober: In den nicht aufgeführten Saison-Monaten besteht keine Einschränkung für die Nutzbarkeit

11 Ausblick

Aus den statistischen Auswertungen, die sich auf das mittlere Langzeitverhalten verschiedener Kennwerte (mittlere jährliche und halbjährliche Wasserstände und Abflüsse, jährliche Höchst- und Niedrigstwerte von Wasserständen und Abflüssen sowie Monatswerte und deren Jahresgang) stützte, ist erkennbar, dass signifikante Veränderungen der Bodensee-Wasserstände vorhanden sind. Bisher konnten noch nicht die Auswirkungen klimatisch bedingter Veränderungen im Niederschlag und in der Verdunstung auf das Abflussverhalten im Alpenrhein- und Bodensee-Einzugsgebiet sowie auf die Wasserstände des Bodensees untersucht werden. Hierzu gehören die Betrachtung von Zeitspannen mit verändertem Niederschlagsverhalten und auch die vermutete Verschiebung von nivalem zu mehr pluvialem Abflussregime. Deshalb sollten folgende Zusatzbetrachtungen durchgeführt werden:

- Einfluss klimatisch bedingter Veränderungen auf das Zufluss- und Wasserstandsregime des Bodensees. Bezogen auf die jüngste Vergangenheit und den heute vorhandenen Zustand

sollte eine zusätzliche Untersuchung des Langzeitverhaltens der Gebietsniederschläge im Einzugsgebiet des Bodensees durchgeführt werden. Hierdurch lassen sich insbesondere die Veränderungen im Zuflussbereich aus dem alpinen Einzugsgebiet verbessert auf Auswirkungen infolge des Betriebs der Kraftwerkspeicher und infolge klimatisch bedingter Veränderungen beziehen.

- Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der Zuflüsse des Bodensees und der Bodensee-Wasserstände unter dem Einfluss des Klimawandels, um frühzeitig Wasserstands-Entwicklungen erkennen zu können. Hierfür ist jedoch erforderlich, dass für das gesamte Einzugsgebiet des Bodensees ein flächendeckendes Niederschlag-Abfluss-Modell (Wasserhaushaltsmodell) verfügbar ist, um Prognosen über die zukünftige Entwicklung des Klimas auf die daraus resultierenden Abflüsse und Wasserstände übertragen zu können.

12 Literaturverzeichnis

Allgemeine Unterlagen:

- [1] AWBR-Statistik (2008): Jährliche Statistiken der Wasserentnahmen der Bodenseeanlieger von 1984-2007, Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke Bodensee-Rhein, Mittelung 2008
- [2] Batsche, H. et al. (1970): Kombinierte Karstwasseruntersuchungen im Gebiet der Donauversinkung (Baden-Württemberg) in den Jahren 1967-1969. Sonderdruck aus: Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Jg. 1970. Graz 1970.
- [3] Bergmeister, U. (1989): Die Regulierung von der Ill-Mündung bis zum Bodensee. Lebensraum Bodensee – L'espace vital du Lac de Constance. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik – Mensuration, Photogrammétrie, Génie Rural 87, Heft 1, 1989.
- [4] Bodensee-Wasserinformationssystem (BOWIS) der IGKB – Neuberechnung. LUBW, ISF, Langenargen 2005.
- [5] Brem, H. und Schlichtherle, H. (2001): Nasse Denkmäler - Chancen und Probleme des Kulturgutes unter Wasser. Was haben wir aus dem See gemacht? Arbeitsheft 10 – Landesdenkmalamt Baden-Württemberg – Stuttgart 2001, S. 19-30.
- [6] Bremiker, M. (Bearbeiter) (1991): Wasserstand und Starkwind am Bodensee – Abschätzung der potentiellen Uferbelastung am Bodensee-Nordufer. Untersuchung im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg; Dr.-Ing. K. Ludwig, Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft, Wasserbau, Karlsruhe. 1991.
- [7] Bundesamt für Energie, Bern/Schweiz (2006): Speicherinhalt der schweizerischen Speicherseen 2006. Themen: Wasserkraftanlagen der Schweiz und Schweizerische Elektrizitäts-Statistik (unter <http://www.bfe.admin.ch/Themen>, Stichworte Wasserkraft und Elektrizitätsstatistik).
- [8] Bundesamt für Wasserwirtschaft, Biel/Schweiz (1996): Registre des barages suisses soumis au régleme nt fédéral / Talsperren, die der Oberaufsicht des Bundes unterstellt sind. In: wasser, energie, luft – eau, énergie, air; 88. Jg., Heft 10, 1996.
- [9] Bundesamt für Wasserwirtschaft und Geologie (BWG), Bern/Schweiz (2005): Gletscherschwund 1850 – 2000 im Einzugsgebiet des Pegels Ilanz. Bericht, bearbeitet von der Gruppe für Glaziologie und Geoinformatik, Geografisches Institut, Universität Zürich. Zürich (31. Okt. 2005).
- [10] Carlé, W. (1994) Geotektonische Übersichtskarte der Südwestdeutschen Großscholle. Geologische Abteilung des Württembergischen Statistischen Landesamtes, Stuttgart 1954. Nachdruck Landesvermessungsamt Baden-Württemberg.
- [11] Caspary, H. (2007): Trockenperioden, Niedrigwasser und Hitzewellen in Südwestdeutschland auslösende „kritische“ Wetterlagen, Bericht erstellt im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW) Baden-Württemberg, August 2007.
- [12] DIN 4149: Bauten in Deutschen Erdbebengebieten. Beuth-Verlag, Berlin 1957.

- [13] Dittrich, A. und Westrich B. (1988): Bodenseeufererosion - Bestandsaufnahme und Bewertung. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau, Universität Stuttgart, Heft 68, August 1988.
- [14] Fäh, R. und Kühne A. (Bearbeiter) (1993): Hydraulisch-mathematische Modellrechnung zum Ausfluss des Bodensees. Untersuchung im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Versuchsanstalt für Wasserbau Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. Mai 1993.
- [15] Glaser, R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- [16] Geologische Karte des Landkreises Konstanz mit Umgebung Maßstab 1:50.000 (1970). Erläuterungen von Schreiner A.. Herausgeber: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br., 1970.
- [17] Gurtz, J., Lang H., Luft G., Strobel F. und Wagner G. (1997): Untersuchung der Wasserbilanz des Bodensees. Berichte Nr. 61, Geografisches Institut der ETH Zürich. Zürich, Juli 1997.
- [18] Haid, M. (1890): Untersuchung der Senkung des Bodenseepiegels zu Konstanz. Jahresbericht für Meteorologie und Hydrographie im Großherzogtum Baden. Karlsruhe 1890.
- [19] Hamblin, P. F. und Hollan E. (1980): On the gravitational seiches of Lake Constance and their generation. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, 40, 1980.
- [20] Hofmann, Hilmar (2007): Characteristics and implications of surface gravity waves in the littoral zone of a large lake (Lake Constance). Dissertation, Universität Konstanz 2007. Göttingen, Cuvillier 2008.
- [21] Hofmann, H, Lorke, A. and Peeters, F. (2008): The relative importance of wind and ship waves in the littoral zone of a large lake. Limnology, Oceanography 53(1), 2008, pp. 368-380.
- [22] Hollan, E (1979): Hydrodynamische Modellrechnungen über die Eigenschwingungen des Bodensee-Obersees und eine Deutung des „Wasserwunders von Konstanz“ im Jahre 1549. Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung. Friedrichshafen 1979. Sonderdruck aus: Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Sonderheft Land Baden-Württemberg, Abflussjahr 1979. Herausgeber: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft. Karlsruhe. Druck G. Braun 1980.
- [23] Hollan, E., Rao D. B. and Bäuerle E. (1980): Free surface oscillations in Lake Constance with an interpretation of the „Wonder of the rising Water“ at Constance in 1549. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie Serie A, Band 29, 1980.
- [24] Honsell, M. (1890): Der Bodensee und die Tieferlegung seiner Wasserstände. Konrad Wittwer-Verlag, Stuttgart 1890.
- [25] Innenministerium Baden-Württemberg (1983): Verwaltungsvorschrift des Innenministeriums über das Nivellementpunktfeld (NivP-Vorschrift) vom 2. Dez. 1983, Az: II/3.3/1. Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, Stuttgart 1983.
- [26] Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) (1990): Internationale Bodensee-Tiefenvermessung 1:50.000. Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, Stuttgart 1990.
- [27] Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) (2004): Der Bodensee – Zustand, Fakten, Perspektiven (Bilanz 2004). Bearbeiter: HYDRA – Büro Rey, Konstanz. Bregenz 2004
- [28] Internationale Rheinregulierung 1892 – 1992 (1992): Der Alpenrhein und seine Regulierung. Internationale Rheinregulierung. Buchs. Druck und Verlag, Rorschach 1992. (im Zusammenhang mit dem 100-jährigen Jubiläum und der Ausstellung "Rheinschauen" (Mai-Okt.1992 erschienen).

- [29] Internationale Rheinregulierung, Bauleitung Lustenau (1991): Das Rheindelta im Bodensee – See-grundaufnahme vom Jahre 1989, mit Erläuterungen. Bearbeiter: Dipl.-Ing. Dr. techn. H. Meixner, In-genieurkonsultent für Vermessungswesen, Wien 31.10.1991.
- [30] Interreg-Projekt (2010): Erosion und Denkmalschutz am Bodensee und Zürichsee; www.erosion-und-denkmalschutz-bodensee-zuerichsee.eu
- [31] Jäggi, M. (1989): Die Rheinmündung heute und morgen. Lebensraum Bodensee – L’*espace vital* du Lac de Constance. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik – Mensuration, Photogrammétrie, *Génie Rural* 87, Heft 1, 1989.
- [32] Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen für Baden-Württemberg, Maßstab 1:350.000 (2005). Bearbeitung: Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung 9: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, 1.Auflage 2005, mit Erläuterungen. Druck u. Vertrieb: Landesvermessungs-amt Baden-Württemberg.
- [33] Käß, W. (1972): Die Versinkung der Oberen Donau, ihre Erforschung und die Versuche 1969. Geolo-gisches Jahrbuch, Reihe C, Heft2. Hannover 1972.
- [34] Kiefer, F. (1972): 100 Jahre metrische Wasserstandserfassung am Bodensee. Verlag J. Torbecke, Sig-maringen 1972.
- [35] Kobelt, K. (1926): Die Regulierung des Bodensees. Eidgenöss. Department des Innern. Mitteilungen des Amtes für Wasserwirtschaft, Nr. 20, Bern 1926.
- [36] Köninger, J. und Schlichtherle, H. (2000): Reservatbildende Maßnahmen in Bodensee-Pfahlbau-siedlungen bei Wallhausen und am Schachenhorn von Bodman. Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unter-wasserarchäologie NAU Band 7, 2000, S. 69-74.
- [37] Köninger, J. (2006): Die frühbronzezeitlichen Ufersiedlungen von Bodman-Schachen – Befunde und Funde aus Tauchsondagen 1982-1984 und 1986. Siedlungsarchäologie im Alpenvorland VIII; For-schungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg; Band 85, S. 17ff. und S. 69-74, Regierungspräsidium Stuttgart – Landesamt für Denkmalpflege, Stuttgart 2006.
- [38] Köninger, J. (2006): Unterwasserarchäologie am Überlingersee im Zeichen extremer Niedrigwasser-stände. Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasserarchäologie NAU Band 13, 2006, S. 64-73.
- [39] Krumscheid, P., Stark H. und Peintinger M. (1989) Decline of Reed at Lake Constance (Obersee) since 1967 based on interpretation of aerial photographs. In: *Aquatic Botany*, 35 (1989), pp. 57-62.
- [40] Lambert, A. (1989): Das Rheindelta im See. Lebensraum Bodensee – L’*espace vital* du Lac de Con-stance. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik – Mensuration, Photogrammétrie, *Génie Rural* 87, Heft 1, 1989.
- [41] Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, Institut für Seenforschung (1988): Die Erosion der Uferbank des Untersees (Bodensee). Bearbeiter: Dr. R. Schröder. Langenargen, Nov. 1988.
- [42] Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, Institut für Seenforschung (1988): Dokumenta-tion zu den Schilfgebieten, zum Schilfrückgang sowie zu den erfolgten Schilf-Sanierungsmaßnahmen am deutschen Ufer des Obersees. Bearbeiter: Dr. B. Siessegger. Langenargen, Nov. 1988.
- [43] Landesanstalt (1989) für Umweltschutz, Baden-Württemberg, Institut für Wasser- und Abfallwirt-schaft: Donau und Aach – Donau-Umleitung als Ausgleich für die Wasserentnahme aus der Donau durch den Zweckverband Landeswasserversorgung. Bearbeiter: H. Straub und T. Gudera. Karlsruhe 1989

- [44] Lebensraum Bodensee – L'éspace vital du Lac de Constance. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik – Mensuration, Photogrammétrie, Génie Rural 87, Heft 1, 1989.
- [45] Leg an: Häfen und Liegeplätze am Bodensee. Loseblattausgabe, Neuauflage 2009, Ergänzungen Frühjahr 2010 (Hrsg.: Erich Jetter). IBN-Verlag Balingen.
- [46] Liebscher, H. J. und Horn H. (Projektbearbeiter) (1988): Untersuchung der Veränderungen der Wasserstände am Pegel Konstanz/Bodensee. Neufassung Juni 1988. Interner Bericht, BfG Koblenz.
- [47] Link, H. (1970): Speicherseen der Alpen / Bassins d' accumulation des Alpes. Sonderheft „Wasser- und Energiewirtschaft“, 60.Jg, Nr. 9/1970.
- [48] Luft, G., van den Eertwegh G., und Vieser H. (1990): Veränderung der Bodensee-Wasserstände von 1887-1987. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Handbuch Hydrologie BW, Karlsruhe 1990.
- [49] Luft, G., und Vieser H. (1990): Veränderungen der Bodensee-Wasserstände von 1887 bis 1987. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 34, Heft 5/6, Koblenz 1990.
- [50] Luft, G. und van den Eertwegh G. (1991): Long term changes in water level of Lake Constance and possible causes. Hydrology of Natural and Manmade Lakes (Proceedings of the Vienna Symposium), IAHS Publication No. 206, Wallingford 1991.
- [51] Luft, G. (1993): Langfristige Veränderung der Bodensee-Wasserstände und mögliche Auswirkungen auf Erosion und Ufervegetation. Seeuferzerstörung und Seeuferrenaturierung in Mitteleuropa. Limnologie Aktuell, Band 5, G. Fischer, Stuttgart 1993.
- [52] Mainberger, M. et al. (2005): Rettungsgrabung in den Schichten 2 und 3 der Pfahlbaustation Sipplinger-Osthafen/Bodenseekreis. Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasserarchäologie NAU Band 11/12, 2005, Seite 53-62, 2005, S. 53-62.
- [53] Moser, G. (2008): Wasserkraftnutzung und Hochwasserschutz im Hochgebirge. Fachtagung: „Klimawandel – Was kann die Wasserwirtschaft tun?“, Nürnberg, 24./25. Juni 2008. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 24.08, Seite 103ff.
- [54] Müller, A. und Schlichtherle, H. (1998): Erosion und Erosionsschutzmaßnahmen in der Sipplinger Bucht. Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasser-archäologie NAU Band 4, Seite 36-38, 1998.
- [55] Naber, G. (1989): 30 Jahre Bodensee-Wasserversorgung. Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees. 107. Heft, Friedrichshafen 1989.
- [56] Ostendorp, W. (1990): Die Ursachen des Röhrichtrückgangs am Bodensee-Untersee. In: *Carolinea* 48 (1990), pp. 85-102, 1990.
- [57] Ostendorp, W. und Krumscheid-Plankert P. (Hrsg.) (1993): Seeuferzerstörung und Seeuferrenaturierung in Mitteleuropa. *Limnologie Aktuell*, Band 5, G. Fischer, Stuttgart 1993.
- [58] Ostendorp, W., Brem H., Dienst M., Jöhnk K., Mainberger M., Peintinger M., Rey P., Rossknecht H., Schlichtherle H., Straile D., Strang I., (2006): Auswirkungen des globalen Klimawandels auf den Bodensee. O. A., Internet: <http://www.bodensee-ufer.de/Inhalt/Publikationen/publikationen.html>
- [59] Schaller, K. (1992): Der Einfluss der Stauseen auf Rhein und Bodensee. In: *Internationale Rheinregulierung 1892 – 1992: Der Alpenrhein und seine Regulierung*. Internationale Rheinregulierung, Buchs. Druck und Verlag, Rorschach 1992.

- [60] Schlichterle, H. und Bürgi J. (1986): Gefährdete Ufersiedlungen am Bodensee. Archäologie der Schweiz 9 1986.
- [61] Schlichterle, H. und Müller, A. (1998): Erosion und Erosionsschutzmaßnahmen in der Sipplinger Bucht. Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasserarchäologie NAU, 4, S. 36-38.
- [62] Schlichterle, H. (2004): Archäologische Kulturdenkmale und Denkmalschutz am Bodensee. Landesdenkmalamt Baden-Württemberg. Presentation of maritime cultural heritage in Lake Constance. Nordic Underwater Archaeology, 2004.
- [63] Schlichterle, H. und Mainberger, M. (2006): Klimawandel: Probleme für das archäologische Kulturgut unter Wasser in den Seen und Mooren des Alpenvorlandes Nachrichtenbl. Arbeitskr. Unterwasserarch. 13: 55–69
- [64] Schmieder, Pier K. A. (2000): Lakeside reed border characteristics at Lake Constance (Obersee): A comparison between 1981-1983 and 1994. In: Wetlands Ecology and Management, 8 (2000), pp. 435-445.
- [65] Schröder, R. (1988): Die Erosion der Uferbank des Untersees (Bodensee) – Spätfolgen der Eutrophierung und Hydrologischer Phänomene. Archiv für Hydrobiologie 112/2, 1988.
- [66] Spreafico, M. (1992): Hydrologie des Rheingebietes. In: Internationale Rheinregulierung 1892 – 1992: Der Alpenrhein und seine Regulierung (1992). Internationale Rheinregulierung, Buchs. Druck und Verlag, Rorschach 1992.
- [67] Straßeninspektion des Kantons Schaffhausen (1971): Rheinbrücke Stein, Baugrund-Untersuchung/Rammsondierung, Geotechnisches Profil Maßstab 1:200/100. Geotechnisches Büro Dr. A. von Moos, Zürich 12. Januar 1971, Tiefbauamt des Kantons Schaffhausen, Dep. Tiefbau und Wassernutzung
- [68] Wildenhahn, E. und Klaholz H. (Bearbeiter) (1996): Große Speicherseen im Einzugsgebiet des Rheins. CHR-/KHR-Bericht Nr. II-10, Lelystad u. Koblenz 1996.
- [69] Vischer, D. (1989): Ideen zur Bodenseeregulierung – Ziele, Altes und neues. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik – Mensuration, Photogrammétrie, Génie Rural 87, Heft 1, 1989.
- [70] Vischer, D. (1990): Der Bodensee, seine Zuflüsse, seine Schwankungen, sein Abfluss. In: wasser, energie, luft – eau, énergie, air; 82. Jg., Heft 7/8, 1990.
- [71] Vorarlberger Illwerke AG (2005): Kurzprofil Vorarlberger Illwerke AG. Vorarlberger Illwerke AG, Waldachstraße 6, AU-8300 Bregenz.
- [72] Wieland, Ch. (1989): Der Bodensee als Trinkwasserspeicher. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik – Mensuration, Photogrammétrie, Génie Rural 87, Heft 1, 1989.
- [73] Zarn B., Oplatka M., Pellandini St., Mikoš M., Hunzinger R. und Jäggi M. (1995): Geschiebehalt Alpenrhein. (Enthält Anlage B.2: Chronologische Übersicht über die Rheinkorrekturen, Verbauungen und die Staatsverträge). Mitteilungen Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich, Nr. 139. Zürich 1995.

Statistische Verfahren und EDV-Programme

- [74] Bárdossy A., Giesecke J. und Vieser, H. (1997): Methoden zur Untersuchung des Langzeitverhaltens von Hochwasserereignissen. *Wasserwirtschaft*, 87.Jg., H. 1, S. 36-40.
- [75] Dyck, S. (1980): *Angewandte Hydrologie, Teil 1: Berechnung und Regelung des Durchflusses der Flüsse*. Verlag W. Ernst & Sohn, München.
- [76] Kendall, M. G. (1970): *Rank Correlation Methods*. 4th Edition, London (Griffin).
- [77] Luft G. und Vieser H.: Veränderungen der Bodensee-Wasserstände von 1887 bis 1987. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen*, 34, 1990, Heft 5/6, S. 146-156
- [78] Mann, H.B. (1945): Nonparametric test against trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
- [79] Paesler, M. (1983): Homogenisierung. *Promet 1/2, 3-7*, Meteorologische Fortbildung, Herausgeber DWD.
- [80] Pettit, A.M. (1978): A non-parametric approach to the change point problem. *Journal of royal statistic society (Ser. C.) Statistics* Vol. 28, pp. 126-135
- [81] Sanchez Penzo, S., Rapp J., Schönwiese C.-D. und Luft G. (1998): Räumliche Strukturen aktueller Trends des Gesamt- und Extremwertniederschlags in Baden-Württemberg. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilung*, 42. Jg., H. 4, S. 157 - 163
- [82] Schönwiese C.-D. und Malchern J. (1985): Nicht-Stationarität oder Inhomogenität ? Ein Beitrag zur statistischen Analyse klimatologischer Zeitreihen. *Wetter und Leben* 37, 181-193.
- [83] Schönwiese C.-D. (1992): *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. Borntraeger, Stuttgart, 2. Auflage
- [84] Schönwiese C.-D., Rapp J., Fuchs T. und Denhard, M., (1993): *Klimatrendatlas Europa 1891-1990*. Berichte des Zentrums für Umweltforschung der Univ. Frankfurt/M., Nr. 20, Frankfurt/M., 4. Auflage
- [85] Sneyers R. (1990): *On the Statistical Analysis of series of Observations*. WMO Publ. No 415, Geneva.
- [86] Sanchez Penzo S., Rapp J., Schönwiese C.-D. und Luft G. (1998): Räumliche Strukturen aktueller Trends des Gesamt- des Extremniederschlags in Baden-Württemberg. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen*, 42, Heft 4. Koblenz 1998.
- [87] *Statistische Methoden in der Klimatologie* (1983): PROMET-Meteorologische Fortbildung, Heft 1/2, 1983.
- [88] EDV-Programmpaket: "Analyse von hydrologischen/geophysikalischen Zeitreihen". Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (IWK), Universität Karlsruhe 2007.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Satellitenaufnahme des Bodensees (Quelle: NASA World Wind).....	7
Abb. 2.1: Einzugsgebiet des Bodensees (Quelle: IGKB 2004 [27]) mit Lage der Kraftwerk-Speicher nach [7], [47] und [48].....	9
Abb. 2.2: Luftbild: Konstanzer Trichter und Seerhein vom 20.02.1943 bei Niedrigwasser; Wasserstand am Pegel Konstanz/Bodensee: W = 267 cm a. P. KN = 394,56 m+NN (Quelle: Luftbild der Royal Air Force vom 20.2.1943).....	14
Abb. 2.3: Luftbild: Seerhein und östlicher Untersee zwischen Gottlieben und Ermatingen bzw. Reichenau vom 20.02.1943 bei Niedrigwasser; Wasserstand am Pegel Berlingen/Bodensee : W = 244 cm a. P. KN = 394,33 m+NN (Quelle: Luftbild der Royal Air Force vom 20.2.1943).....	14
Abb. 2.4: Luftbild: westlicher Untersee (Rheinsee), Eschenz und Hochrhein zwischen Stiegen/Eschenz und Stein/Rhein vom 20.02.1943 bei Niedrigwasser; Wasserstand am Pegel Stein-Burg/Rhein : W = 217 cm a. P. KN = 394,06 m+NN (Quelle: Luftbild der Royal Air Force vom 20.2.1943).....	14
Abb. 2.5: Baugrunduntersuchung Rheinbrücke Stein, Geotechnisches Profil (November 1970) [67].....	15
Abb. 2.6: Jährliche und halbjährliche Trisanna- und Rosanna-Überleitung in das Ill-(Alpenrhein-) Einzugsgebiet mit zugehörigen Mittelwerten und Mittel über jeweils 7 Jahre.....	17
Abb. 2.7: Jährliche und halbjährliche Entnahmen der Bodensee-Wasserversorgung (BWV) mit zugehörigen Mittelwerten und Mittel über jeweils 7 Jahre.....	18
Abb. 2.8: Wasserentnahmen aus dem Bodensee, Stand 2001 (Quelle: IGKB 2004 [27]).....	19
Abb. 2.9: Entnahme der Bodensee-Anliegerwasserwerke (ohne BWV-Entnahme) seit Aufzeichnungsbeginn 1984 bis 2007 nach AWBR-Statistik [1].....	20
Abb. 2.10: Entwicklung des Baus von Kraftwerk-Speicherbecken in den Einzugsgebieten von Alpenrhein und Bregenzerach (laut Tabelle 2.5).....	21
Abb. 2.11: Jahresgang des Speicherinhalts der schweizerischen Speicherseen (Stand jeweils am Monatsende) in den Jahren 2002/2003 bis 2005/2006 (Quelle: Bundesamt für Energie 2006 [7]).....	21
Abb. 3.1: Bodensee und einbezogene Wasserstands- und Abflusspegel.....	25
Abb. 3.2: Prüfung der täglichen Wasserstände an den Pegeln Romanshorn, Konstanz und Berlingen (Dez. 1949 bis Jan. 1950) unter Einbezug der täglichen Wasserstände an den Pegeln Rorschach und Berlingen, sowie der jeweils täglichen Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln.....	27
Abb. 3.3: Beispiel für die Prüfung der täglichen Wasserstände am Pegel Berlingen (Mai bis Okt. 1889) unter Einbezug der täglichen Wasserstände an den Pegeln Konstanz, Radolfzell und Stein-Burg, sowie der jeweils täglichen Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln.....	27
Abb. 3.4: Mittlere jährliche, winter- und sommerhalbjährliche Wasserstands-Differenzen zwischen den Bodenseepeln Romanshorn und Konstanz in [cm] sowie zugehörige lineare Trends pro Jahr.....	31
Abb. 3.5: Vergleich der jährlichen Höchst- (oben) bzw. Niedrigstwasserstände (unten) am Pegel Konstanz/Bodensee mit den jeweils sommer- bzw. winterhalbjährlichen Werten.....	34
Abb. 3.6: Vergleich der jährlichen Höchst- (oben) bzw. Niedrigstabflüsse (unten) am Pegel Neuhausen/Rhein mit den jeweils sommer- bzw. winterhalbjährlichen Werten.....	35

Abb. 4.1: Ergebnisdarstellung der Analyse des Langzeitverhaltens der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) am Pegel Konstanz/Bodensee (Summenlinie ist im unteren Diagramm fast identisch mit der Regressionsgeraden).....	41
Abb. 4.2: Ergebnisdarstellung der Analyse des Jahresgangs: mittlere monatliche Höchstwerte MHW(m) des Wasserstands und mittlere halbjährliche Wasserstände MHW(Hj) für drei unterschiedliche Zeitspannen	42
Abb. 5.1: Mittlere jährliche Wasserstände MW(J) an den Bodensee-Pegeln Romanshorn, Konstanz und Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt.....	46
Abb. 5.2: Mittlere jährliche Abflüsse MQ(J) an den Pegeln Diepoldsau/Rhein, Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein, St. Margrethen/Rheintal-Binnenkanal und Kennelbach/Bregenzerrach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt.....	47
Abb. 5.3: Mittlere jährliche Abflüsse MQ(J) an den Pegeln Gießen/Argen, Gerbertshaus/Schussen, Rielasingen/Radolfzeller Aach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt.....	48
Abb. 5.4: Mittlere jährliche Wasserstände MW(J) an den Bodensee-Pegeln Konstanz, Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1909, 1941, 1964 und 1988.....	49
Abb. 5.5: Mittlere jährliche Abflüsse MQ(J) an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1909, 1941, 1964 und 1988.....	50
Abb. 5.6: Mittlere Wasserstände MW(WiHj) im Winterhalbjahr an den Bodensee-Pegeln Romanshorn, Konstanz und Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt	53
Abb. 5.7: Mittlere Abflüsse MQ(WiHj) im Winterhalbjahr an den Pegeln Diepoldsau/ Rhein, Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein, St. Margrethen/Rheintal-Binnenkanal, Kennelbach/Bregenzerrach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt.....	54
Abb. 5.8: Mittlere Abflüsse MQ(WiHj) im Winterhalbjahr an den Pegeln Gießen/Argen, Gerbertshaus/Schussen, Rielasingen/Radolfzeller Aach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt.....	55
Abb. 5.9: Mittlere Wasserstände MW(WiHj) im Winterhalbjahr an den Bodensee-Pegeln Konstanz, Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf verschiedene Bruchpunkte.....	56
Abb. 5.10: Mittlere Abflüsse MQ(WiHj) im Winterhalbjahr an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf verschiedene Bruchpunkte	57
Abb. 5.11: Mittlere Wasserstände MW(SoHj) im Sommerhalbjahr an den Bodensee-Pegeln Romanshorn, Konstanz und Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt	60
Abb. 5.12: Mittlere Abflüsse MQ(SoHj) im Sommerhalbjahr an den Pegeln Diepoldsau/ Rhein, Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein, St. Margrethen/Rheintal-Binnenkanal, Kennelbach/Bregenzerrach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt.....	61
Abb. 5.13: Mittlere Abflüsse MQ(SoHj) im Sommerhalbjahr an den Pegeln Gießen/Argen, Gerbertshaus/Schussen, Rielasingen/Radolfzeller Aach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt.....	62
Abb. 5.14: Mittlere Wasserstände MW(SoHj) im Sommerhalbjahr an den Bodensee-Pegeln Konstanz, Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf verschiedene Bruchpunkte.....	63
Abb. 5.15: Mittlere Abflüsse MQ(SoHj) im Sommerhalbjahr an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf verschiedene Bruchpunkte	64

Abb. 5.16: Höchste jährliche Wasserstände HW(J) an den Bodensee-Pegeln Romanshorn, Konstanz und Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt	67
Abb. 5.17: Höchste jährliche Abflüsse HQ(J) an den Pegeln Diepoldsau/ Rhein, Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein, St. Margrethen/Rheintal-Binnenkanal, Kennelbach/Bregenzerrach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt	68
Abb. 5.18: Höchste jährliche Abflüsse HQ(J) an den Pegeln Gießen/Argen, Gerbertshaus/Schussen, Rielasingen/Radolfzeller Aach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt	69
Abb. 5.19: Höchste jährliche Wasserstände HW(J) an den Bodensee-Pegeln Konstanz, Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf den Bruchpunkt im Jahr 1940.....	70
Abb. 5.20: Höchste jährliche Abflüsse HQ(J) an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf den Bruchpunkt im Jahr 1940.....	71
Abb. 5.21: Niedrigste jährliche Wasserstände NW(J) an den Bodensee-Pegeln Romanshorn, Konstanz und Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt.....	74
Abb. 5.22: Niedrigste jährliche Abflüsse NQ(J) an den Pegeln Diepoldsau/ Rhein, Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein, St. Margrethen/Rheintal-Binnenkanal, Kennelbach/Bregenzerrach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt	75
Abb. 5.23: Niedrigste jährliche Abflüsse NQ(J) an den Pegeln Gießen/Argen, Gerbertshaus/Schussen, Rielasingen/Radolfzeller Aach, jeweils mit Mittelwert, Gesamt-Trend/Jahr und Bruchpunkt	76
Abb. 5.24: Niedrigste jährliche Wasserstände NW(J) an den Bodensee-Pegeln Konstanz, Berlingen sowie am Pegel Stein-Burg/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1909 und 1954.....	77
Abb. 5.25: Niedrigste jährliche Abflüsse NQ(J) an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen/Rhein, jeweils partielle Mittelwerte und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1909 und 1954	78
Abb. 6.1: Jahrgang der mittleren monatlichen Wasserstände MW(m) am Pegel Konstanz/Bodensee für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über die Bruchpunkte in den Jahren 1941, 1964, 1988.....	84
Abb. 6.2: Jahrgang der mittleren monatlichen Wasserstände MW(m) am Pegel Berlingen/Bodensee für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über die Bruchpunkte in den Jahren 1941, 1964, 1988	84
Abb. 6.3: Jahrgang der mittleren monatlichen Wasserstände MW(m) am Pegel Stein-Burg/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über die Bruchpunkte in den Jahren 1941, 1964, 1988.....	85
Abb. 6.4: Jahrgang der mittleren monatlichen Abflüsse MQ(m) am Pegel Diepoldsau/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über die Bruchpunkte in den Jahren 1941, 1964, 1988	85
Abb. 6.5: Jahrgang der mittleren monatlichen Abflüsse MQ(m) am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über die Bruchpunkte in den Jahren 1941, 1964, 1988	86
Abb. 6.6: Jahrgang der mittleren monatlichen Höchstwerte des Wasserstandes HW(m) am Pegel Konstanz/Bodensee für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1941	88
Abb. 6.7: Jahrgang der mittleren monatlichen Höchstwerte des Wasserstandes HW(m) am Pegel Berlingen/Bodensee für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1941	88

Abb. 6.8: Jahresgang der mittleren monatlichen Höchstwerte des Wasserstandes HW(m) am Pegel Stein-Burg/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1941.....	89
Abb. 6.9: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflusshöchstwerte HQ(m) am Pegel Diepoldsau/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1941.....	89
Abb. 6.10: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflusshöchstwerte HQ(m) am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1941.....	90
Abb. 6.11: Jahresgang der mittleren monatlichen Niedrigstwerte des Wasserstandes NW(m) am Pegel Konstanz/Bodensee für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1954.....	92
Abb. 6.12: Jahresgang der mittleren monatlichen Niedrigstwerte des Wasserstandes NW(m) am Pegel Berlingen/Bodensee für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1954.....	92
Abb. 6.13: Jahresgang der mittleren monatlichen Niedrigstwerte des Wasserstandes NW(m) am Pegel Stein-Burg/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1954.....	93
Abb. 6.14: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflussniedrigstwerte NQ(m) am Pegel Diepoldsau/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1954.....	93
Abb. 6.15: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflussniedrigstwerte NQ(m) am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein für die gesamte Zeitreihe (1910-2007) und für Teilzeitreihen, ermittelt über den Bruchpunkt im Jahr 1954	94
Abb. 7.1: Jahresreihen der mittleren monatlichen Wasserstände MW(m) und Abflüsse MQ(m) des Monats März für die einbezogenen Pegel mit linearem Trend über die gesamte Zeitreihe und Kennzeichnung des Bruchpunkts.....	98
Abb. 7.2: Jahresgang der mittleren monatlichen Wasserstände MW(m) sowie Jahresgang der monatlichen Trends [cm/Jahr] an den Pegeln Konstanz, Berlingen und Stein-Burg für die Zeitspanne 1910 - 2007	100
Abb. 7.3: Jahresgang der mittleren monatlichen Abflüsse MQ(m) sowie Jahresgang der monatlichen Trends [m ³ /s/Jahr] an den Pegeln Diepoldsau und Neuhausen-Flurlingerbrücke für die Zeitspanne 1910 - 2007.....	101
Abb. 7.4: Tägliche Abflüsse MQ(d) mit Einfluss des wöchentlichen Schwallbetriebs am Pegel Diepoldsau/Rhein (schwarz) in den Wintermonaten Januar bis März 2005 im Vergleich zu den täglichen Wasserständen MW(d) am Pegel Romanshorn (blau) sowie den täglichen Abflüsse MQ(d) am Pegel Neuhausen/Rhein (rot).....	102
Abb. 7.5: Jahresreihe der mittleren Monatsabflüsse MQ(m) im Februar mit partiellen Mittelwerten und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1952 und 1982	102
Abb. 7.6: Jahresreihe der mittleren Monatsabflüsse MQ(m) im August mit partiellen Mittelwerten und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1952 und 1982	103
Abb. 8.1: Differenzen der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) in [cm] zwischen den Pegeln Konstanz/Bodensee(Obersee), Berlingen/Bodensee (Untersee) und Stein-Burg/Rhein für die Zeitspanne 1888 bis 2007 mit Mittelwert, Trend/Jahr und Bruchpunkt.....	106
Abb. 8.2: Differenzen der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) in [cm] zwischen den Pegeln Konstanz/Bodensee und Pegel Berlingen/Bodensee für die Zeitspanne 1888 bis 1907 bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1921 und 1962	107
Abb. 8.3: Differenzen der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) in [cm] zwischen den Pegeln Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Hochrhein für die Zeitspanne 1888 bis 1907 bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1921 und 1962	107

Abb. 8.4: Differenzen der mittleren Wasserstände MW(SoHj) in [cm] des Sommerhalbjahres zwischen den Pegeln Konstanz/Bodensee und Pegel Berlingen/Bodensee mit partiellen Mittelwerten und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1921 und 1962.....	108
Abb. 8.5: Differenzen der mittleren Wasserstände MW(WiHj) in [cm] des Winterhalbjahres zwischen den Pegeln Konstanz/Bodensee und Pegel Berlingen/ Bodensee mit partiellen Mittelwerten und Trends bezogen auf Bruchpunkte in den Jahren 1921 und 1962.....	108
Abb. 8.6: Jährliche, winter- und sommerhalbjährliche mittlere Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Hochrhein für die Zeitspanne 1888 bis 2007	109
Abb. 8.7: Jährliche, winter- und sommerhalbjährliche mittlere Wasserstands-Differenzen zwischen den Pegeln Konstanz/Bodensee und Berlingen/Bodensee für die Zeitspanne 1888 bis 2007	109
Abb. 10.1: Jahresgang der monatlich mittleren Wasserstände MW(m) sowie Jahresgang der Niedrigstwerte des Wasserstands MNW(m) an den Bodensee-Pegeln Konstanz (Obersee) und Berlingen (Untersee). Vergleich der Zeitspannen 1910 bis 2007 sowie 1955 bis 2007 und 1977 bis 2007	118
Abb. 10.2: Pegel Konstanz/B.(Obersee) und Berlingen/B.(Untersee): Mittlere tägliche Wasserstände MW(d) sowie Niedrigste Monatliche Wasserstände NW(m), Zeitspanne 1910 bis 2007	119
Abb. 10.3: Pegel Konstanz/B.(Obersee). und Berlingen/B.(Untersee): Beispiele für Jahresreihen der monatlich niedrigsten Wasserstände NW(m) der Monate Februar und Mai, Zeitspanne 1910 bis 2007.....	120
Abb. 10.4: Jährlichkeiten der monatlichen Niedrigstwasserstände NW(m) am Pegel Konstanz/Bodensee für die Zeitreihe 1910-2007; Monate November bis April (oben) und Mai bis Oktober (unten).....	121
Abb. 10.5: Jährlichkeiten der monatlichen Niedrigstwasserstände NW(m) am Pegel Berlingen/Bodensee für die Zeitreihe 1910-2007; Monate November bis April (oben) und Mai bis Oktober (unten).....	122
Abb. 10.6: Monatliche Unterschreitungstage von Wasserstands-Schwellenwerten W am Beispiel der Zeitreihe 1910-2007 für die Pegel Konstanz/Bodensee und Berlingen/Bodensee	123
Abb. 10.7: Monatliche T-jährliche Niedrig-Wasserstände $NW_T(m)$ am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und Pegel Berlingen/Bodensee (unten) für die Zeitreihe 1910-2007	126
Abb. 10.8: Monatliche T-jährliche Niedrig-Wasserstände $NW_T(m)$ am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und Pegel Berlingen/Bodensee (unten) für die Zeitreihe 1955-2007	127
Abb. 10.9: Monatliche T-jährliche Niedrig-Wasserstände $NW_T(m)$ am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und Pegel Berlingen/Bodensee (unten) für die Zeitreihe 1977-2007	128
Abb. 10.10: Monatliche 2-, 10- und 100-jährliche Niedrigstwasserstände $NW_T(m)$ am Pegel Konstanz/Bodensee (oben) und Pegel Berlingen/Bodensee (unten); Vergleich der Zeitreihen 1910-2007, 1955-2007 und 1977-2007	129
Abb. 10.11: Mittlere monatliche Anzahl der Unterschreitungstage am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und am Pegel Berlingen/Bodensee (unten); Zeitreihe 1910-2007.....	130
Abb. 10.12: Mittlere monatliche Anzahl der Unterschreitungstage am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und am Pegel Berlingen/Bodensee (unten); Zeitreihe 1955-2007.....	131
Abb. 10.13: Mittlere monatliche Anzahl der Unterschreitungstage am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und am Pegel Berlingen/Bodensee (unten); Zeitreihe 1977-2007.....	132
Abb. 10.14: Mittlere monatliche Anzahl der Unterschreitungstage am Pegel Konstanz/ Bodensee (oben) und am Pegel Berlingen/Bodensee (unten) ; Vergleich der Zeitreihen 1910-2007, 1955-2007 und 1977-2007 für verschiedene Wasserstands-Schwellenwerte W	133

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Kenndaten zum Bodensee	10
Tabelle 2.2: Volumen und Wasserfläche des Obersees bei verschiedenen Wasserständen	10
Tabelle 2.3: Flächen- und Abfluss-Anteile ausgewählter Zuflüsse zum Bodensee.....	12
Tabelle 2.4: Überleitungen, Beileitungen und Ausleitungen, Entnahmen.....	19
Tabelle 2.5: Entwicklung des Ausbaus von Kraftwerk-Speicherbecken in den Einzugsgebieten von Alpenrhein und Bregenzerach (Speicherseen nach [7], [47] und [48]	22
Tabelle 3.1: Wasserstands-Pegel am Bodensee und am Hochrhein	24
Tabelle 3.2: Pegel mit Abfluss-Erfassung im Bodensee- und Hochrhein-Einzugsgebiet.....	29
Tabelle 3.3: Hauptzahlen und Extremwerte der einbezogenen Messstellen mit Wasserständen im Bodensee-Einzugsgebiet; Wasserstände sind bezogen auf Pegel-Null Konstanz/Bodensee	32
Tabelle 3.4: Hauptzahlen und Extremwerte der einbezogenen Messstellen mit Abflüssen im Bodensee-Einzugsgebiet	33
Tabelle 5.1: Langzeitveränderung der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) und Abflüsse MQ(J).....	45
Tabelle 5.2: Langzeitveränderung der mittleren Wasserstände MW(WiHj) und Abflüsse MQ(WiHj) im Winterhalbjahr	52
Tabelle 5.3: Langzeitveränderung der mittleren Wasserstände MW(SoHj) und Abflüsse MQ(SoHj) im Sommerhalbjahr.....	59
Tabelle 5.4: Langzeitveränderung der jährlichen Höchstwerte des Wasserstandes HW(J) und der Abflüsse HQ(J)	66
Tabelle 5.5: Langzeitveränderung der jährlichen Niedrigstwerte des Wasserstandes NW(J) und der Abflüsse NQ(J)	73
Tabelle 5.6: Zusammenstellung der Bruchpunkte und Bewertung des Trendverhaltens in den jährlich mittleren, jährlich höchsten und jährlich niedrigsten Wasserstands- und Abfluss-Zeitreihen	80
Tabelle 6.1: Abweichung der mittleren halbjährlichen Wasserstände MW und Abflüsse MQ der Teilzeitreihen zur Gesamtzeitreihe; abgeleitet aus den mittleren monatlichen Wasserständen MW(m) und Abflüssen MQ(m)	83
Tabelle 6.2: Abweichung der mittleren halbjährlichen Hochwasserstände MHW und -abflüsse MHQ der Teilzeitreihen zur Gesamtzeitreihe; abgeleitet aus den monatlichen Hochwasserständen HW(m) und -abflüssen HQ(m).....	87
Tabelle 6.3: Abweichung der mittleren halbjährlichen Niedrigstwasserstände MNW und -abflüsse MNQ der Teilzeitreihen zur Gesamtzeitreihe; abgeleitet aus den monatlichen Niedrigstwasserständen NW(m) und -abflüssen NQ(m)	91
Tabelle 7.1: Mittlere Monatswerte der Wasserstände MW und Abflüsse MQ sowie Trend der Monatswerte mit Signifikanzniveau und Jahr des Bruchpunkts	99
Tabelle 10.1: Archäologische Siedlungsareale, die bei Niedrigwasser am Bodensee frei fallen	114
Tabelle 10.2: Spannweite der Wasserstände an Ober- und Untersee, die die Nutzbarkeit der Häfen für Sportboote (Tiefgang 1,0 m und 1,5 m) einschränken	115
Tabelle 10.3: Jährlichkeiten für das Unterschreiten der flächenspezifischen Ober- und Untergrenze des Wasserstands sowie mittlere monatliche Anzahl und Höchst-Anzahl der mindestens einmal in der Zeitspanne 1977 bis 2007 auftretenden Unterschreitungstage für die archäologischen Siedlungsareale am Bodensee-Obersee.....	137

Tabelle 10.4: Jährlichkeiten für das Unterschreiten der hafenspezifischen Minimal- und Optimal-Wasserstände sowie mittlere monatliche Anzahl und Höchst-Anzahl der mindestens einmal in der Zeitspanne 1977 bis 2007 auftretenden Unterschreitungstage für die Bootshäfen am Obersee	143
Tabelle 10.5: Jährlichkeiten für das Unterschreiten der hafenspezifischen Minimal- und Optimal-Wasserstände sowie mittlere monatliche Anzahl und Höchst-Anzahl der mindestens einmal in der Zeitspanne 1977 bis 2007 auftretenden Unterschreitungstage für die Bootshäfen am Untersee	145

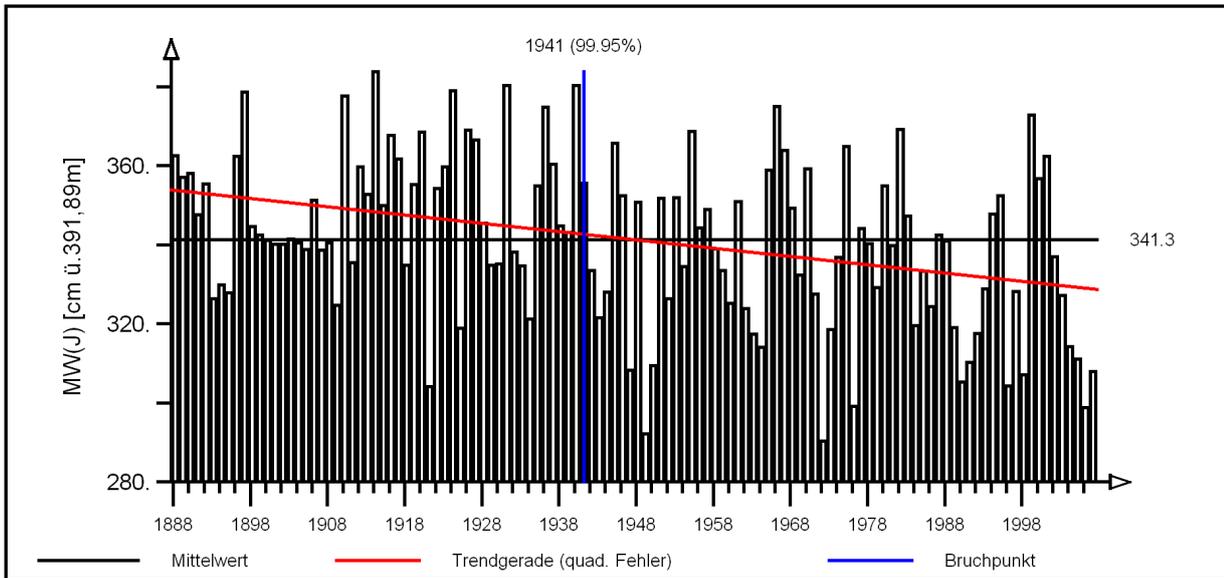
Anlage A

Langzeitverhalten der jährlichen Wasserstands-Kennwerte sowie der jährlichen Zu- und Ausfluss-Kennwerte des Bodensees

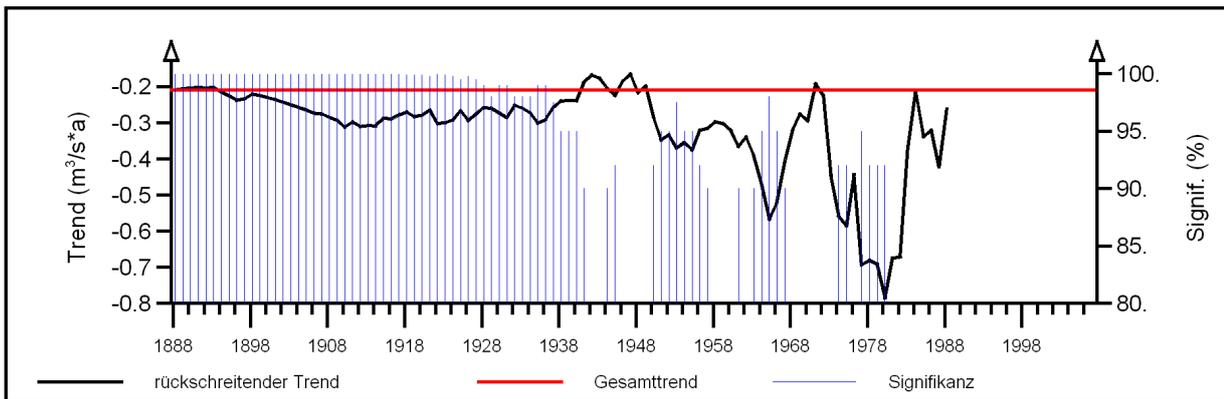
Pegel Konstanz/Bodensee(Obersee)

(Pegel-Nr. 906)

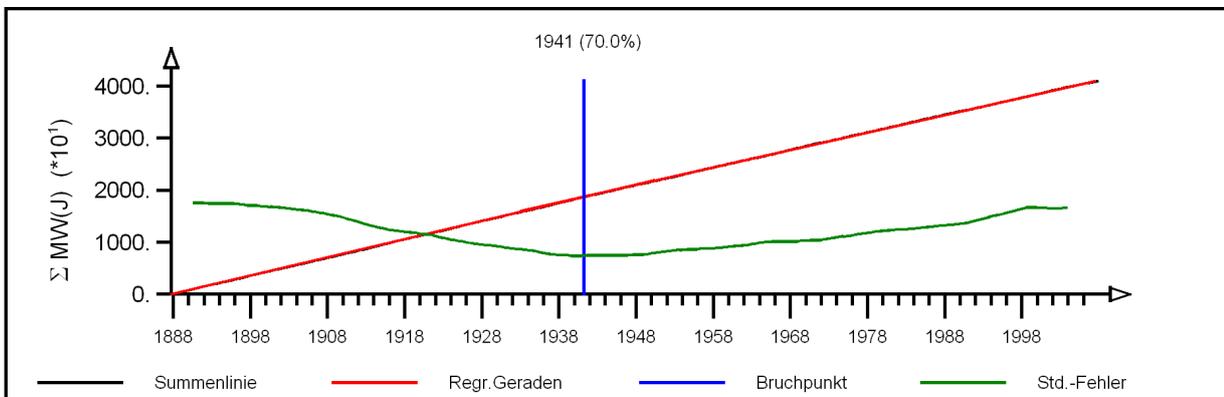
mittlere jährliche Wasserstände MW(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-0.209 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 99.98%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



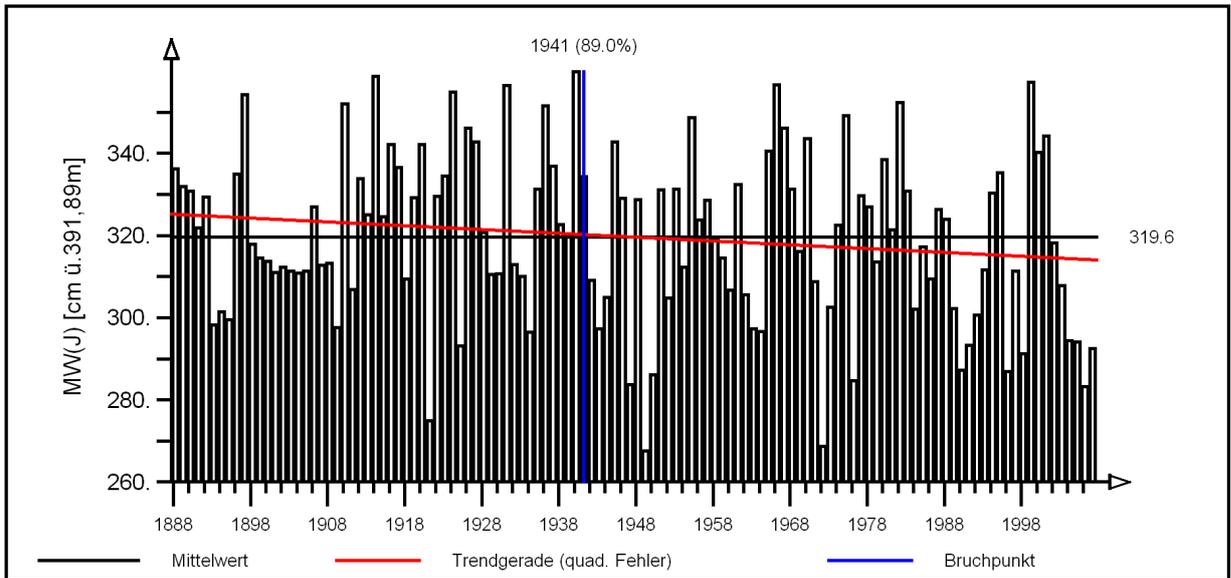
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-1: Langzeitverhalten der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) für die Zeitspanne 1888-2007 am Pegel Konstanz/Bodensee

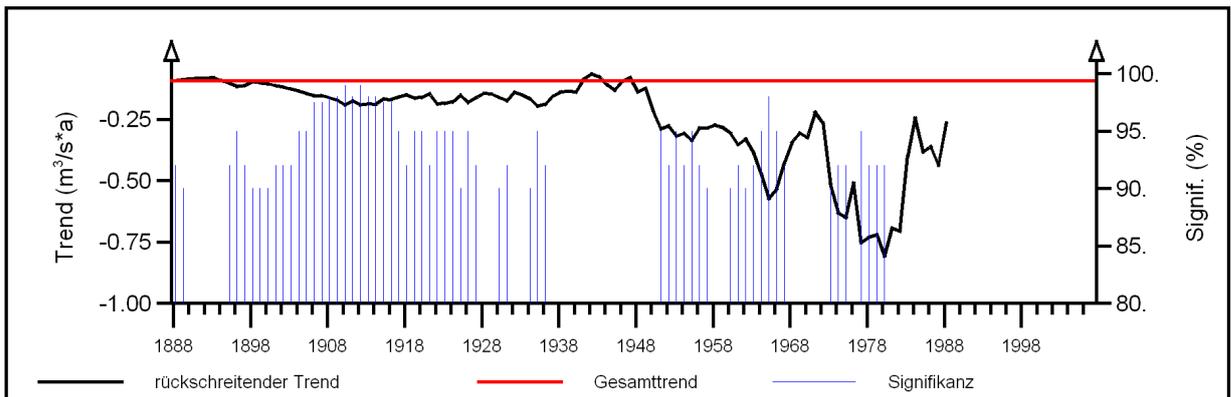
Pegel Berlingen/Bodensee(Untersee)

(Pegel-Nr. 135)

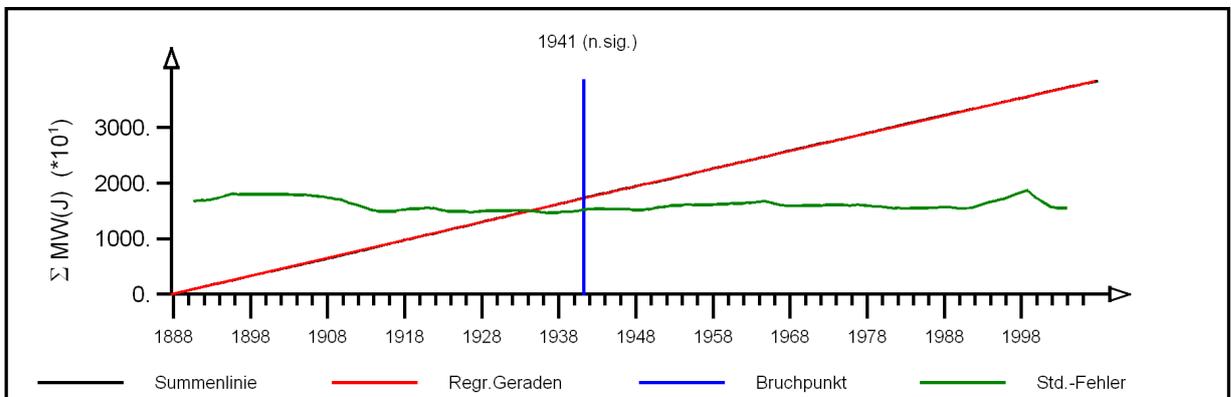
mittlere jährliche Wasserstände MW(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-0.093 \text{ m}^3/\text{s}^*\text{a}$
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 92%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



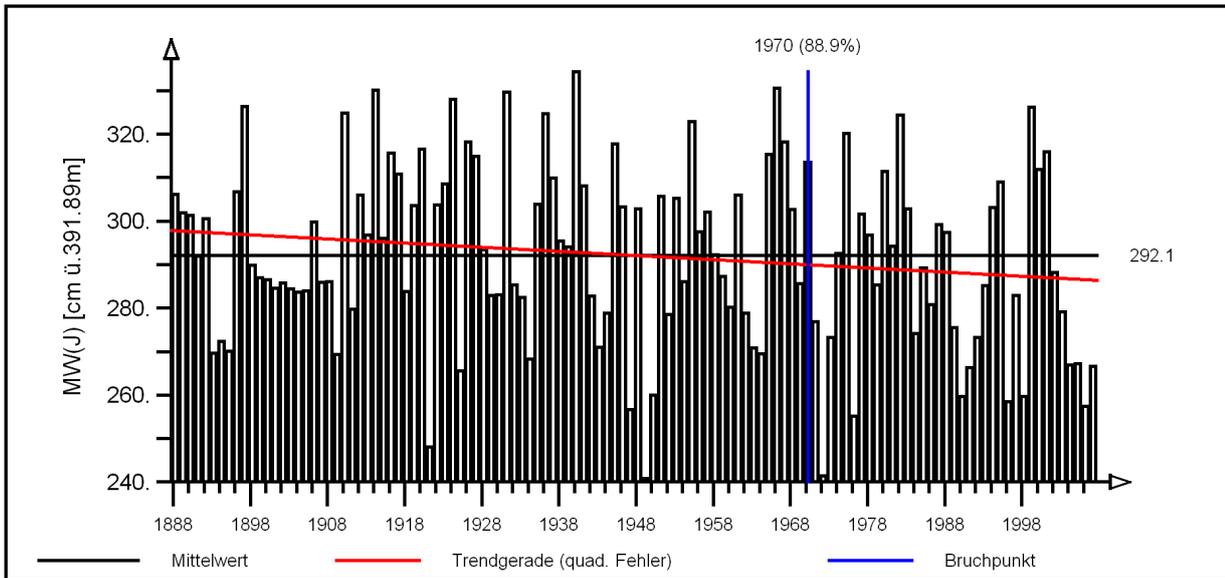
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-2: Langzeitverhalten der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) für die Zeitspanne 1888-2007 am Pegel Berlingen/Bodensee

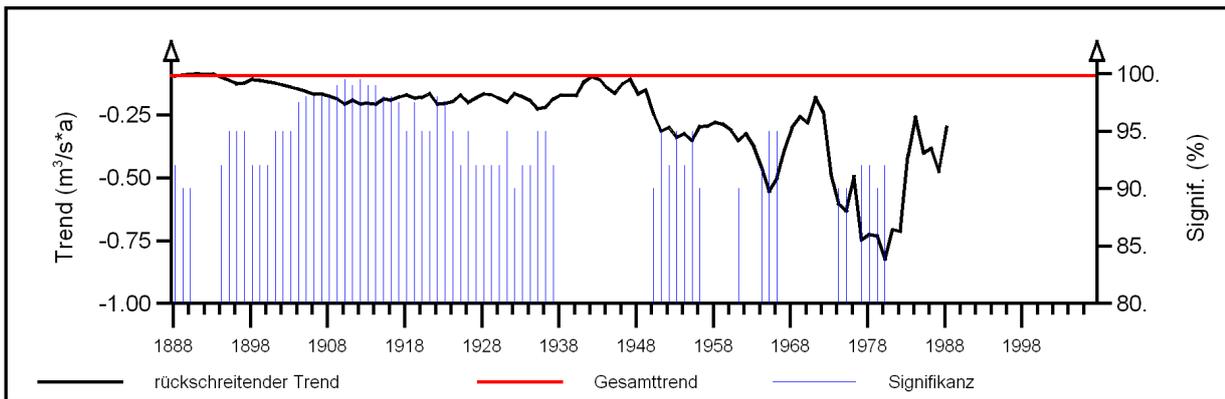
Pegel Stein-Burg/Rhein

(Pegel-Nr. 36229)

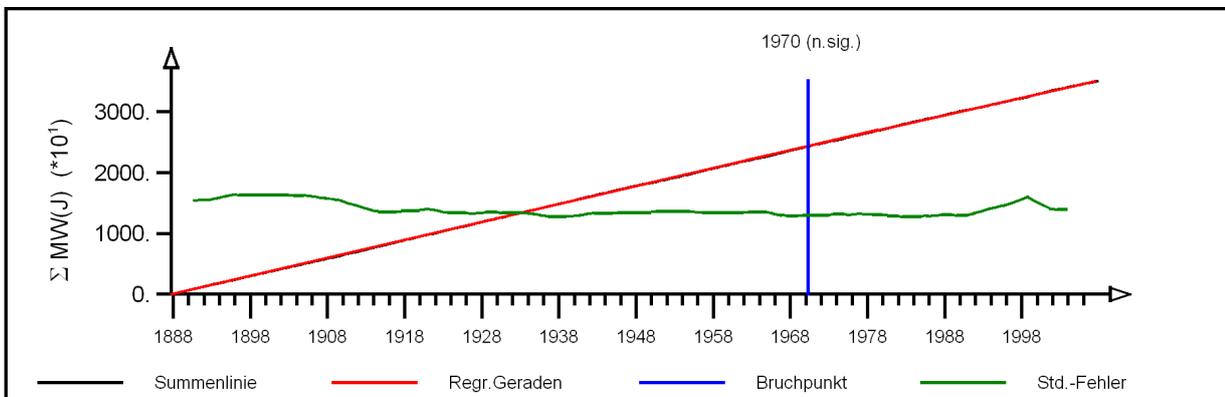
mittlere jährliche Wasserstände MW(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-0.095 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 92%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



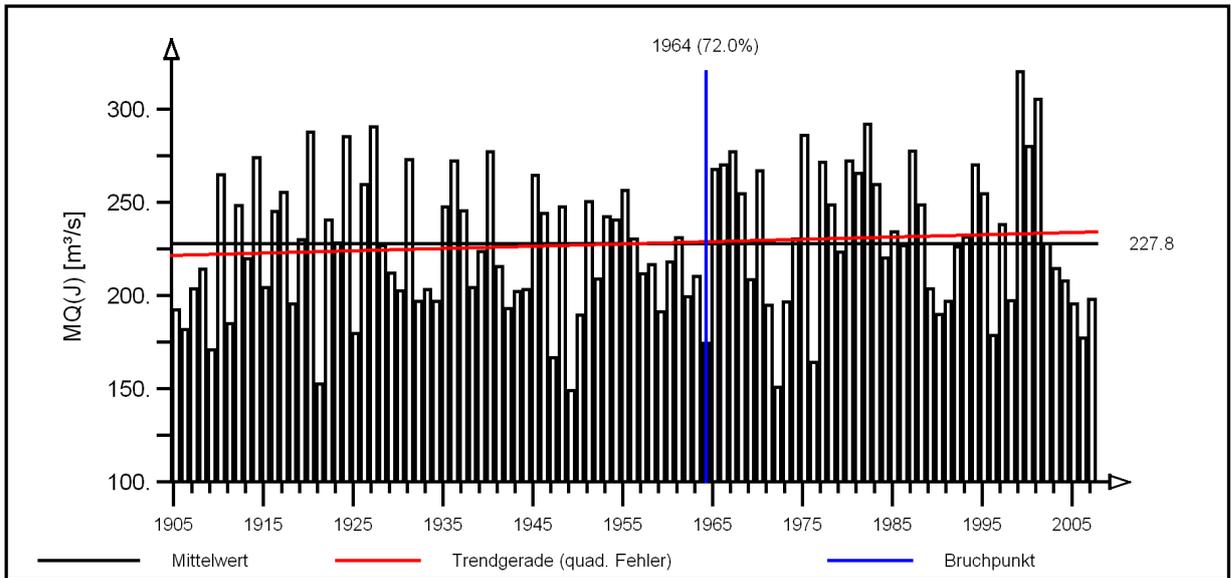
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-3: Langzeitverhalten der mittleren jährlichen Wasserstände MW(J) für die Zeitspanne 1888-2007 am Pegel Stein-Burg/Rhein

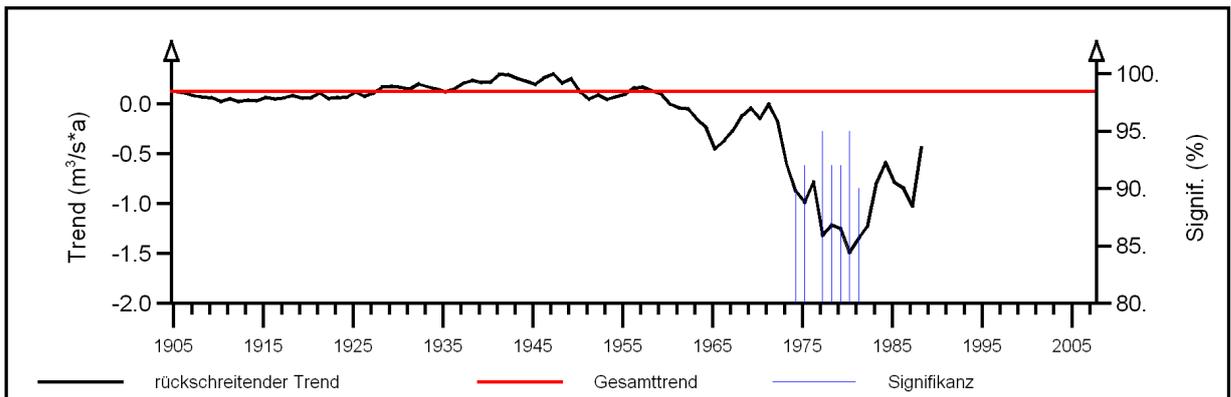
Pegel Diepoldsau/Rhein

(Pegel-Nr. 2473)

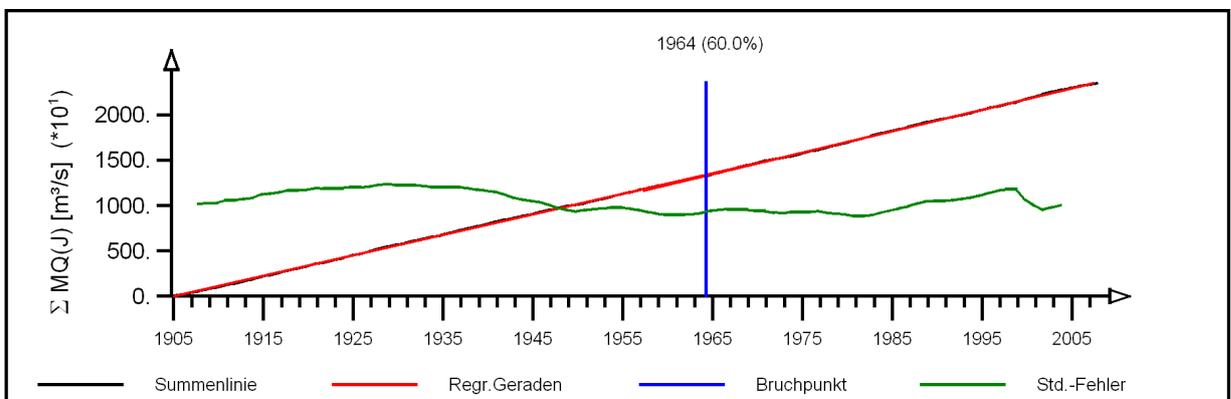
mittlere jährliche Abflüsse MQ(J)



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



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



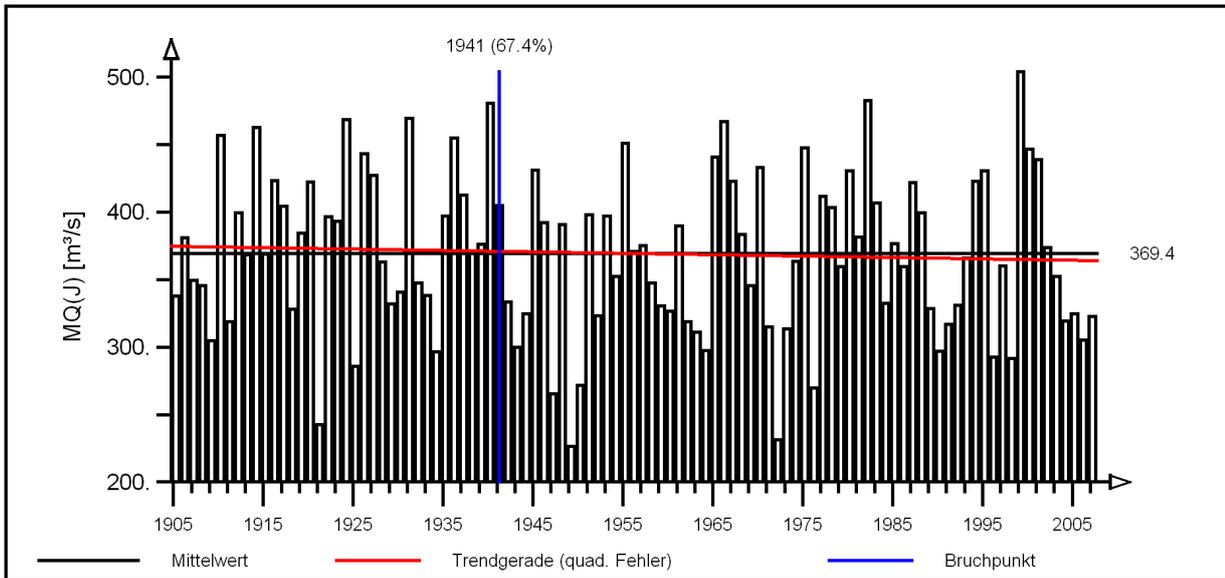
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-4: Langzeitverhalten der mittleren jährlichen Abflüsse MQ(J) für die Zeitspanne 1905-2007 am Pegel Diepoldsau/Rhein

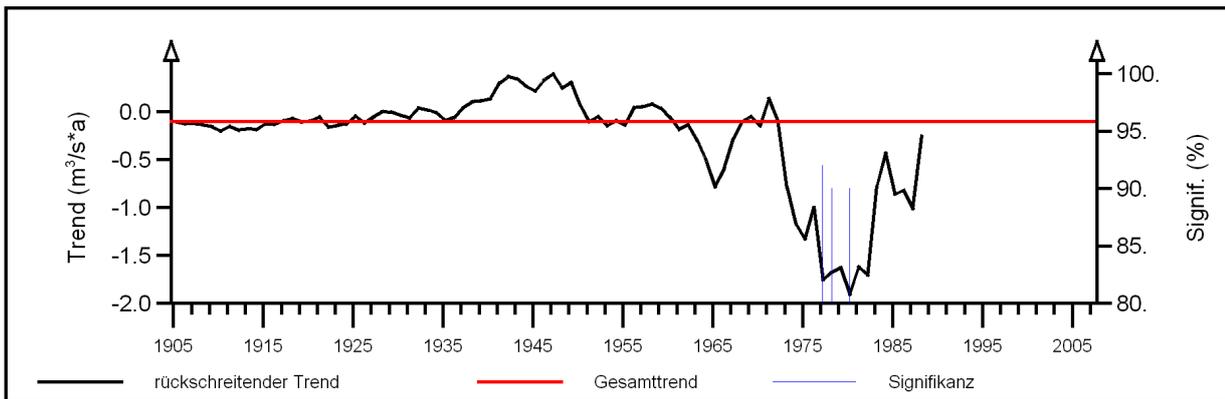
Pegel Neuhausen-Flurl.Brücke/Rhein

(Pegel-Nr. 2288)

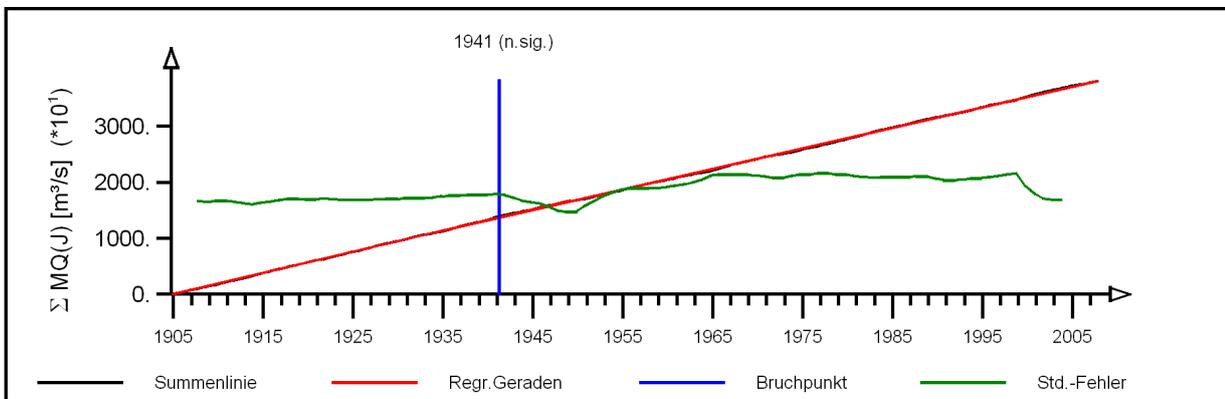
mittlere jährliche Abflüsse MQ(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-0.102 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 50%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



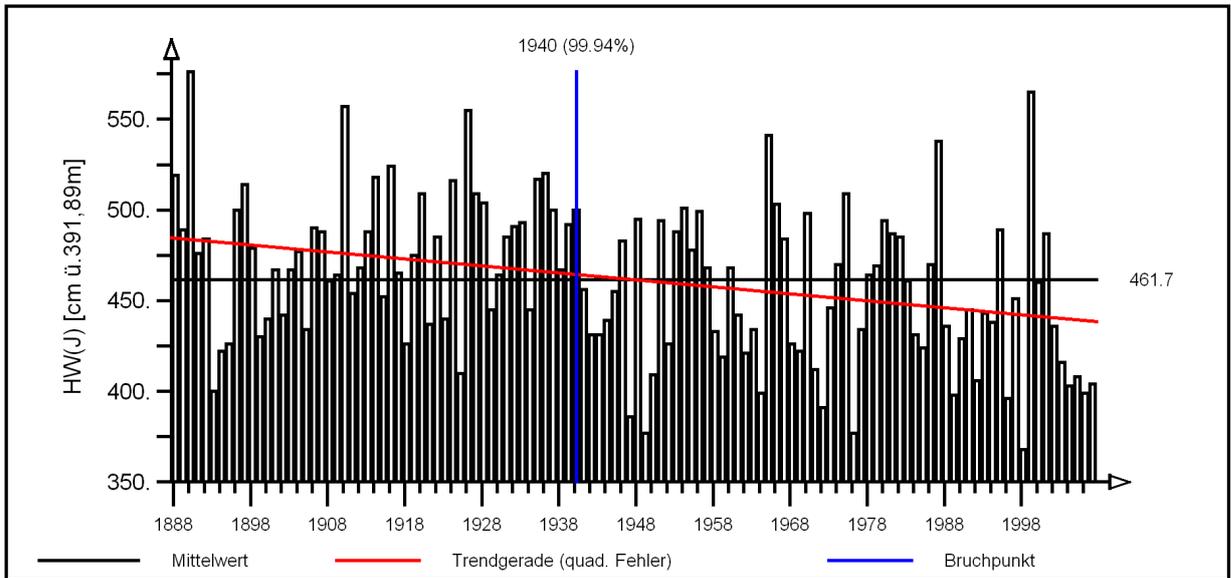
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-5: Langzeitverhalten der mittleren jährlichen Abflüsse MQ(J) für die Zeitspanne 1905-2007 am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

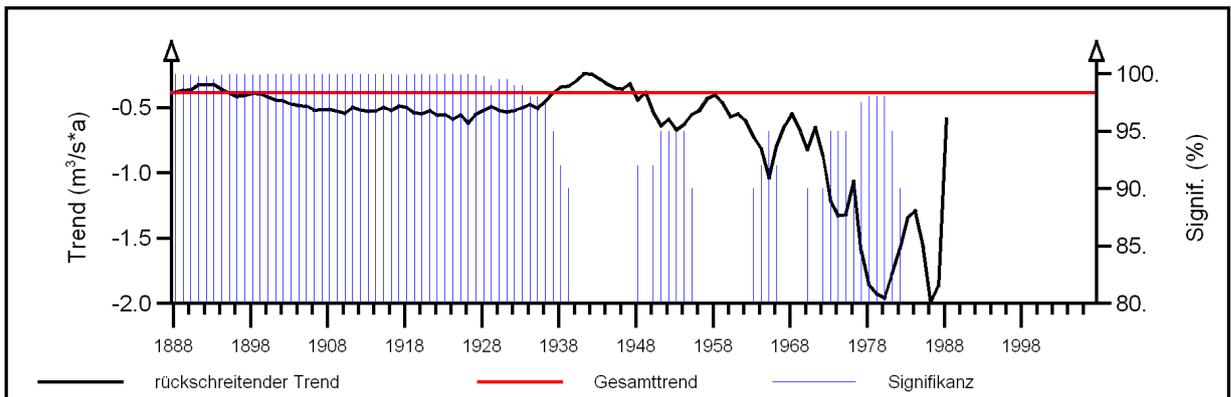
Pegel Konstanz/Bodensee(Obersee)

(Pegel-Nr. 906)

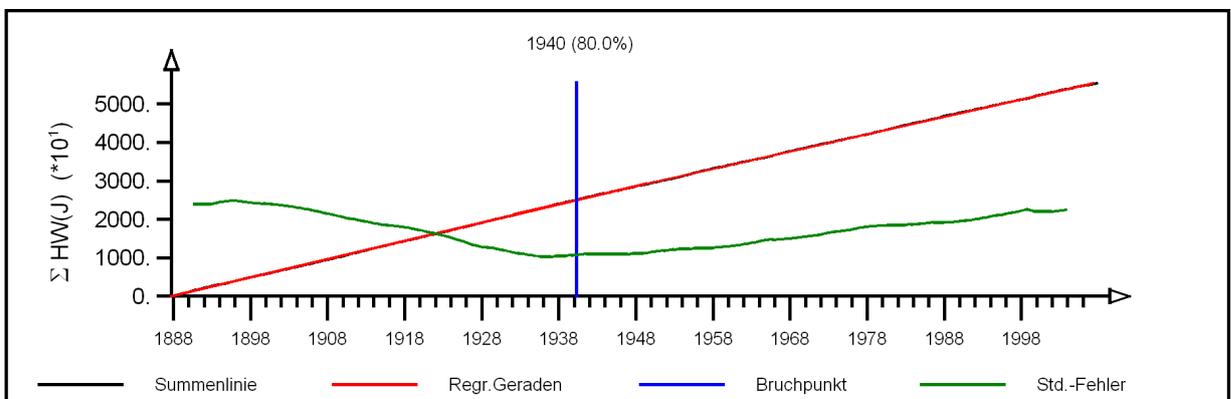
jährliche Höchstwerte des Wasserstands HW(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-0.384 \text{ m}^3/\text{s}^*\text{a}$
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 99.95%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



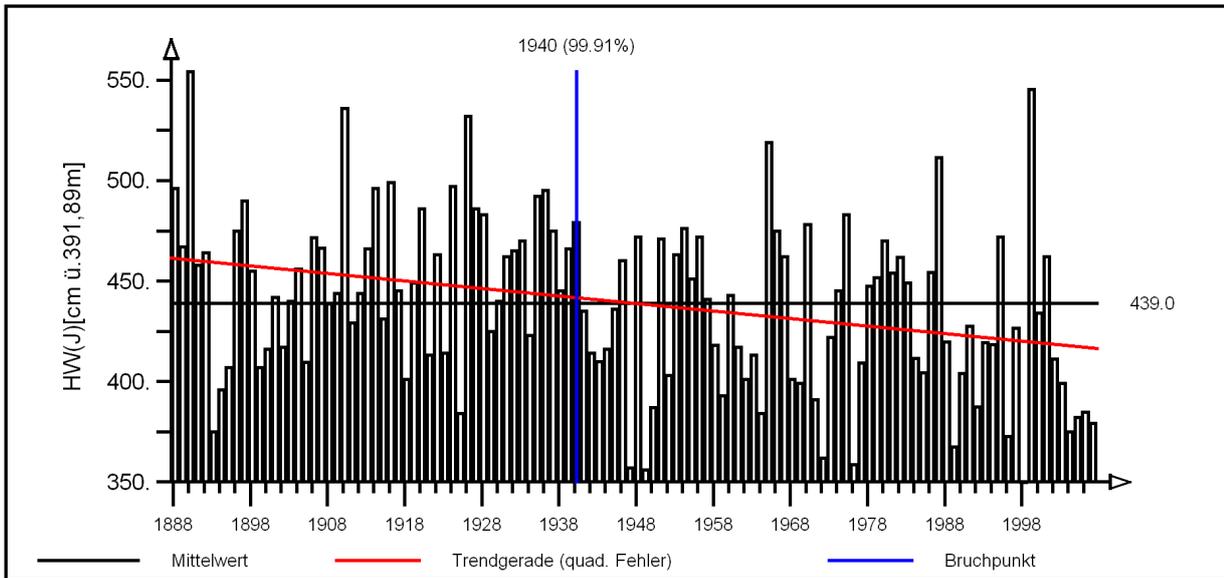
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-6: Langzeitverhalten der jährlichen Hochwasserstände HW(J) für die Zeitspanne 1888-2007 am Pegel Konstanz/Bodensee

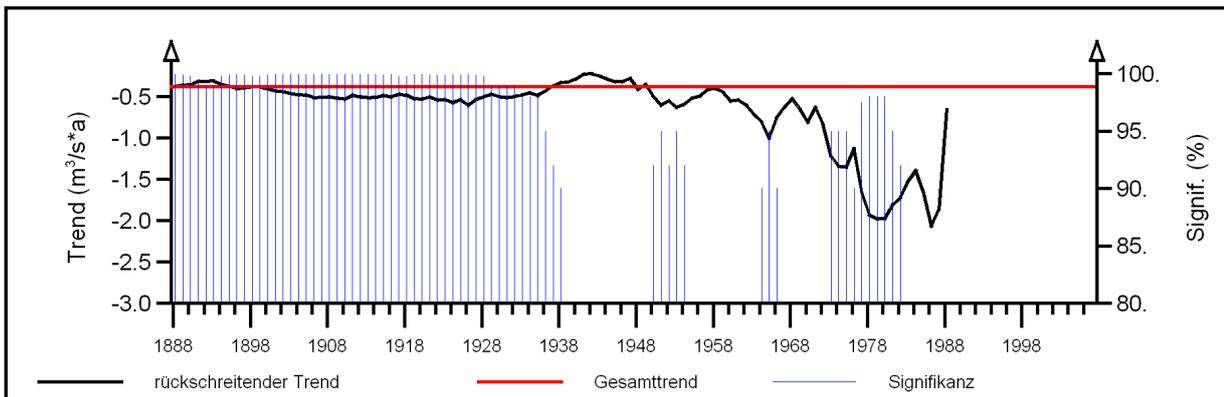
Pegel Berlingen/Bodensee(Untersee)

(Pegel-Nr. 135)

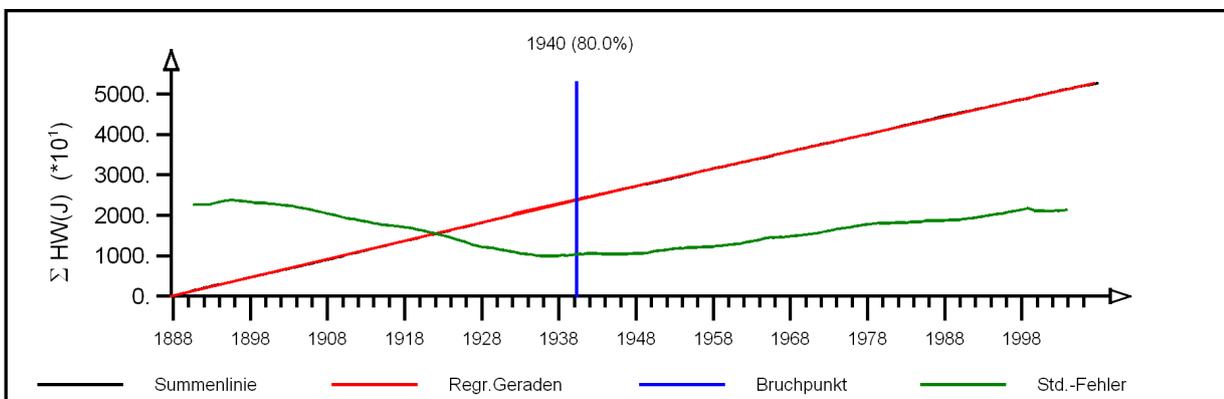
jährliche Höchstwerte des Wasserstands HW(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-0.375 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 99.95%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



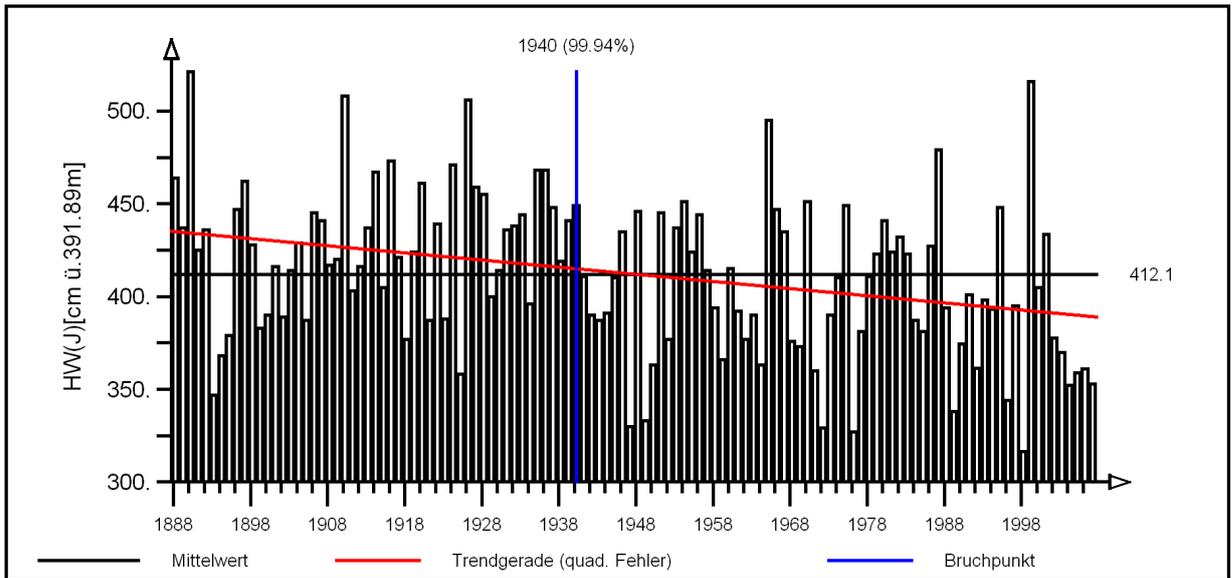
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-7: Langzeitverhalten der jährlichen Hochwasserstände HW(J) für die Zeitspanne 1888-2007 am Pegel Berlingen/Bodensee

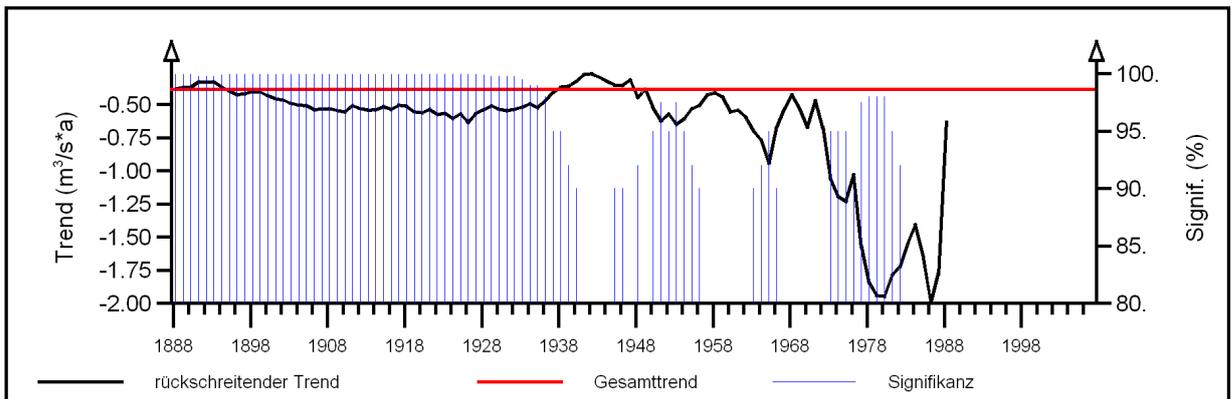
Pegel Stein-Burg/Rhein

(Pegel-Nr. 36229)

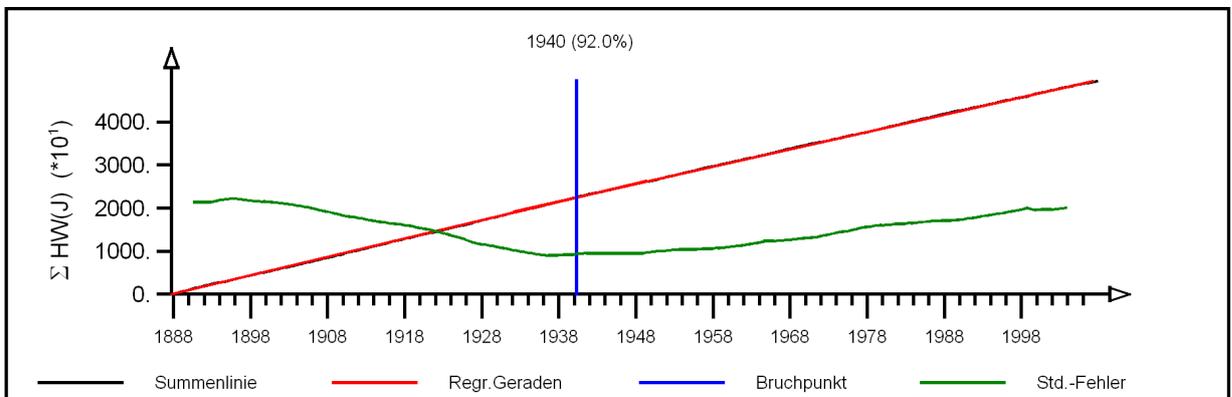
jährliche Höchstwerte des Wasserstands HW(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-0.384 \text{ m}^3/\text{s}^*\text{a}$
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 99.98%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



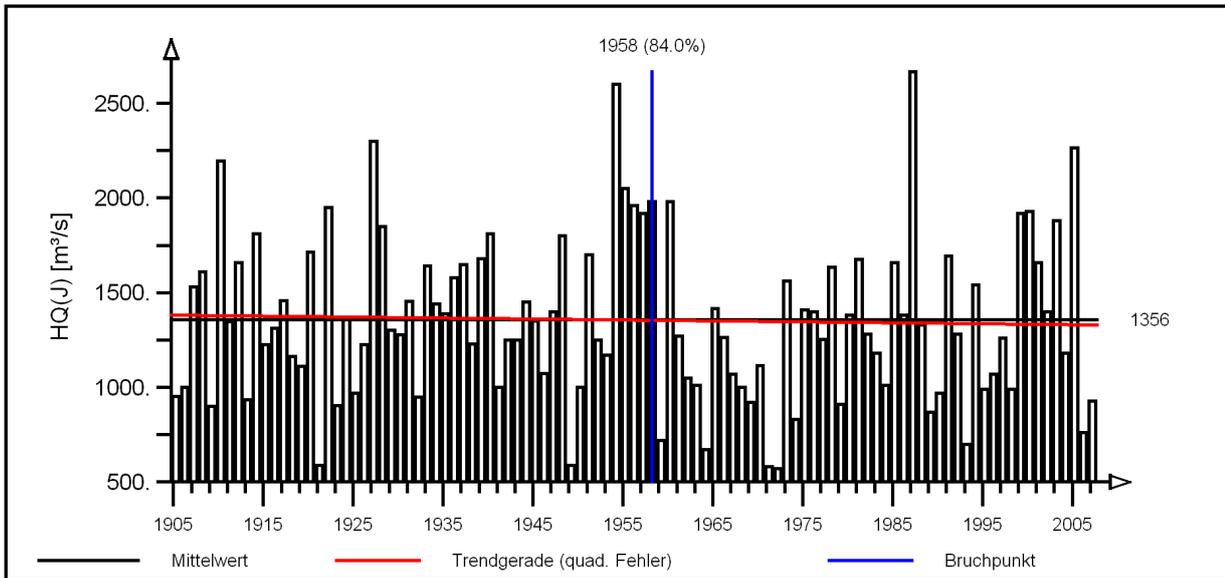
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-8: Langzeitverhalten der jährlichen Hochwasserstände HW(J) für die Zeitspanne 1888-2007 am Pegel Stein-Burg/Rhein

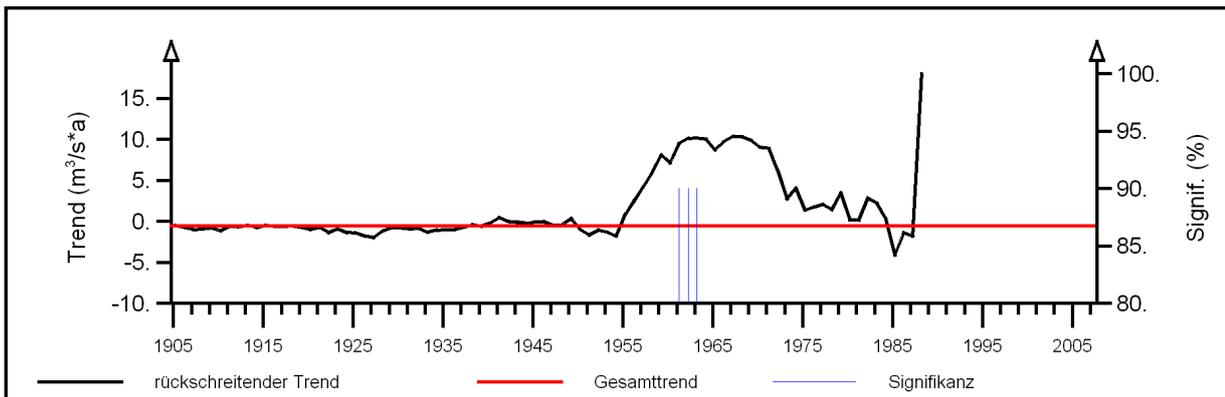
Pegel Diepoldsau/Rhein

(Pegel-Nr. 2473)

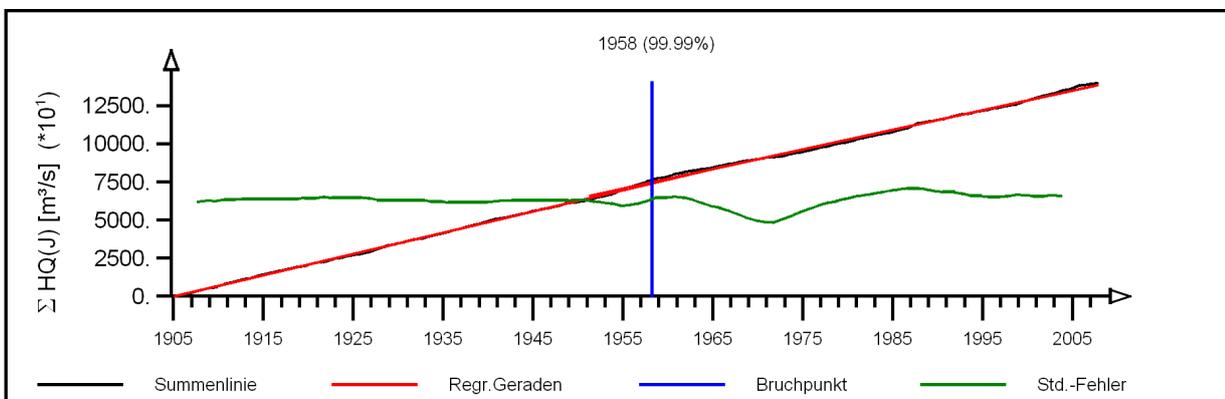
jährliche Höchstwerte des Abflusses HQ(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-0.502 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
 (Trend nicht signifikant nach Mann-Kendall)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



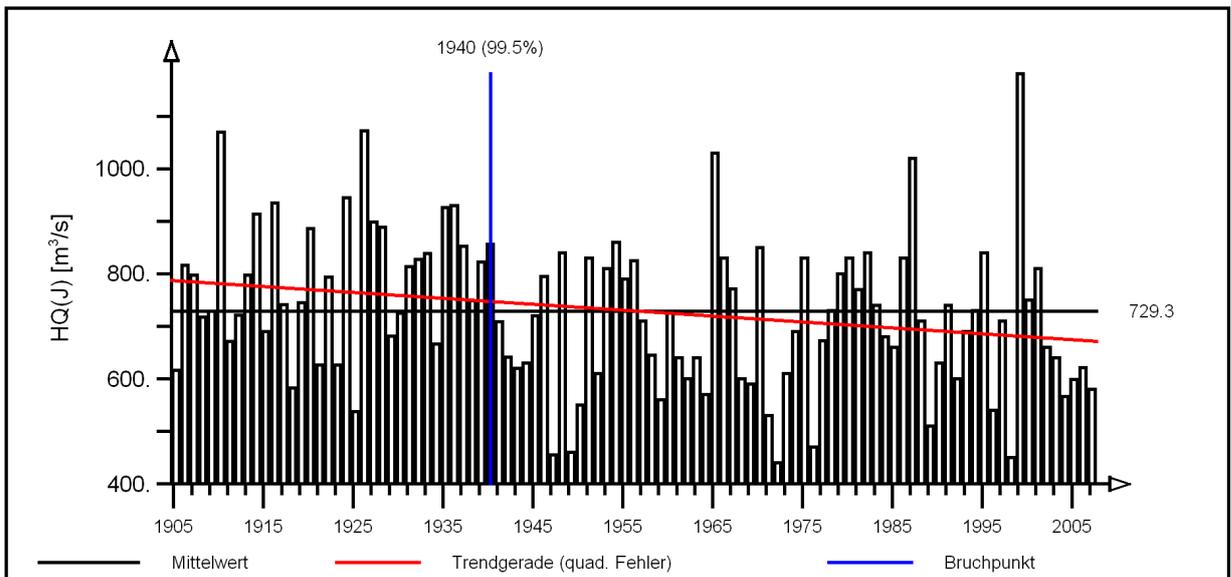
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-9: Langzeitverhalten der jährlichen Hochwasserabflüsse HQ(J) für die Zeitspanne 1905-2007 am Pegel Diepoldsau/Rhein

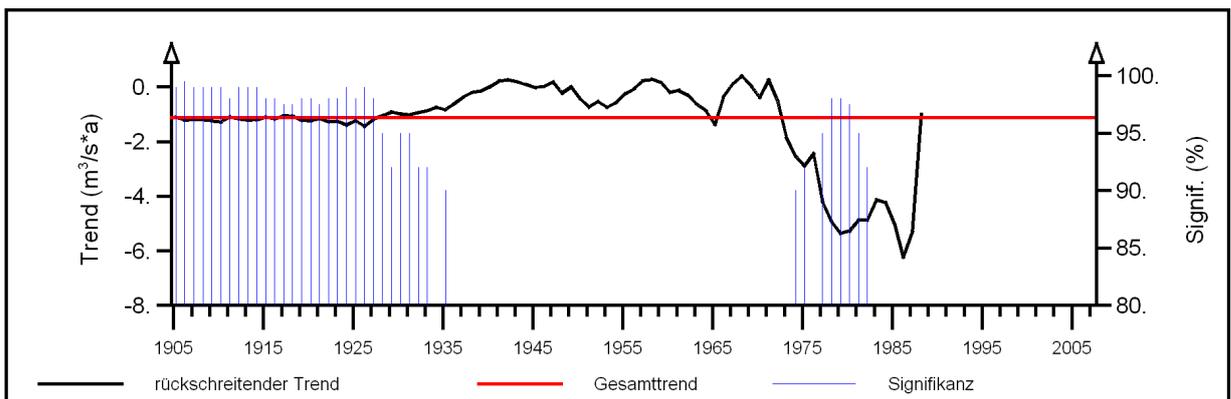
Pegel Neuhausen-Flurl.Brücke/Rhein

(Pegel-Nr. 2288)

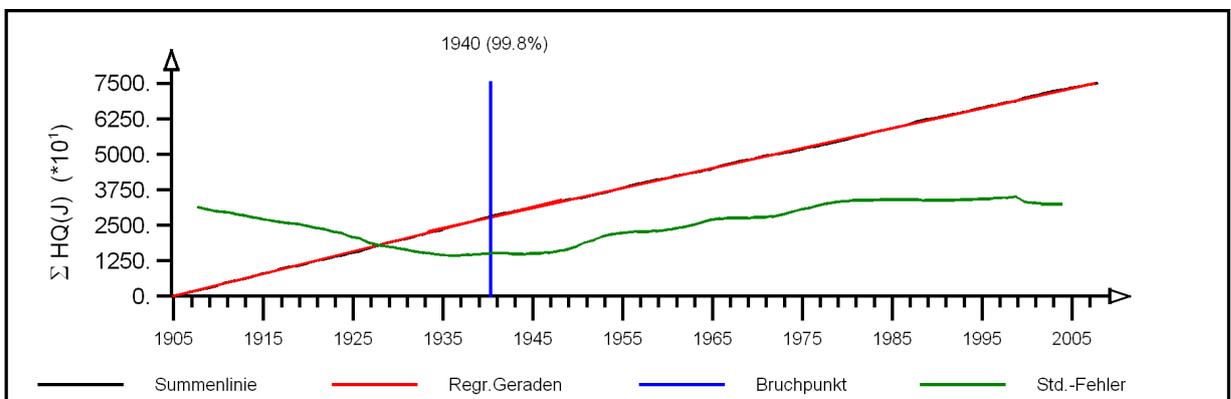
jährliche Höchstwerte des Abflusses HQ(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $-1.120 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 99%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



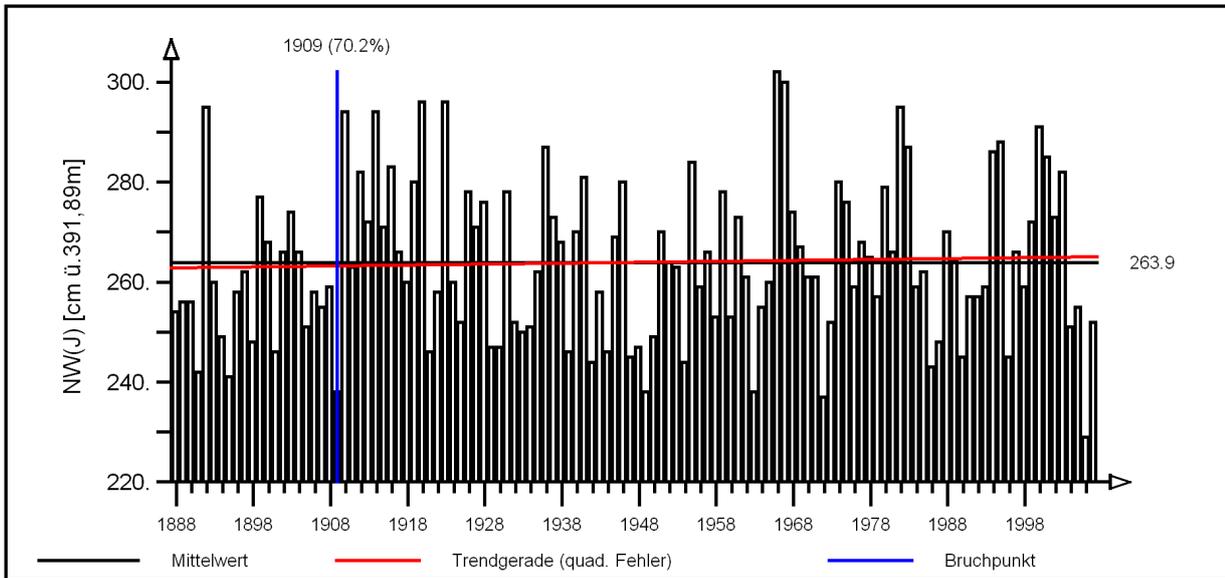
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-10: Langzeitverhalten der jährlichen Hochwasserabflüsse HQ(J) für die Zeitspanne 1905-2007 am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

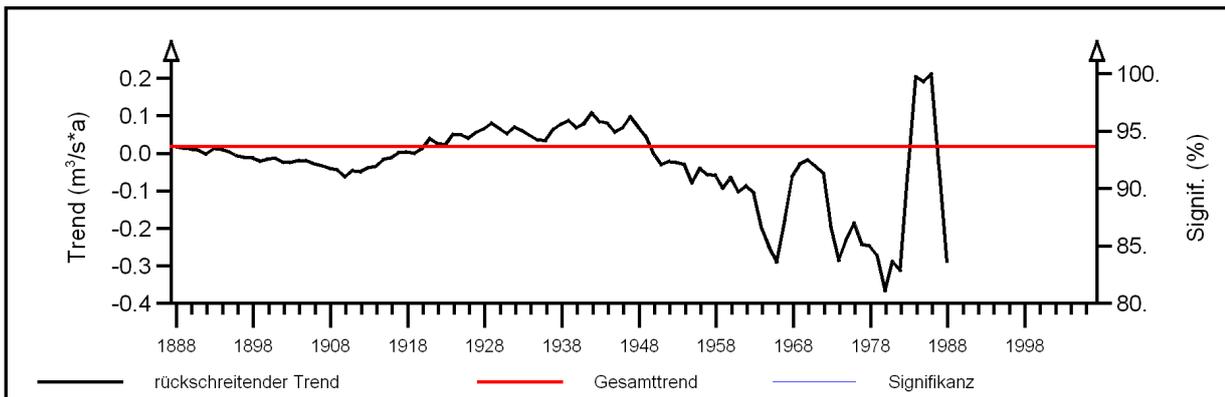
Pegel Konstanz/Bodensee(Obersee)

(Pegel-Nr. 906)

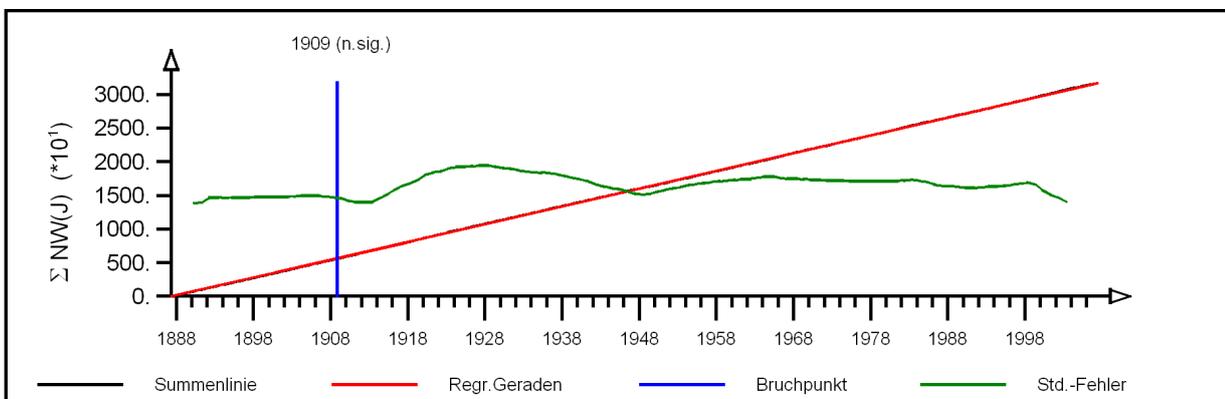
jährliche Niedrigwasserstände NW(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $0.018 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend nicht signifikant nach Mann-Kendall)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



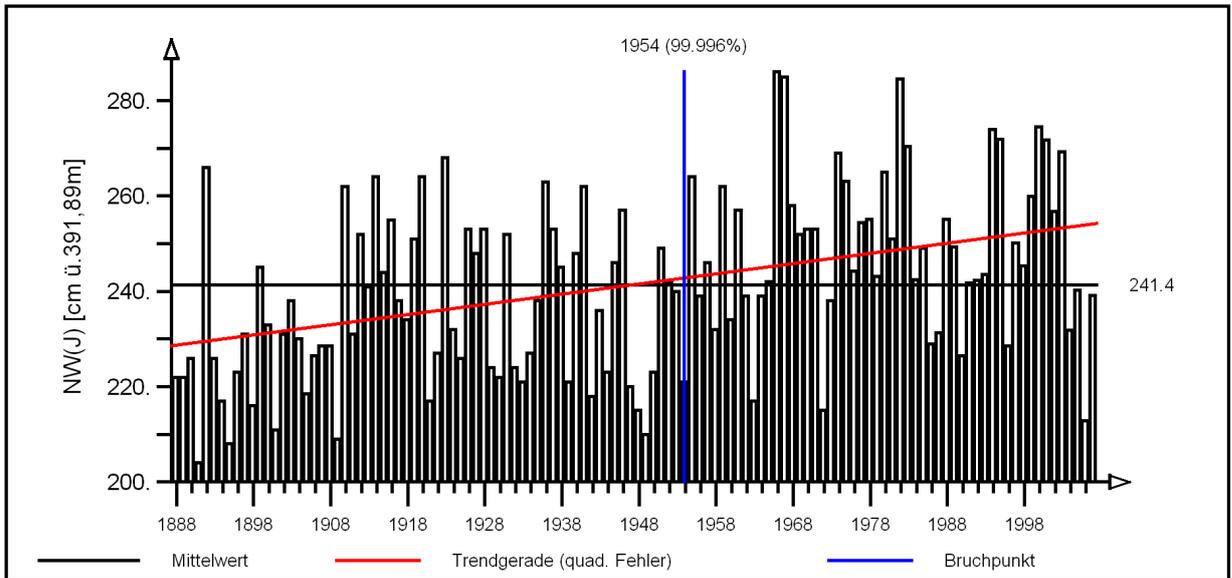
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-11: Langzeitverhalten der jährlichen Niedrigwasserstände NW(J) für die Zeitspanne 1888-2007 am Pegel Konstanz/Bodensee

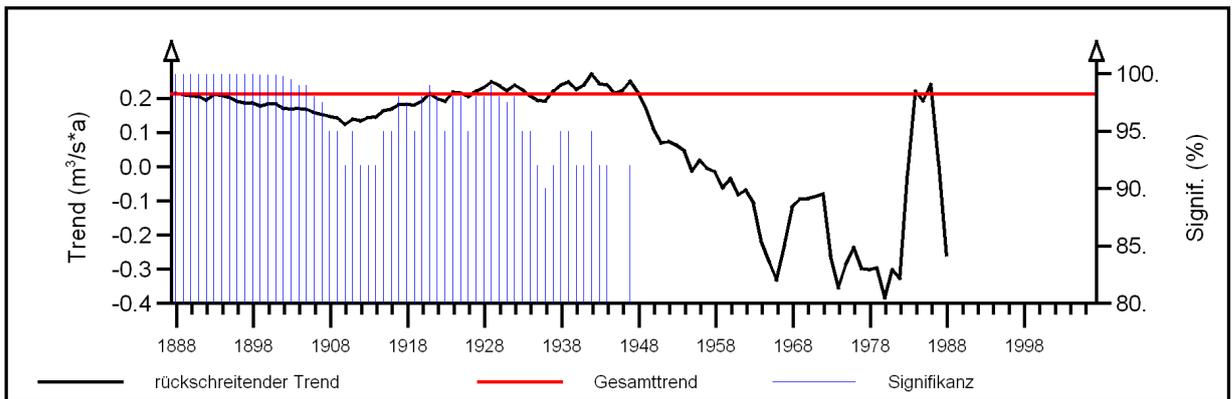
Pegel Berlingen/Bodensee(Untersee)

(Pegel-Nr. 135)

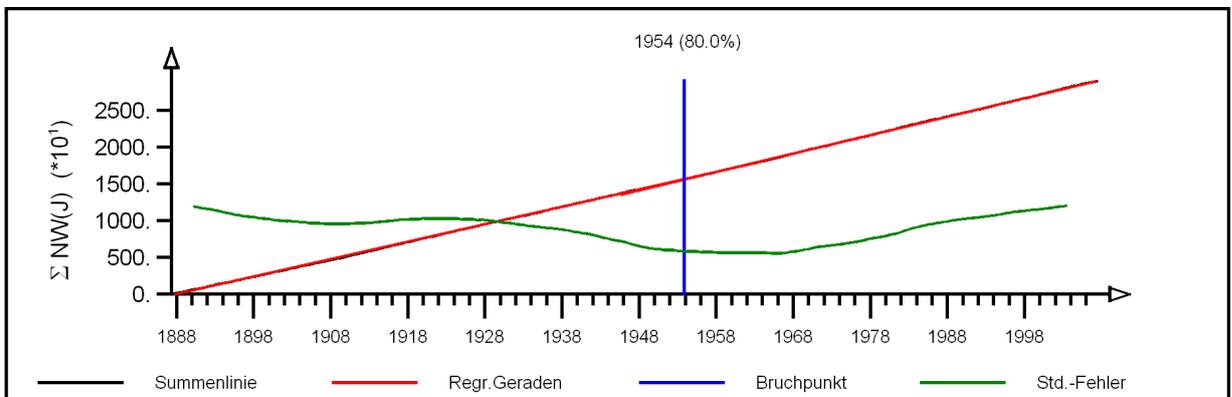
jährliche Niedrigwasserstände NW(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $0.214 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{a}$
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 99.999%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



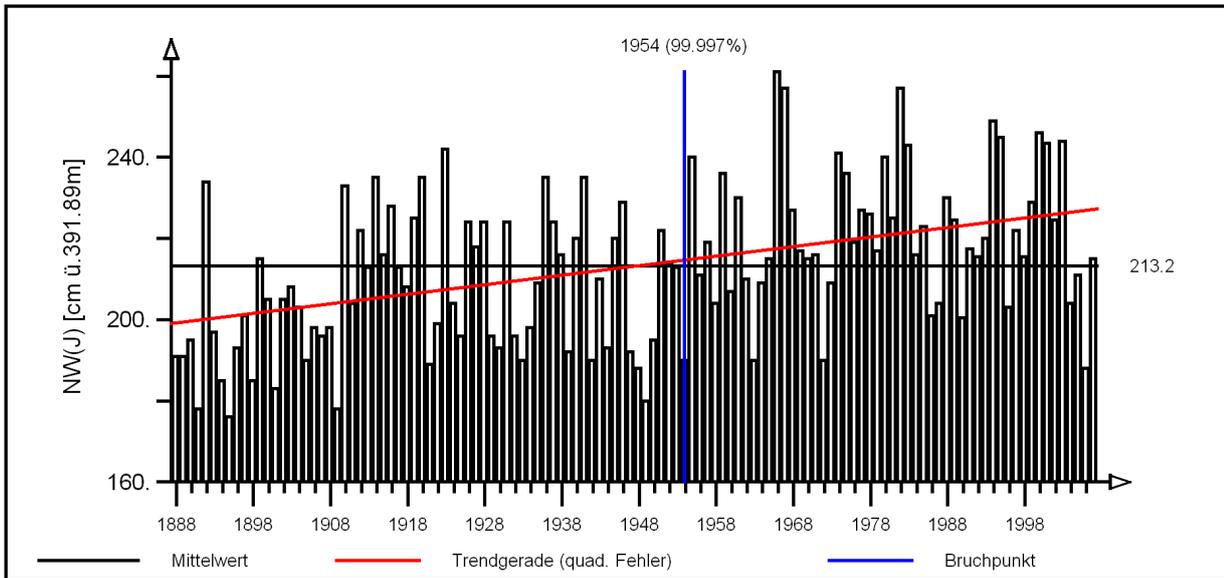
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-12: Langzeitverhalten der jährlichen Niedrigwasserstände NW(J) für die Zeitspanne 1888-2007 am Pegel Berlingen/Bodensee

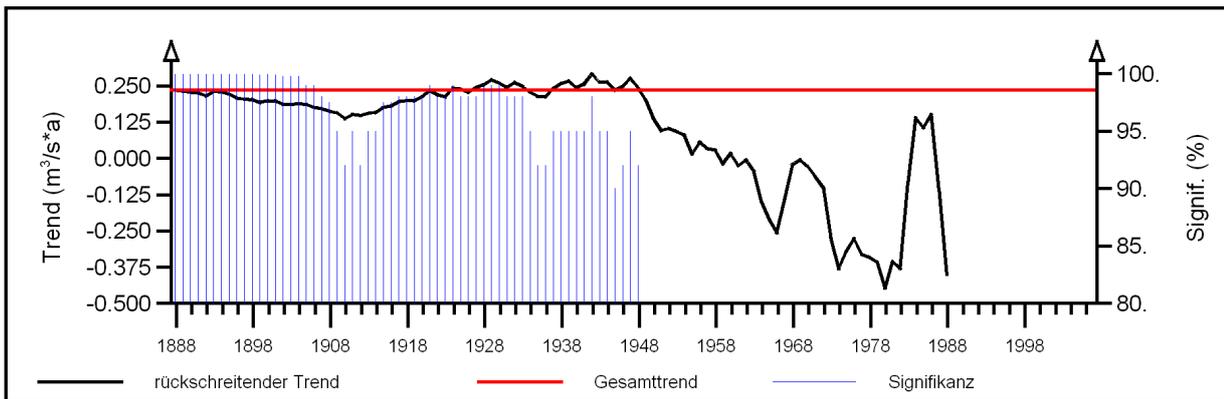
Pegel Stein-Burg/Rhein

(Pegel-Nr. 36229)

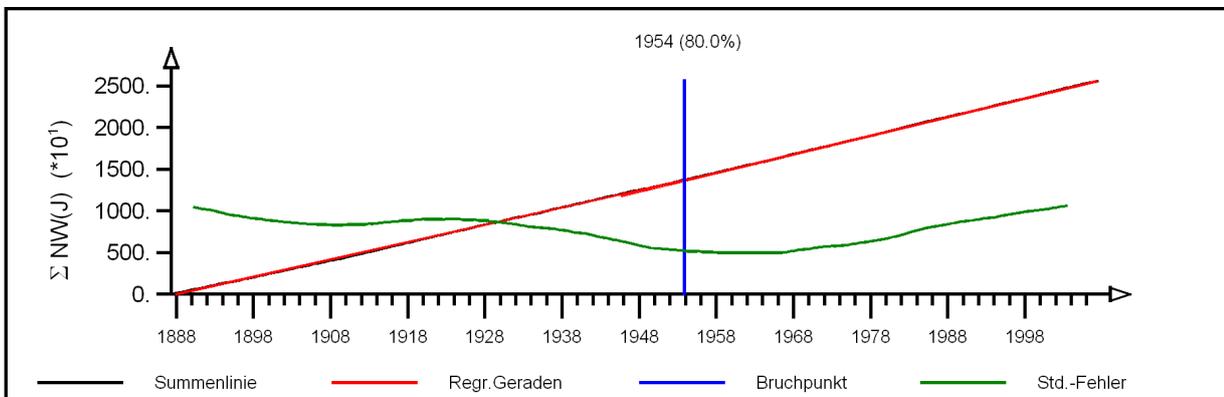
jährliche Niedrigwasserstände des Wasserstandes NW(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $0.235 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 99.999%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



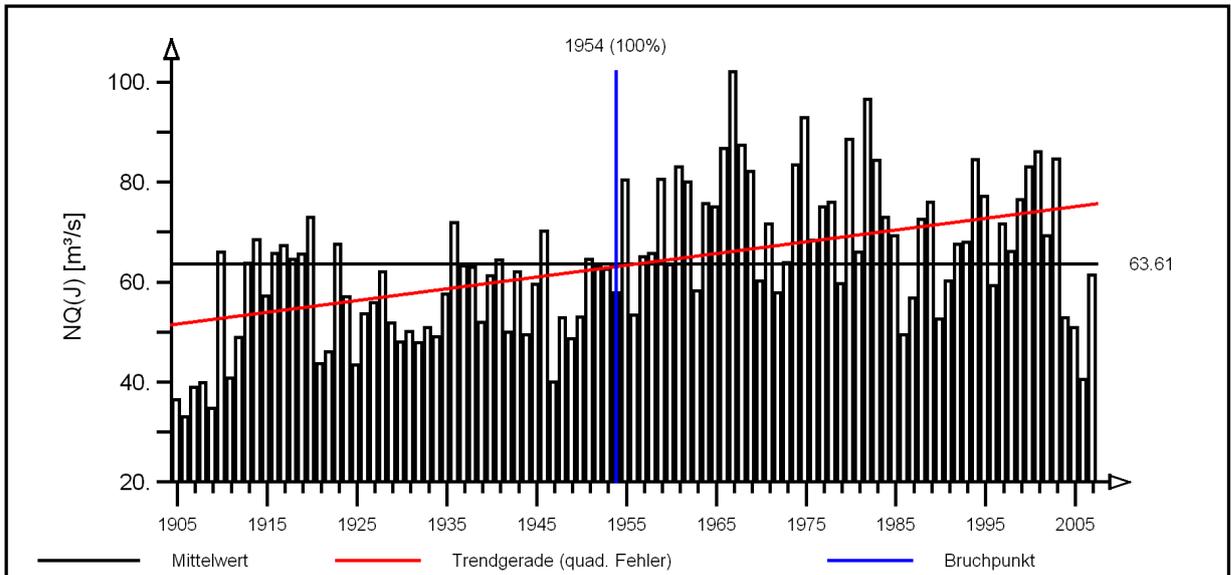
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-13: Langzeitverhalten der jährlichen Niedrigwasserstände NW(J) für die Zeitspanne 1888-2007 am Pegel Stein-Burg/Rhein

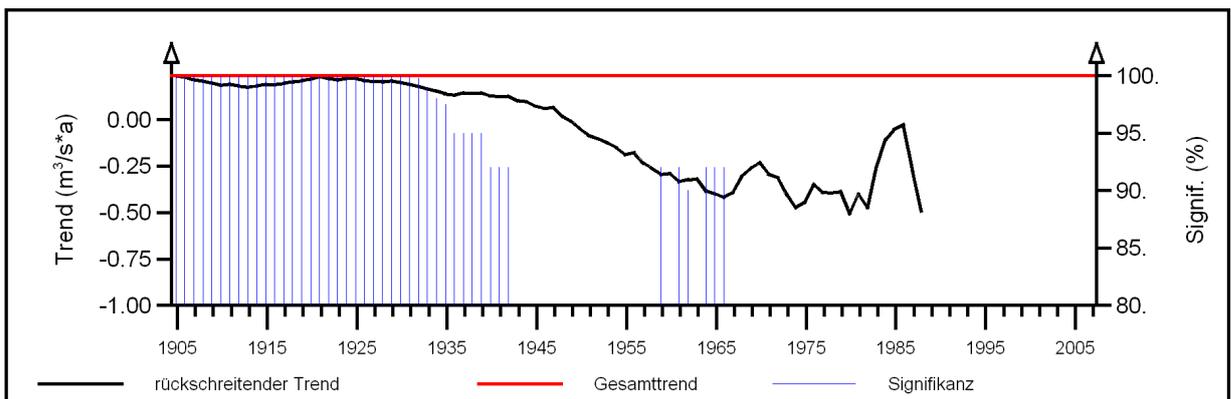
Pegel Diepoldsau/Rhein

(Pegel-Nr. 2473)

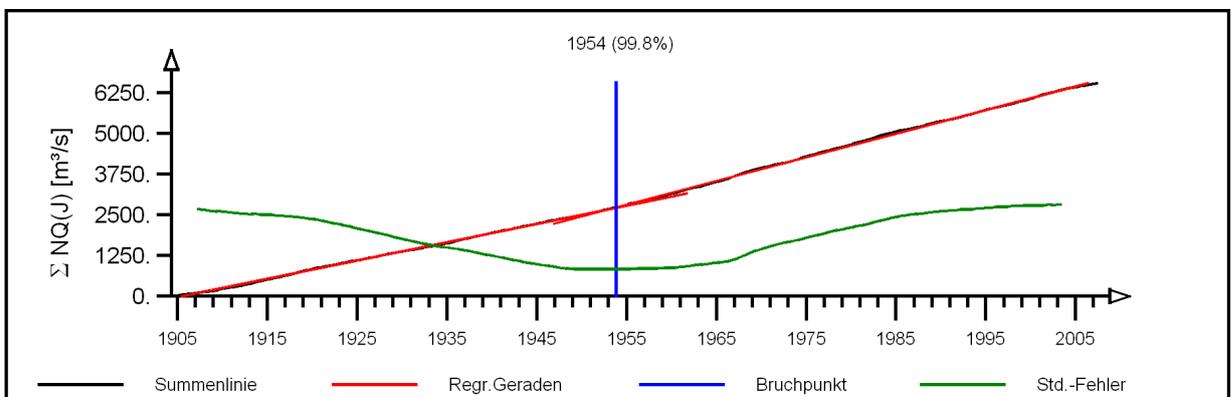
jährliche Niedrigstwerte des Abflusses NQ(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $0.235 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 99.999%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



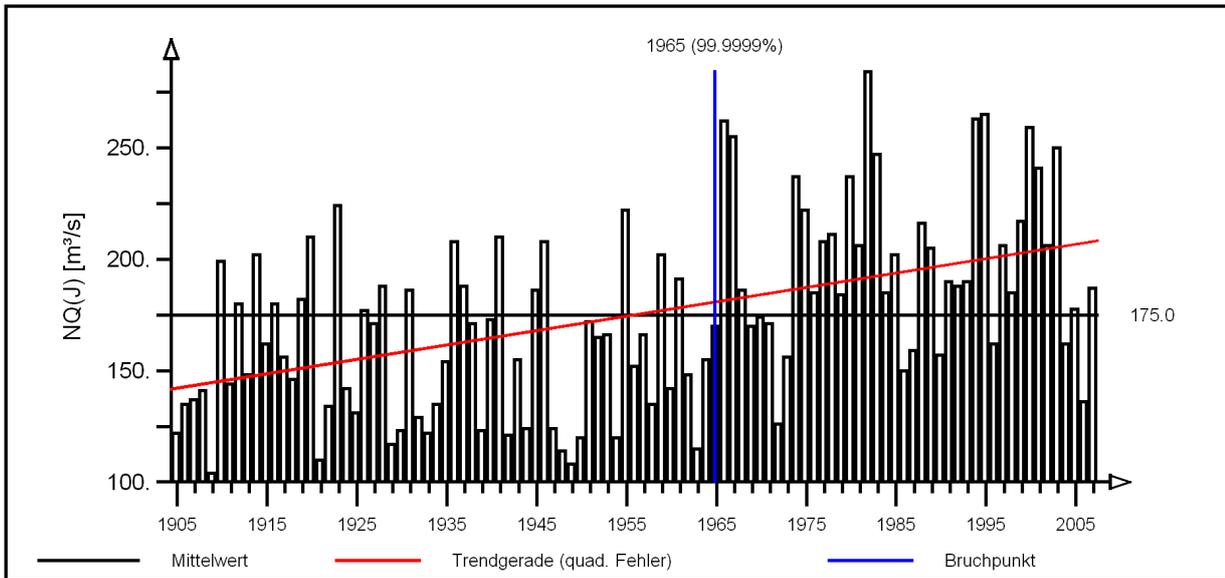
Signifikanz des Bruchpunkts nach dem Summenlinienverfahren
 und Verlauf der Summe des Standardfehlers

Abb. A-14: Langzeitverhalten der jährlichen Niedrigwasserabflüsse NQ(J) für die Zeitspanne 1905-2007 am Pegel Diepoldsau/Rhein

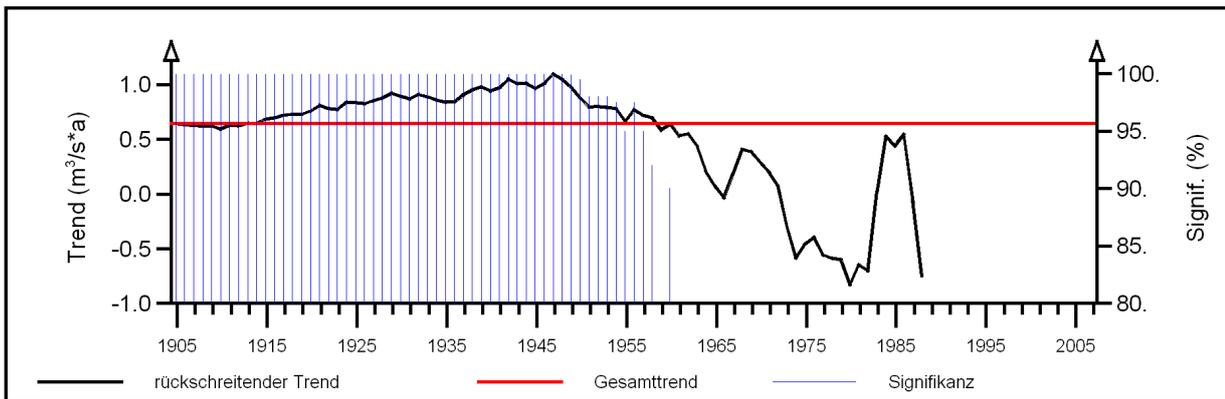
Pegel Neuhausen-Flurl.Brücke/Rhein

(Pegel-Nr. 2288)

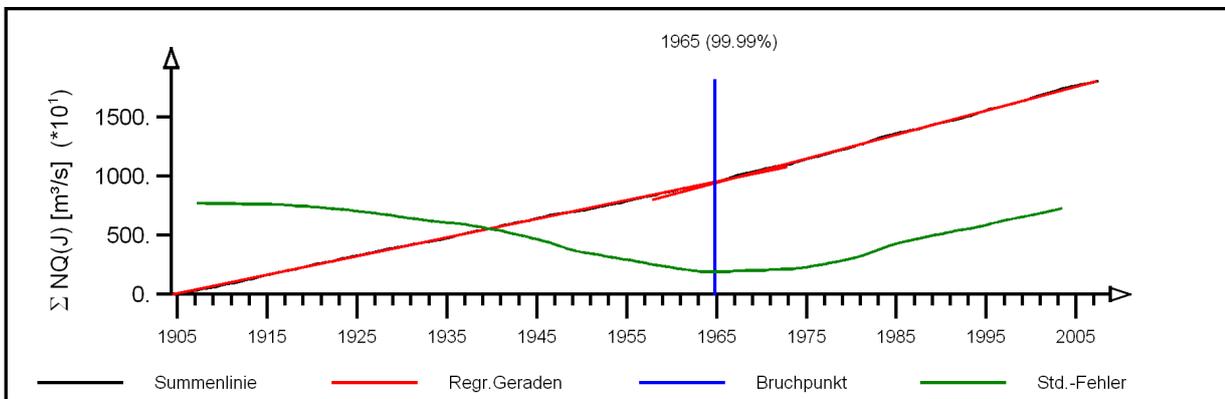
jährliche Niedrigstwerte des Abflusses NQ(J)



Mittelwert, Bruchpunkt nach Mann-Whitney und linearer Trend: $0.646 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
 (Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 99.999%)



Rückschreitender Trend mit Signifikanz nach Mann-Kendall



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

Abb. A-15: Langzeitverhalten der jährlichen Niedrigwasserabflüsse NQ(J) für die Zeitspanne 1905-2007 am Pegel Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

Anlage B

Langzeitanalyse der monatlichen Wasserstands-Kennwerte sowie der monatlichen Zu- und Ausfluss-Kennwerte des Bodensees

mittlere Monatswerte MW(Jan)

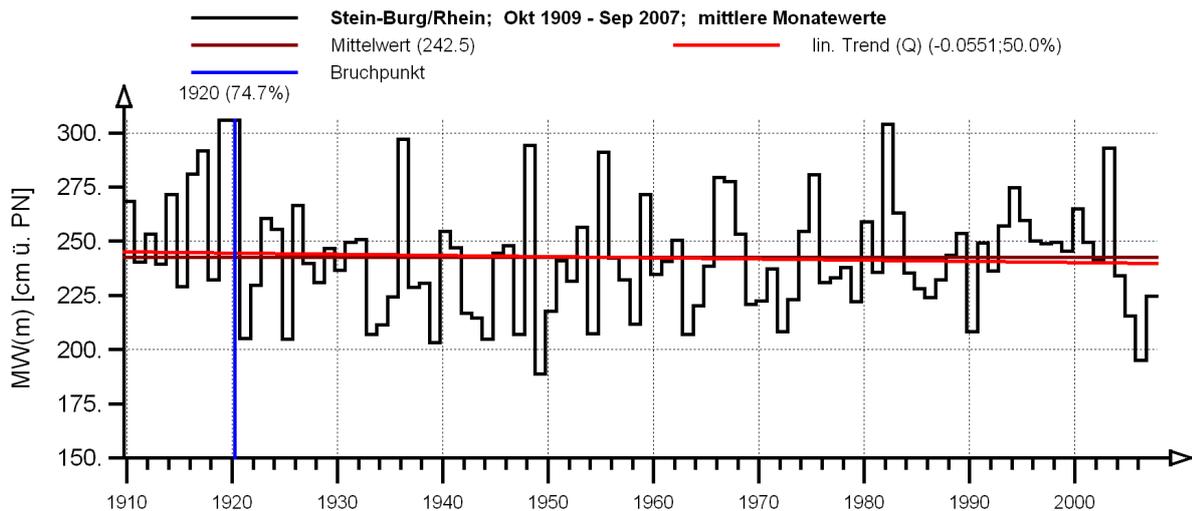
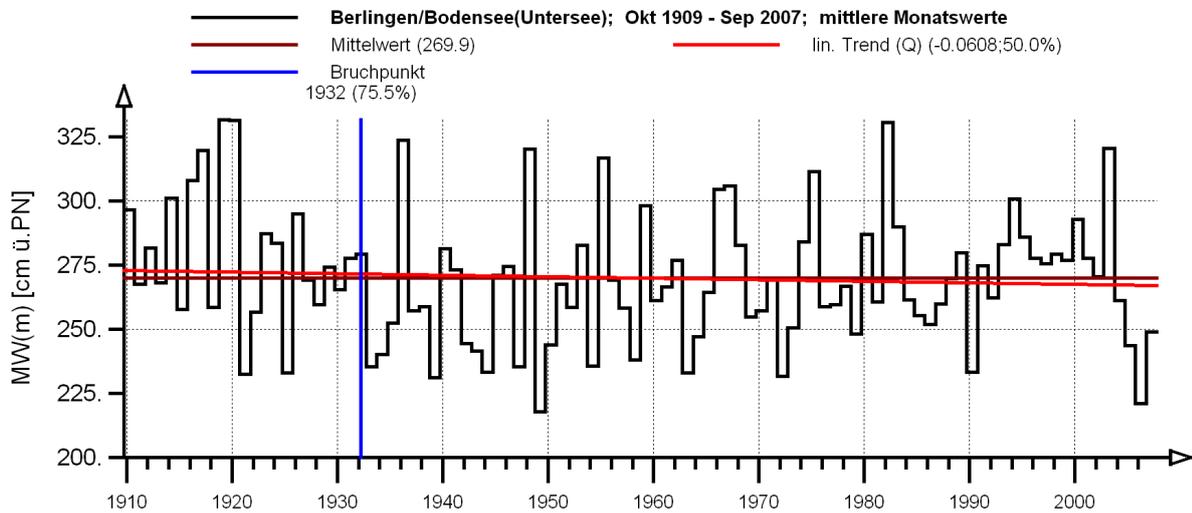
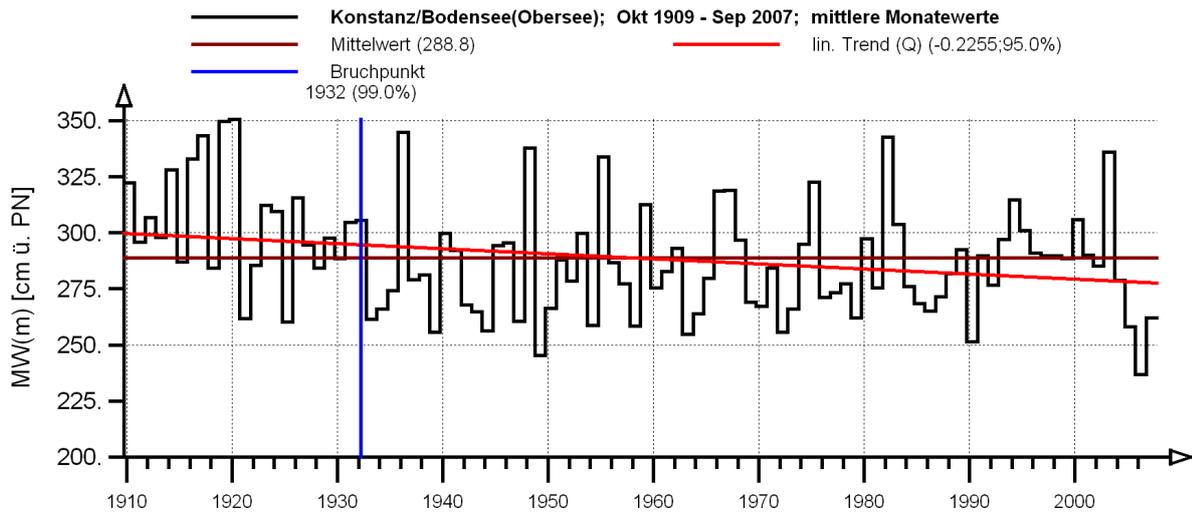


Abb. B-1: Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(m) des Monats Januar für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein

mittlere Monatswerte MQ(Jan)

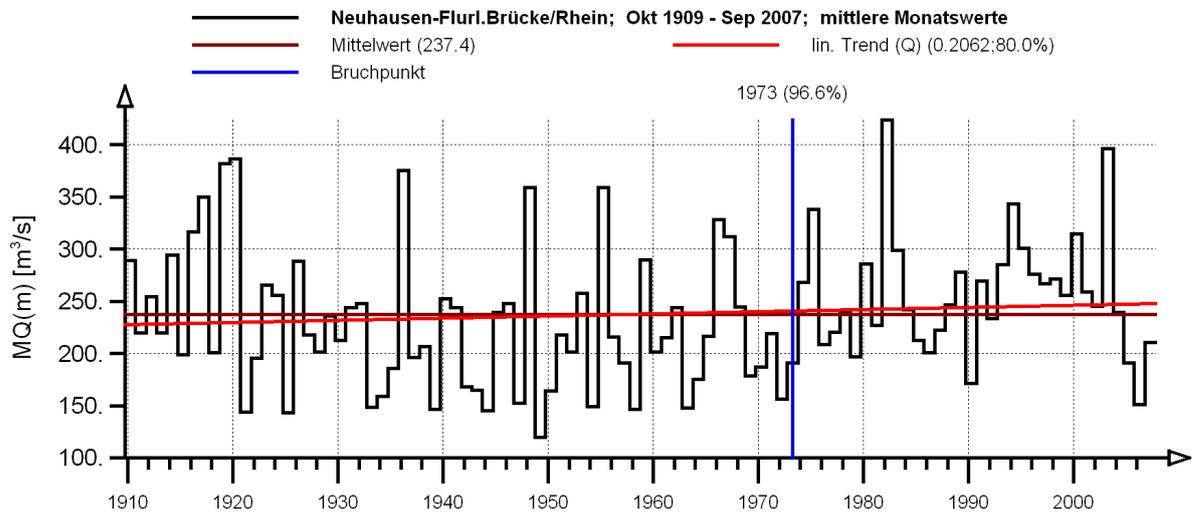
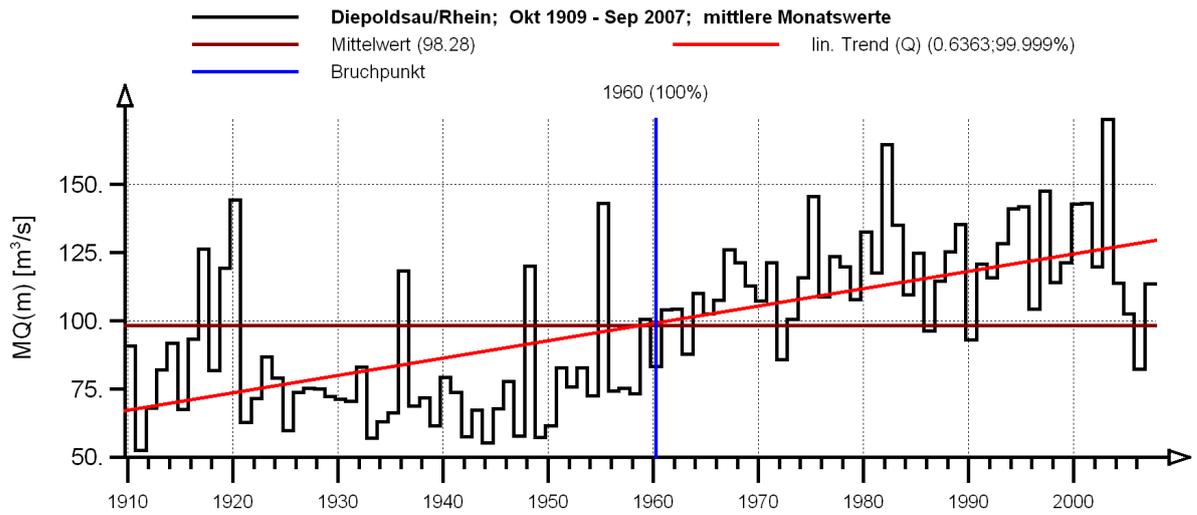


Abb. B-2: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse MQ(m) des Monats Januar für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

mittlere Monatswerte MW(Feb)

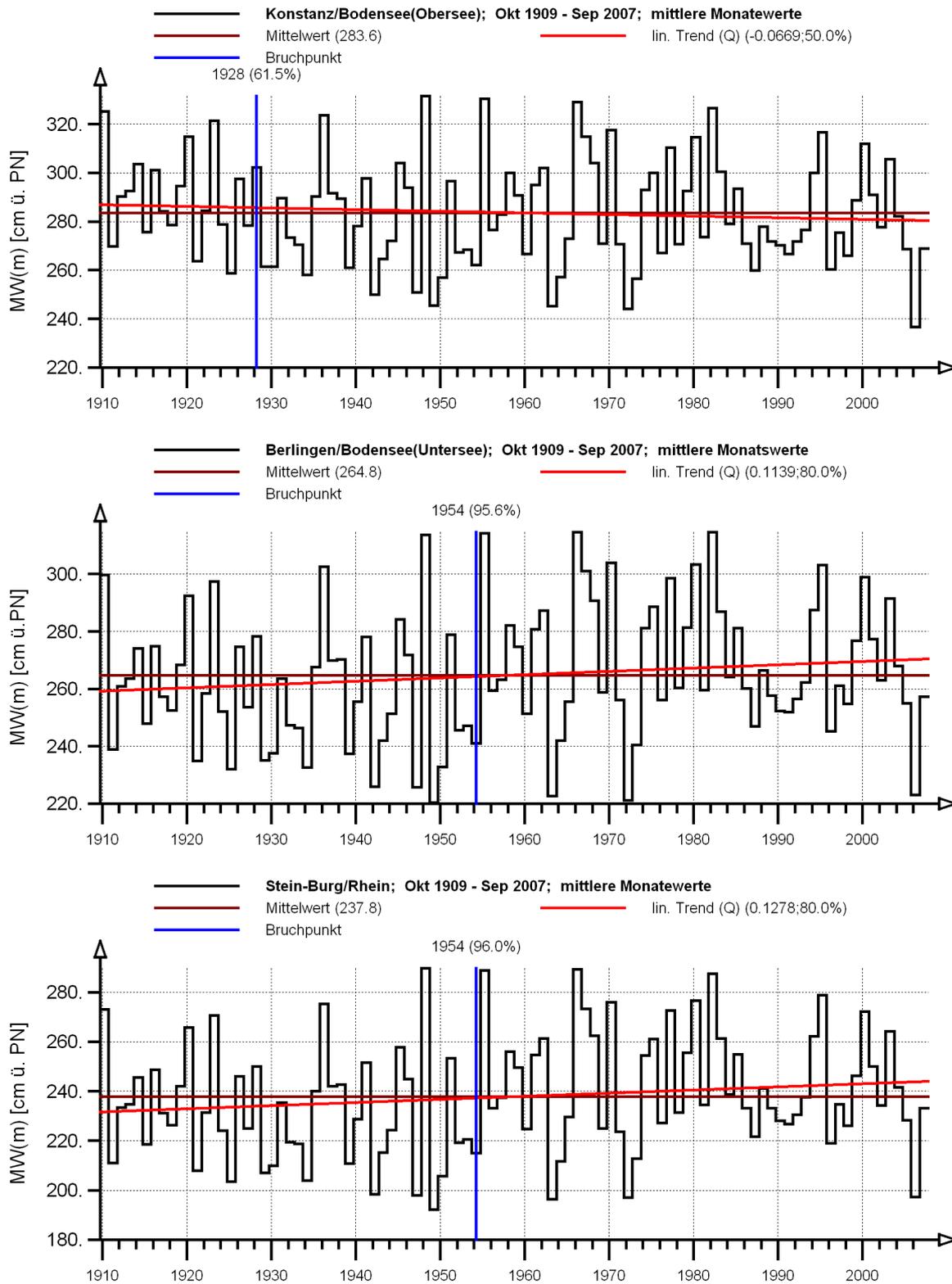


Abb. B-3: Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(m) des Monats Februar für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein

mittlere Monatswerte MQ(Feb)

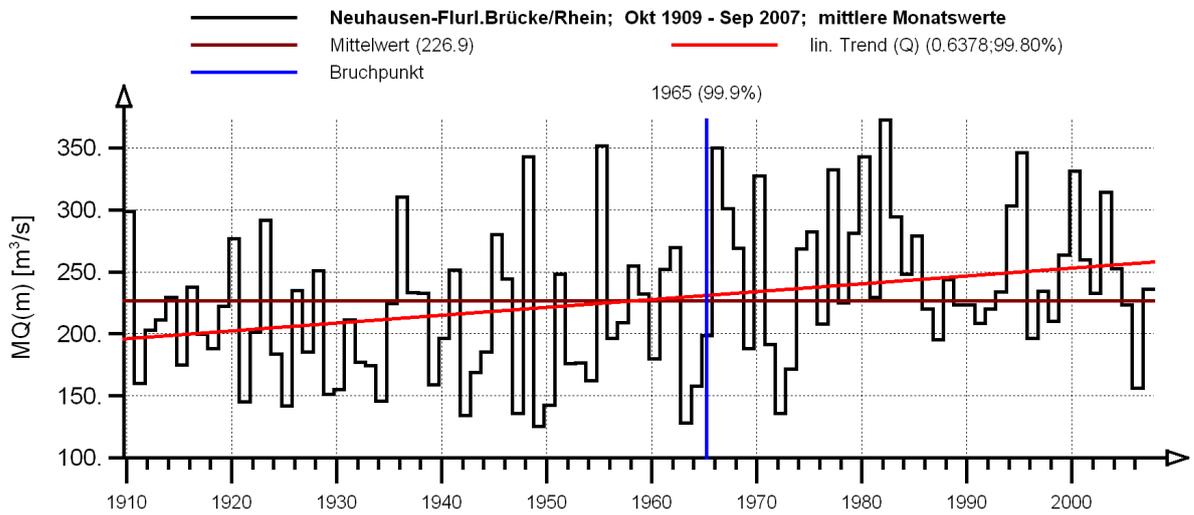
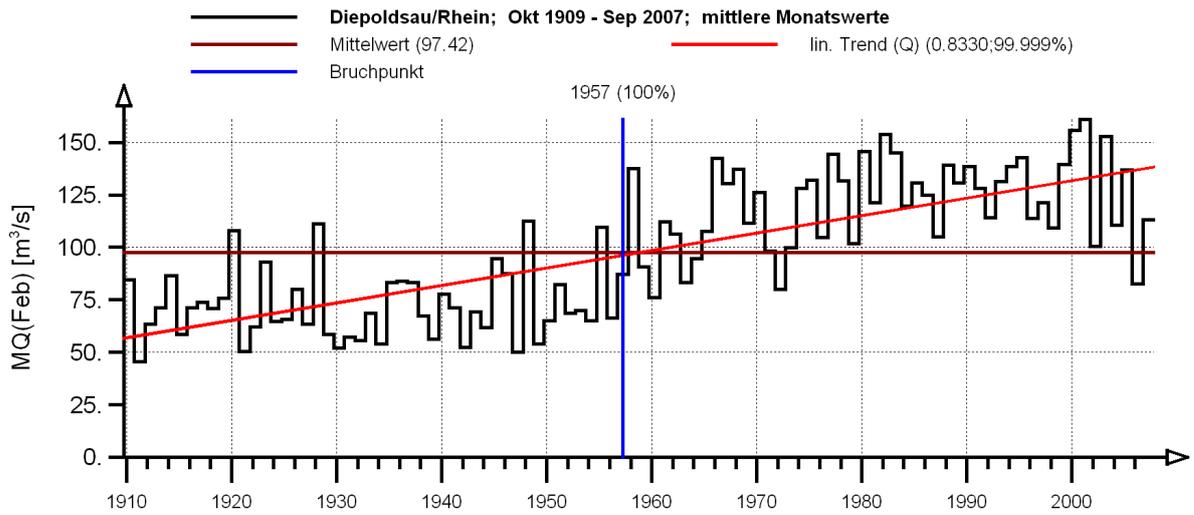


Abb. B-4: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse MQ(m) des Monats Februar für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

mittlere Monatswerte MW(Mrz)

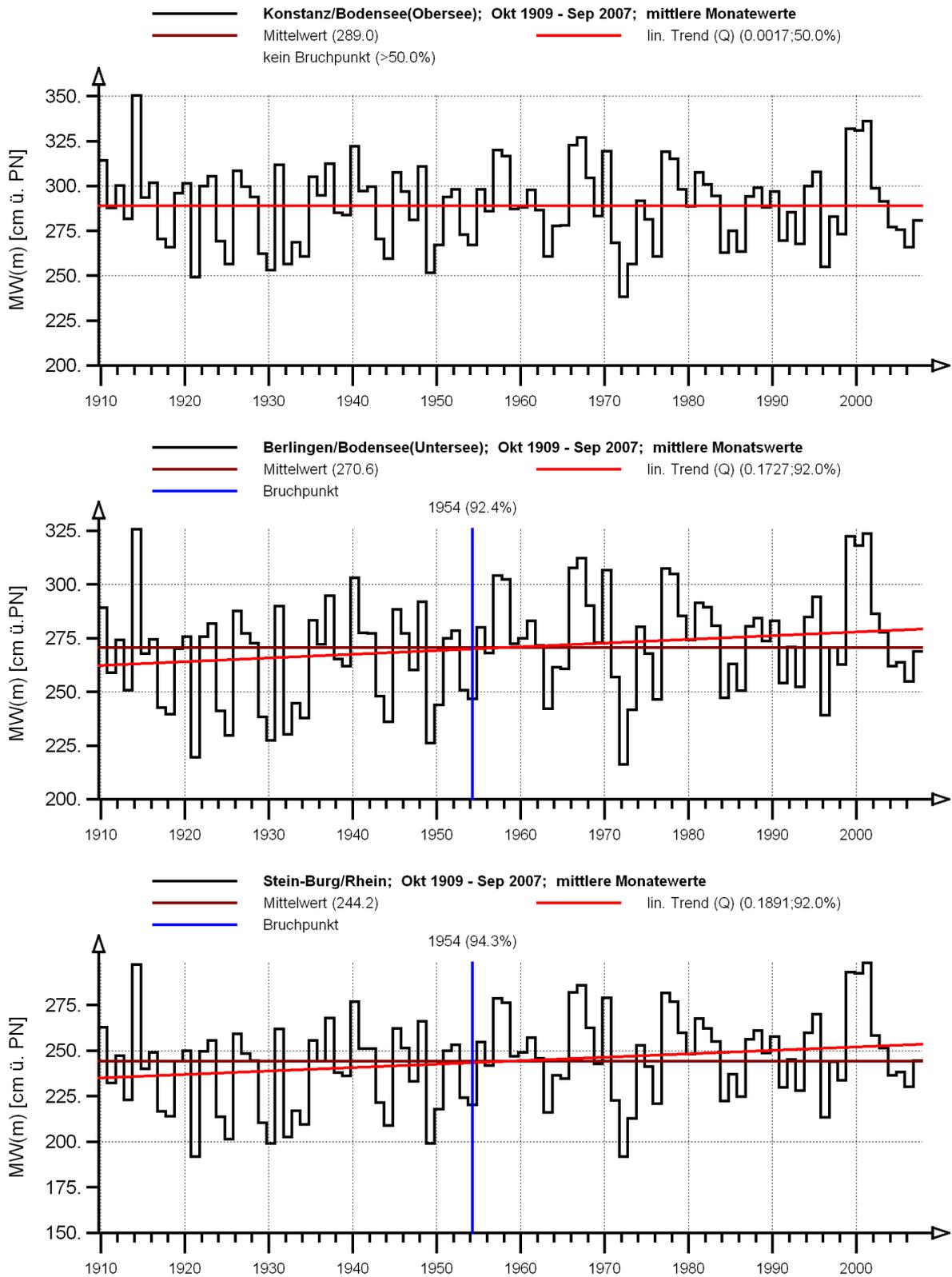


Abb. B-5: Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(m) des Monats März für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein

mittlere Monatswerte MQ(Mrz)

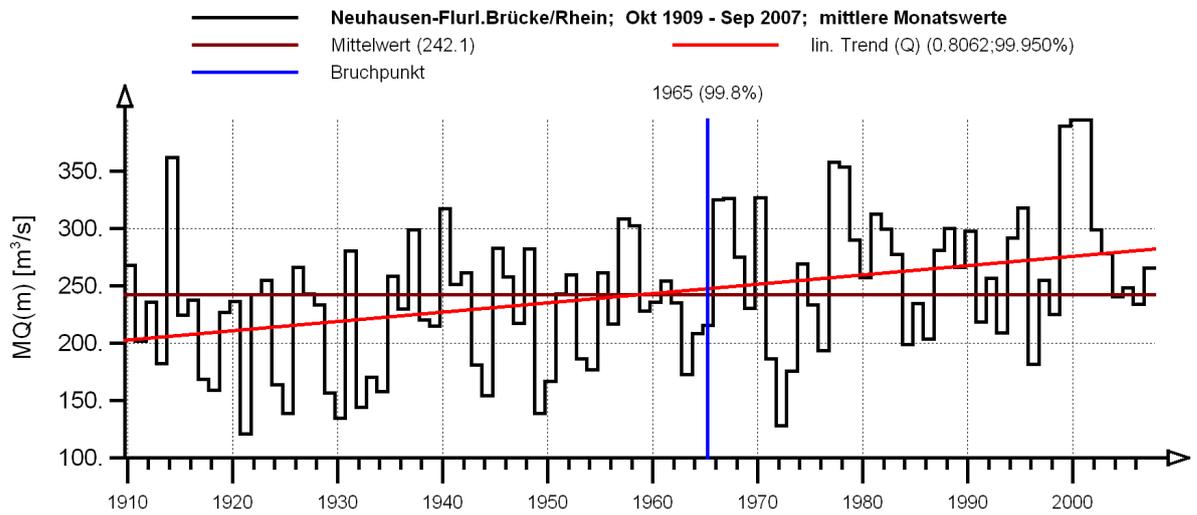
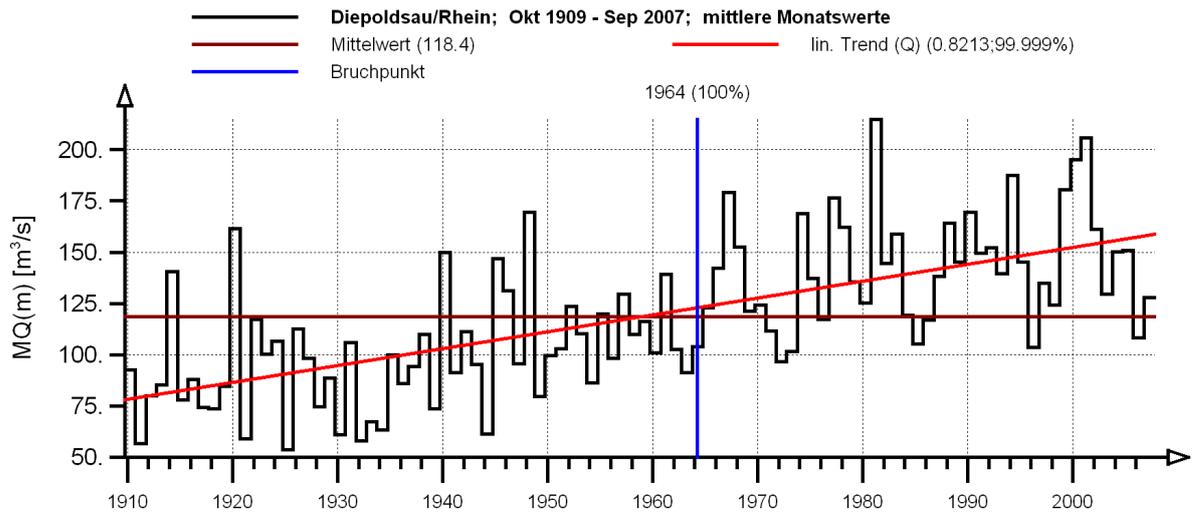


Abb. B-6: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse MQ(m) des Monats März für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

mittlere Monatswerte MW(Apr)

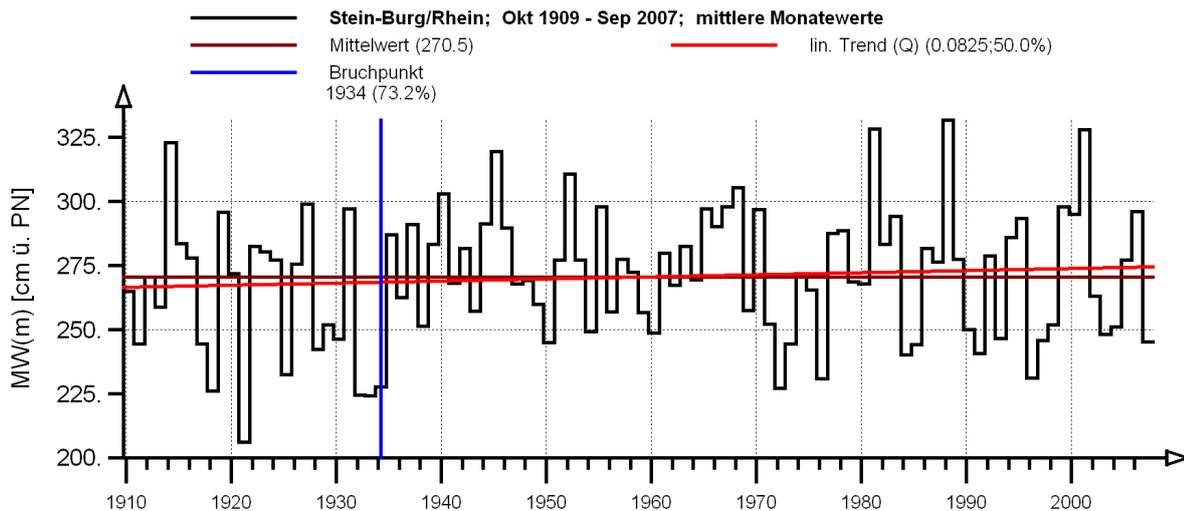
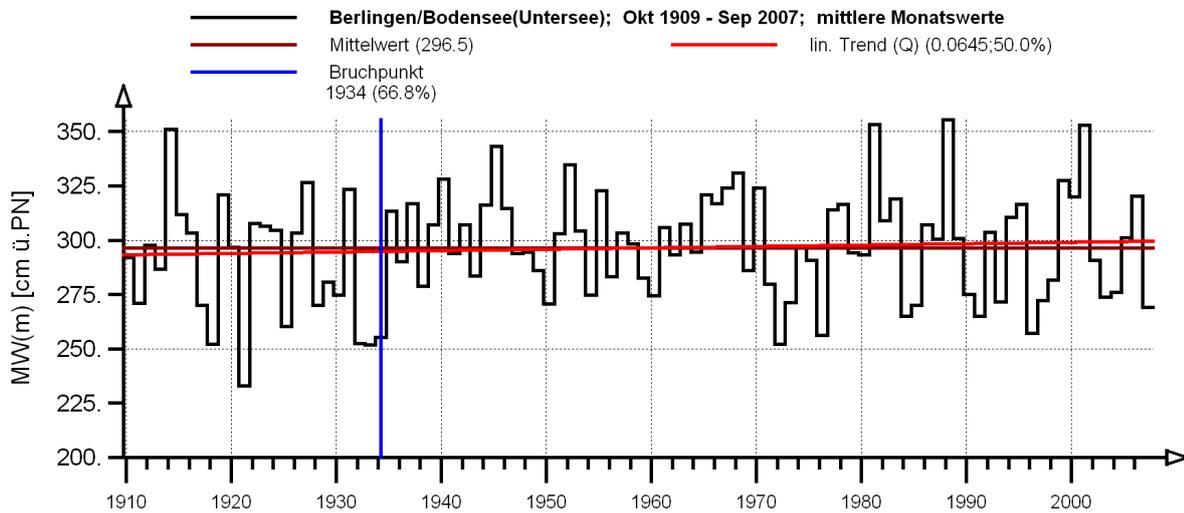
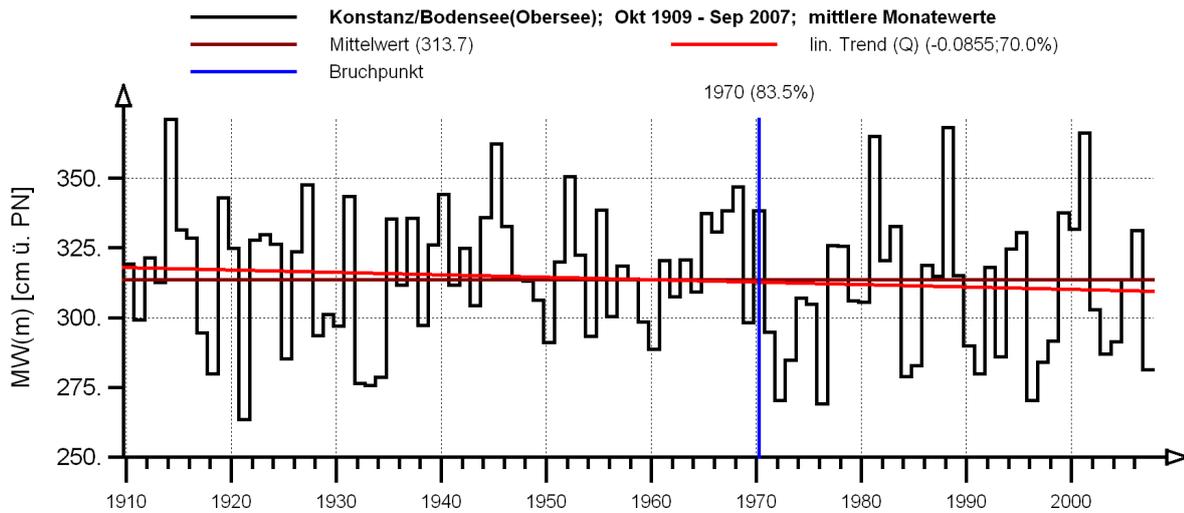


Abb. B-7: Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(m) des Monats April für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein

mittlere Monatswerte MQ(Apr)

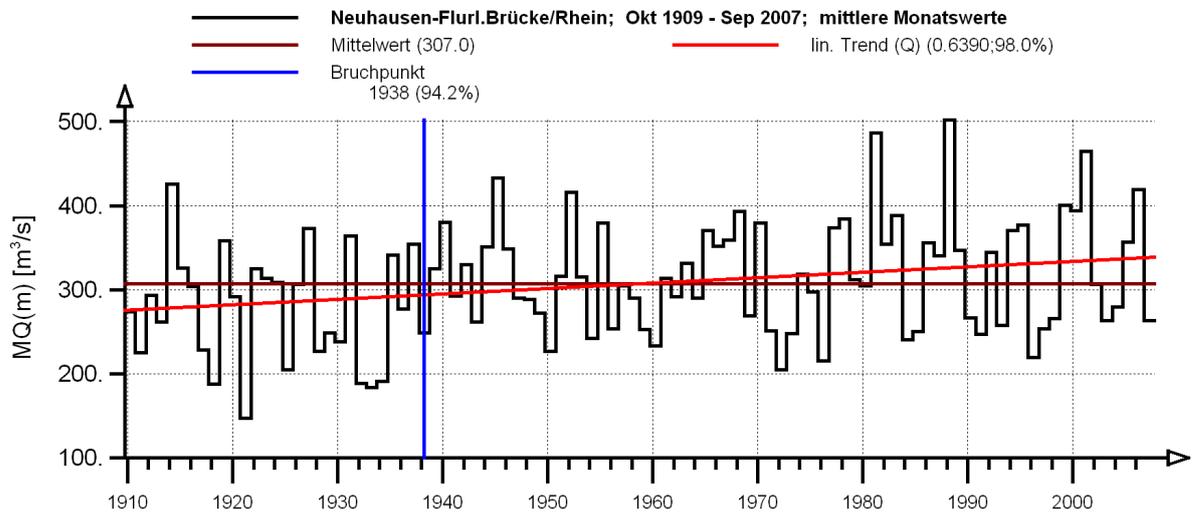
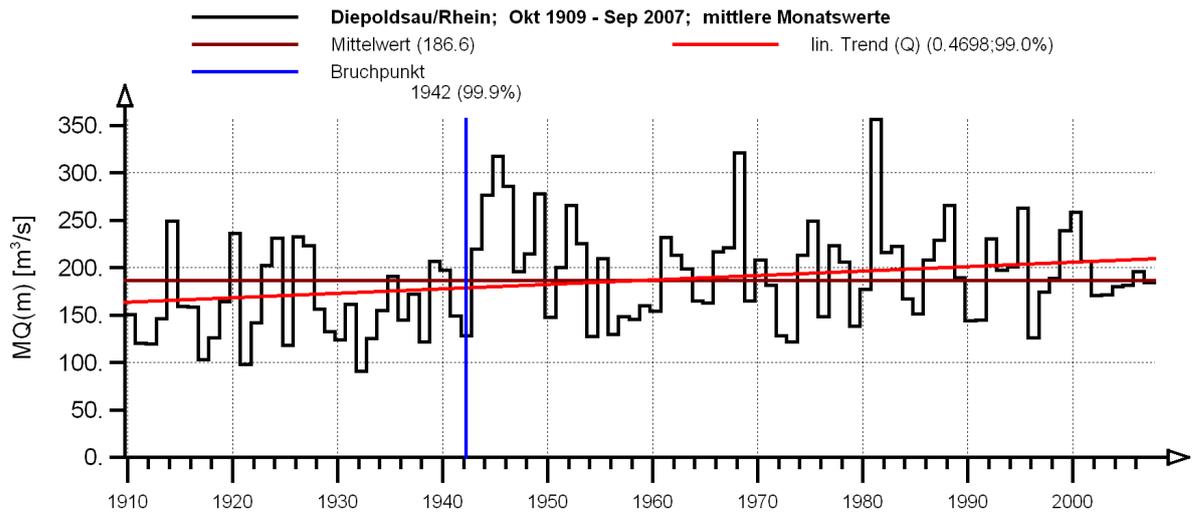


Abb. B-8: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse MQ(m) des Monats April für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

mittlere Monatswerte MW(Mai)

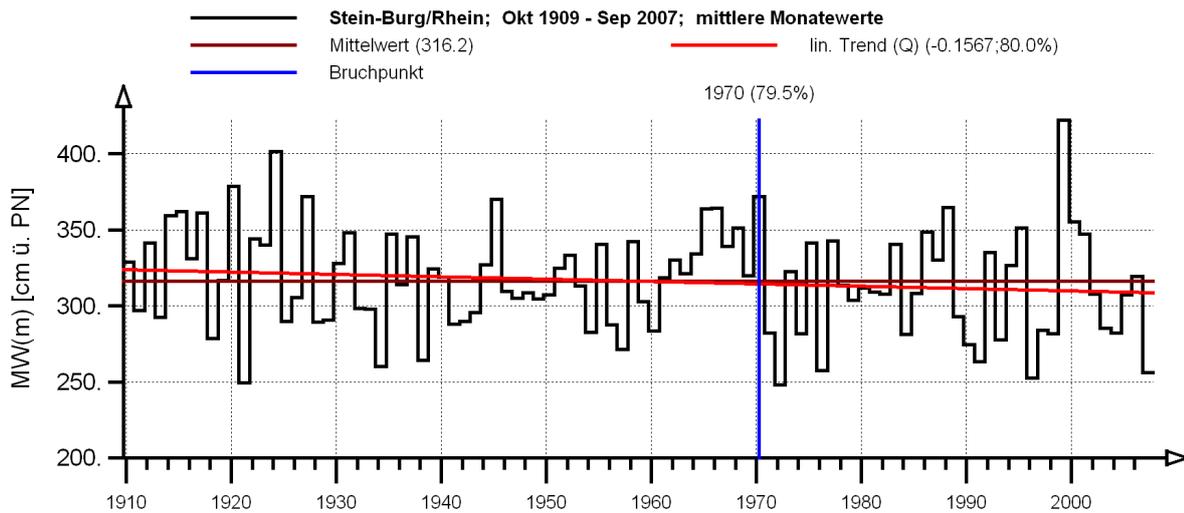
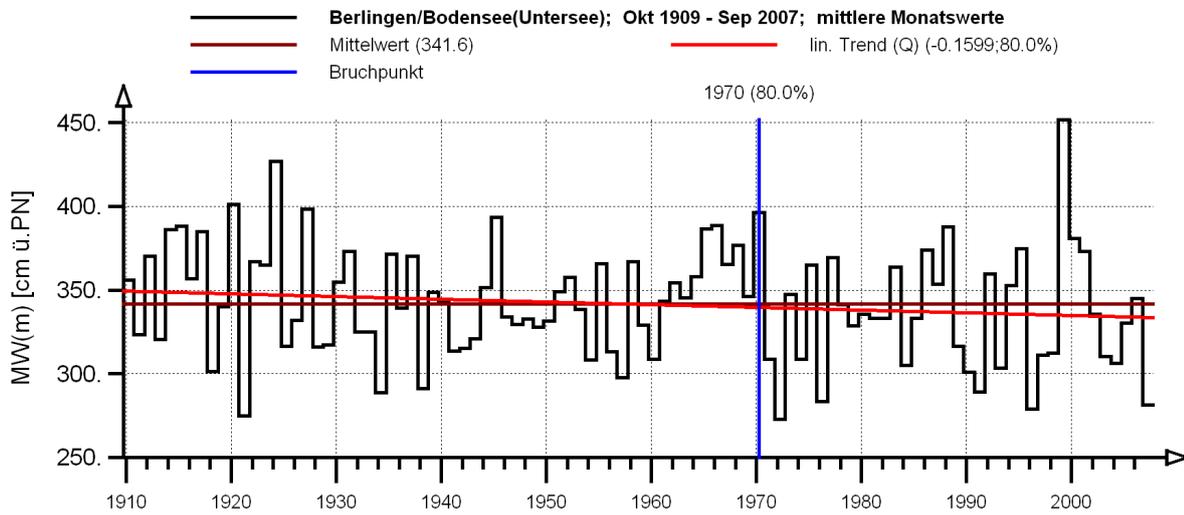
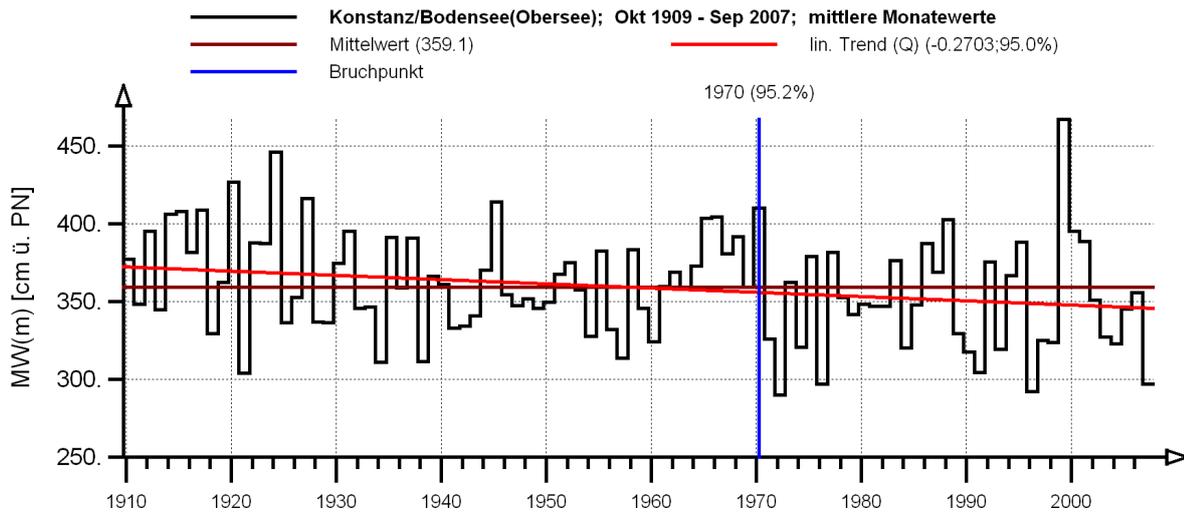


Abb. B-9: Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(m) des Monats Mai für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein

mittlere Monatswerte MQ(Mai)

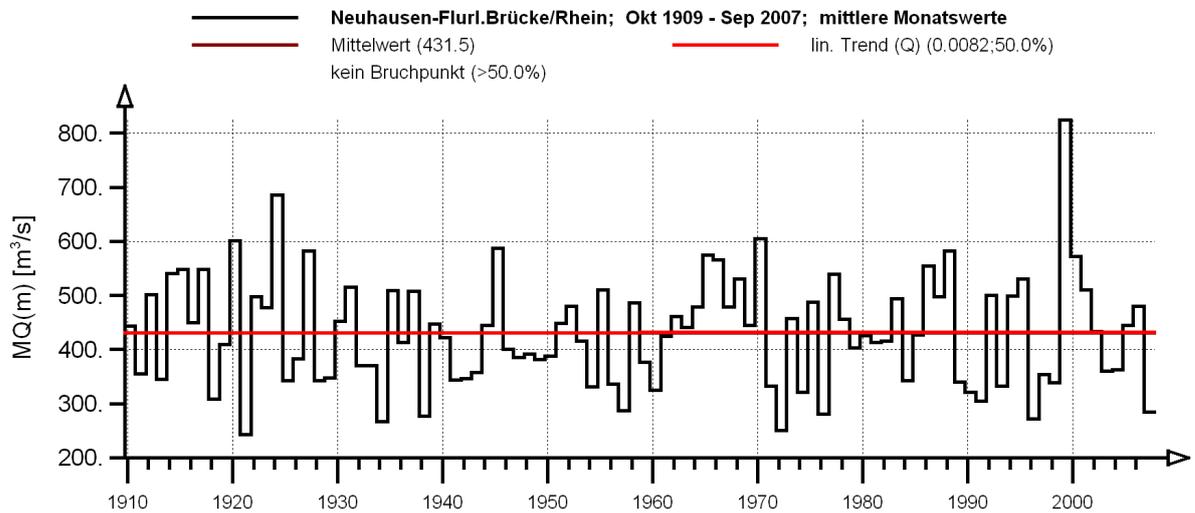
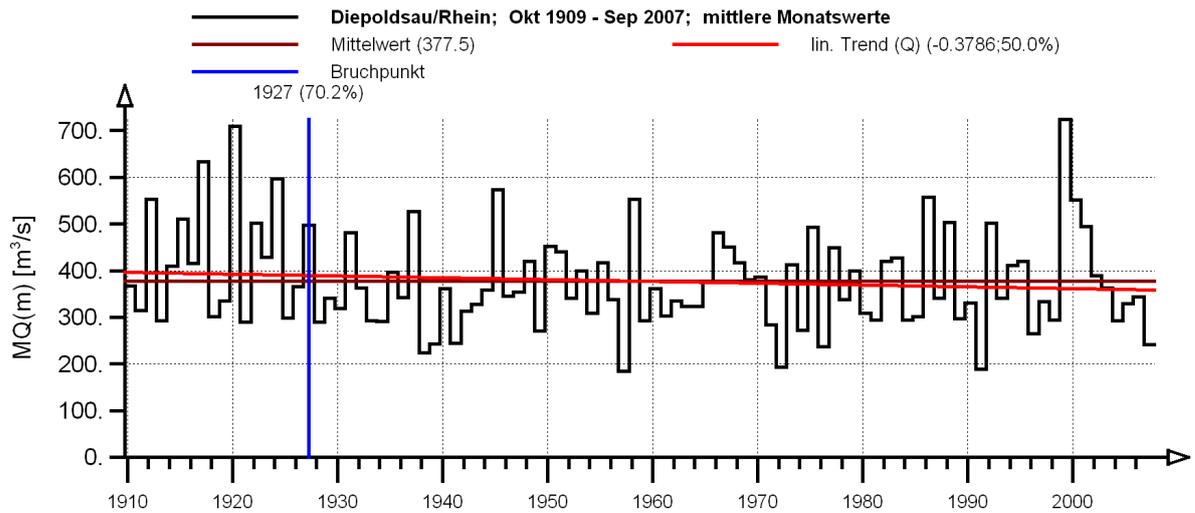


Abb. B-10: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse MQ(m) des Monats Mai für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

mittlere Monatswerte MW(Jun)

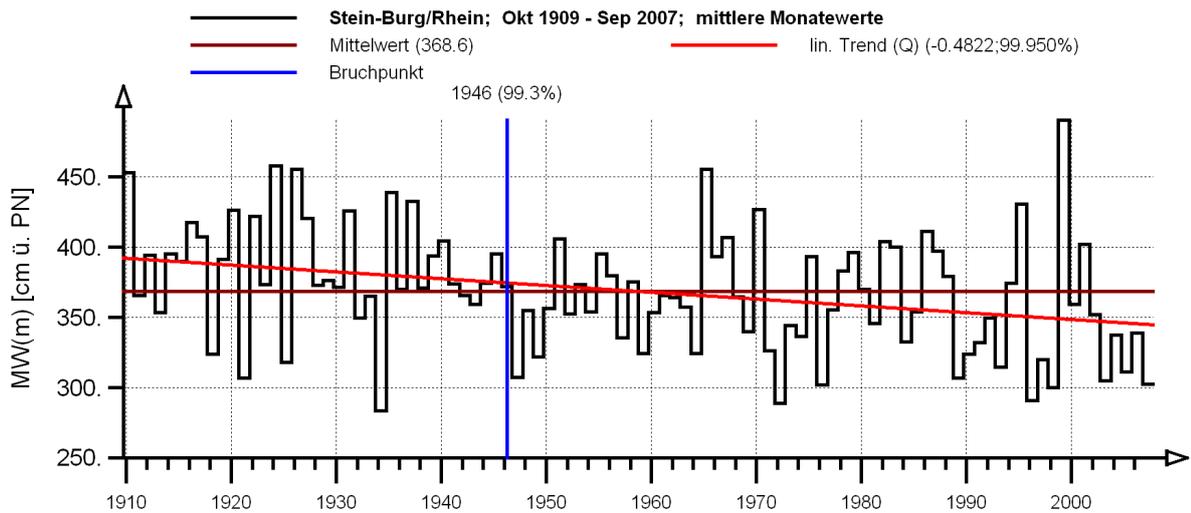
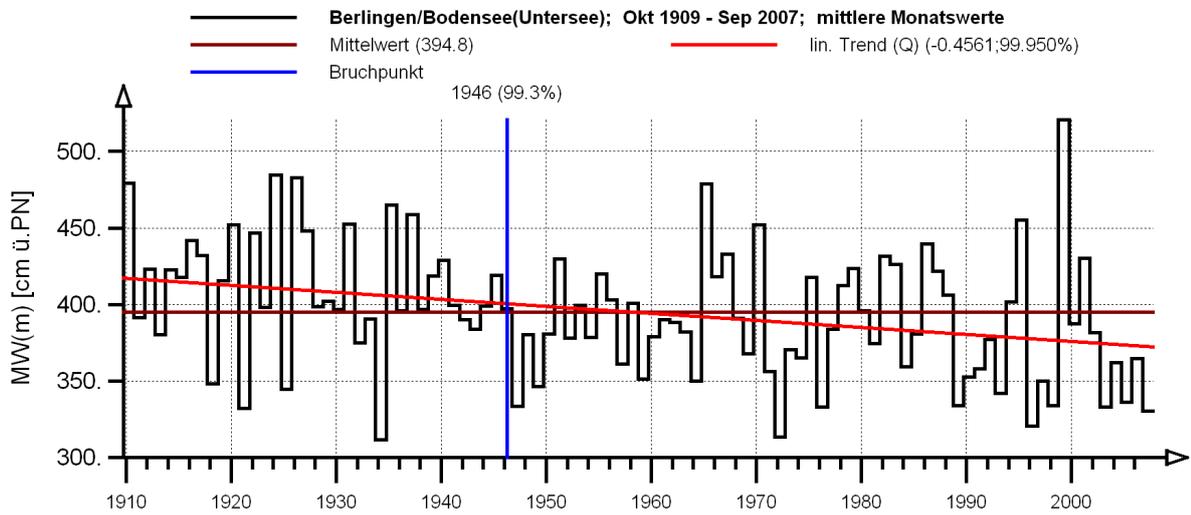
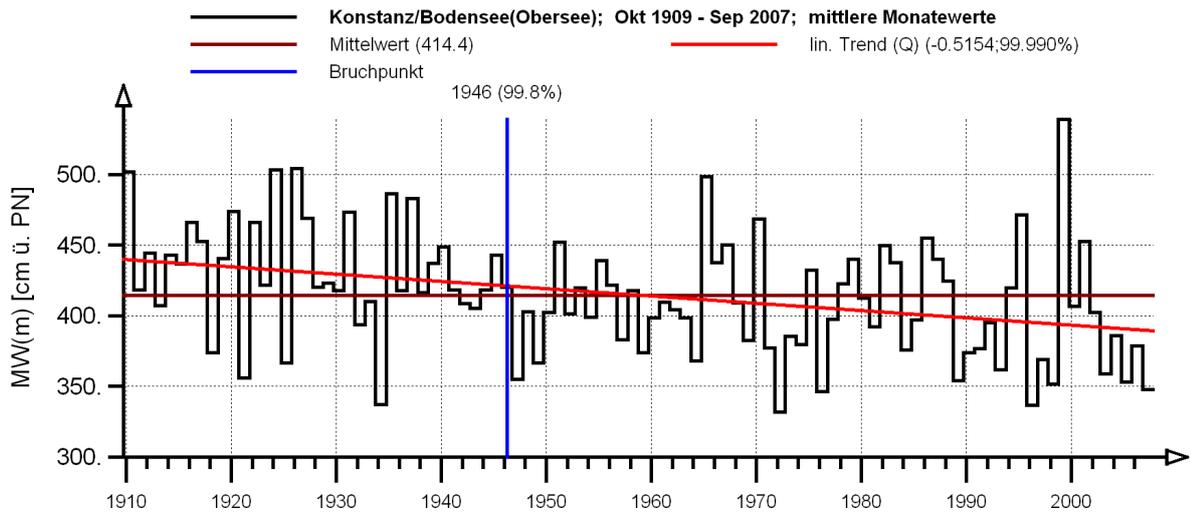


Abb. B-11: Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(m) des Monats Juni für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein

mittlere Monatswerte MQ(Jun)

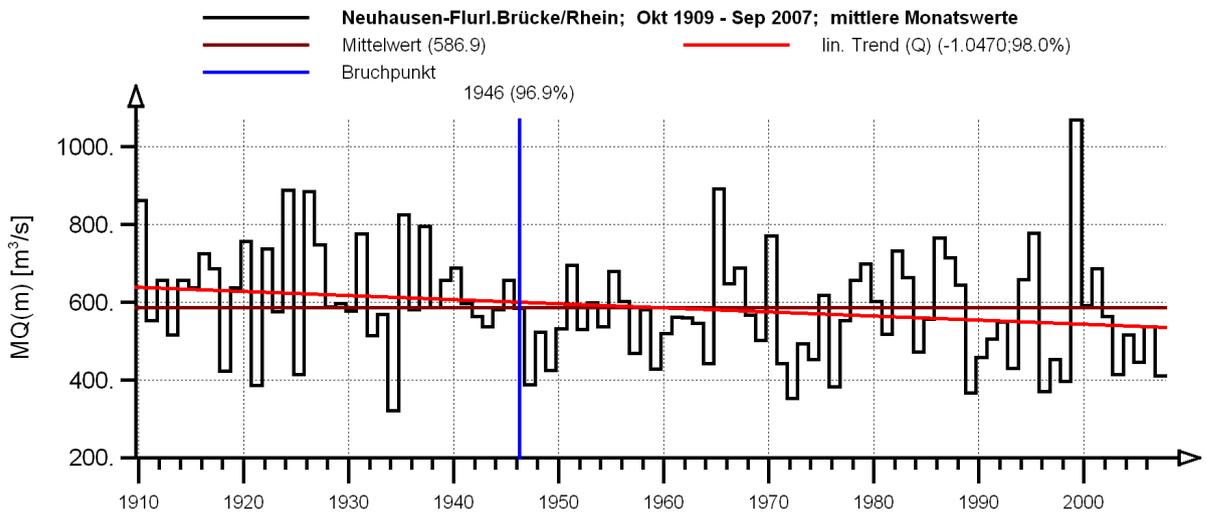
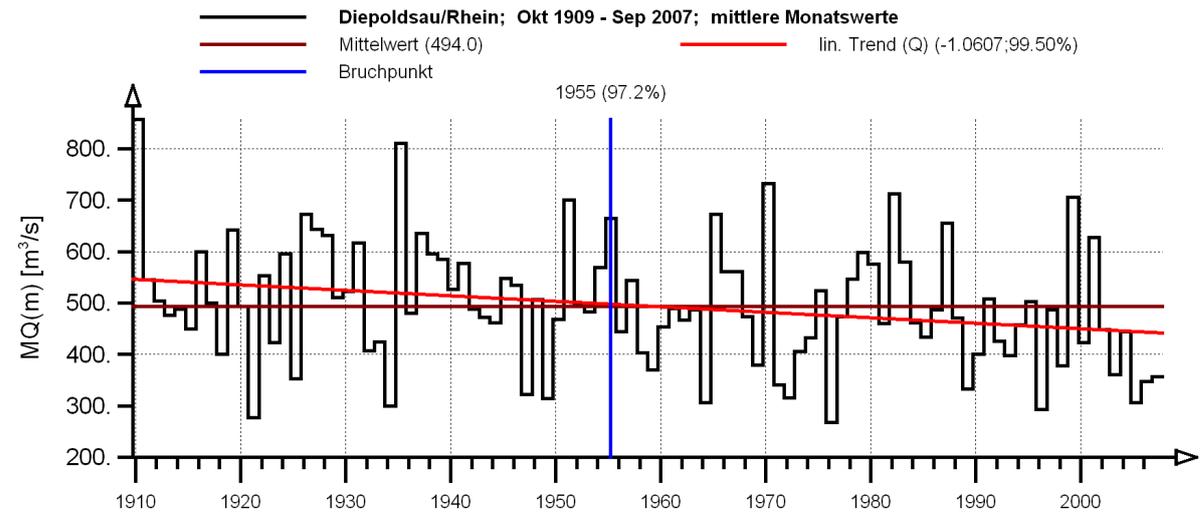


Abb. B-12: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse MQ(m) des Monats Juni für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

mittlere Monatswerte MW(Jul)

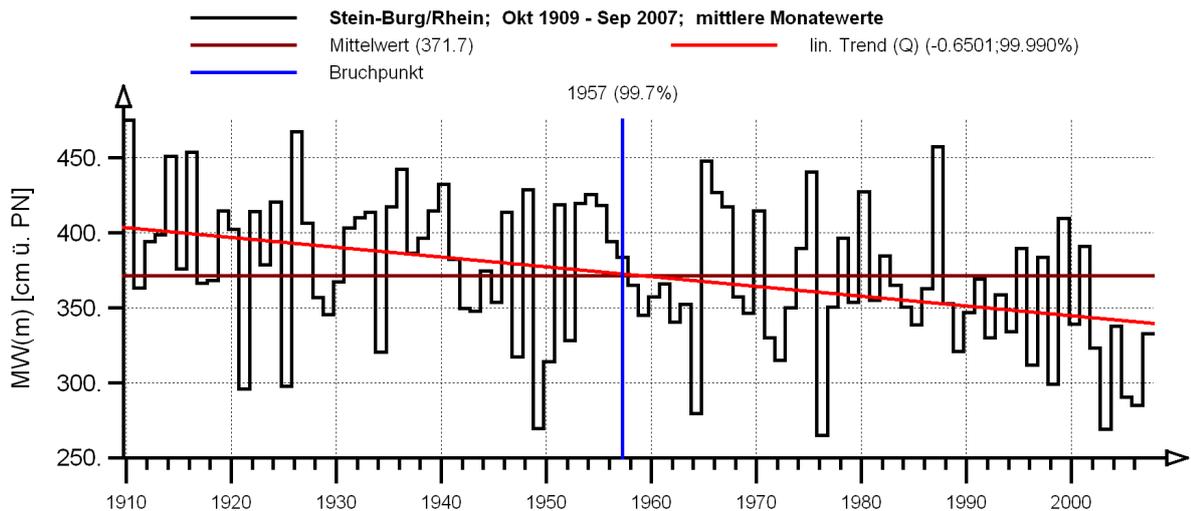
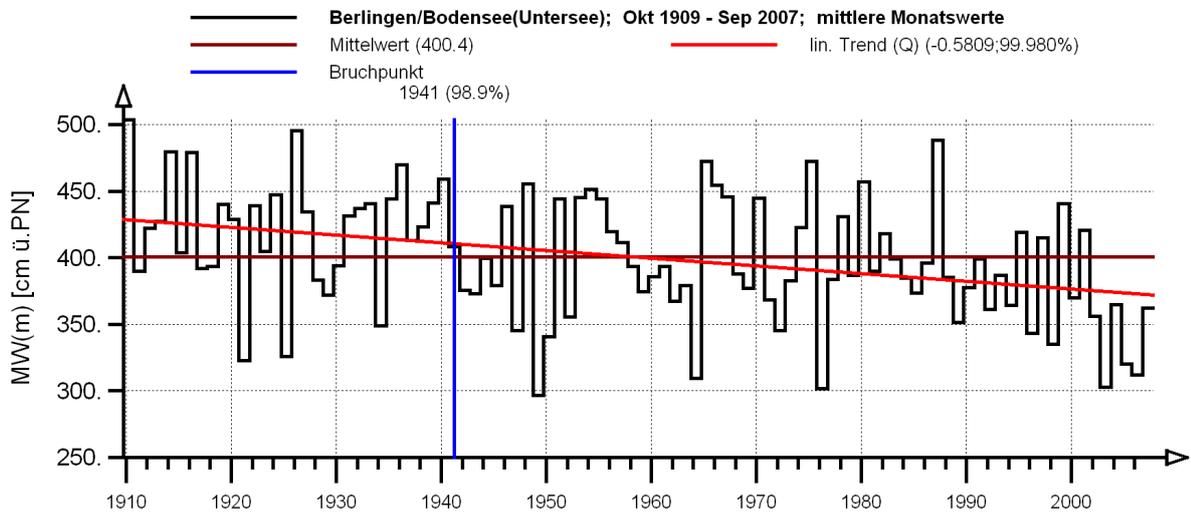
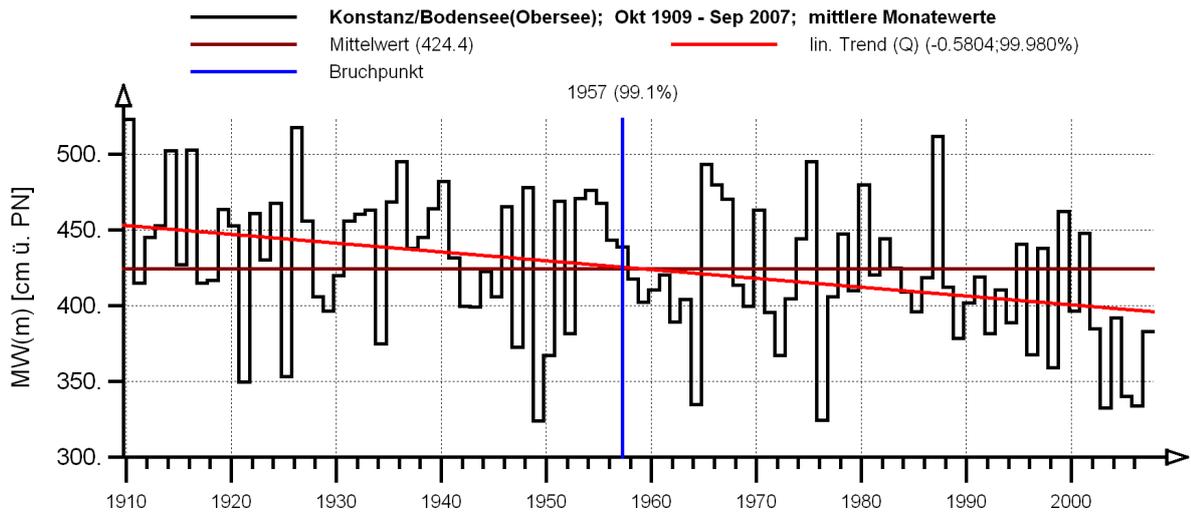


Abb. B-13: Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(m) des Monats Juli für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein

mittlere Monatswerte MQ(Jul)

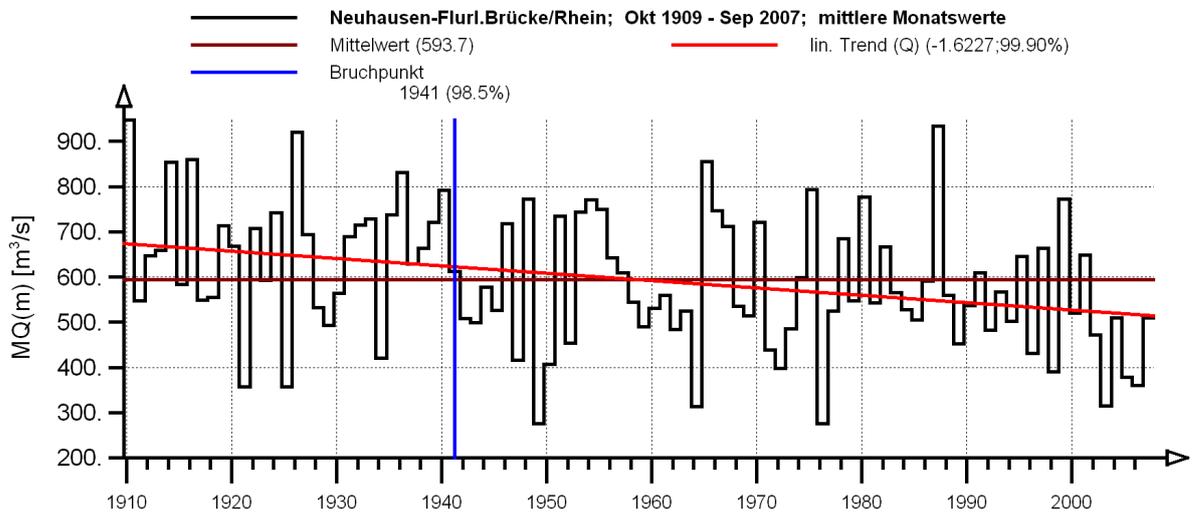
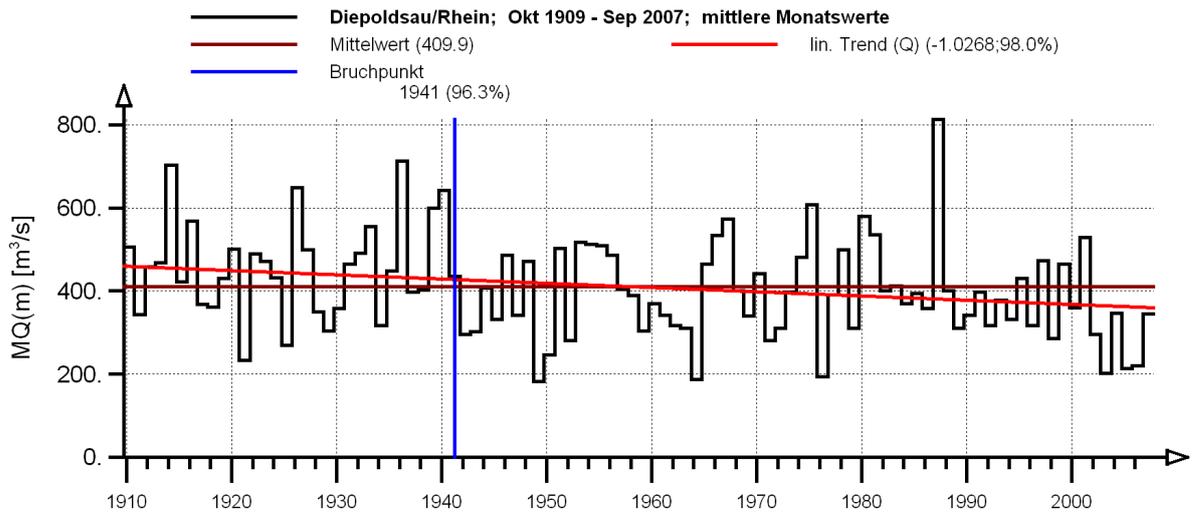


Abb. B-14: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse MQ(m) des Monats Juli für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

mittlere Monatswerte MW(Aug)

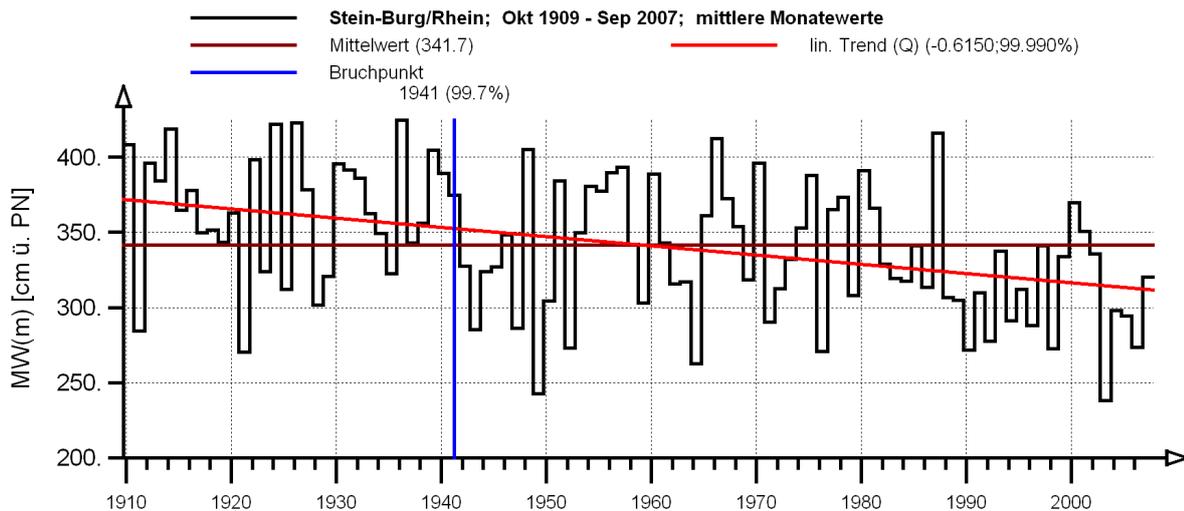
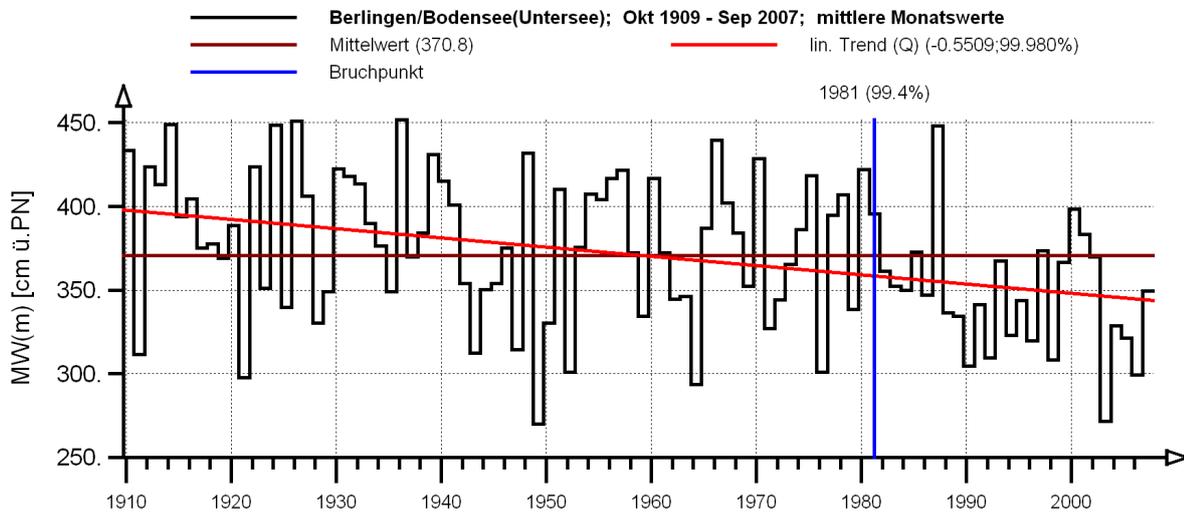
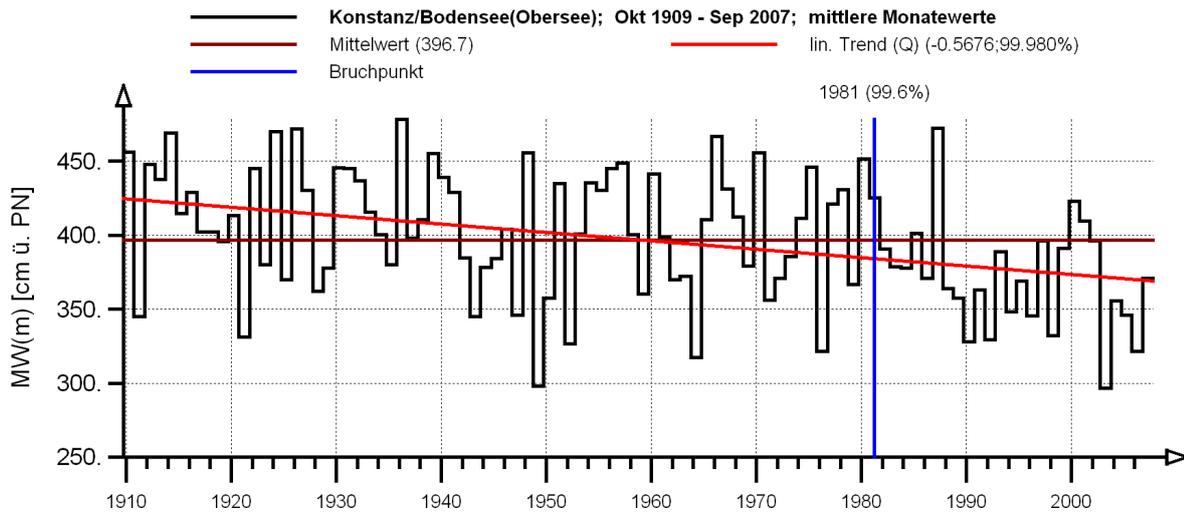


Abb. B-15: Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(m) des Monats August für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein

mittlere Monatswerte MQ(Aug)

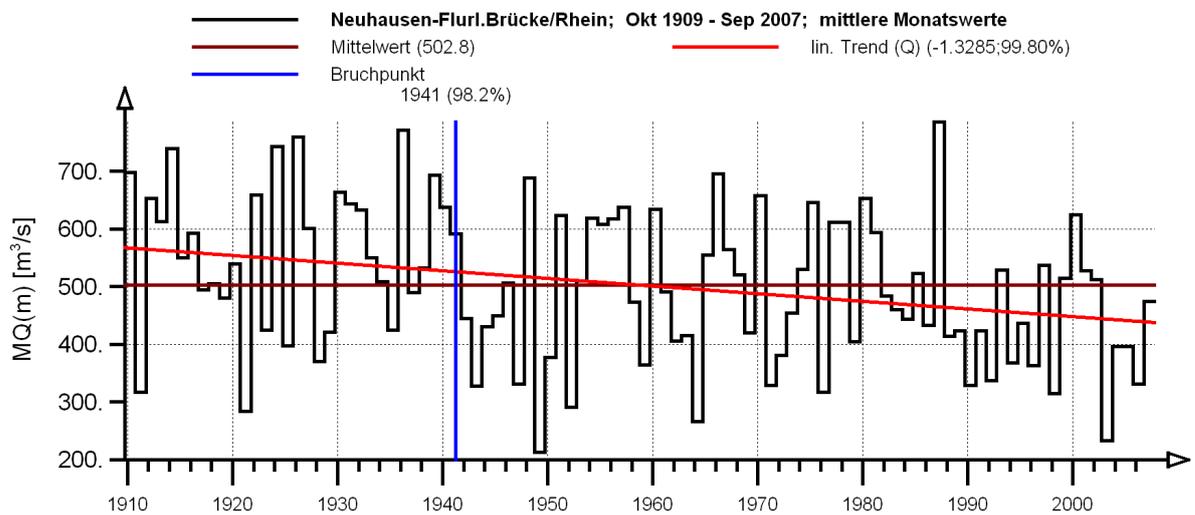
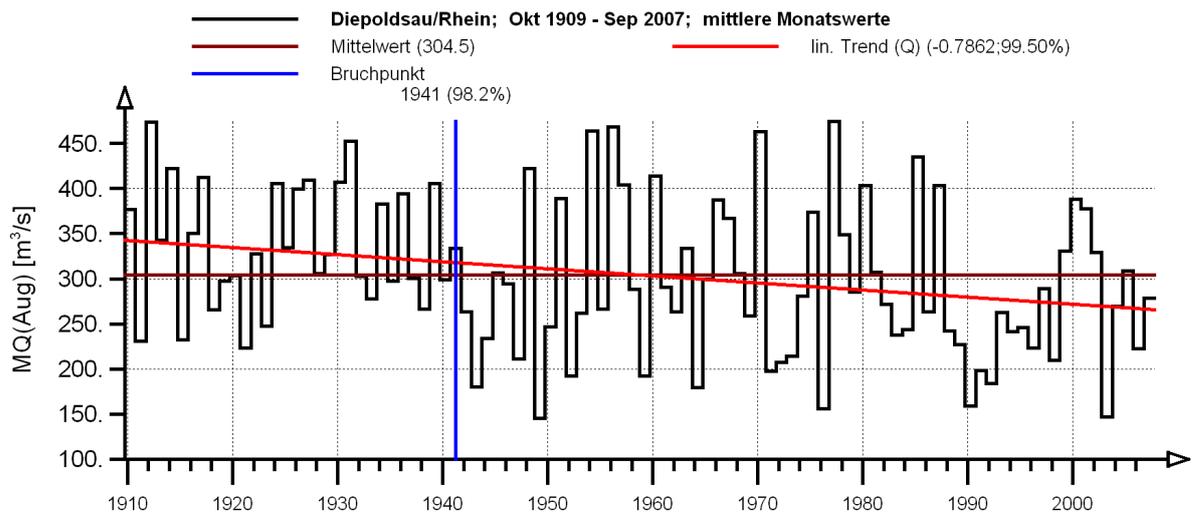


Abb. B-16: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse MQ(m) des Monats August für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

mittlere Monatswerte MW(Sep)

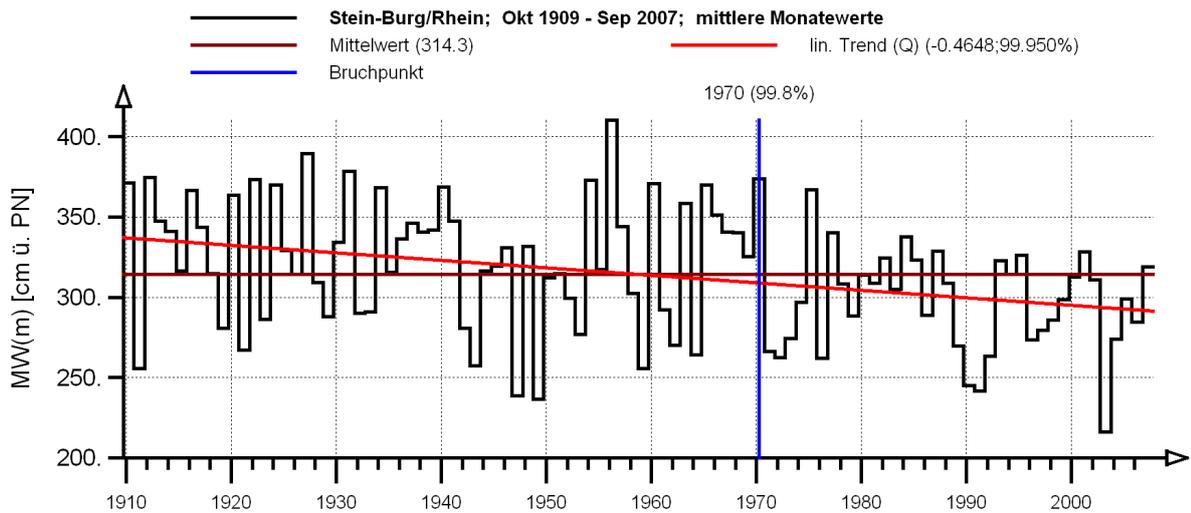
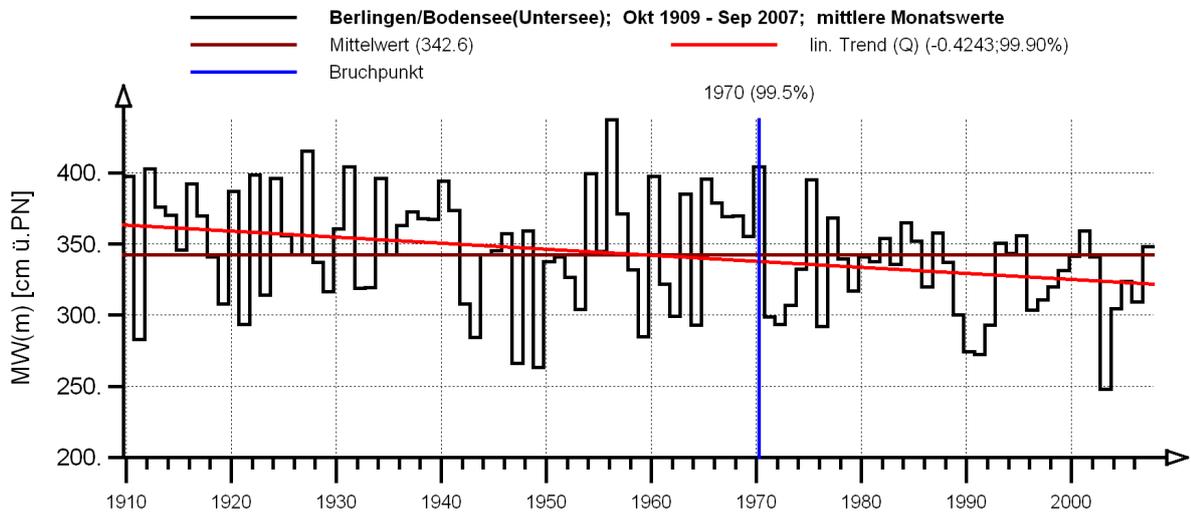
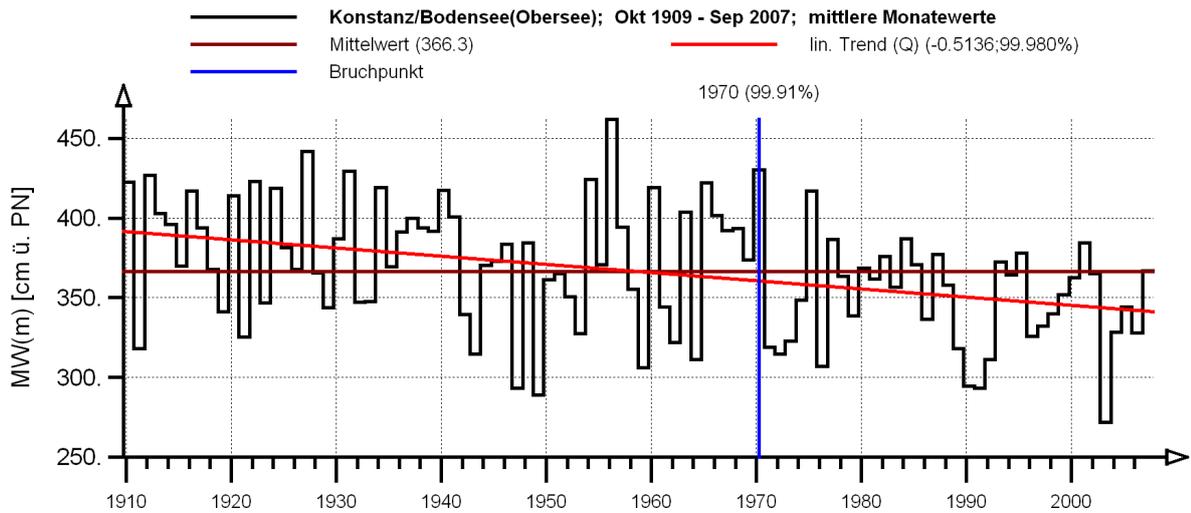


Abb. B-17: Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(m) des Monats September für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein

mittlere Monatswerte MQ(Sep)

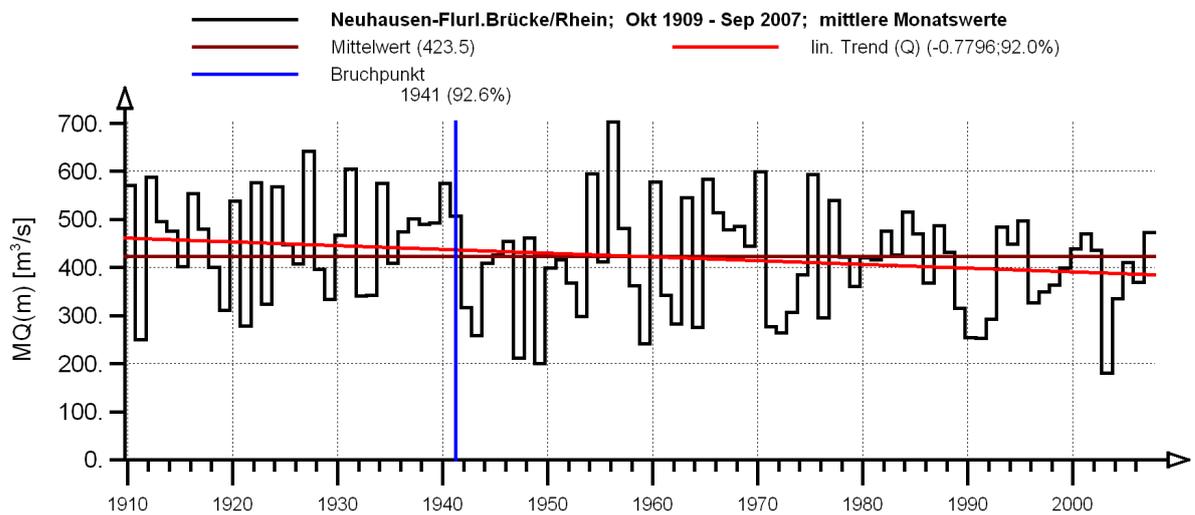
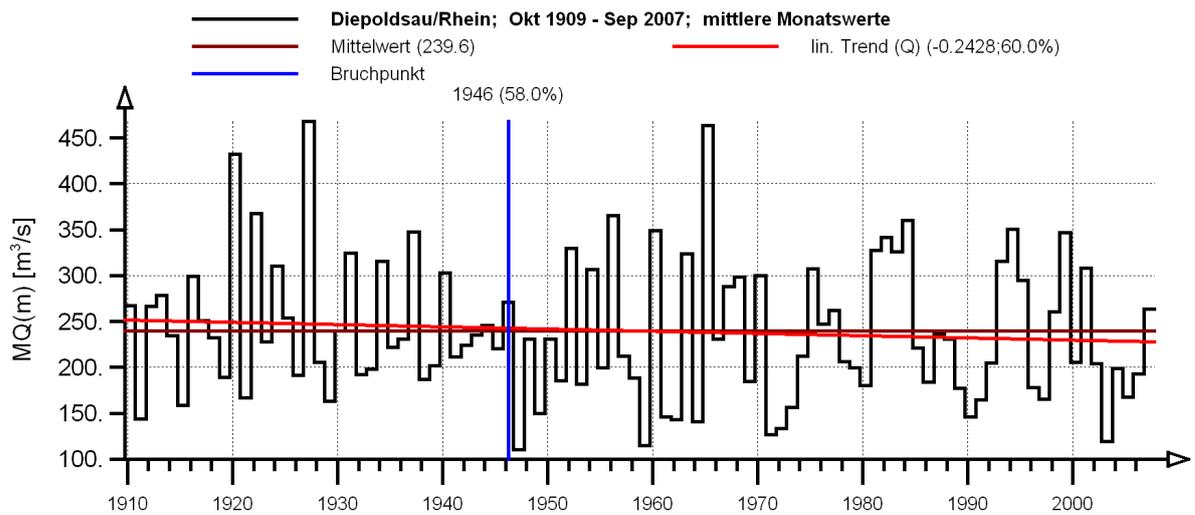


Abb. B-18: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse MQ(m) des Monats September für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

mittlere Monatswerte MW(Okt)

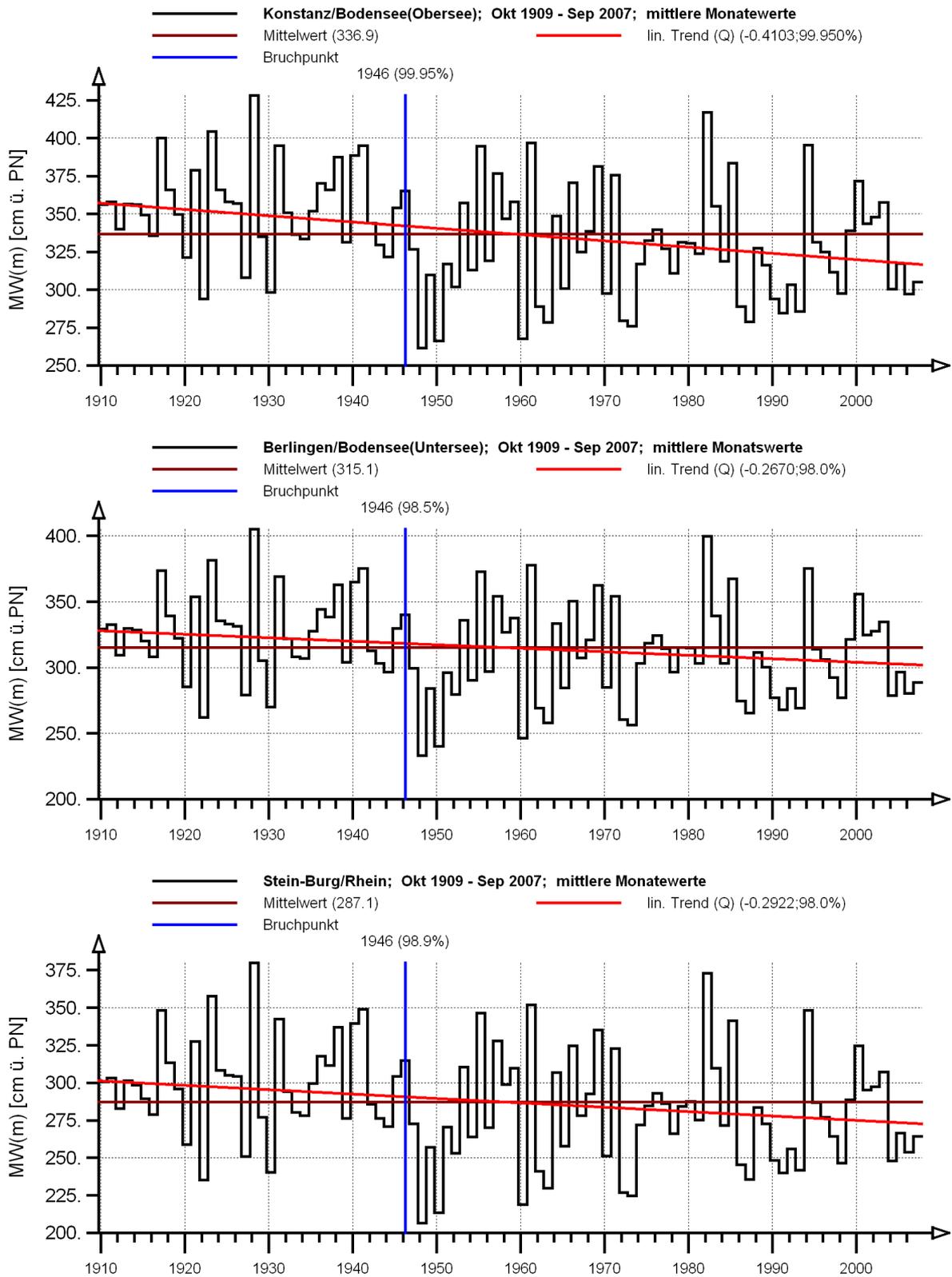


Abb. B-19: Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(m) des Monats Oktober für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein

mittlere Monatswerte MQ(Okt)

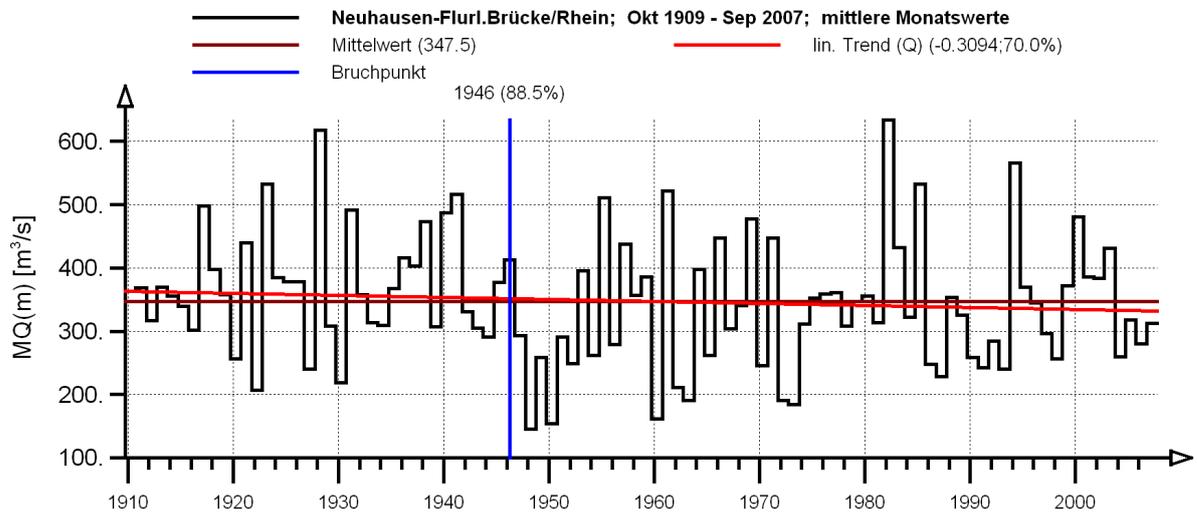
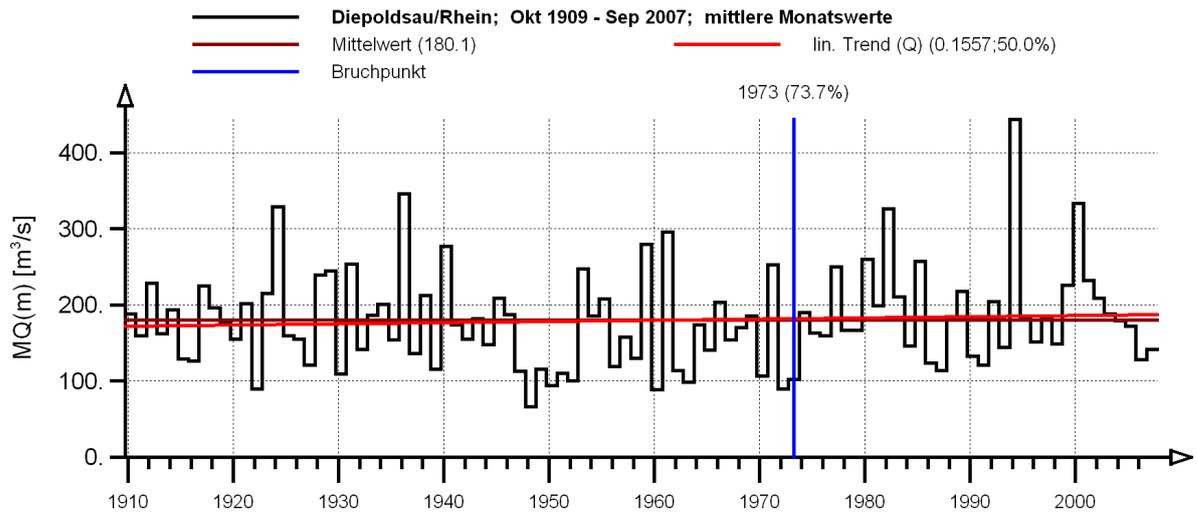


Abb. B-20: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse MQ(m) des Monats Oktober für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

mittlere Monatswerte MW(Nov)

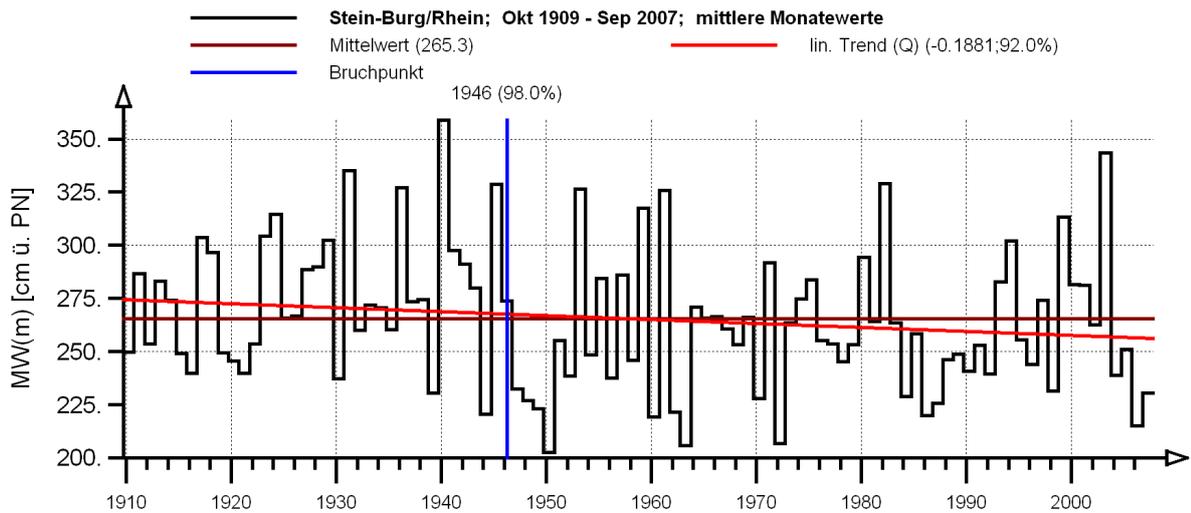
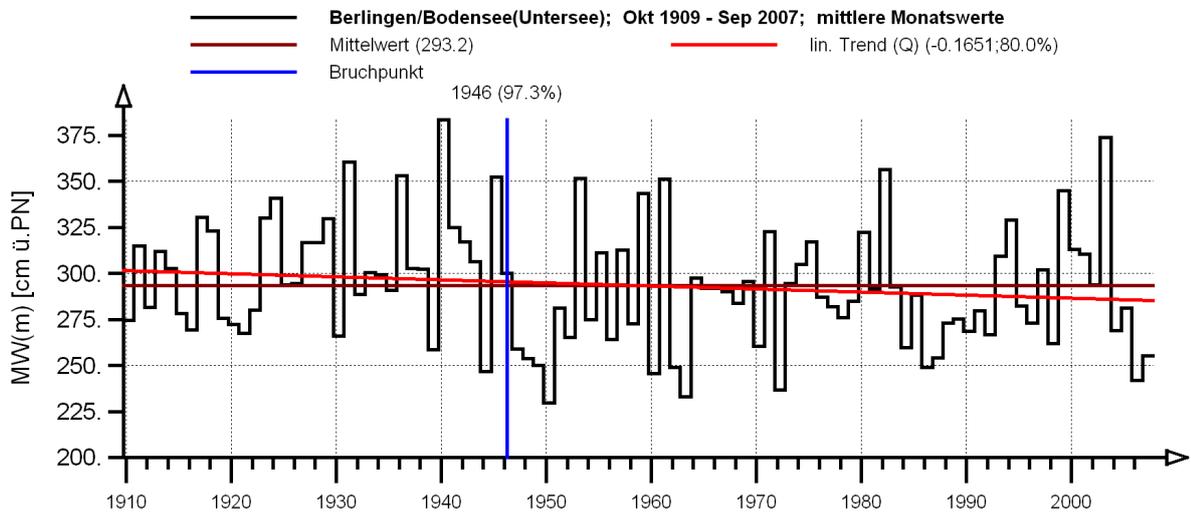
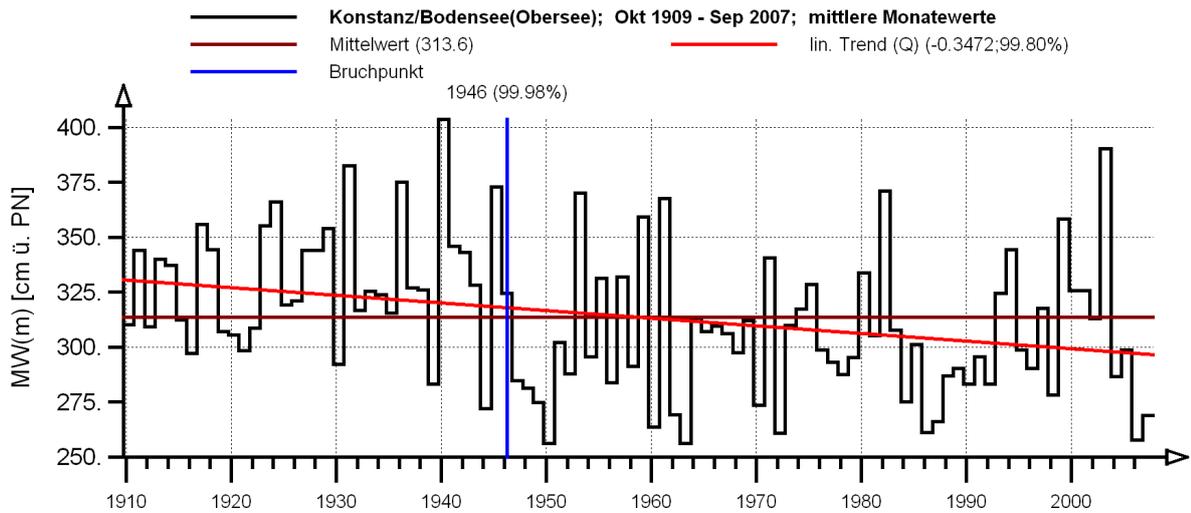


Abb. B-21: Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(m) des Monats November für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein

mittlere Monatswerte MQ(Nov)

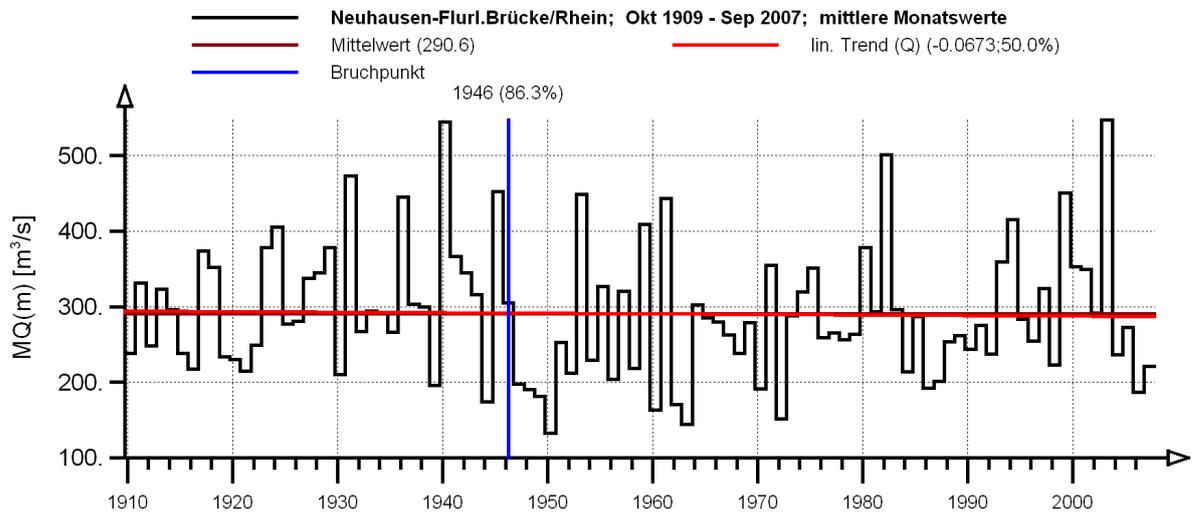
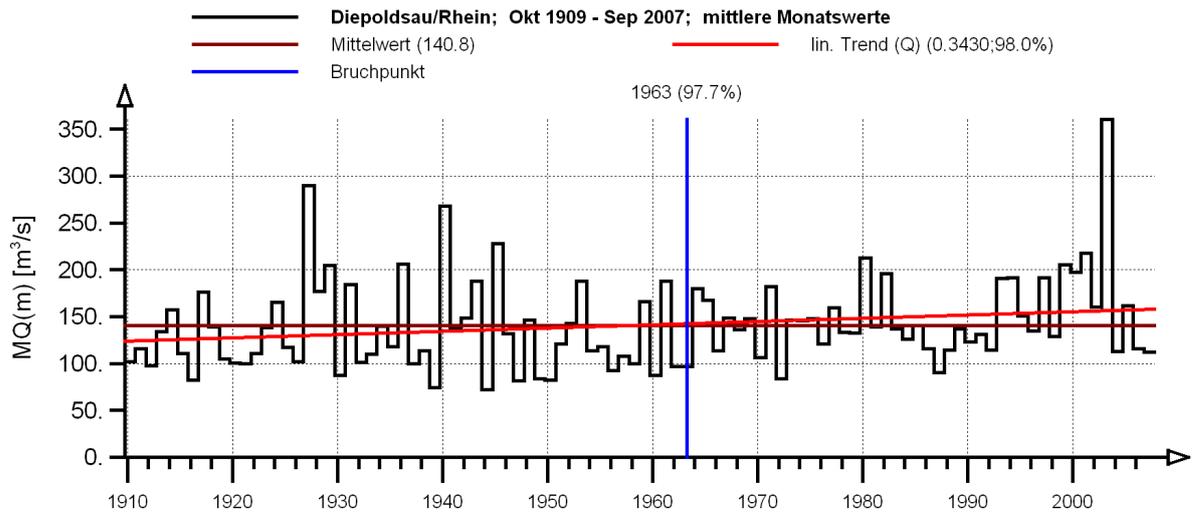


Abb. B-22: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse MQ(m) des Monats November für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

mittlere Monatswerte MW(Dez)

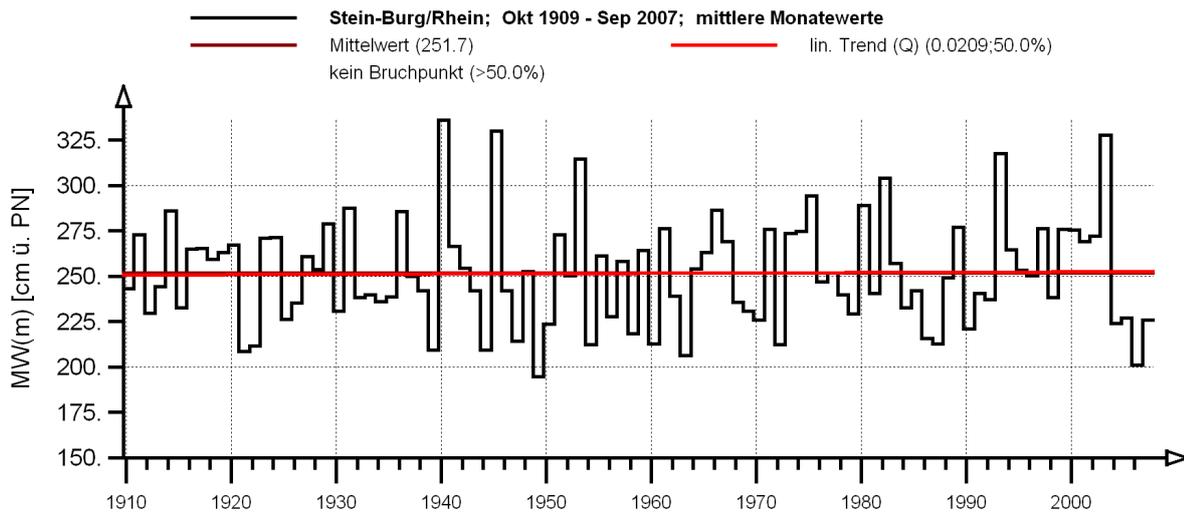
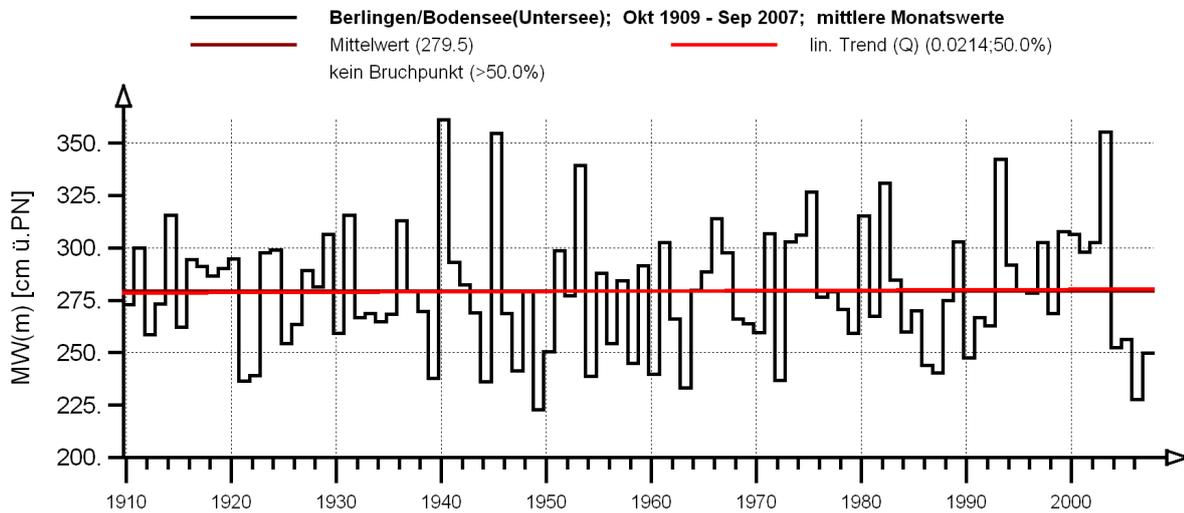
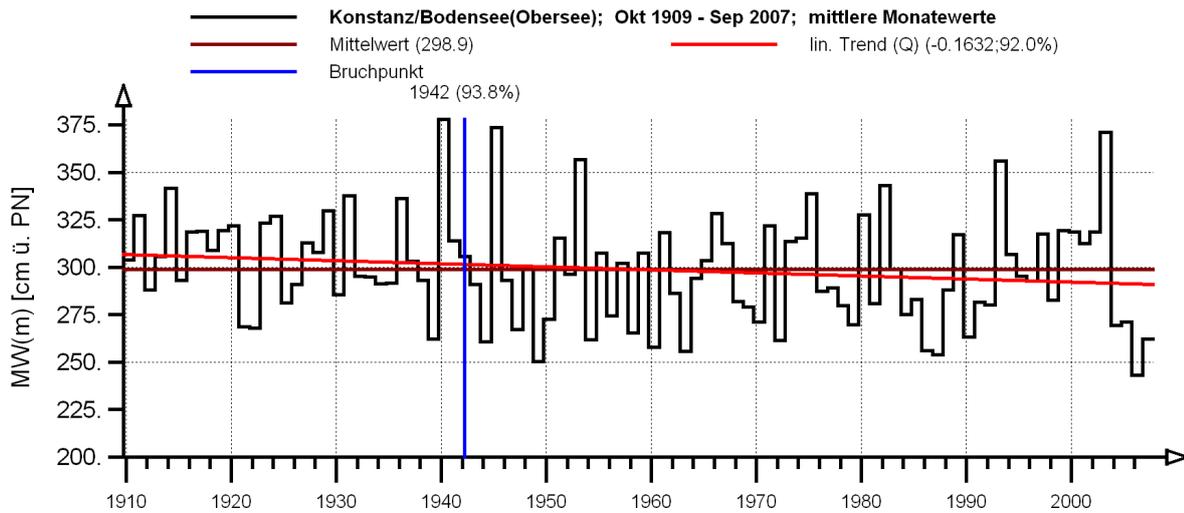


Abb. B-23: Langzeitverhalten der mittleren Wasserstände MW(m) des Monats Dezember für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Konstanz/Bodensee, Berlingen/Bodensee und Stein-Burg/Rhein

mittlere Monatswerte MQ(Dez)

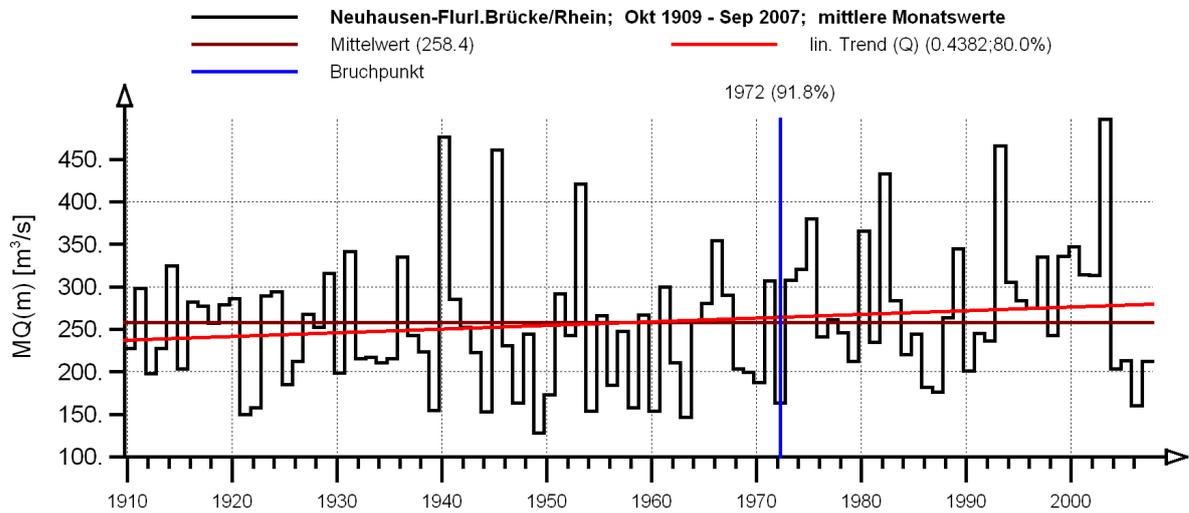
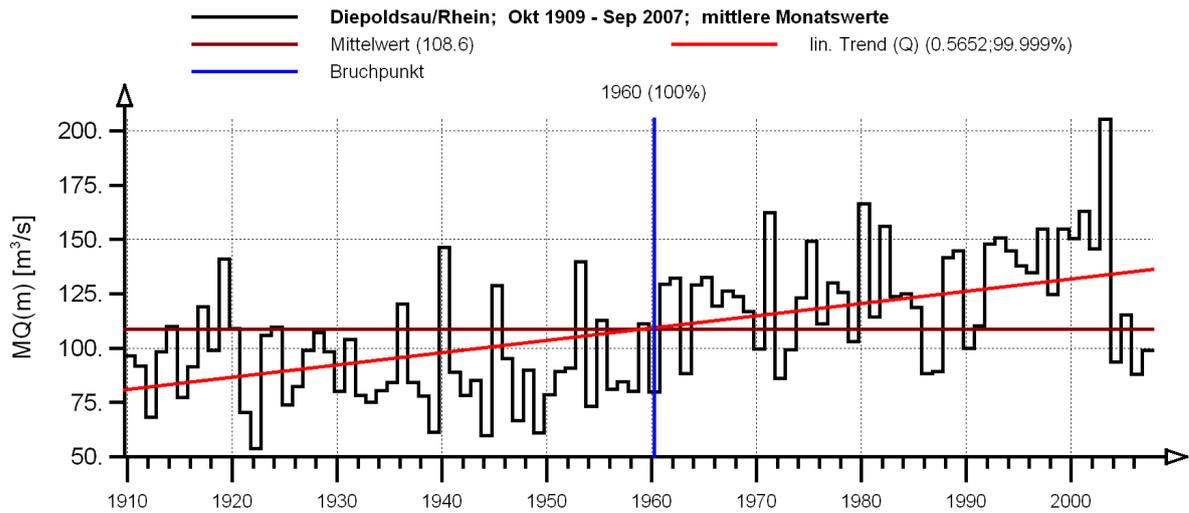


Abb. B-24: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse MQ(m) des Monats Dezember für die Zeitspanne 1910-2007 an den Pegeln Diepoldsau/Rhein und Neuhausen-Flurlingerbrücke/Rhein

Anlage C

Bootshäfen am baden-württembergischen Ober- und Untersee

Minimal- und Optimal-Wasserstände
für die Nutzbarkeit der Häfen

- Sportboote mit Tiefgang von 1,0 m und 1,5 m -

Tabelle C-1: Minimal- und Optimal-Wasserstände am baden-württembergischen Ober- und Untersee für die Nutzbarkeit der Häfen durch Sportboote mit Tiefgang von 1,0 m und 1,5 m

Häfen am Obersee					
Ortslage/Gemeinde		Mittlere Hafen- und Zufahrts-Tiefe ¹⁾	Mittlere Höhe Hafensole u. Zufahrt ¹⁾	Höhe minimaler Wasserstand bei 1,0 m Hafentiefe	Höhe optimaler Wasserstand bei 1,5 m Hafentiefe
Nr.	Hafen	[cm] unter NW= 250 cm am Pegel Konstanz/B.	[cm] am Pegel Konstanz/B. [m+NN]	[cm] am Pegel Konstanz/B. [m+ NN]	[cm] am Pegel Konstanz/B. [m+ NN]
Kressbronn					
1	Bodawerft/Yachthafen (Westhafen)	200 cm	50 cm P. KN 392,39 m+NN	150 cm P. KN 393,39 m+NN	200 cm P. KN 393,89 m+NN
Kressbronn-Gohren					
2	Marina Ultramarin	200 cm	50 cm P. KN 392,39 m+NN	150 cm P. KN 393,39 m+NN	200 cm P. KN 393,89 m+NN
Langenargen					
3	BMK-Yachthafen	200 cm	50 cm P. KN 392,39 m+NN	150 cm P. KN 393,39 m+NN	200 cm P. KN 393,89 m+NN
4	Gemeindehafen ²⁾	150 cm	100 cm P. KN 392,89 m+NN	200 cm P. KN 393,89 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN
Friedrichshafen					
5	BSB-Schiffshafen ²⁾	170cm	80 cm P. KN 392,69 m+NN	180 cm P. KN 393,69 m+NN	230 cm P. KN 394,19 m+NN
6	WYC-Yachthafen	150cm	100 cm P. KN 392,89 m+NN	200 cm P. KN 393,89 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN
7	Yachthafen Fischbach	80 cm	170 cm P. KN 393,59 m+NN	270 cm P. KN 394,59 m+NN	320 cm P. KN 395,09 m+NN
Immenstaad					
8	Yachthafen Schloss Helmsdorf	100 cm	150 cm P. KN 393,39 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN	300 cm P. KN 394,89 m+NN
9	Yachthafen bei BSB-Anlegestelle ²⁾	160 cm	90 cm P. KN 392,79 m+NN	190 cm P. KN 393,79 m+NN	240 cm P. KN 394,29 m+NN
Hagnau					
10	Schloss Kirchberg	190 cm	60 cm P. KN 392,49 m+NN	160 cm P. KN 393,49 m+NN	210 cm P. KN 393,99 m+NN
11	Osthafen	+10 cm ü. NW	260 cm P. KN 394,4 9 m+NN	360 cm P. KN 395,49 m+NN	410 cm P. KN 395,99 m+NN
12	Westhafen bei BSB-Anlegestelle ²⁾	40 cm	210 cm P. KN 393,99 m+NN	310 cm P. KN 394,99 m+NN	360 cm P. KN 395,49 m+NN
Meersburg					
13	Yachthafen bei der Halttau	160 cm	90 cm P. KN 392,79 m+NN	190 cm P. KN 293,79 m+NN	240 cm P. KN 394,29 m+NN
14	Städt. Seglerhafen am Waschplätzle	150 cm	100 cm P. KN 392,89 m+NN	200 cm P. KN 393,89 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN

¹⁾ Gemittelt nach [43] Leg an, 2009; Nachträge 2010: Angabe nur für Sportboote (Tiefgang 1,0 m bzw. 1,5 m)

²⁾ Angaben nur für Sportboote, keine Angaben zu Häfen/Anleger für große Motor- u. Fährschiffe etc.

Tabelle C-1: Minimal- und Optimal-Wasserstände am baden-württembergischen Ober- und Untersee für die Nutzbarkeit der Häfen durch Sportboote mit Tiefgang von 1,0 m und 1,5 m (Fortsetzung)

		Häfen am Obersee			
Ortslage/Gemeinde		Mittlere Hafen- und Zufahrts-Tiefe ¹⁾	Mittlere Höhe Hafensohle u. Zufahrt ¹⁾	Höhe minimaler Wasserstand bei 1,0 m Hafentiefe	Höhe optimaler Wasserstand bei 1,5 m Hafentiefe
Nr.	Hafen	[cm] unter NW= 250 cm am Pegel Konstanz/B.	[cm] am Pegel Konstanz/B. [m+NN]	[cm] am Pegel Konstanz/B. [m+NN]	[cm] am Pegel Konstanz/B. [m+NN]
Meersburg					
15	Gondelhafen (beim BSB-Hafen)	0 cm	250 cm P. KN 394,39 m+NN	350 cm P. KN 395,39 m+NN	400 cm P. KN 395,89 m+NN
16	BSB Hafen ²⁾	150 cm	100 cm P. KN 392,89 m+NN	200 cm P. KN 393,89 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN
Unteruhldingen					
17	Yachthafen	170cm	80cm P. KN 392,69 m+NN	180 cm P. KN 293,69 m+NN	230 cm P. KN 384,19 m+NN
Überlingen					
18	Sportboothafen Ost	180 cm	70 cm P. KN 392,59 m+NN	170 cm P. KN 393,59 m+NN	220 cm P. KN 394,09 m+NN
19	BYCÜ-Yachthafen	150 cm	100 cm P. KN 392,89 m+NN	200 cm P. KN 393,89 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN
20	Mantelhafen	130 cm	120 cm P. KN 393,09 m+NN	220 cm P. KN 394,09 m+NN	270 cm P. KN 394,59 m+NN
21	Gondelhafen	100 cm	150 cm P. KN 393,39 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN	300 cm P. KN 394,89 m+NN
22	Bahnhof Therme	170 cm	80 cm P. KN 392,69 m+NN	180 cm P. KN 393,69 m+NN	230 cm P. KN 394,19 m+NN
Siplingen					
23	Osthafen	110 cm	140 cm P. KN 393,29 m+NN	240 cm P. KN 394,29 m+NN	290 cm P. KN 394,79 m+NN
24	Westhafen	180 cm	70 cm P. KN 392,59 m+NN	170 cm P. KN 393,59 m+NN	220 cm P. KN 394,09 m+NN
Ludwigshafen-Ost					
25	Hafenanlage Bürgin u. Steganlage Mollweide	140 cm	110 cm P. KN 392,99 m+NN	210 cm P. KN 393,99 m+NN	260 cm P. KN 394,49 m+NN
26	Alter Hafen am Grethaus ²⁾	190cm	60 cm P. KN 392,49 m+NN	160 cm P. KN 393,49 m+NN	210 cm P. KN 393,99 m+NN
Ludwigshafen-West					
27	Yachtclubhafen Luwigs-hafen (YCL)	140 cm	110 cm P. KN 392,99 m+NN	210 cm P. KN 393,99 m+NN	260 cm P. KN 394,49 m+NN
28	Hafen Im Löchle	130 cm	120 cm P. KN 393,09 m+NN	220 cm P. KN 394,09 m+NN	270 cm P. KN 394,59 m+NN
¹⁾ Gemittelt nach [43] Leg an, 2009; Nachträge 2010: Angabe nur für Sportboote (Tiefgang 1,0 m bzw. 1,5 m) ²⁾ Angaben nur für Sportboote, keine Angaben zu Häfen/Anleger für große Motor- u. Fährschiffe etc.					

Tabelle C-1: Minimal- und Optimal-Wasserstände am baden-württembergischen Ober- und Untersee für die Nutzbarkeit der Häfen durch Sportboote mit Tiefgang von 1,0 m und 1,5 m (Fortsetzung)

Häfen am Obersee					
Ortslage/Gemeinde		Mittlere Hafen- und Zufahrts-Tiefe ¹⁾	Mittlere Höhe Hafensole u. Zufahrt ¹⁾	Höhe minimaler Wasserstand bei 1,0 m Hafentiefe	Höhe optimaler Wasserstand bei 1,5 m Hafentiefe
Nr.	Hafen	[cm] unter NW= 250 cm am Pegel Konstanz/B.	[cm] am Pegel Konstanz/B. [m+NN]	[cm] am Pegel Konstanz/B. [m+NN]	[cm] am Pegel Konstanz/B. [m+NN]
Bodman					
29	Seglerhafen	150 cm	100 cm P. KN 392,89 m+NN	200 cm P. KN 393,89 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN
30	Hafen und Steganlage (Gemeinde) ²⁾	100 cm	150 cm P. KN 393,39 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN	300 cm P. KN 394,89 m+NN
31	Wagnerhafen	80 cm	170 cm P. KN 393,59 m+NN	270 cm P. KN 394,59 m+NN	320 cm P. KN 395,09 m+NN
Wallhausen					
32	Yachthafen (Alter Hafen) ²⁾	150 cm	100 cm P. KN 392,89 m+NN	200 cm P. KN 393,89 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN
Dingelsdorf					
33	Sportvereinigung Dingelsdorf	150 cm	100 cm P. KN 392,89 m+NN	200 cm P. KN 393,89 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN
Konstanz-Egg					
34	Wassersportgemeinschaft Konstanz-Egg	100 cm	150 cm P. KN 393,39 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN	300 cm P. KN 394,89 m+NN
Konstanz					
35	Neuer Sportboothafen Staad ²⁾	170 cm	80 cm P. KN 392,69 m+NN	180 cm P. KN 393,69 m+NN	230 cm P. KN 394,19 m+NN
36	Yachthafen Staad	140 cm	110 cm P. KN 392,99 m+NN	210 cm P. KN 393,99 m+NN	260 cm P. KN 394,49 m+NN
37	Yachthafen KYC	150 cm	100 cm P. KN 392,89 m+NN	200 cm P. KN 393,89 m+NN	250 cm P. KN 394,39 m+NN
38	BSB Hafen ²⁾	180 cm	70 cm P. KN 392,59 m+NN	170 cm P. KN 393,59 m+NN	220 cm P. KN 394,09 m+NN
¹⁾ Gemittelt nach [43] Leg an, 2009; Nachträge 2010: Angabe nur für Sportboote (Tiefgang 1,0 m bzw. 1,5 m) ²⁾ Angaben nur für Sportboote, keine Angaben zu Häfen/Anleger für große Motor- u. Fährschiffe etc.					

Tabelle C-1: Minimal- und Optimal-Wasserstände am baden-württembergischen Ober- und Untersee für die Nutzbarkeit der Häfen durch Sportboote mit Tiefgang von 1,0 m und 1,5 m (Fortsetzung)

Häfen am Untersee					
Ortslage/Gemeinde		Mittlere Hafen- und Zufahrts-Tiefe ¹⁾	Mittlere Höhe Hafensohle u. Zufahrt ¹⁾	Höhe minimaler Wasserstand bei 1,0 m Hafentiefe	Höhe optimaler Wasserstand bei 1,5 m Hafentiefe
Nr.	Hafen	[cm] unter NW= 230 cm am Pegel Berlingen/B.	[cm] am Pegel Berlingen/B. [m+NN]	[cm] am Pegel Berlingen/B. [m+NN]	[cm] am Pegel Berlingen/B. [m+NN]
Reichenau-Mittelzell					
39	Bootswerft Beck / Kleiner Schutzhafen	40 cm	190 cm P. Berl. 393,79 m+NN	290 cm P. Berl. 394,79 m+NN	340 cm P. Berl. 395,29 m+NN
40	Hafen Herrenbruck ²⁾	150 cm	80 cm P. Berl. 392,69 m+NN	180 cm P. Berl. 393,69 m+NN	230 cm P. Berl. 394,19 m+NN
Radolfzell					
41	Werfthafen Martin / Schutzhafen	200cm	30 cm P. Berl. 392,19 m+NN	130 cm P. Berl. 393,19 m+NN	180 cm P. Berl. 393,69 m+NN
42	Yachthafen Wäschbruck	150 cm	80 cm P. Berl. 392,69 m+NN	180 cm P. Berl. 393,69 m+NN	230 cm P. Berl. 394,19 m+NN
43	Yachtclubhafen Radolfzell (YCRa)	115 cm	115 cm P. Berl. 393,04 m+NN	215 cm P. Berl. 394,04 m+NN	265 cm P. Berl. 394,54 m+NN
Moos					
44	Yachthafen (Gemeinde Moos)	100 cm	130 cm P. Berl. 393,19 m+NN	230 cm P. Berl. 394,19 m+NN	280 cm P. Berl. 394,69 m+NN
Wangen					
45	Wassersportverein Wangen	80 cm	150 cm P. Berl. 393,39 m+NN	250 cm P. Berl. 394,39 m+NN	300 cm P. Berl. 394,89 m+NN
Öhningen-Oberstaad					
46	Sportboothafen	150cm	80 cm P. Berl. 392,69 m+NN	180 cm P. Berl. 393,69 m+NN	230 cm P. Berl. 394,19 m+NN
¹⁾ Gemittelt nach [43] Leg an, 2009; Nachträge 2010: Angabe nur für Sportboote (Tiefgang 1,0 m bzw. 1,5 m)					
²⁾ Angaben nur für Sportboote, keine Angaben zu Häfen/Anleger für große Motor- u. Fährschiffe etc.					

Anlage D

Bootshäfen am baden-württembergischen Ober- und Untersee

Statistische Auswertungen bezogen auf die
hafenspezifischen Minimal- und Optimal-Wasserstände

Tabelle D-1: Statistische Auswertung der Bootshäfen am Obersee bezogen auf die Optimal- und Minimal-Wasserstände

Bodensee-Obersee		Hafens ohle [cm a. P.K.N]	1910 - 2007				1955 - 2007				1977 - 2007			
			Optimal-WWS Mindest-Tiefe 1.5m		Minimal-WWS Mindest-Tiefe 1.0m		Optimal-WWS Mindest-Tiefe 1.5m		Minimal-WWS Mindest-Tiefe 1.0m		Optimal-WWS Mindest-Tiefe 1.5m		Minimal-WWS Mindest-Tiefe 1.0m	
Nr.	Ort / Bootshafen ¹⁾	Monat	T _{nwv(m)} [a]	MUT(m) [d]										
maßgebender Wasserstand [cm]		100	250		200		250		200		250		200	
4	Langenargen: Gemeindehafen	April ²⁾	50 a	1 d	+	+	100 a	0 d	+	+	100 a	0 d	+	+
6	Friedrichshafen: WYC-Yachthafen	Mai	>100 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+
14	Meersburg: Seglerhafen Waschplätze	Sept.	>100 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+
16	Meersburg: BSB-Hafen	Okt.	90 a	1 d	+	+	>100 a	1 d	+	+	>100 a	0 d	+	+
19	Überlingen: BYCÜ-Yachthafen													
29	Bodman: Seglerhafen													
32	Wailhausen: Yachthafen (Alter Hafen)													
33	Dingelsdorf: Sportvereinigung Dingelsdf.													
37	Konstanz: KYC-Yachthafen													
maßgebender Wasserstand [cm]		110	260		210		260		210		260		210	
25	Ludwigshfn.-Ost. Hfn. Bürgin/Mollweide	April ²⁾	20 a	1 d	+	+	25 a	1 d	+	+	30 a	0 d	+	+
27	Ludwigshfn.-West. Yachtclub-Hfn. (YCL)	Mai	80 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+
36	Konstanz: Yachthafen Staad	Sept.	80 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+
		Okt.	30 a	1 d	+	+	35 a	1 d	+	+	30 a	0 d	+	+
maßgebender Wasserstand [cm]		120	270		220		270		220		270		220	
20	Überlingen: Mantelhafen	April ²⁾	8 a-9 a	2 d	+	+	10 a	1 d	+	+	10 a	1 d	+	+
28	Ludwigshfn.-West: Hafen im Löchle	Mai	70 a	0 d	+	+	50 a	0 d	+	+	70 a	0 d	+	+
		Sept.	70 a	1 d	+	+	60 a	1 d	+	+	80 a	1 d	+	+
		Okt.	12 a	2 d	+	+	10 a	2 d	+	+	10 a	1 d	+	+
maßgebender Wasserstand [cm]		140	290		240		290		240		290		240	
23	Sipplingen: Osthafen	April ²⁾	3 a	7 d	>100 a	0 d	3 a	8 d	>100 a	0 d	3 a	8 d	>100 a	0 d
		Mai	12 a	2 d	>100 a	0 d	9 a	2 d	>100 a	0 d	8 a	2 d	>100 a	0 d
		Aug.	60 a	1 d	>100 a	0 d	50 a	1 d	>100 a	0 d	50 a	1 d	>100 a	0 d
		Sept.	15 a	1 d	>100 a	0 d	11 a	1 d	>100 a	0 d	12 a	2 d	>100 a	0 d
		Okt.	4 a-5 a	4 d	>100 a	0 d	3 a	5 d	>100 a	0 d	3 a	4 d	>100 a	0 d

¹⁾ Die Bootshäfen am Obersee: Kressbronn – Bodanwerfer/Yachthafen; Kressbronn-Göhren – Marina Ultramarin; Langenargen – BMK-Yachthafen; Friedrichshafen – BSB-Schiffshafen; Meersburg – Yachthafen bei der Haltmau; Unteruhldingen – Yachthafen; Überlingen – Sportboothafen Ost; Überlingen – Sportboothafen West; Sipplingen – Westhafen; Ludwigshafen – Alter Hafen am Grethaus; Konstanz – Neuer Sportboothafen Staad; Konstanz – BSB-Hafen sind aufgrund ihrer tiefen Minimal- und Optimal-Wasserstände uneingeschränkt nutzbar.

²⁾ Saison-Monate April bis Oktober: In den nicht aufgeführten Saison-Monaten besteht keine Einschränkung für die Nutzbarkeit.

Tabelle D-1: Statistische Auswertung der Bootshäfen am Obersee bezogen auf die Optimal- und Minimal-Wasserstände (Fortsetzung)

Bodensee-Obersee Bezugs-Pegel: Konstanz/Bodensee		Hafens ohle [cm a, P, KN]	1910 - 2007		1955 - 2007		1977 - 2007							
			Optimal-WWS Mindest-Tiefe 1.5m T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	Optimal-WWS Mindest-Tiefe 1.5m T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	Optimal-WWS Mindest-Tiefe 1.5m T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	Minimal-WWS Mindest-Tiefe 1.0m T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]				
maßgebender Wasserstand [cm]		150	300	250	300	250	300	300	250					
8	<i>Immenstaad</i> : Yachthfn.; Schloss Helmsdf.	April ²⁾	2 a	10 d	50 a	1 d	2 a	12 d	100 a	1 d	2 a	13 d	100 a	0 d
21	<i>Überlingen</i> : Gondelhafen	Mai	6 a	2 d	>100 a	0 d	5 a	3 d	>100 a	0 d	5 a	3 d	>100 a	0 d
30	<i>Bodman</i> : Hafen /Steganlage (Gemeinde)	Aug.	30 a	1 d	>100 a	0 d	25 a	1 d	>100 a	0 d	20 a	1 d	>100 a	0 d
34	<i>Konstanz-Egg</i> : Wassersportgemeinschaft	Sept.	8 a	2 d	>100 a	0 d	6 a	3 d	>100 a	0 d	6 a	3 d	>100 a	0 d
		Okt.	3 a	6 d	90 a	1 d	2 a	8 d	>100 a	0 d	2 a	8 d	>100 a	0 d
Ort / Bootshafen¹⁾		Monat	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]						
maßgebender Wasserstand [cm]		170	320	270	320	270	320	270	320	270	320	270	320	270
7	<i>Friedrichshafen</i> : Yachthafen Fischbach	April	~1 a	19 d	8 a-9 a	2 d	~1 a	19 d	9 a-10 a	1 d	~1 a	19 d	10 a	1 d
31	<i>Bodman</i> : Wagnerhafen	Mai	2 a-3 a	6 d	70 a	0 d	2 a-3 a	7 d	50 a	0 d	2 a	7 d	70 a	0 d
		Juni	30 a	1 d	>100 a	0 d	22 a	1 d	>100 a	0 d	22 a	0 d	>100 a	0 d
		Juli	50 a	1 d	>100 a	0 d	31 a	1 d	>100 a	0 d	30 a	1 d	>100 a	0 d
		Aug.	10 a	2 d	>100 a	0 d	8 a	3 d	>100 a	0 d	6 a	3 d	>100 a	0 d
		Sept.	4 a	5 d	70 a	1 d	3 a	7 d	60 a	1 d	2 a	6 d	80 a	1 d
		Okt.	<2 a	11 d	12 a	2 d	<2 a	14 d	10 a	2 d	<2 a	15 d	10 a	1 d
maßgebender Wasserstand [cm]		210	360	310	360	310	360	310	360	310	360	310	360	310
12	<i>Hagnau</i> : Westhafen bei BSB-Anleger	April	~1 a	29 d	<2 a	14 d	~1 a	29 d	<2 a	15 d	~1 a	28 d	<2 a	15 d
		Mai	~1 a	17 d	4 a	3 d	~1 a	18 d	3 a-4 a	4 d	~1 a	20 d	3 a	4 d
		Juni	4 a	4 d	90 a	1 d	3 a	6 d	60 a	1 d	2 a-3 a	7 d	70 a	0 d
		Juli	6 a	3 d	100 a	1 d	4 a-5 a	4 d	65 a	1 d	4 a	4 d	60 a	1 d
		Aug.	2 a-3 a	7 d	16 a	1 d	2 a	9 d	14 a	1 d	<2 a	11 d	11 a	2 d
		Sept.	<2 a	13 d	5 a	3 d	~1 a	16 d	4 a	4 d	~1 a	18 d	3 a-4 a	4 d
		Okt.	<2 a	23 d	2 a-3 a	9 d	~1 a	25 d	<2 a	11 d	~1 a	27 d	<2 a	11 d

¹⁾ Die Bootshäfen am Obersee: Kressbronn – Bodanwerf/Yachthafen; Kressbronn-Grohnen – Marina Ultramarin; Langenargen – BMK-Yachthafen; Friedrichshafen – BSB-Schiffshafen; Meersburg – Yachthafen bei der Haltmau; Unteruhldingen - Yachthafen; Überlingen – Sportboothafen Ost; Überlingen – Bahnhof Therme; Sipplingen – Westhafen; Ludwighafen - Alter Hafen am Grethaus; Konstanz – Neuer Sportboothafen Staad; Konstanz – BSB-Hafen sind aufgrund ihrer tiefen Minimal- und Optimal-Wasserstände uneingeschränkt nutzbar

²⁾ Saison-Monate April bis Oktober: In den nicht aufgeführten Saison-Monaten besteht keine Einschränkung für die Nutzbarkeit.

Tabelle D-1: Statistische Auswertung der Bootshäfen am Obersee bezogen auf die Optimal- und Minimal-Wasserstände (Fortsetzung)

Bodensee-Obersee Bezugs-Pegel: Konstanz/Bodensee		Hafens ohle [cm a. P. KN]	1910 - 2007				1955 - 2007				1977 - 2007			
			Optimal-WWS Mindest-Tiefe 1.5m	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	Minimal-WWS Mindest-Tiefe 1.0m	Optimal-WWS Mindest-Tiefe 1.5m	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	Minimal-WWS Mindest-Tiefe 1.0m	Optimal-WWS Mindest-Tiefe 1.5m	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	Minimal-WWS Mindest-Tiefe 1.0m
Nr.	Ort / Bootshafen ¹⁾	Monat	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]
	maßgebender Wasserstand [cm]	250	400	350	400	350	400	350	400	350	400	350	400	350
15	Meersburg: Gondelhafen bei BSB-Hafen	April	~1 a	30 d	~1 a	27 d	~1 a	30 d	~1 a	30 d	~1 a	28 d	~1 a	30 d
		Mai	~1 a	27 d	~1 a	14 d	~1 a	28 d	~1 a	28 d	~1 a	15 d	~1 a	28 d
		Juni	<2 a	12 d	5 a	3 d	<2 a	15 d	4 a	16 d	4 a	4 d	~1 a	16 d
		Juli	2 a	10 d	8 a-9a	3 d	<2 a	12 d	6 a-7 a	14 d	6 a	3 d	<2 a	14 d
		Aug.	<2 a	17 d	3 a-4 a	6 d	~1 a	20 d	2 a-3 a	22 d	2 a	7 d	~1 a	22 d
		Sept.	~1 a	24 d	<2 a	11 d	~1 a	26 d	~1 a	29 d	~1 a	14 d	~1 a	29 d
		Okt.	~1 a	29 d	~1 a	21 d	~1 a	30 d	~1 a	30 d	~1 a	23 d	~1 a	30 d
	maßgebender Wasserstand [cm]	260	410	360	410	360	410	360	410	360	410	360	410	360
11	Hagnau: Osthafen	April	~1 a	30 d	~1 a	29 d	~1 a	30 d	~1 a	29 d	~1 a	29 d	~1 a	30 d
		Mai	~1 a	28 d	~1 a	17 d	~1 a	29 d	~1 a	18 d	~1 a	18 d	~1 a	30 d
		Juni	<2 a	15 d	4 a	4 d	<2 a	18 d	3 a	6 d	~1 a	6 d	~1 a	19 d
		Juli	<2 a	12 d	6 a	3 d	<2 a	16 d	4 a-5 a	4 d	<2 a	4 d	~1 a	18 d
		Aug.	~1 a	19 d	2 a-3 a	7 d	~1 a	21 d	2 a	9 d	~1 a	9 d	~1 a	24 d
		Sept.	~1 a	25 d	<2 a	13 d	~1 a	27 d	~1 a	16 d	~1 a	16 d	~1 a	30 d
		Okt.	~1 a	30 d	<2 a	23 d	~1 a	30 d	~1 a	25 d	~1 a	25 d	~1 a	30 d

1) Die Bootshäfen am Obersee: Kressbronn – Bodanwerff/Yachthafen; Kressbronn-Göhren – Marina Ultramarin; Langenargen – BMK-Yachthafen; Friedrichshafen – BSB-Schiffshafen; Meersburg – Yachthafen bei der Halttau; Unteruhldingen – Yachthafen; Überlingen – Sportboothafen Ost; Überlingen – Bahnhof Therme; Sipplingen – Westhafen; Ludwigschafen – Alter Hafen am Grethaus; Konstanz – Neuer Sportboothafen Staad; Konstanz – BSB-Hafen sind aufgrund ihrer tiefen Minimal- und Optimal-Wasserstände uneingeschränkt nutzbar

2) Saison-Monate April bis Oktober: In den nicht aufgeführten Saison-Monaten besteht keine Einschränkung für die Nutzbarkeit.

Tabelle D-2: Statistische Auswertung der Bootshäfen am Untersee bezogen auf die Optimal- und Minimal-Wasserstände

Bodensee-Untersee Bezugs-Pegel: Berlingen(CH)/Bodensee		Hafens ohle [cm a. P.KN]	1910 - 2007				1955 - 2007				1977 - 2007			
			Optimal-Ws Mindest-Tiefe 1.5m		Minimal-Ws Mindest-Tiefe 1.0m		Optimal-Ws Mindest-Tiefe 1.5m		Minimal-Ws Mindest-Tiefe 1.0m		Optimal-Ws Mindest-Tiefe 1.5m		Minimal-Ws Mindest-Tiefe 1.0m	
Nr.	Ort / Bootshafen ¹⁾	Monat	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]										
maßgebender Wasserstand [cm]		80	230		180		230		180		230		180	
40	Reichenau-Mittelzell: Hafen Herrenbruck	April ²⁾	45 a	1 d	+	+	>100 a	1 d	+	+	>100 a	0 d	+	+
42	Radolfzell: Yachthafen Wäschbruck	Mai	>100 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+
46	Öhringen-Oberstaad: Sportboothafen	Sept.	>100 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+
		Okt.	44 a	1 d	+	+	80 a	0 d	+	+	>100 a	0 d	+	+
maßgebender Wasserstand [cm]		115	265		215		265		215		265		215	
43	Radolfzell: Yachtclubhafen Radolfzell	April ²⁾	3 a-4 a	1 d	+	+	5 a	3 d	+	+	5 a -6 a	3 d	+	+
		Mai	15 a	0 d	+	+	25 a	1 d	+	+	20 a	1 d	+	+
		Aug.	55 a	1 d	+	+	55 a	1 d	+	+	30 a	1 d	+	+
		Sept.	15 a	1 d	+	+	15 a	1 d	+	+	15 a	2 d	+	+
		Okt.	3 a-4 a	7 d	+	+	4 a-5 a	4 d	+	+	5 a	3 d	+	+
maßgebender Wasserstand [cm]		130	280		230		280		230		280		230	
44	Moos Yachthafen (Gemeinde Moos)	April	2 a	10 d	45 a	1 d	2 a-3 a	10 d	>100 a	1 d	2 a-3 a	10 d	>100 a	0 d
		Mai	6 a-7 a	2 d	>100 a	0 d	6 a	3 d	>100 a	0 d	6 a-7 a	2 d	>100 a	0 d
		Juni	>100 a	0 d	60 a	0 d	>100 a	0 d						
		Juli	>100 a	0 d	>100 a	0 d	90 a	0 d	>100 a	0 d	>100 a	0 d	>100 a	0 d
		Aug.	20 a	1 d	>100 a	0 d	20 a	1 d	>100 a	0 d	14 a	1 d	>100 a	0 d
		Sept.	7 a-8 a	2 d	>100 a	0 d	6 a	2 d	>100 a	0 d	6 a	3 d	>100 a	0 d
		Okt.	3 a	6 d	45 a	1 d	2 a-3 a	7 d	80 a	0 d	2 a-3 a	7 d	>100 a	0 d

1) Bootshafen: Radolfzell – Werfthafen Martin/Schutzhafen ist aufgrund Minimal-Wasserstand (180 cm a. P. Berl.) und Optimal-Wasserstand (180 cm a. P. Berl.) uneingeschränkt nutzbar.

2) Saison-Monate April bis Oktober: In den nicht aufgeführten Saison-Monaten besteht keine Einschränkung für die Nutzbarkeit.

Tabelle D-2: Statistische Auswertung der Bootshäfen am Untersee bezogen auf die Optimal- und Minimal-Wasserstände (Fortsetzung)

Bodensee-Untersee Bezugs-Pegel: Berlingen(CH)/Bodensee		Hafens ohle [cm a. P,KN]	1910 - 2007				1955 - 2007				1977 - 2007			
			Optimal-WWS Mindest-Tiefe 1.5m	Minimal-WWS Mindest-Tiefe 1.0m										
Nr.	Ort / Bootshafen ¹⁾	Monat	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]						
maßgebender Wasserstand [cm]			300		250		300		250		300		250	
45	Wangen: Wassersportverein Wangen	April	1 a	17 d	9 a-9 a	2 d	1 a	17 d	15 a	1 d	<2 a	16 d	20 a	0 d
		Mai	3 a	5 d	55 a	1 d	2 a-3 a	5 d	>100 a	0 d	2 a-3 a	5 d	100 a	0 d
		Juni	35 a	1 d	>100 a	0 d	20 a	1 d	>100 a	0 d	16 a	0 d	>100 a	0 d
		Juli	30 a	1 d	>100 a	0 d	22 a	1 d	>100 a	0 d	25 a	1 d	>100 a	0 d
		Aug.	8 a	3 d	>100 a	0 d	6 a-7 a	3 d	>100 a	0 d	5 a-6 a	3 d	75 a	0 d
		Sept.	3 a-4 a	6 d	50 a	1 d	3 a	7 d	50 a	1 d	2 a-3 a	6 d	40 a	1 d
		Okt.	<2 a	12 d	11 a	2 d	<2 a	14 d	11 a	1 d	<2 a	15 d	15 a	1 d
maßgebender Wasserstand [cm]			340		290		340		290		340		290	
39	Reichenau-Mittelzell: Bootswerft Beck/ Kleiner Schutzhafen	April	~1 a	28 d	<2 a	13 d	~1 a	28 d	<2 a	13 d	~1 a	28 d	<2 a	13 d
		Mai	~1 a	16 d	4 a 5 a	3 d	~1 a	17 d	4 a	4 d	~1 a	18 d	4 a	3 d
		Juni	4 a	5 d	100 a	1 d	3 a-4 a	6 d	60 a	1 d	3 a	7 d	30 a	0 d
		Juli	5 a	4 d	60 a	1 d	4 a	4 d	40 a	1 d	3 a-4 a	5 d	60 a	1 d
		Aug.	2 a-3 a	10 d	12 a	1 d	<2 a	11 d	11 a	2 d	<2 a	13 d	9 a	2 d
		Sept.	<2 a	14 d	5 a	4 d	~1 a	16 d	4 a	4 d	~1 a	18 d	4 a	4 d
		Okt.	~1 a	24 d	2 a-3 a	9 d	~1 a	25 d	<2 a	10 d	~1 a	27 d	<2 a	10 d

¹⁾ Bootshafen: Radolfzell – Werfthafen Martin/Schutzhafen ist aufgrund Minimal-Wasserstand (180 cm a. P. Berl.) und Optimal-Wasserstand (180 cm a. P. Berl.) uneingeschränkt nutzbar.

²⁾ Saison-Monate April bis Oktober. In den nicht aufgeführten Saison-Monaten besteht keine Einschränkung für die Nutzbarkeit.

Anlage E

Archäologische Siedlungsareale am Obersee

Statistische Auswertungen bezogen auf die
flächenspezifischen Ober- bzw. -Untergrenzen des Wasserstands

Tabelle E-1: Statistische Auswertung der archäologischen Siedlungsareale am Obersee bezogen auf die Ober- und Untergrenze

Bodensee-Obersee Bezugs-Pegel: Konstanz/Bodensee		1910 - 2007				1955 - 2007				1977 - 2007				
		Obergrenze Wasserstand a. P. KN	Untergrenze ¹⁾ Wasserstand a. P. KN	Obergrenze Wasserstand a. P. KN	Untergrenze ¹⁾ Wasserstand a. P. KN	Obergrenze Wasserstand a. P. KN	Untergrenze ¹⁾ Wasserstand a. P. KN	Obergrenze Wasserstand a. P. KN	Untergrenze ¹⁾ Wasserstand a. P. KN	Obergrenze Wasserstand a. P. KN	Untergrenze ¹⁾ Wasserstand a. P. KN	Obergrenze Wasserstand a. P. KN	Untergrenze ¹⁾ Wasserstand a. P. KN	
Nr.	Ort / Archäologische Siedlungsareale ³⁾	Monat	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]								
maßgebender Wasserstand [cm] / [m+NN]			261 / 394,50	236 ¹⁾ / 394,25	261 / 394,50	236 ¹⁾ / 394,25	261 / 394,50	236 ¹⁾ / 394,25	261 / 394,50	236 ¹⁾ / 394,25	261 / 394,50	236 ¹⁾ / 394,25	261 / 394,50	236 ¹⁾ / 394,25
1 a	Unteruhldingen-Stollenwiese Neolith. u. spätbronzezeitl. Pfahlfeld Flächen-Untergrenze: 136 cm a. P. KN; 393,25 m+NN	Okt. ²⁾	28 a	1 d	30 a	1 d	28 a	0 d						
		Nov.	11 a	2 d	10 a	2 d								
		Dez.	5 a-6 a	3 d	5 a	3 d	5 a	3 d	5 a	3 d	5 a	3 d	4 a-5 a	4 d
		Jan.	4 a	4 d	4 a	4 d	4 a	5 d	4 a	5 d	4 a	5 d	4 a	5 d
		Febr.	3 a-4 a	5 d	3 a-4 a	4 d	4 a	3 d						
		März	4 a	4 d	5 a	3 d	5 a	3 d	5 a	3 d	5 a	3 d	5 a	3 d
		April	16 a	1 d	24 a	1 d	25 a	0 d						
		Mai	>100 a	0 d	>100 a	0 d								
maßgebender Wasserstand [cm] / [m+NN]			331 / 395,20	236 / 394,25	331 / 395,20	236 / 394,25	331 / 395,20	236 / 394,25	331 / 395,20	236 / 394,25	331 / 395,20	236 / 394,25	331 / 395,20	236 / 394,25
1 b	Unteruhldingen-Stollenwiese Frühbronzezeitliches Pfahlfeld	Okt.	<2 a	14 d	<2 a	18 d	<2 a	18 d	<2 a	18 d	<2 a	19 d	<2 a	19 d
		Nov.	~1 a	21 d	~1 a	24 d	~1 a	24 d	~1 a	24 d	~1 a	25 d	~1 a	25 d
		Dez.	~1 a	27 d	~1 a	28 d	~1 a	28 d	~1 a	28 d	~1 a	27 d	~1 a	27 d
		Jan.	~1 a	29 d	~1 a	30 d								
		Febr.	~1 a	28 d	~1 a	28 d								
		März	~1 a	30 d	~1 a	29 d	~1 a	29 d						
		April	~1 a	22 d	~1 a	23 d								
		Mai	<2 a	8 d	<2 a	10 d	<2 a	10 d	<2 a	10 d	<2 a	10 d	<2 a	10 d
		Juni	14 a	1 d	10 a	1 d								
		Juli	20 a	1 d	17 a	2 d	15 a	2 d						
		Aug.	6 a	3 d	5 a	4 d	5 a	4 d	5 a	4 d	5 a	5 d	4 a	5 d
		Sept.	2 a-3 a	7 d	2 a	9 d	2 a	9 d	2 a	9 d	2 a	9 d	<2 a	9 d

¹⁾ Bei archäologischen Siedlungsarealen, die bis unterhalb des NNW reichen, wird Trockenfallen bei NW = 236 cm a. P. KN kalkuliert.

²⁾ Mittleres Niedrigwasser MNW = 265 cm; NW(Febr. 2006) = 229 cm; NW(Dez. 2005) = 236 cm; NW(März 1972) = 237 cm

³⁾ In den nicht aufgeführten Monaten erfolgt keine Unterschreitung der Wasserstände

Das archäologische Siedlungsareal Bodman-Schachen liegt ständig unter Niedrigst-Wasserstand, deshalb nicht behandelt.

Tabelle E-1: Statistische Auswertung der archäologischen Siedlungsareale am Obersee bezogen auf die Ober- und Untergrenze (Fortsetzung)

Bodensee-Obersee Bezugs-Pegel: Konstanz/Bodensee		1910 - 2007				1955 - 2007				1977 - 2007			
		Obergrenze Wasserstand a. P. KN		Untergrenze ¹⁾ Wasserstand a. P. KN		Obergrenze Wasserstand a. P. KN		Untergrenze ¹⁾ Wasserstand a. P. KN		Obergrenze Wasserstand a. P. KN		Untergrenze ¹⁾ Wasserstand a. P. KN	
Nr.	Ort / Archäologische Siedlungsareale ³⁾	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]	MUT(m) [d]	T _{NW(m)} [a]
		maßgebender Wasserstand [cm] / [m+NN]											
2 a	Obermaurach-Ziegelhütte Neolithisches Pfahlfeld Flächen-Untergrenze: 211 cm a. P. KN; 394,00 m+NN	9 d	>100 a	0 d	<2 a	11 d	>100 a	0 d	<2 a	11 d	>100 a	0 d	>100 a
		15 d	>100 a	0 d	<2 a	19 d	>100 a	0 d	<2 a	20 d	>100 a	0 d	>100 a
		21 d	>100 a	0 d	~1 a	22 d	>100 a	0 d	~1 a	22 d	100 a	0 d	100 a
		25 d	90 a	1 d	~1 a	27 d	80 a	1 d	~1 a	28 d	50 a	1 d	50 a
		25 d	80 a	1 d	~1 a	24 d	70 a	1 d	~1 a	24 d	60 a	1 d	60 a
		26 d	>100 a	0 d	~1 a	25 d	90 a	0 d	~1 a	25 d	>100 a	0 d	>100 a
		14 d	>100 a	0 d	<2 a	15 d	>100 a	0 d	<2 a	15 d	>100 a	0 d	>100 a
		3 d	3 a-4 a		3 a-4 a	4 d	>100 a	0 d	3 a	4 d			
		1 d	80 a	1 d	55 a	1 d			65 a	0 d			
		1 d	90 a	1 d	60 a	1 d			60 a	1 d			
		1 d	15 a	1 d	14 a	1 d			10 a	2 d			
		3 d	5 a		4 a	4 d			3 a-4 a	4 d			
		1 d	28 a	1 d	261 / 394,50	1 d	236 ¹⁾ / 394,25	1 d	261 / 394,50	0 d	236 ¹⁾ / 394,25	0 d	236 ¹⁾ / 394,25
2 b	Obermaurach-Ziegelhütte Neolith. Kulturschicht (Reste) Flächen-Untergrenze: 151 cm a. P. KN; 393,40 m+NN	2 d	>100 a	0 d	10 a	2 d	>100 a	0 d	10 a	2 d	>100 a	0 d	>100 a
		3 d	>100 a	0 d	5 a	3 d	>100 a	0 d	4 a-5 a	4 d	>100 a	0 d	>100 a
		4 d	90 a	1 d	4 a	5 d	80 a	1 d	4 a	5 d	50 a	1 d	50 a
		5 d	80 a	1 d	3 a-4 a	4 d	70 a	1 d	4 a	3 d	60 a	1 d	60 a
		4 d	>100 a	0 d	5 a	3 d	90 a	0 d	5 a	3 d	>100 a	0 d	>100 a
		1 d	>100 a	0 d	24 a	1 d	>100 a	0 d	25 a	0 d	>100 a	0 d	>100 a
		0 d	>100 a		>100 a	0 d			>100 a	0 d			
		0 d	241 / 394,30	0 d	241 / 394,30	0 d	236 ¹⁾ / 394,25	0 d	241 / 394,30	0 d	236 ¹⁾ / 394,25	0 d	236 ¹⁾ / 394,25
3	Sipplinger-Osthafen Neolithisches Pfahlfeld/ Kulturschichten Flächen-Untergrenze: 131 cm a. P. KN; 393,20 m+NN	0 d	>100 a	0 d	>100 a	0 d	>100 a	0 d	>100 a	0 d	>100 a	0 d	>100 a
		1 d	>100 a	0 d	55 a	1 d	>100 a	0 d	40 a	1 d	>100 a	0 d	>100 a
		1 d	90 a	1 d	35 a	1 d	80 a	1 d	30 a	1 d	50 a	1 d	50 a
		1 d	80 a	1 d	25 a	1 d	70 a	1 d	30 a	1 d	60 a	1 d	60 a
		1 d	>100 a	0 d	35 a	1 d	90 a	0 d	60 a	0 d	>100 a	0 d	>100 a
		0 d	>100 a	0 d	>100 a	0 d	>100 a	0 d	>100 a	0 d	>100 a	0 d	>100 a

¹⁾ Bei archäologischen Siedlungsarealen, die bis unterhalb des NNW reichen, wird Trockenfallen bei NW = 236 cm a. P. KN kalkuliert.

²⁾ Mittleres Niedrigwasser MNW = 265 cm; NW(Febr. 2006) = 229 cm; NW(Dez. 2005) = 236 cm; NW(März 1972) = 237 cm

³⁾ In den nicht aufgeführten Monaten erfolgt keine Unterschreitung der Wasserstände

³⁾ Das archäologische Siedlungsareal Bodman-Schachen liegt ständig unter Niedrigst-Wasserstand, deshalb nicht behandelt.

Tabelle E-1: Statistische Auswertung der archäologischen Siedlungsareale am Obersee bezogen auf die Ober- und Untergrenze (Fortsetzung)

Bodensee-Obersee Bezugs-Pegel: Konstanz/Bodensee		1910 - 2007				1955 - 2007				1977 - 2007			
		Obergrenze Wasserstand a. P. KN		Untergrenze ¹⁾ Wasserstand a. P. KN		Obergrenze Wasserstand a. P. KN		Untergrenze ¹⁾ Wasserstand a. P. KN		Obergrenze Wasserstand a. P. KN		Untergrenze ¹⁾ Wasserstand a. P. KN	
Nr.	Ort / Archäologische Siedlungsareale ³⁾	MUT(m) [d]		T _{NW(m)} [a]		MUT(m) [d]		T _{NW(m)} [a]		MUT(m) [d]		T _{NW(m)} [a]	
	maßgebender Wasserstand [cm] / [m+NN]	261 / 394,50		236 ¹⁾ / 394,25		261 / 394,50		236 ¹⁾ / 394,25		261 / 394,50		236 ¹⁾ / 394,25	
4 b	<i>Bodman-Schachen II</i> Neolithisches Pfahlfeld/Kulturschicht	28 a	1 d	>100 a	0 d	30 a	1 d	>100 a	0 d	28 a	0 d	>100 a	0 d
		11 a	2 d	>100 a	0 d	10 a	2 d	>100 a	0 d	10 a	2 d	>100 a	0 d
		5 a-6 a	3 d	90 a	0 d	5 a	3 d	>100 a	0 d	4 a-5 a	4 d	100 a	0 d
		4 a	4 d	80 a	1 d	4 a	5 d	80 a	1 d	4 a	5 d	50 a	1 d
	Flächen-Untergrenze: 211 cm a. P. KN; 394,00 m+NN	3 a-4 a	5 d	>100 a	1 d	3 a-4 a	4 d	70 a	1 d	4 a	3 d	60 a	1 d
		4 a	4 d	>100 a	0 d	5 a	3 d	90 a	0 d	5 a	3 d	>100 a	0 d
		16 a	1 d	>100 a	0 d	24 a	1 d	>100 a	0 d	25 a	0 d	>100 a	0 d
		>100 a	0 d			>100 a	0 d			>100 a	0 d		
	maßgebender Wasserstand [cm] / [m+NN]	311 / 395,00		291 / 393,80		311 / 395,00		291 / 393,80		311 / 395,00		291 / 393,80	
5	<i>Litzelstetten-Krähenhorn</i> Neolithische Pfahlfelder/ Kulturschichten	2 a-3 a	9 d	4 a-5 a	4 d	<2 a	11 d	<2 a	5 d	<2 a	11 d	3 a	4 d
		<2 a	15 d	2 a-3 a	9 d	<2 a	19 d	<2 a	12 d	<2 a	20 d	<2 a	13 d
		~1 a	21 d	<2 a	13 d	~1 a	22 d	<2 a	15 d	~1 a	22 d	<2 a	17 d
		~1 a	25 d	~1 a	18 d	~1 a	27 d	<2 a	19 d	~1 a	28 d	~1 a	19 d
		~1 a	25 d	~1 a	18 d	~1 a	24 d	~1 a	18 d	~1 a	24 d	~1 a	19 d
		~1 a	26 d	<2 a	16 d	~1 a	25 d	~1 a	16 d	~1 a	25 d	<2 a	16 d
		<2 a	14 d	3 a	7 d	<2 a	15 d	2 a-3 a	8 d	<2 a	15 d	2 a-3 a	8 d
		3 a-4 a	3 d	10 a	2 d	3 a-4 a	4 d	8 a-9 a	2 d	3 a	4 d	7 a-8 a	2 d
		80 a	1 d	>100 a	0 d	55 a	1 d	>100 a	0 d	65 a	0 d	>100 a	0 d
		90 a	1 d	>100 a	0 d	60 a	1 d	>100 a	0 d	60 a	1 d	>100 a	0 d
		15 a	1 d	50 a	1 d	14 a	1 d	45 a	1 d	10 a	2 d	45 a	1 d
		5 a	3 d	15 a	1 d	4 a	4 d	10 a	1 d	3 a-4 a	4 d	10 a	2 d

1) Bei archäologischen Siedlungsarealen, die bis unterhalb des NNW reichen, wird Trockenfallen bei NW = 236 cm a. P. KN kalkuliert.

2) Mittleres Niedrigwasser MNW = 265 cm; NW(Febr. 2006) = 229 cm; NW(Dez. 2005) = 236 cm; NW(März 1972) = 237 cm

3) In den nicht aufgeführten Monaten erfolgt keine Unterschreitung der Wasserstände

Das archäologische Siedlungsareal Bodman-Schachen I liegt ständig unter Niedrigst-Wasserstand, deshalb nicht behandelt.

Anlage F

Kartierungen der 5 archäologischen Siedlungsareale am Obersee

- a. Flächen-Neuaufnahme
- b. Flächen auf Kartengrundlage Bodensee-Tiefen-Vermessung [43]

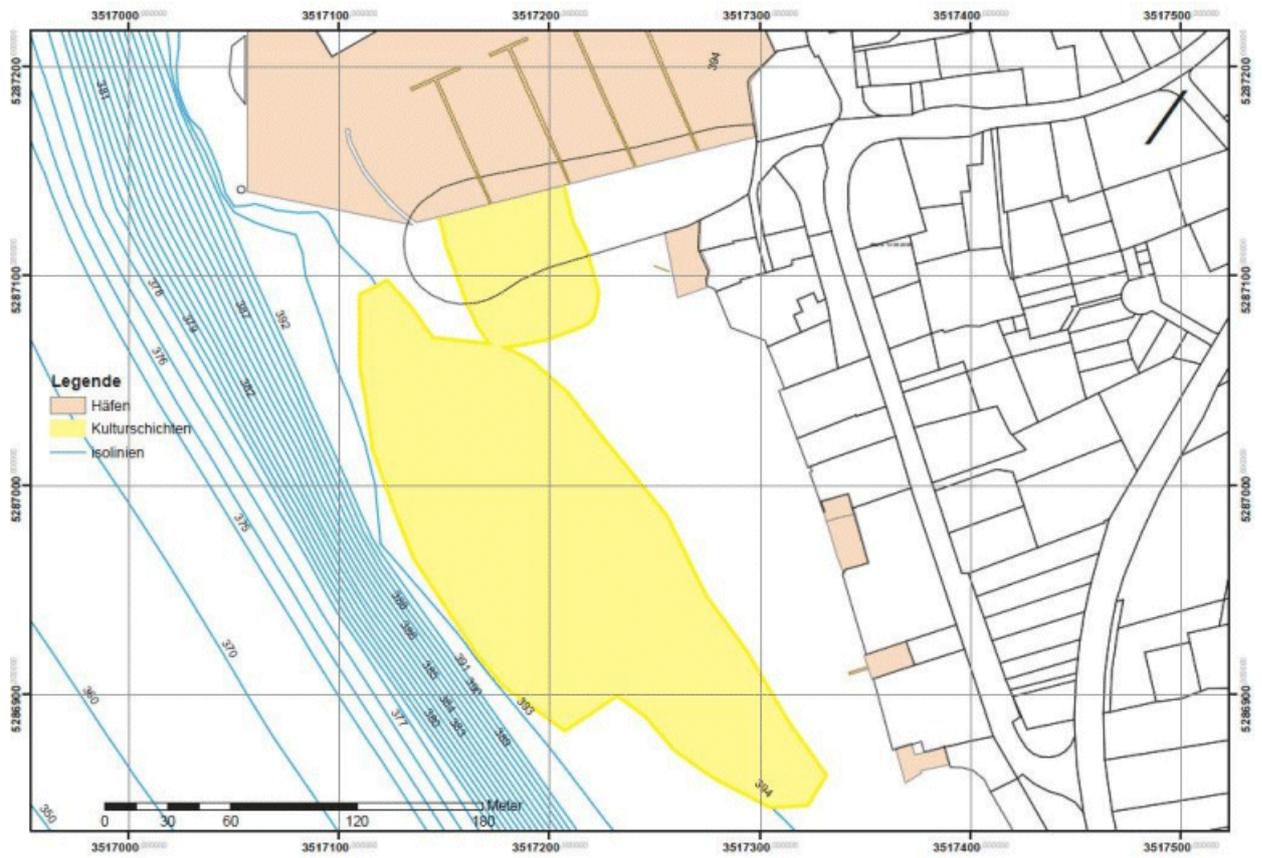


Abb F-1b: **Unteruhldingen-Stollenwiesen**: Neolith. u. spätbronzezeitl. sowie frühbronzezeitl. Pfahlfelder

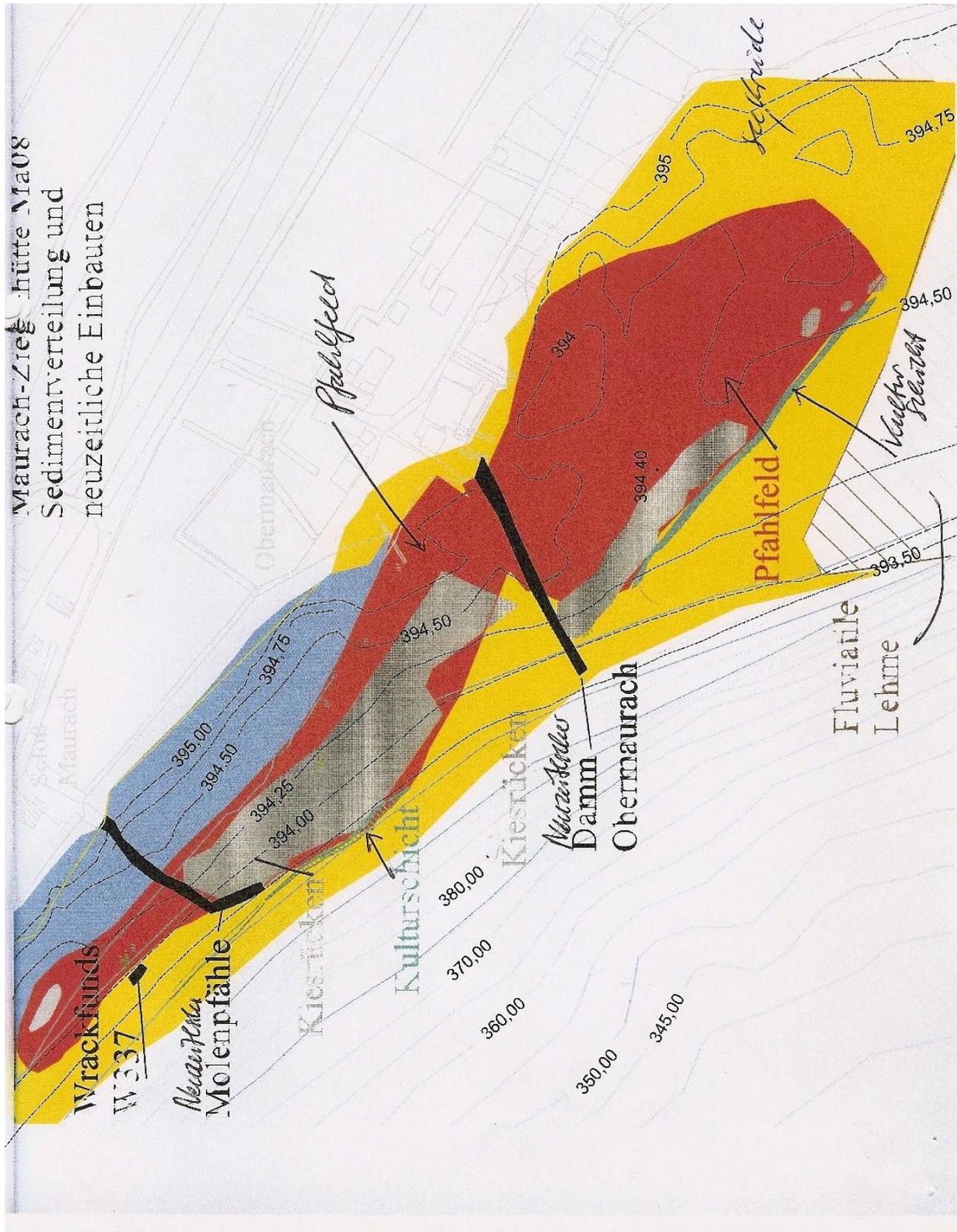


Abb F-2a: Obermaurach-Ziegelhütte: Neolith. Pfählfeld und Kulturschichten (Reste)

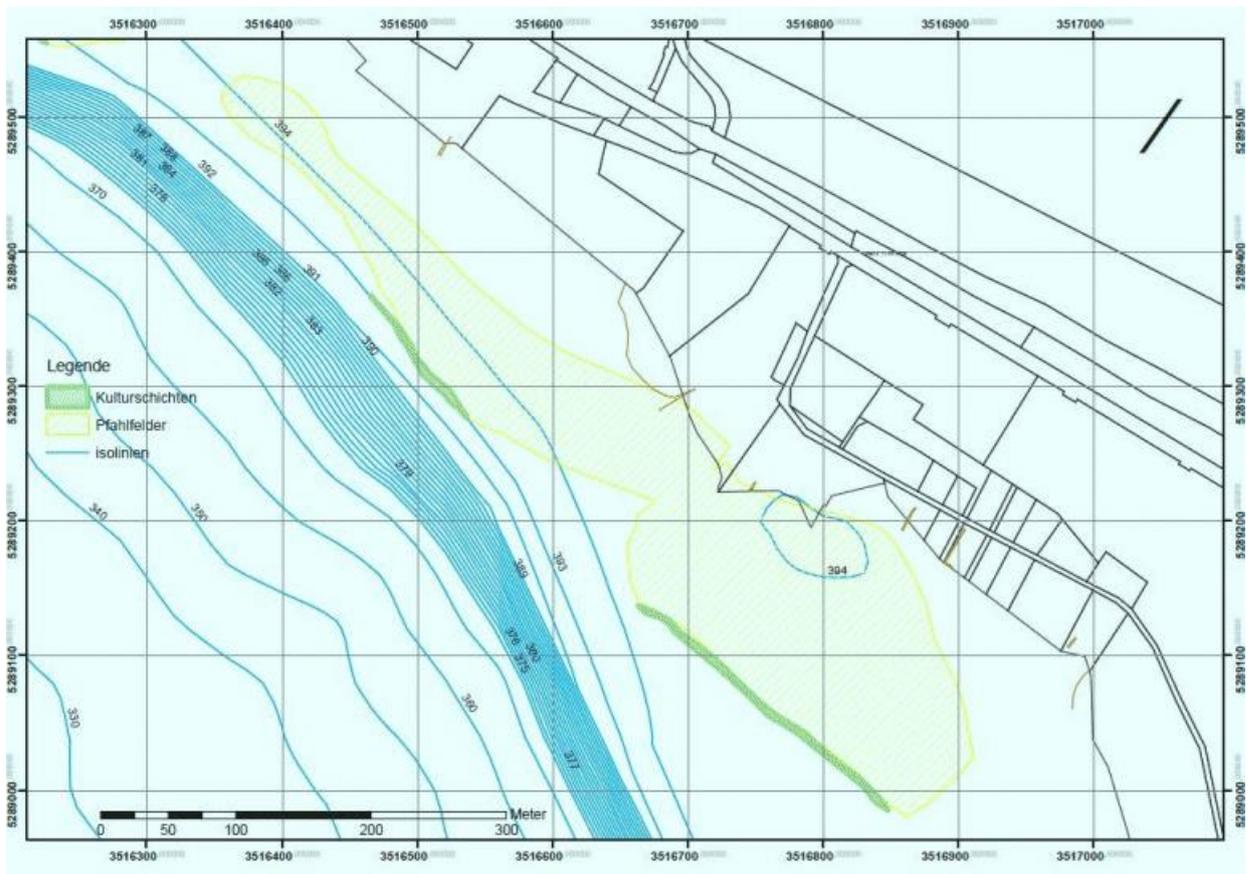


Abb F-2b: **Obermaurach-Ziegelhütte**: Neolith. Pfahlfeld und Kulturschichten (Reste)

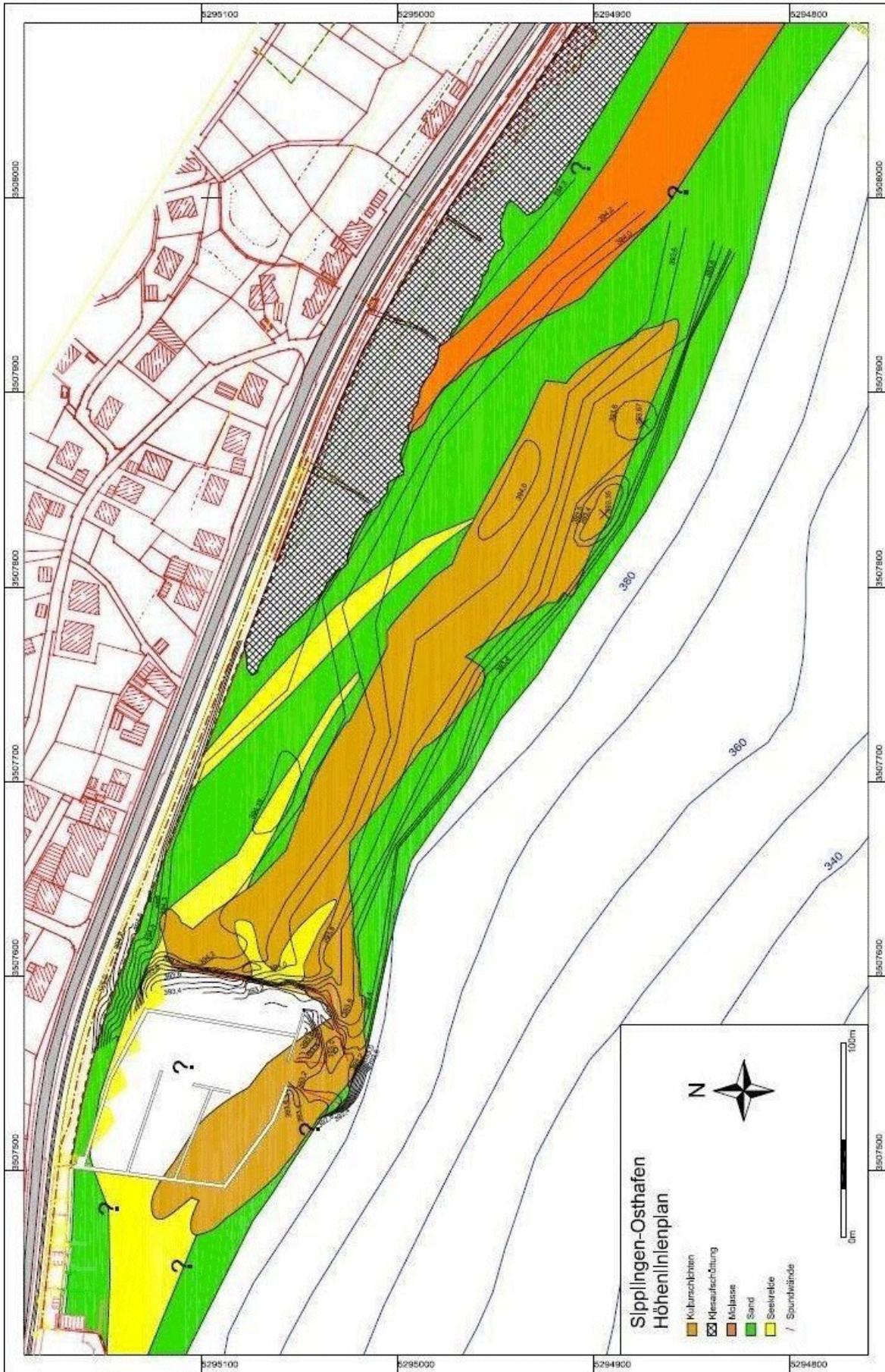


Abb F-3a: **Siplingen-Osthafen**: Neolith. Pfahlfelder /Kulturschicht

Abb. 9: Übersichtplan zur Lage der Oberflächenaufnahme, Grabungsschnitte und Bohrpunkte im Vermessungsnetz.
 1 Gegrabene Flächen. 2 Oberflächenaufnahme. 3 Bohrungen.
 4 Pfahlfeld von Bodman-Schachen I.

5 Pfahlfeld von Bodman-Schachen II. 6 Streubereich schnurkeramischer Funde. 7 Pflöcke der Grundvermessung am Ufer. Der Kartenausschnitt entspricht dem auf Abbildung 19 angegebenen Rechteck.

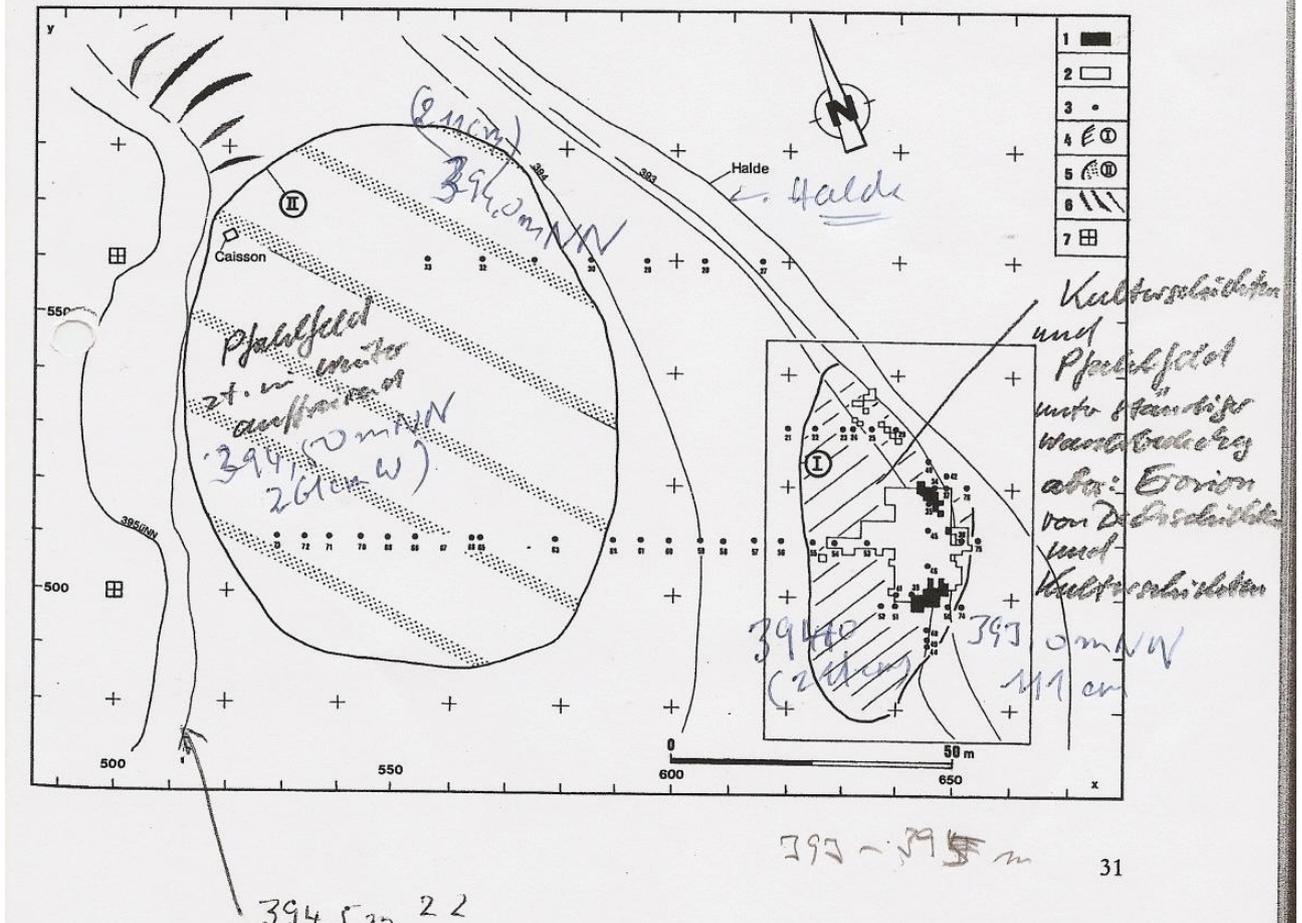


Abb F-4a: **Bodman-Schachen I:** Kulturschicht / Pfahlfeld (vornehmlich Erosion) und **Bodman-Schachen II:** Neolith. Pfahlfeld / Kulturschicht

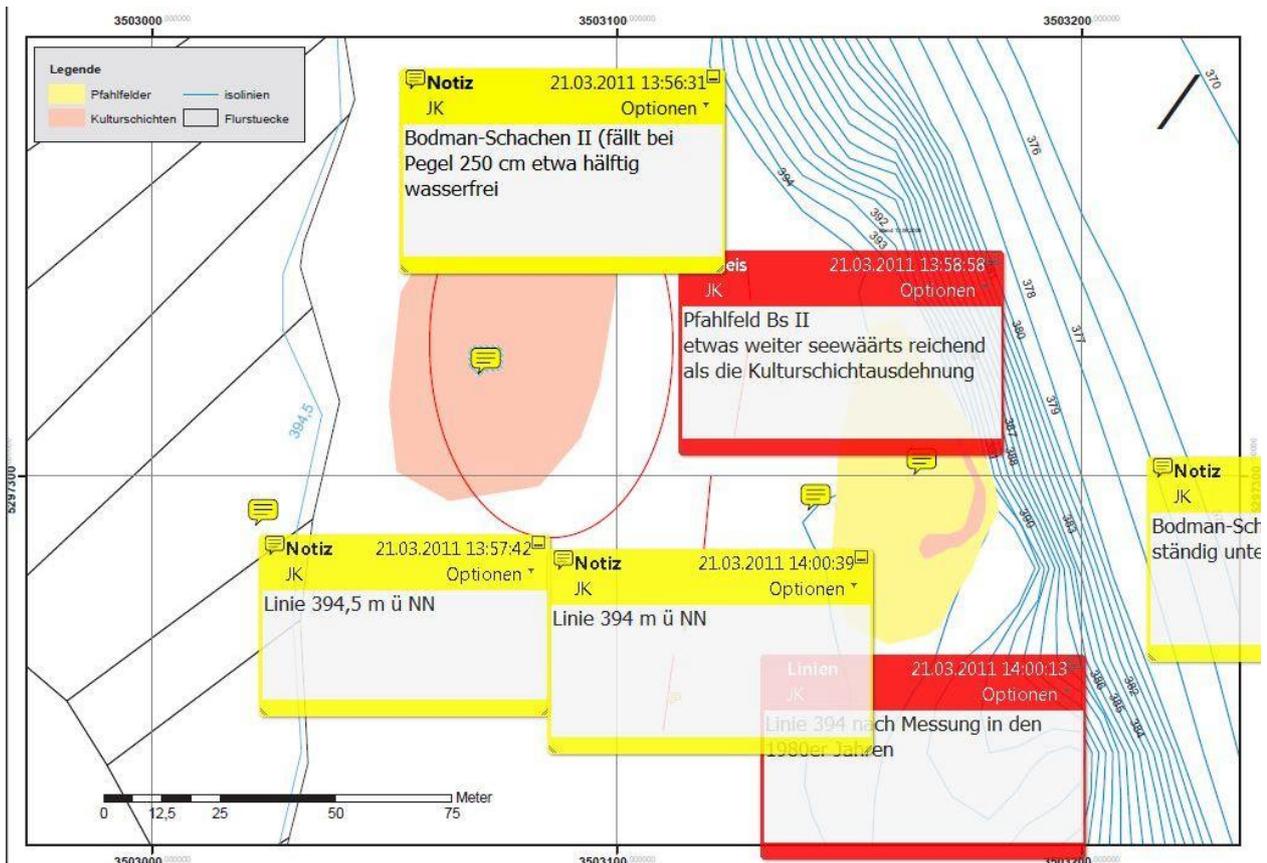


Abb F-4b: **Bodman-Schachen I**: Kulturschicht / Pfahlfeld (vornehmlich Erosion) und **Bodman-Schachen II**: Neolith. Pfahlfeld / Kulturschicht

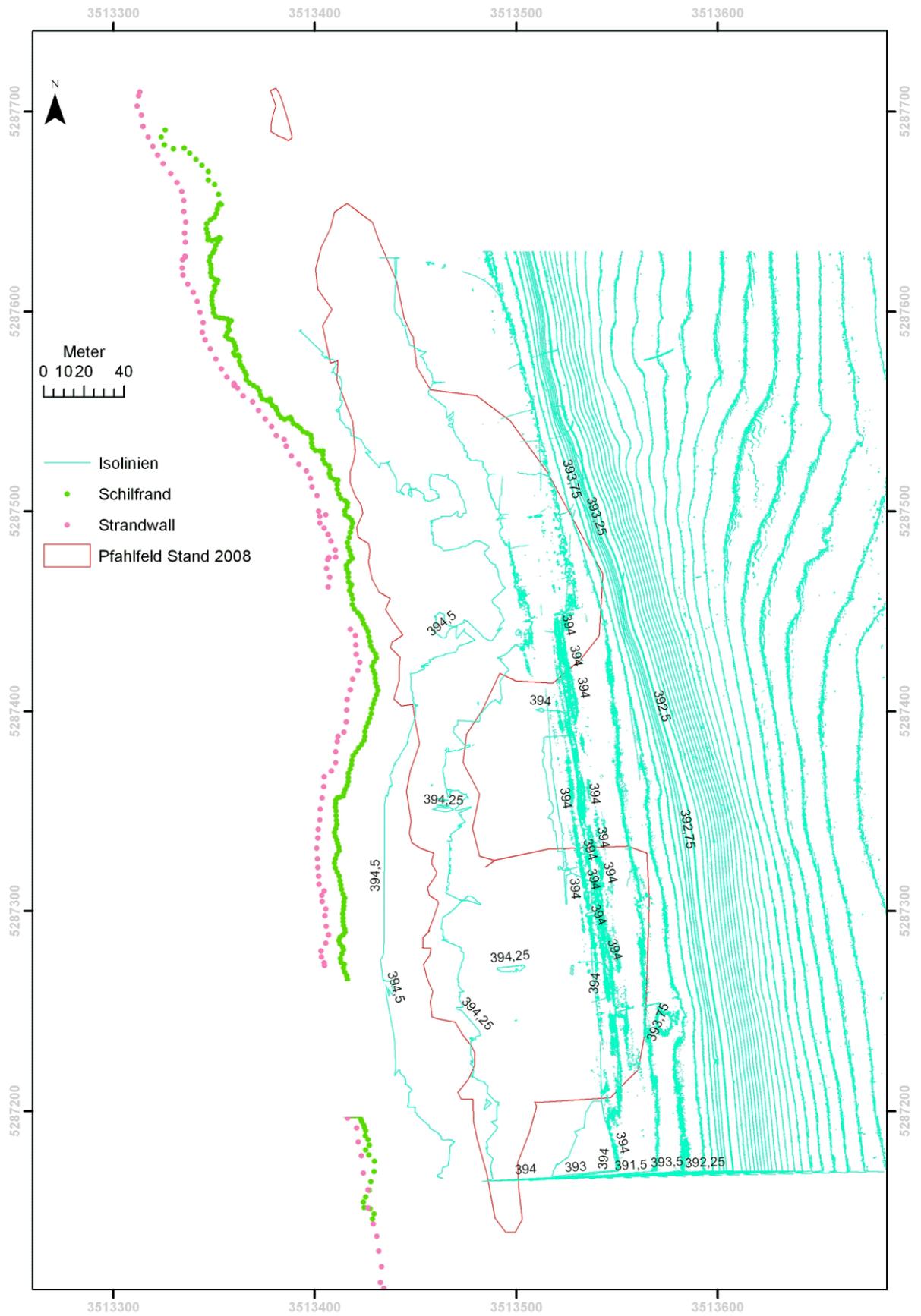


Abb F-5a: **Litzelstetten-Krähenhorn**: Neolith. Pfahlfelder / Kulturschichten

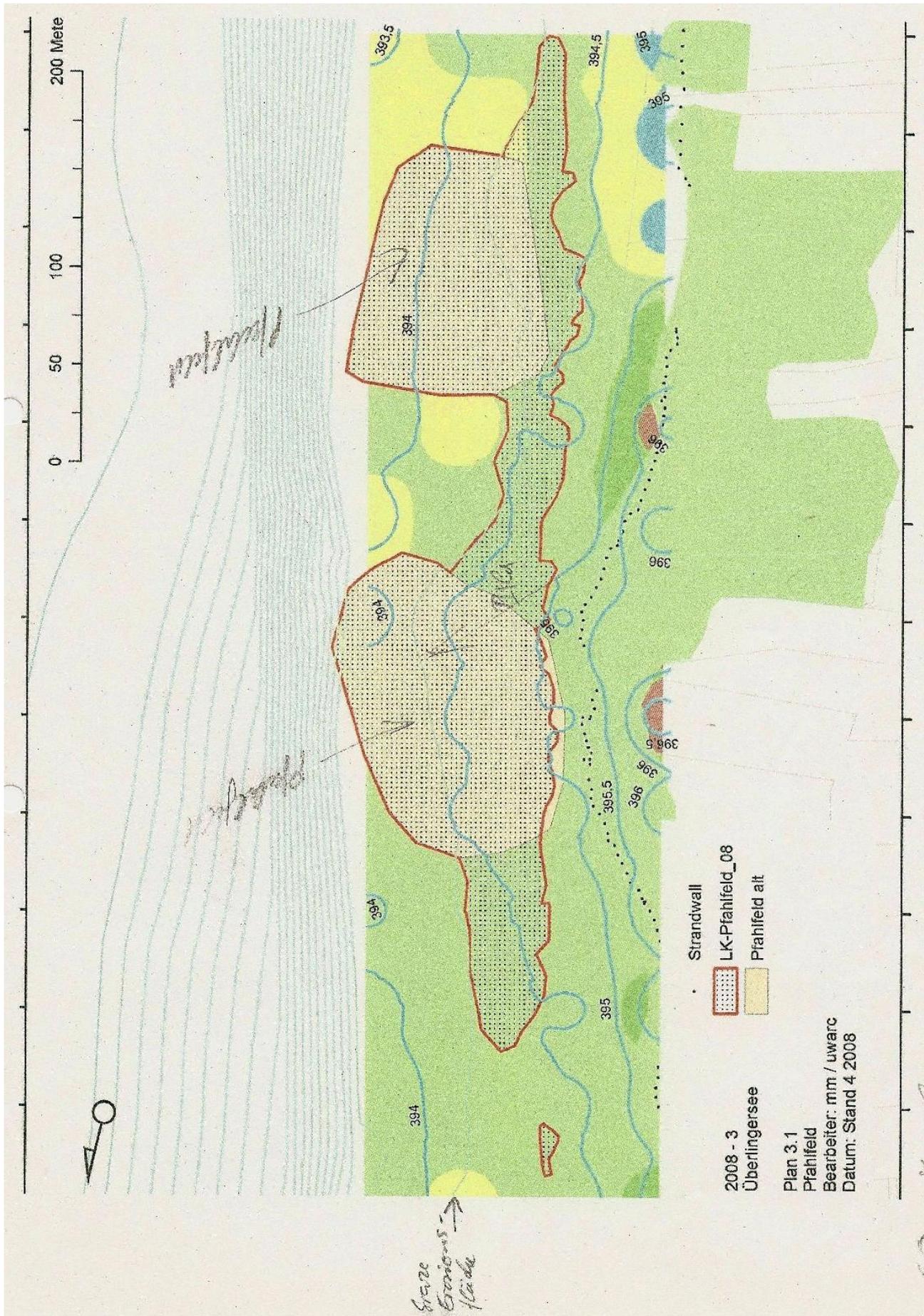


Abb F-5b. Litzelstetten-Krähenhorn: Neolith. Pfahlfelder / Kulturschichten