

Die Trends der mittleren Niederschlags- und Abflußverhältnisse in den Flußgebieten Mecklenburg-Vorpommerns

Dietmar Mehl^a, André Steinhäuser^a & Stefan Klitzsch^b

^a biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH, Nebelring 15, 18246 Bützow

Email: dietmar.mehl@institut-biota.de; andre.steinhaeuser@institut-biota.de

^b Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Goldberger

Straße 12, 18273 Güstrow, Email: stefan.klitzsch@lung.mv-regierung.de

Schlüsselwörter:

Abfluß, Abflußbilanz, Hydrologie, hydroklimatische Trends, Naß- und Trockenjahre, Niederschlag, Wasserhaushalt

Zusammenfassung

Der Beitrag beschäftigt sich mit Trends der Niederschlags- und Abflußverhältnisse in den Flußgebieten Mecklenburg-Vorpommerns. Dabei sind trendhafte Veränderungen im Verlaufe des 20. Jahrhunderts nachweisbar, die im offenkundigen Zusammenhang mit der globalen Erwärmung stehen. Die Auswirkungen sind regional sehr differenziert, führen aber gebietsweise zu deutlichem Abflußrückgang. Insgesamt kann ein landesweiter Trend einer Verschiebung der Sommerniederschläge zu den Winterniederschlägen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts belegt werden. Zudem werden für die aktuelle Bezugsperiode 1971-2000 Karten mittlerer Niederschlagshöhen für Mecklenburg-Vorpommern sowie flußgebietsbezogene mittlere Wasserbilanzen vorgestellt.

Keywords:

hydrology, precipitation, runoff, runoff balance, trends in hydro-climate, water balance, wet and dry years

Abstract

This article deals with trends in precipitation- and runoff-rates in the river-basins of the federal state Mecklenburg-Western Pomerania. Clear changes can be proved in the course of the 20th century, which are obviously linked to the global warming. Although the effects of this changes vary from region to region, in many areas they result in a clear-cut decrease of runoff amounts. Altogether a state-wide shift from summer- to winter-precipitation can be verified for the 2nd half of the 20th century. For the first time, maps based on the actual reference period 1971-2000, containing average precipitation heights and average water-balances are presented for Mecklenburg-Western Pomerania.

1 Einleitung

Die nahe Vergangenheit einschließlich des Jahres 2003 ist in Deutschland durch verstärkt auftretende extreme hydrologische Ereignisse gekennzeichnet. Ob beispielsweise die Rheinhochwasser von 1993 und 1995, Hochwasser im Einzugsgebiet der Oder im Jahr 1997, die noch deutlich im Bewußtsein befindliche Flutkatastrophe im Elbegebiet im Jahr 2002 oder die in 2003 langwährende und ausgeprägte Niedrigwasserphase – alle Ereignisse erscheinen zunächst, gemessen an den hydrologischen Verhältnissen der letzten Jahrzehnte, in ihrem Ausmaß und ihrer zeitlichen Häufung als außergewöhnlich.

Während eine relativ rasche globale Klimaveränderung mit entsprechenden Folgen für die hydroklimatischen Verhältnisse mittlerweile wohl als gesichert angenommen werden kann, sind die hydrologischen Folgen unsicher und damit teilweise strittig. Aussagen der „Klimafolgenforschung“ werden häufig nur ungenügend mit Erkenntnissen der „Technikfolgenforschung“ abgeglichen (AURADA 1999), worauf nachfolgend kurz eingegangen wird.

Hauptverantwortlich für den Klimawandel ist die überwiegend anthropogen verursachte Zunahme der Konzentration von Kohlendioxid (CO_2) in der Atmosphäre um 31% seit 1750, die zu einer Erhöhung der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur um $0,6 \pm 0,2$ K im 20. Jahrhundert geführt hat (IPCC 2001). Die gegenwärtige CO_2 -Konzentration wurde während der letzten 420.000 Jahre, und wahrscheinlich auch während der letzten 20 Millionen Jahre, nicht überschritten. Insofern ist die gegenwärtige Zuwachsrate beispiellos für mindestens die letzten 20.000 Jahre. Die hydrometeorologischen und hydrologischen Auswirkungen mit Schwerpunkt auf Mitteleuropa (mittlere Breiten) werden von den führenden Klimaforschern wie folgt beurteilt (s. vor allem IPCC 2001):

- Die Niederschläge über dem Festland haben im 20. Jahrhundert in den meisten Regionen der mittleren und hohen Breiten auf der Nordhemisphäre sehr wahrscheinlich um 0,5 bis 1% pro Jahrzehnt zugenommen, d.h. ein Gesamtanstieg um 5-10% im Verlauf des 20. Jahrhunderts ist in diesen Regionen sehr wahrscheinlich.
- Die Häufigkeit von schweren Niederschlagsereignissen hat in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts in den mittleren und höheren Breiten der Nordhemisphäre wahrscheinlich um 2 bis 4% zugenommen.
- Grundsätzlich ist eine weitere Intensivierung des hydrologischen Kreislaufs zu erwarten, damit ein Anstieg der mittleren globalen Niederschläge. Zudem sind intensivere Niederschlagsereignisse über vielen Gebieten sehr wahrscheinlich.
- Es wird prognostiziert, daß der weltweite durchschnittliche Jahresniederschlag während des 21. Jahrhunderts steigt, obwohl im regionalen Maßstab typische Zu- bzw. Abnahmen von 5 bis 20% zu erwarten sind (hohe räumliche Diversität). Zudem ist wahrscheinlich, daß der Niederschlag über den Regionen hoher Breiten sowohl im Sommer als auch im Winter zunehmen wird. Zunahmen werden auch über den mittleren nördlichen Breiten, dem tropischen Afrika und der Antarktis im Winter sowie in Süd- und Ostasien im Sommer prognostiziert. Einen markanten Rückgang seit 1970 hinsichtlich Niederschlag und Abfluß in Zentral- und Westafrika können dagegen NIEL et al. (2003) belegen.
- Modellrechnungen gehen für große Teile Mitteleuropas von einem Rückgang des mittleren Abflusses in einer Größenordnung der angegebenen Klassen von 0-25 bis 50-150 mm/a aus (szenarien- und modellabhängig vor allem auf Grund von Unterschieden in der Berechnung der erhöhten Verdunstung).

Ähnlich werden die Verhältnisse auch für Deutschland bewertet (z.B. MÜLLER-WESTERMEIER 2001). Nach DASCHKEIT & STERR (1999) ist auf Grund der Zunahme von Hochdruckgebieten über Nordeuropa, verbunden mit einem Temperaturmaximum über Zentral-

europa von positiven Niederschlagsanomalien im deutschen Küstengebiet auszugehen, wobei der Effekt an der Nordsee größer sein soll als an der Ostsee. Allerdings ist es trotz einer in den Klimamodellen ständig verbesserten kleinräumigen Betrachtung derzeit kaum möglich, für ein „kleines“ Gebiet wie Norddeutschland belastbare Prognosen für künftige Niederschlags- und Abflußverhältnisse zu erstellen.

Auf der regionalen und lokalen Ebene können aber für die offenkundig veränderten Niederschlagsverhältnisse in großen Teilen Mitteleuropas auch meliorative Maßnahmen und Eingriffe in die Landschaft verantwortlich gemacht werden (RIPL & WOLTER 2003). Der lokale Wasserkreislauf von Verdunstung und Kondensation wurde teilweise erheblich gestört, da oberflächliche verdunstungsintensive Kühlstrukturen wie Wälder, Feuchtgebiete und Gewässer verloren gegangen sind. Die anthropogenen Veränderungen haben danach zu einer Verschiebung des Bowen-Verhältnisses geführt, welches beim nach oben gerichteten Energiestrom das Verhältnis von fühlbarer zur latenten Wärme beschreibt. Der erhöhte fühlbare Wärmestrom führt zu stärkerer lokaler Erwärmung der unteren Troposphärenschichten.

Bei den hydrologischen Folgen des Klimawandels gibt es teilweise Erkenntnisse über unmittelbare Zusammenhänge. „Die extremen (hydrologischen) Ereignisse haben sich in den letzten fünfzig Jahren vervierfacht. Generell muß im gemäßigten Klimabereich mit höheren Niederschlägen im Winter, mit entsprechend verschärftem Hochwasserrisiko und vermehrten Dürren im Sommer gerechnet werden...“ (LEIBUNDGUT 2002). Demgegenüber können MUDELSEE et al. (2003) nach einer Auswertung von historischen Quellen, die bis in das 11. Jahrhundert zurückreichen, nachweisen, daß die Häufigkeit extremer Hochwasser an Elbe und Oder nicht zugenommen hat. Nach diesen Ergebnissen traten weder an der Elbe noch an der Oder während der vergangenen achtzig bis einhundertfünfzig Jahre häufiger extreme Abflüsse als in den Jahrhunderten zuvor auf. Im Winter haben diese in Zahl und Ausmaß sogar abgenommen, was mit der durch die klimatische Erwärmung bedingten Abnahme von Schneeschmelz- und Eisstauhochwassern erklärt werden kann. Generell müssen aber bei hydrologischen Trendanalysen auch die Größen der betrachteten Systeme beachtet werden, da in größeren Systemen kleinräumig auftretende hydrologische Extreme eine untergeordnete Rolle spielen und daneben z.T. Kompensationseffekte auftreten.

Vernachlässigt wird heute vielfach, daß die Verdunstungs- und Abflußverhältnisse gegenüber den natürlichen Zuständen zum großen Teil stark anthropogen verändert sind. So analysieren BORK et al. (1998) die Auswirkungen des menschlichen Wirkens auf Landschaften und können belegen, daß die Abflüsse der mitteleuropäischen Flüsse vor den großen Waldrodungen im Hochmittelalter wesentlich geringer waren. Die mit den Rodungen einhergehenden höheren Abflüsse führten zusammen mit starken Erosionserscheinungen auf den entblößten Böden interessanterweise auch zu den verstärkten Auenlehmauflandungen. So wurden z.B. an Elbe, Weser, Werra und Leine bronze- bzw. eisenzeitliche Hochflutsedimente rekonstruiert und konnten in einen engen Zusammenhang mit den damaligen Rodungen gesetzt werden (MENSCHING 1958, LÜTTIG 1960, JÄGER 1962, STRAUTZ 1962, WILDHAGEN & MEYER 1972). Allgemein besteht die Auffassung, daß es die größten Auenlehmauflandungen zur Zeit der geringsten anthropogen verursachten Waldbedeckung im Mittelalter gab (KERN 1995).

EULENSTEIN & WENKEL (2003) belegen ebenfalls für den Landschaftswasserhaushalt in Brandenburg im Wandel der Zeit eine Zunahme der Grundwasserneubildung auf den Hochflächen im Zusammenhang mit der ackerbaulichen Nutzung im Mittelalter sowie einen entsprechenden Grundwasseranstieg in den Niederungen, und damit insgesamt eine Abflußzunahme. Insofern würde auch die heute diskutierte Alternative einer Aufforstung auf den grundwasserfernen Standorten mit armen Böden (Grenzertragsstandorte mit schwierigen agrarökonomischen Bedingungen) auf Grund der Verdunstungszunahme zur Verringerung der Grundwasserneubildung führen (BORK et al. 1995, DANNOWSKI 1995, EULENSTEIN & WENKEL 2003).

Andererseits problematisiert AURADA (1999) die Auswirkungen der Speicherraumentwicklung auf das Wasserdargebot in Deutschland (Speichereffekt auf die Abflüsse ca. ab 1910). RÖDEL (2001) kann statistisch gesichert nachweisen, daß vor allem Veränderungen des Abflußregimes im Ostseebeeinzugsgebiet durch den historischen Talsperrenbau eingetreten sind. Grundsätzlich müssen daher die historischen Veränderungen der Landschaften, z.B. im Hinblick auf die Hochwasserverhältnisse (AURADA 2003), in ihren Auswirkungen im unbedingten Zusammenhang mit klimatisch bedingten Veränderungen betrachtet und diskutiert werden.

In der nationalen und internationalen hydrologischen Forschung hat sich mittlerweile eine entsprechende Klimafolgenforschung entwickelt. Bevorzugt unter Nutzung hydrologischer Modelle werden verschiedene hydroklimatische Szenarien vor allem für große Flußgebiete berechnet und diskutiert (z.B. BECKER & NEMEC 1987, LAHMER et al. 2001, SIMONOVIC et al. 2003). Teilweise werden hydrologische Modelle in diesem Zusammenhang mit anderen Umweltmodellen gekoppelt, um komplexere Aussagen zu erhalten (BOBBA et al. 2000). Daneben werden aber auch Analysen der hydrologischen Veränderungen in ausgewählten Flußgebieten vorwiegend in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts vorgenommen (z.B. NIEL et al. 2003 für Zentral- und Westafrika, HODGKINS et al. 2003 für New England/USA, BLOOMFIELD et al. 2003 für jährliche Minimumgrundwasserstände in ausgewählten Gebieten Großbritanniens). MCKERCHAR & HENDERSON (2003) untersuchten in Neuseeland die Auswirkungen klimatischer Variationen zwischen den Vergleichszeiträumen 1947-1977 sowie 1978-1999 auf die mittleren und die Niedrigwasserabflüsse. Von der US-amerikanischen Umweltbehörde US Geological Survey (<http://water.usgs.gov>) wurden in den letzten Jahren gezielt Flußgebiete ausgesucht, in denen auf Grund geringer anthropogener Einflußnahme Untersuchungen zum natürlichen hydrologischen Abflußverhalten und zu etwaigen Trends vorgenommen werden können.

Der hydrologischen Datengewinnung, -verarbeitung und -interpretation wird im Rahmen der Klimaforschung deshalb eine stetig wachsende Bedeutung zukommen. Insbesondere besteht ein Bedarf an zusätzlichen systematischen und dauerhaften Beobachtungen sowie Modell- und Prozeß-Studien; von daher muß den Beobachtungsnetzen besondere Aufmerksamkeit zuteil werden (IPCC 2001). Die potentiellen landschaftsökologischen und volkswirtschaftlichen Auswirkungen hydrometeorologischer und hydrologischer Veränderungen erfordern eine Verbesserung des Kenntnisstandes als Grundlage wasserwirtschaftlichen Planens und Handelns (MEHL & MARQUARDT 2003) sowie Prognosen über zu erwartende Veränderungen (IPCC 2001, BRONSTERT et al. 2003). Vor allem für die Einzugsgebiete im südöstlichen Mecklenburg-Vorpommern hat sich die Dargebotssituation in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts offensichtlich verschlechtert, vgl. auch bereits REICH (1986) zur regionalen Gefährdung durch Trockenheit in der DDR. Gebietsweise ist eine Steigerung des Bedarfs an Beregnungswasser für die Landwirtschaft in der Zukunft deshalb wahrscheinlich. Hierfür sind effiziente Wassermengenbewirtschaftungsmaßnahmen zu ergreifen sowie umfassende Wirkungsanalysen vor dem Hintergrund der Gewässerschutzziele der WRRL (2000) notwendig.

Die Bedeutung hydrologischer Prozesse für die Wasserbeschaffenheit und die ökologischen Zustände ist hinlänglich bekannt. So können vor allem bei ausgeprägten und langandauernden Niedrigwasserperioden Probleme mit der Wasserbeschaffenheit auftreten. Daher erwachsen aus hydroklimatischen trendhaften Veränderungen auch potentielle Effekte für die Wasserbeschaffenheit der Oberflächengewässer (MURDOCH et al. 2000), die ggf. Beachtung finden müssen. Die Klimaänderungen werden mit hoher Sicherheit zu einer Verschiebung der Verbreitungsgrenzen von Süßwasserfischen polwärts führen (IPCC 2001, MOHSENI et al. 2003). Gleiches kann für kaltstenotherme Arten anderer Artengruppen prognostiziert werden. Lebensraumverluste für in kaltem und kühlem Wasser lebende Organismen sind deshalb sehr wahrscheinlich und werden sich noch dramatischer auswirken, wenn weitere Streßfaktoren wie Wanderungshindernisse die Migrationsmöglichkeiten einschränken oder verhindern.

Als wesentliche Grundlage wasserwirtschaftlichen Handelns erscheint damit eine erste regionale Analyse angeraten, ob und inwieweit die Niederschlagsverhältnisse und die oberirdischen Abflüsse in Mecklenburg-Vorpommern in der Vergangenheit entsprechende Veränderungen und ggf. Trends zeigen. Gleichsam als Indiz kann die historische Entwicklung von Lufttemperatur und Niederschlag an der Station Schwerin gelten (Abb. 1). Der lineare, aber statistisch nicht signifikante Trend für die Station Schwerin zwischen 1890 und 2002 weist auf einen Temperaturunterschied von 0,8 K hin. Das scheint entsprechend IPCC (2001) plausibel. Zudem erreicht das (retrospektive) Gleitmittel 10. Ordnung (gleitende 10jährige übergreifende Mittelung) ca. ab 1995 die absolut höchsten Werte, so daß ab Mitte der 80er Jahre offenbar eine nachhaltige und fortschreitende Temperaturerhöhung zu verzeichnen ist. Dagegen erscheint der lineare Trend der Niederschlagshöhe an der Station Schwerin, der eine deutliche Zunahme ausweist, verglichen mit dem Gleitmittel 10. Ordnung zunächst als nicht so plausibel. Für Brandenburg können BRONSTERT et al. (2003) eine statistisch signifikante Erwärmung in den letzten 40 Jahren von ca. 1 K nachweisen. Eine Verlagerung von Sommer- zu Winterniederschlägen in Brandenburg, und damit zunehmende Schwierigkeiten für die landwirtschaftliche Produktion auf den verbreitet grundwasserfernen Standorten belegt FREUDE (2001, zit. in EULENSTEIN & WENKEL 2003).

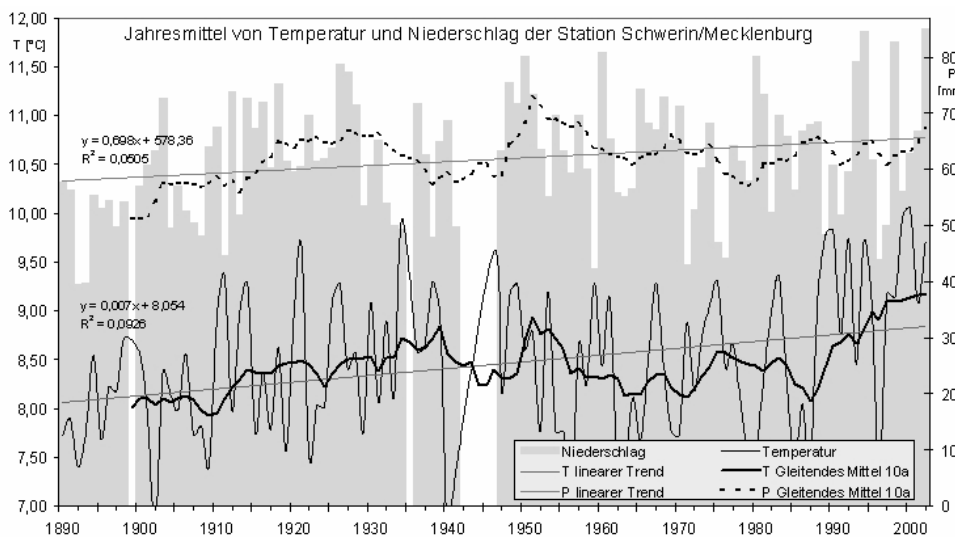


Abb. 1 Entwicklung von Lufttemperatur und Niederschlag an der Station Schwerin zwischen 1890 und 2002 sowie Trendanalyse (bedingte Datenausfälle, vor allem zwischen 1942 und 1945), Quelle der Primärdaten: Deutscher Wetterdienst (DWD), www.dwd.de.

Fig. 1 Air temperature and precipitation at the gauging station Schwerin between 1890 and 2002 and trend analysis (missing data mainly between 1942 and 1945), data origin: Deutscher Wetterdienst (DWD).

Grundsätzlich schwieriger ist die Analyse von Trends bei den Abflüssen. Da die Wirkung von Niederschlag auf den Gewässerabfluß stark nichtlinear ist, kann ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen diesen beiden Komponenten des Wasserkreislaufs nicht hergestellt werden. Die Einzugsgebiete der Gewässer sind unter einer systemtheoretischen Betrachtung

offene und hochgradig nichtlineare Systeme. Insofern hängt neben den vielfältigen physiographischen und anthropogenen Faktoren in den Flußgebieten viel davon ab, in welcher raum-zeitlichen Konstellation sich ggf. hydroklimatische Änderungen auswirken. Veränderte Niederschläge können demnach bei den Abflüssen zu wesentlich signifikanteren relativen Änderungen führen (z.B. bedeutsame Einzelereignisse, jahreszeitliche Verschiebungen u.s.w.), die mit Mittelwertbetrachtungen zunächst nicht erfaßt werden können.

Mit dieser Arbeit sollen folgende Ziele verfolgt werden:

- Erarbeitung und Vorstellung aktueller, räumlich hoch differenzierter Karten der mittleren Niederschlags- und Abflußverhältnisse in den oberirdischen Gewässereinzugsgebieten (i. S. von Gebietsmitteln); Die Verfügbarkeit möglichst aktueller Daten für die Einschätzung von Zustand und Belastbarkeit der Gewässerökosysteme erfährt angesichts der wachsenden Anforderungen des Gewässerschutzes eine gleichsam zunehmende Bedeutung (vgl. Ziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie, WRRL 2000). Vor allem für Dargebots-, Bilanzierungs- und Bewirtschaftungsfragen sollten „lange historische“ Beobachtungsreihen im Hinblick auf die offenkundig klimabedingten Veränderungen des hydrologischen Regimes mit Vorsicht genutzt werden. In dieser Hinsicht geeigneter sind vor allem „lange moderne“ Reihen; ebenso ist eine Berücksichtigung der aktuellen Trends erforderlich; siehe bereits GLANDER (1966) zur hydrogeologischen Interpretation von mittleren Niederschlagsreihen
- Trendanalyse der mittleren Niederschlagsverhältnisse in den Einzugsgebieten im Verlauf des 20. Jahrhunderts, ggf. Identifikation von Einzugsgebieten mit starken trendhaften Verschiebungen in den mittleren Niederschlagsverhältnissen
- Trendanalyse für repräsentative Pegel hinsichtlich der Abflüsse bis zum Jahr 2000, doch stehen bei den oberirdischen Abflüssen wesentliche Daten erst ab den 50er und 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts zur Verfügung (s.a. Kapitel 2)
- Sicherstellung einer gewissen wissenschaftlichen Kontinuität der flächenhaften Kennzeichnung hydrometeorologischer und hydrologischer Verhältnisse in den Flußgebieten Mecklenburg-Vorpommerns

Für die Ausführungen werden unter anderem Ergebnisse von aktuellen Vorhaben herangezogen, die durch das Land Mecklenburg-Vorpommern finanziert wurden. Hierzu zählen insbesondere die im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern durchgeführten gutachtlichen Projekte zur „Optimierung des Landespegelmeßnetzes“ (KLITZSCH 2000, MEHL & MARQUARDT 2003) sowie zur Schaffung spezifischer hydrologischer Grundlagen im Hinblick auf die Umsetzung der WRRL in den Flußgebieten des Landes (MEHL et al. 2003).

2 Zur Geschichte der Niederschlags- und Abflußkennzeichnung in Mecklenburg-Vorpommern

2.1 Zur Kennzeichnung des Niederschlagsgeschehens

In Deutschland wurden die ersten Niederschlagsmessungen 1715 in Ulm und zwei bis drei Jahre später auch in Norddeutschland aufgenommen (HELLMANN 1926). Erst Ende des 19. Jahrhunderts kamen in Deutschland einheitliche Meßgeräte zur Erfassung des Niederschlages zum Einsatz (KARBAUM 1969). Es war H E L L M A N N , der den noch heute gebräuchlichen Niederschlagsmesser mit der Aufstellhöhe 1 m über dem Boden sowie der Auffangfläche von 200 cm² konzipierte (HELLMANN 1894, 1897), und einheitliche Regeln zur Messung und Aufzeichnung der Niederschläge aufstellte (HELLMANN 1915). Infolgedessen waren bereits 1894 2.500 Hellmann-Exemplare in Deutschland und in der Schweiz in Betrieb (HELLMANN

1894). PELTZ (1894) kann man folgende Aufstellung bezüglich Niederschlagsmeßstationen für die Flußgebiete des gegenwärtigen Mecklenburg-Vorpommern entnehmen (Stationen liegen heute teilweise in benachbarten Bundesländern):

1. Ostsee-einzugsgebiet:
Küstengebiet 7 Stationen (Tarnewitz, Poel, Alt-Gaarz = Rerik, Hinterbollhagen/Bad Doberan, Warnemünde, Graal-Müritz, Wustrow), Maurine 1 Station (Schönberg), Radegast 2 Stationen (Gadebusch, Wölschendorf), Wallensteingraben 1 Station (Wismar), Unterwarnow 1 Station (Rostock), westliche Zuflüsse zur Warnow 1 Station (Bernitt), Oberwarnow 1 Station (Brüel), Mildnitz 1 Station (Goldberg), Nebel 1 Station (Güstrow), Recknitz 2 Stationen (Laage, Marlow), Peene, Quellflüsse und Mittelauf 4 Stationen (Teterow, Malchin, Dargun, Demmin), Tollense 4 Stationen (Penzlin, Groß-Schönfeld, Vorheide, Treptow), Uecker 3 Stationen (Badresch, Neuensund, Fürstenwerder) - damit insgesamt 29 Stationen im Bereich der Ostsee-zuflüsse.
2. Nordsee-einzugsgebiet:
Elbe unmittelbar 3 Stationen (Lenzen, Dömitz, Vierkrug), Boize und Schaale 1 Station (Zarrentin), Sude/Schmaar 1 Station (Hagenow), Schweriner See 1 Station (Schwerin), Lewitz 1 Station (Friedrichsmoor), Elde unterhalb der Seen 2 Stationen (Marnitz, Plau), Elde-Seen 3 Stationen (Buchholz, Waren, Eldenburg), Löcknitz 2 Stationen (Karstädt, Drefahl), Stepenitz 2 Stationen (Meyenburg, Putlitz), Havel 2 Stationen (Neustrelitz, Lychen) - damit insgesamt 18 Stationen im Bereich der Nordsee-zuflüsse.

HELLMANN führte zudem eine Reihe fundierter Untersuchungen zur Genauigkeit der Niederschlagsmessungen durch, die er 1906 zusammenfassend darstellte. „...Alle Mängel in der Konstruktion von Regen- und Schneemessern sind aber verhältnismäßig klein gegenüber denjenigen Fehlern, die durch eine unzweckmäßige Aufstellung verursacht werden...“ (HELLMANN 1906). Daneben stellte er fest, daß der Hauptfehler älterer Regenmesser das Auffanggefäß war, aus dem das Wasser schlicht wieder verdunstete, wenn nicht eine schnelle Entleerung erfolgte. Auch war zu diesem Zeitpunkt längst bekannt, daß mit wachsender Aufstellhöhe eines Niederschlagsmessers über der Geländeoberfläche der Einfluß des Windes auf die Messungen immer größer wird, so daß im Regelfall mit zunehmender Aufstellhöhe zugleich mit einer Abnahme der registrierten Menge zu rechnen ist (siehe z.B. NIPHER 1879).

Ebenso gebührt HELLMANN das besondere Verdienst, im letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts das bereits umfangreiche und bis dahin vorhandene Beobachtungsmaterial in Deutschland nahezu vollständig zusammengetragen und bearbeitet zu haben (z.B. HELLMANN (1901): Regenkarte der Provinzen Brandenburg und Pommern, sowie der Grossherzogtümer Mecklenburg-Schwerin und Mecklenburg-Strelitz). Nachdem der Aufbau des Netzes an deutschen Regenstationen, der 1887 in Schlesien begonnen wurde, bereits 1893 in der Rheinprovinz seinen vorläufigen Abschluß fand, faßte HELLMANN wesentliche Ergebnisse in dem dreibändigen Werk „Die Niederschläge in den Norddeutschen Stromgebieten“ zusammen (HELLMANN 1906). Diese bis dahin umfassendste Veröffentlichung von Niederschlagsdaten in Deutschland sollte kennzeichnenderweise den Zwecken der Hydrotechnik und der allgemeinen Flußkunde zu Gute kommen; daher wurde eine Einteilung nach Stromgebieten vorgenommen.

HELLMANN (1906) unterzog alle Datenquellen einer fundierten Kritik. Bei der Erstellung einer fast vollständigen deutschen Regenkarte entschied er sich für die Jahresreihe 1893 bis 1902, da die in diesem Zeitraum vorgenommenen Niederschlagsmessungen bereits auf relativ einheitlicher meßtechnischer Grundlage beruhen. Seine Auswertungen gründeten sich auf ca. 3.000 deutsche Niederschlagsstationen; hinzu kommen Stationen in Rußland, Österreich-Ungarn, Süddeutschland, Schweiz, Frankreich, Belgien und Luxemburg (Quellgebiete von Me-

mel, Weichsel, Oder, Elbe und Rhein), so daß insgesamt ca. 4.000 Stationen berücksichtigt sind. Die drei Bände enthalten Tabellen, die Aufschluß über Regenmengen sowie Mittel des Zeitraums bei mindestens zehn Beobachtungsjahren, zudem Jahresmittel bei mindestens fünf Beobachtungsjahren, Niederschlagsmaxima, Anzahl von Tagen mit bestimmten Schwellenwerten, Schneemengen, Beginn, Dauer und Ende des Schneefalls sowie weitere hydrometeorologische Daten geben.

Für Brandenburg und Pommern einschließlich Mecklenburg wurden auch die Niederschlagsdaten der Periode 1891 bis 1900 an 308 Stationen zugrundegelegt, die bereits früher veröffentlicht wurden (HELLMANN 1901). Die Niederschlagskarte nach HELLMANN (1906), dargestellt für den Raum des heutigen Mecklenburg-Vorpommerns, zeigt Abbildung 2.

Nach 1945 war es der KLIMAATLAS FÜR DAS GEBIET DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK (1953, 1958, 1962), der (und damit auch für das heutige Mecklenburg-Vorpommern) entsprechende Isohyetenkarten der Jahresreihen 1881-1930 und 1901-1950 enthält. Der Atlas schließt damit sozusagen nahtlos an die früheren Kartenwerke an. Kartographisch dargestellt wurden u.a. mittlere Niederschlagssummen für die Einzelmonate, das Kalenderjahr sowie agrarmeteorologisch relevante Perioden (z.B. Vegetationsperiode April-Juni).

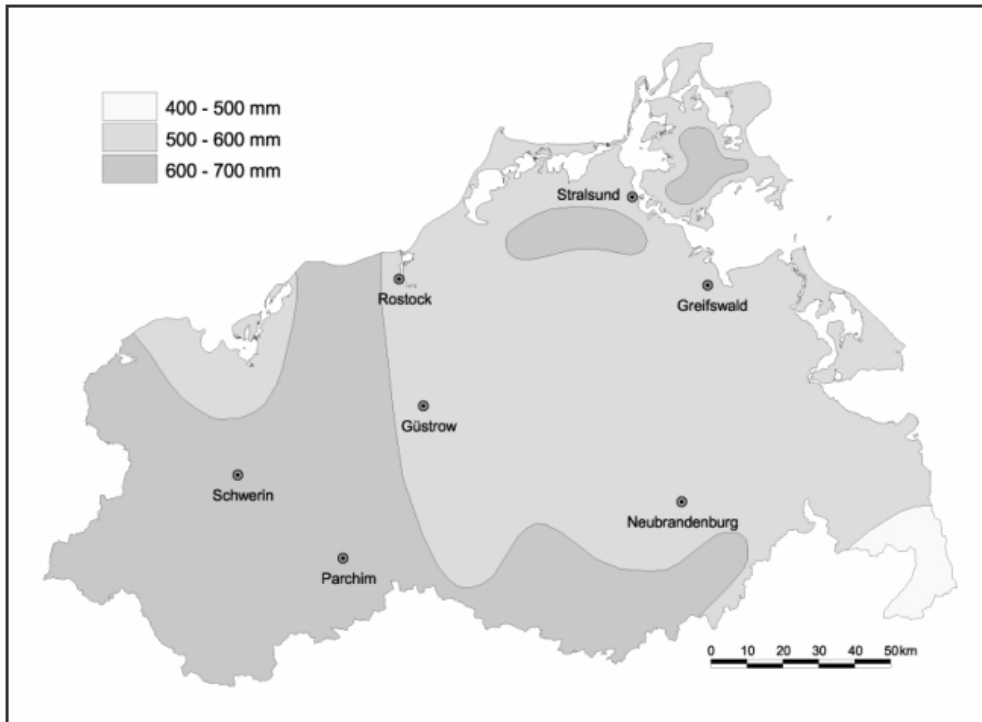


Abb. 2 Rekonstruktion der Regenkarte von Deutschland nach HELLMANN (1906) für den heutigen Gebietsanteil Mecklenburg-Vorpommerns (mittlere Jahressummen des Niederschlags in Isohyetendarstellung).

Fig. 2 Reconstruction of the Mecklenburg-Western Pomeranian part of the precipitation map, published by HELLMANN (1906) (average annual precipitation, displayed as isohyetal lines).

Eine Grundlagenarbeit regionaler Kennzeichnung leistete HURTIG (1957), der eine umfassende und zusammenfassende Beschreibung des Klimas für das Gebiet des heutigen Mecklenburg-Vorpommerns gibt und dabei auf eine Reihe älterer sowie zum damaligen Zeitpunkt aktueller Arbeiten zurückgreift. Zudem verfafelt er entsprechend der Klimakunde des Deutschen Reiches die mittleren Niederschlagssummen für die relevanten Stationen der Periode 1891 bis 1930. Enthalten ist auch eine Karte der mittleren Niederschlagsjahresmenge für den Raum, die auf eine Isohyetenkarte von REINHARDT (1951, zit. in HURTIG 1957) zurückgeht.

Auf der Basis der Zeitreihe 1901 bis 1950 sind im folgenden noch zwei bedeutende regionale Arbeiten erschienen, die eine Kennzeichnung mittlerer Jahresniederschlagssummen für die mit dem heutigen Mecklenburg-Vorpommern weitgehend arealgleichen, früheren drei Nordbezirke der DDR Rostock, Schwerin und Neubrandenburg vornehmen. Hierzu zählen der ATLAS DER BEZIRKE ROSTOCK, SCHWERIN UND NEUBRANDENBURG (1962) sowie KOPP et al. (1982). Letztere veröffentlichten eine Karte der Großklimabereiche für das Tiefland der DDR, die auf vorangegangenen Arbeiten der forstlichen Standortkartierung aus den 60er Jahren basiert und als Hauptmerkmal hinsichtlich der mittleren Jahresniederschlagssumme gekennzeichnet ist (s. a. KOPP & KIRSCHNER 1985). FREYDANK et al. (1983) haben Karten der Wasserhaushaltsgrößen für das Gebiet der DDR veröffentlicht (Periode 1931-1960), u.a. Karten des mittleren jährlichen gemessenen Niederschlags (unkorrigiert und korrigiert).

In den 60er Jahren wurden durch den Meteorologischen Dienst der DDR eine Reihe spezifischer Untersuchungen zur Thematik des Niederschlagsmeßfehlers am Goldberger See durchgeführt (KLINKER & KARBAUM 1961, 1966b). Dabei fungierte der nahezu kreisförmige See als großes „Meßgefäß“, indem die Seespiegelanstiege bei hinreichend bekannten ober- und unterirdischen Zu- und Abflüssen registriert wurden (KLINKER & KARBAUM 1966a, c). Dafür wurde folgende Meßkonfiguration eingesetzt (KARBAUM & KLINKER 1966): 7 registrierende Niederschlagsmesser nach Hellmann rund um den Goldberger See (1,0 m Aufstellhöhe), 1 weiterer in Seemitte, Messung täglich um 8.00 Uhr, zusätzlich Niederschlagsmessung im Meßfeld der Station Goldberg; hier auch Windrichtung und -geschwindigkeit in 13 m Höhe (Böenschreiber), Wasserstandsregistrierungen mit 4 Schreibpegeln, weitere Pegel am Zu- und Ablauf des Sees (Fluß Mildenitz). KARBAUM & KLINKER (1966) fanden hierbei im Mittel 20% windbedingten Unterschied zwischen den Niederschlagsmessungen mittels der Hellmann-Geräte und den bilanzierten, regenverursachten Seespiegelanstiegen.

Für die drei Nordbezirke der DDR wurde von STÜDEMANN (1984) eine umfassende hydro-meteorologische Kennzeichnung auf der Basis multivariater Statistik vorgenommen. Als ein wesentliches Ergebnis kann dabei die Karte der Niederschlags-Mesochoren im Maßstab 1:500.000 gelten, welche die räumliche und zeitliche Differenzierung des Niederschlagsgeschehens in Mecklenburg-Vorpommern für die 30jährige Periode 1951 bis 1980 in hoher räumlicher Detaillierung zum Ausdruck bringt. Die Niederschlags-Mesochoren sind dabei über drei Merkmale definiert:

- (1) Quantität (mittlere Niederschlagshöhen der Mesochoren des hydrologischen Jahres sowie Überschreitungswahrscheinlichkeiten)
- (2) Heterogenität (Arealheterogenität des Niederschlages innerhalb einer Mikrochore nach deren inhaltlicher Ausstattung)
- (3) Variabilität (Variationskoeffizient c_v der Zeitreihen der Niederschlagshöhen von Stationen, die eine Mikrochore repräsentieren)

STÜDEMANN kann im Rahmen seiner Arbeit auch zeigen, daß die Arealstruktur der Niederschlags-Mesochorenkarte auch für eine Hydroklima-Mesochorenkarte erhalten bleibt. Dabei spielt insbesondere eine Rolle, daß die Arealheterogenität der Evapotranspiration in Mecklenburg-Vorpommern nur schwach ausgebildet ist.

Umfangreiche Auswertungen zum Niederschlag für das mit dem heutigen Mecklenburg-Vorpommern weitgehend räumlich vergleichbare Gebiet der Wasserwirtschaftsdirektion (WWD) Küste wurden auch im Hydrographischen Kartenwerk der WWD Küste (ca. 1985/1986) dargestellt. Die Auswertungen basieren auf der Jahresreihe 1951-1975 und beziehen sich auf 152 Niederschlagsstationen des Meteorologischen Dienstes der DDR. Dargestellt sind u.a. mittlere Niederschlagshöhen (hydrologisches Jahr und Halbjahre in Isohyetendarstellung), Gebietsmittel der Niederschlagshöhen in Rasterform, maximal möglicher Regen sowie wahrscheinlichkeitsbezogene niedrige Niederschlagshöhen verschiedener Wiederkehrintervalle.

Wesentliche Arbeiten zur Typisierung und Regionalisierung des Niederschlagsklimas leistete REICH (u.a. REICH 1983, 1985a, b), der für das Gebiet der DDR mit Hilfe multivariater Statistik (hierarchische Clusteranalyse) großflächige Regionen mit einheitlichen Niederschlagsverhältnissen für die Periode 1951-1980 ableitete (REICH 1986). In späteren Arbeiten wurden diese Gebietsgliederungen optimiert (z.B. REICH 1989). Hiernach bildet das Gros der Landesfläche Mecklenburg-Vorpommerns eine Region. Lediglich der Südosten des Landes fällt in den südlich anschließenden Bereich (nördlicher Raum von Sachsen-Anhalt und Brandenburg).

Die erste umfassende landschaftsklimatische Bestandsaufnahme für Mecklenburg-Vorpommern wurde, soweit bekannt, von HELLMUTH (1993) vorgenommen. Im Rahmen einer Erstinventur vorhandenen Datenmaterials wurde unter Verwendung von Methoden Geographischer Informationssysteme klimatisches Kartenmaterial für die Wärmeeignung, bioklimatische Belastung und lufthygienische Belastung in den Maßstabsbereichen 1:250.000 und 1:25.000 für Raumplanungsprozesse auf Landesebene bereitgestellt. Eine Niederschlagsregionalisierung wurde zwar nicht vorgenommen, dennoch bildet die Arbeit auch eine wichtige Ergänzung und Verbesserung der Landesklimaaufnahme Mecklenburg-Vorpommerns.

Die über Jahre entstandene empfindliche Lücke in den Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Landschaftsklimatologie und das daraus resultierende Fehlen umfassender Darstellungen der klimatischen Verhältnisse eines jeden Bundeslandes veranlaßte FLEMMING (1995) dazu, von einer "Klimakatastrophe der zweiten Art" zu sprechen. Dieser Gedanke wurde von HELLMUTH (1997) in einem Beitrag zum Stand der Klimapotentialbewertung von Mecklenburg-Vorpommern aufgegriffen. Der Autor begründet u.a. die Notwendigkeit der Erarbeitung regionaler Klimatologien, legt den Stand der Berücksichtigung des Klimas in der Landschaftsrahmenplanung in Mecklenburg-Vorpommern dar, und zeigt verbleibende Defizite, künftige Aufgaben und entsprechende Möglichkeiten der Landesklimaaufnahme auf. Es wird auch auf die Notwendigkeit, Bedeutung und wissenschaftliche Ausführbarkeit der Ausgrenzung von Gebieten mit einheitlichen Niederschlagsverhältnissen sowie auf Defizite bestehender Regionalisierungen verwiesen. Optimierte Interpolationsverfahren zur Primärdatenregionalisierung sowie Verfahren zur multivariaten statistischen Analyse werden besonders hervorgehoben.

BILLWITZ (1995a) gibt einen umfassenden Überblick zu Witterung und Klima in Mecklenburg-Vorpommern, wobei teilweise Ergebnisse vorstehend aufgeführter Arbeiten Eingang fanden. Dabei stellt er die Gebiete mit annähernd einheitlichen Niederschlagsverhältnissen dar und entwirft eine zusammenfassende Klimagliederung des Landes mit insgesamt neun Klimagebieten.

Zu den aktuellen Werken mit Niederschlagskennzeichnungen zählt der Hydrologische Atlas von Deutschland (HAD 2000, 2001, 2003), der Karten der mittleren Niederschlagshöhen (Jahr, Sommer, Winter mit und ohne Korrektur) enthält. Diese fußen auf der Referenzperiode 1961 bis 1990, aber wegen des kleinen Maßstabes sind natürlich nur verhältnismäßig grobe Niederschlagssummenstufen darstellbar. Insofern sind sie nur bedingt für regional differenzierte Betrachtungen in Mecklenburg-Vorpommern geeignet. Andererseits stellt der HAD (2000, 2001, 2003) weiterreichende hydroklimatische Grunddaten in Kartenform vor (u.a. potentielle

und reale Verdunstung, klimatische Wasserbilanz u.v.m.) und bildet damit insgesamt wesentliche areale hydroklimatische Differenzierungen ab. Annähernd aktuelle Niederschlagsdaten aller Niederschlagsstationen, sortiert nach Haupt- und Nebenflußgebieten, veröffentlicht zudem der Deutsche Wetterdienst fortlaufend in Listen- bzw. Tabellenform in den Deutschen Meteorologischen Jahrbüchern (z.B. stellt Dwd (2003) die Daten aus dem Jahr 2000 dar).

2.2 Zur Kennzeichnung des Abflußgeschehens

Der Beginn hydrologischer Betrachtung und Einordnung auf dem Gebiet des heutigen Mecklenburg-Vorpommerns ist wohl zunächst in den überwiegend geologisch und geographisch-hydrogeographisch ausgerichteten Arbeiten zu suchen. Dabei standen anfänglich Erklärung und Deutung von Bildungsvorgängen des Gewässernetzes im Zusammenhang mit der Landschaftsgenese im Vordergrund (z.B. GEINITZ 1886, 1922), teilweise standen frühe Arbeiten bereits unmittelbar im wasserwirtschaftlichen Zusammenhang (z.B. PELTZ 1894). Andererseits existieren auch sehr viele fundamentale Arbeiten zu den Grundwasserverhältnissen (z.B. LEMCKE 1938, zit. in HECK 1956, HECK 1956, SCHLINKER 1967, 1969, 1980). Zu den (vor allem bedeutsamsten) hydrogeologischen Schriften wird allerdings nachfolgend nur der Bezug hergestellt, wenn ein Zusammenhang zum oberirdischen Abfluß oder zum Wasserhaushalt gegeben ist.

Der wesentliche Unterschied zur Geschichte des Niederschlagsmeßnetzes besteht vor allem im erheblich später begonnenen planmäßigen, hydrologisch orientierten Ausbau eines gewässerkundlichen Pegelmeßnetzes. Deshalb muß das Augenmerk zunächst auf die Geschichte des Pegelmeßnetzes gerichtet werden:

Wohl vor allem auf Grund der relativ geringen Hochwassergefahren und der erheblich geringeren Bedeutung der meisten Fließgewässer und Seen für die Binnenschifffahrt (im Vergleich zu den großen deutschen Wasserstraßen, vgl. ECKOLDT 1998), sind nur wenige, zeitlich weit zurückreichende Pegelbeobachtungen zu konstatieren (Abb. 3). Aber bereits Mitte des 19. Jahrhunderts wurden Pegelbeobachtungen an den schiffbaren Gewässern begonnen (Pegel Anklam an der Peene 1847, an der Uecker Pegel Pasewalk 1849, Pegel Torgelow 1850). In den Folgejahren wurden an den bedeutsameren Flüssen und Seen weitere Pegel errichtet. Zunächst war aber auch an den Fließgewässern die Datengewinnung auf die Registrierung und Aufzeichnung von Wasserständen orientiert. Durchflußmessungen wurden nur vereinzelt und anfänglich wenig systematisch vorgenommen. Häufig waren es bauliche Aktivitäten, durch die entsprechende Messungen veranlaßt waren. So erwähnt KRES (1911) u.a. zahlreiche Messungen an der Warnow und an der Nebel im Zusammenhang mit den Vorarbeiten für den vorgesehenen Bau des Rostock-Güstrower Schifffahrtskanals 1886/1888 sowie dem Ausbau der Oberwarnow 1900/1901. Im JAHRBUCH FÜR DIE GEWÄSSERKUNDE NORDDEUTSCHLANDS, Abflußjahr 1929 (Erscheinungsjahr 1933) und auch im JAHRBUCH FÜR DIE GEWÄSSERKUNDE DES DEUTSCHEN REICHS, Abflußjahr 1939 (Erscheinungsjahr 1943), die hier als beispielhaft angeführt werden sollen, sind einzelne Abflußmessungen zwar für andere norddeutsche Flüsse vermerkt, aber nicht für das Gebiet des heutigen Mecklenburg-Vorpommerns.

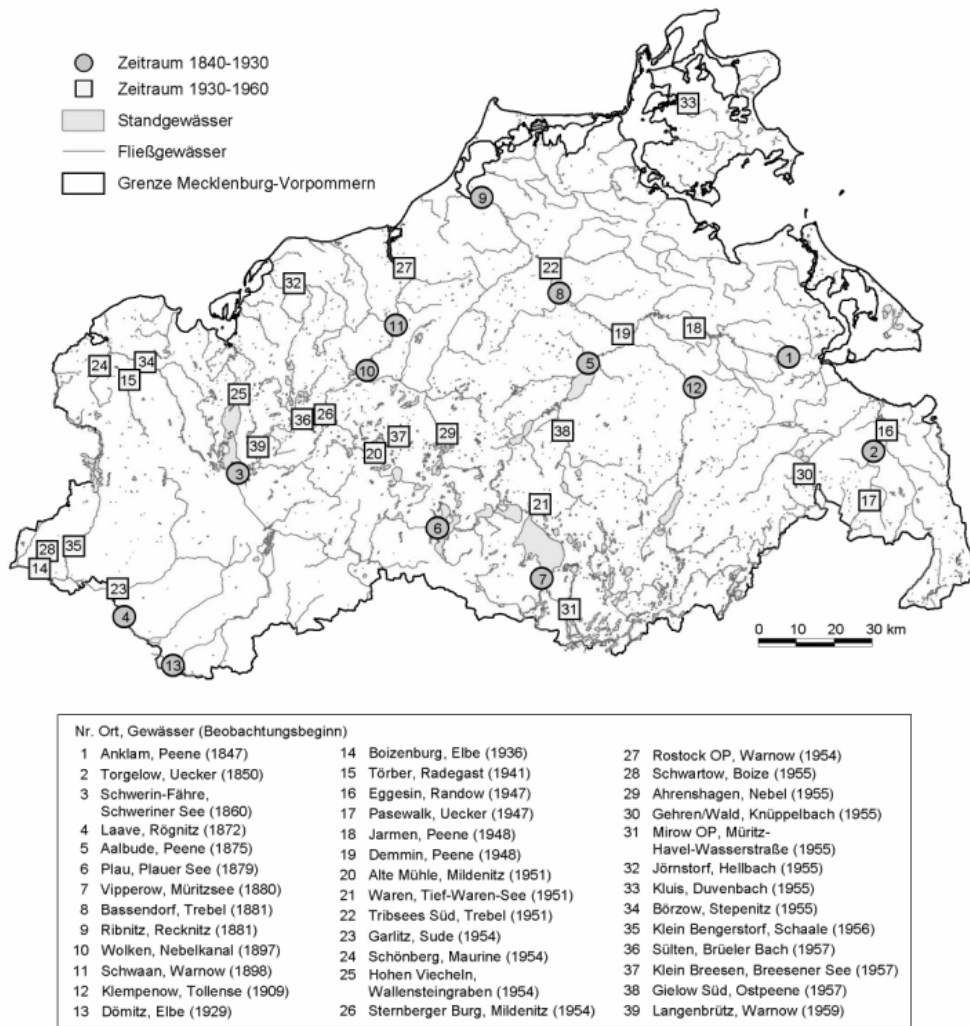


Abb. 3 Älteste Pegelbeobachtungen in Mecklenburg-Vorpommern (Daten: JAHRBUCH FÜR DIE GEWÄSSERKUNDE DES DEUTSCHEN REICHS, Abflußjahr 1939 (Erscheinungsjahr 1943) sowie Lowo (2000)).

Fig. 3 The oldest flow measuring gauges in Mecklenburg-Western Pomerania.

Durch die Preußische Landesanstalt für Gewässerkunde in Berlin sind ab 1893 eingehende hydrographische, wasserwirtschaftliche und wasserrechtliche Darstellungen norddeutscher Flußgebiete bearbeitet worden. Dies gipfelte 1911 in der umfangreich dokumentierten Schrift „Deutsche Küstenflüsse“ (KRES 1911): Textteil mit Gebiets- und Flußbeschreibungen sowie Abflußvorgang der verschiedenen deutschen Küstenflüsse: 1. Gebiet östlich der Weichsel; 2. Gebiet zwischen Weichsel und Oder; 3. Gebiet des Stettiner Haffs und Vorpommerns; 4. Gebiet von Mecklenburg, Lübeck und Eutin; 5. Schleswig-Holstein; 6. Gebiet west-

lich der Elbe. Zudem sind ein umfangreicher Tabellenanhang und folgende Karten enthalten: 1. Hydrographische und politische Übersichtskarten des Küstengebietes östlich und westlich der Oder; 2. Höhenschichtenkarten des Küstengebietes östlich und westlich der Oder; 3. Wald-, Moor- und Marschkarten des Küstengebietes östlich und westlich der Oder; 4. Längenschnitte und Gebietszuwächse von 19 Flüssen, darunter u. a. Frising, Passarge, Rheda, Leba, Stolpe, Lupow, Wipper, Peene, Trave, Schwentine, Eider und Oste sowie 5. Flutwellenlinien der Eider und Oste. Bemerkenswert ist die Detailliertheit aller Analysen und Beschreibungen. Zudem sind die hydrologischen Daten nach den heute noch üblichen Hauptzahlen ausgewertet (überwiegend Wasserstandsdaten). Angaben zu Durchflußhauptzahlen liegen nur für wenige Gewässer vor (s.o.), sind dafür teilweise erstaunlich nahe an den heutigen langjährigen Werten (z.B. Warnow).

Auch im hydrologischen Landesdatenspeicher Lowo (2000) wird das Defizit an frühen Auswertungen zum Abflußgeschehen deutlich. Ältere Pegel werden mit dem Beginn der Datenreihen zum Durchfluß (Q) erst zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt im Landesdatenspeicher geführt. Dieser Reihenbeginn bezieht sich damit auf das Vorliegen von kontinuierlich erhobenen Durchflußdaten. Insofern sind auf Beobachtungsdaten des Durchflusses beruhende Auswertungen zum regional differenzierten Abflußgeschehen vor 1945 wohl generell erschwert und wahrscheinlich nicht möglich.

Innerhalb der Wasserwirtschaftsdirektion Küste (räumliche Erstreckung annähernd arealgleich mit dem heutigen Mecklenburg-Vorpommern) erfolgte in der DDR seit den 50er Jahren der zielgerichtete Ausbau des Pegelmeßnetzes, wobei aber teilweise auch aktuelle wirtschaftliche Anforderungen (z.B. Mengenbewirtschaftungsaspekte) eine Rolle spielten. Bereits durch RASMUS (1969) wurden Überlegungen zur Optimierung des Pegelmeßnetzes an den Fließgewässern (Durchflußmeßnetz) angestellt. Andererseits wurden vor allem in den 70er und 80er Jahren vielfältige Untersuchungen in Repräsentativ- und Versuchsgebieten durchgeführt, um auf die anthropogenen Eingriffe in den Wasserkreislauf der Flußgebiete im Tiefland der DDR zu schließen (z.B. KLOSTERMANN 1981).

So lassen sich verschiedene Zeitperioden des Meßnetzaufbaus bzw. der Datenverfügbarkeit unterscheiden. Eine in dieser Hinsicht durchgeführte Auswertung hinsichtlich des Beobachtungsbeginns der Pegel („Reihenbeginn“) nach dem Lowo (2000) zeigt folgende chronologische Entwicklung (Abb. 4):

- Fließgewässerpegel mit Durchflußdaten/-hauptzahlen: vor 1960 nur sehr wenige Pegel, erhebliche Nachrüstung in den 60er und 70er Jahren, Zurückgehen des Neubaus in den 80er Jahren, nochmaliges Nachrüsten nach 1990
- Standgewässerpegel mit Wasserstandshauptzahlen: vor 1960 keine Pegel, 8 Pegel erbaut in den 60er Jahren, starke zahlenmäßige Zunahme in den 70er Jahren, verringertes, aber weiterer Ausbau in den 80er Jahren, kaum Neuzugänge in den 90er Jahren bis heute (nur insgesamt 7 Pegel)

Auf Grund des stochastischen Charakters hydrologischer Prozesse lassen nur längere Beobachtungsreihen (möglichst > 30 Jahre) eine hinreichende Interpretation der Dynamik hydrologischer Meßgrößen zu, da auch die langfristigen Schwankungen und seltene Extreme erfaßt werden müssen. Beobachtungsdauer und deren -kontinuität sind damit entscheidende Qualitätskriterien für die heute bestehenden Pegel. Aber auch allein die Beobachtungsdauer nach dem Beginn ist für hydrologische Auswertungen kein ausreichendes Kriterium. Von entscheidendem Wert ist die Kontinuität der Beobachtung, also die Frage der „Geschlossenheit“ der Beobachtungsreihe. Da in dieser Hinsicht bei vielen Pegeln entsprechende „Fehljahre“ zu verzeichnen sind, kann der hydrologische Wert der Pegelbeobachtungen u.a. mittels der „effektiven Beobachtungsdauer“ als Differenz aus Reihenlänge (in Jahren) und Anzahl der Fehljahre (in Jahren) bestimmt werden (Abb. 5).

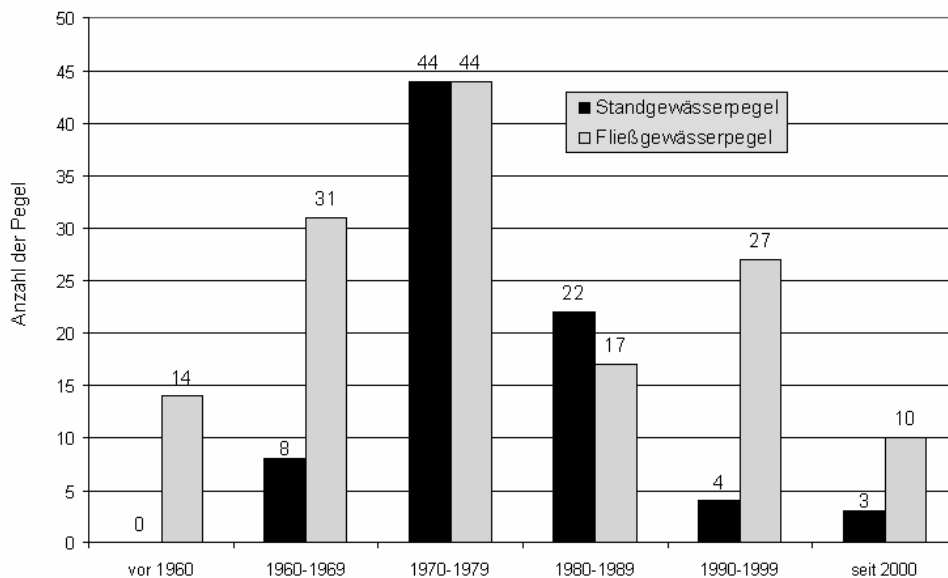


Abb. 4 Zuwachs „verwertbarer“ hydrologischer Daten an gewässerkundlichen Pegeln in Mecklenburg-Vorpommern (Reihenbeginn nach Jahrzehnten).

Fig. 4 Increase of „useful“ hydrologic data at gauges in Mecklenburg-Western Pomerania (series begin ordered by decades).

Ausgewertet nach Klassen (in 10-Jahres-Stufen) bis einschließlich Jahr 2000 zeigt sich für die Pegel in Mecklenburg-Vorpommern (siehe Abbildung 5 beispielhaft für die Fließgewässerpegel), daß nur sehr wenige Pegel effektive Beobachtungsreihen länger als 40 Jahre aufweisen. Immerhin bereits 54 Standgewässerpegel sowie 71 Fließgewässerpegel können aber mit effektiven Beobachtungsdauern von mindestens 20 Jahren aufwarten.

Auch bei aktuellen Bestrebungen zur Optimierung des bestehenden Pegelmeßnetzes in Mecklenburg-Vorpommern wurde neben der Frage nach Qualität und Zuverlässigkeit der Daten (s.a. LAWA 2000, 2001) der Kontinuität und Langfristigkeit der Datenerfassung große Bedeutung beigemessen. Auch MIEGEL (2002) fordert: aus hydrologischer Sicht sollten „...langjährig beobachtete Pegel...unbedingt weiterbetrieben werden. Pegelstillegungen sind nicht zu vertreten. Die zeitliche Datenverfügbarkeit ist von herausragender Bedeutung“.

Die erste flächendeckende Kennzeichnung des mittleren Abflusses in Mecklenburg-Vorpommern erfolgte 1959 mit dem sogenannten N-A-U-Kartenwerk der DDR (N-A-U-KARTE ÜBER DAS GEBIET DER DDR 1959). N-A-U steht dabei für Niederschlag-Abfluß-Unterschiedsgröße. Die Karte basiert auf Betrachtungen zum mittleren vieljährigen Wasserhaushalt von Flußgebieten, bei dem die Gleichung (1) vereinfacht angesetzt werden kann, da wegen des längerfristigen Ausgleichs von Speichergewinn und -verlust (Retention in stehenden Gewässern, im Grundwasser und im Boden) gemeinhin die Gebietsspeicherung vernachlässigt werden kann.

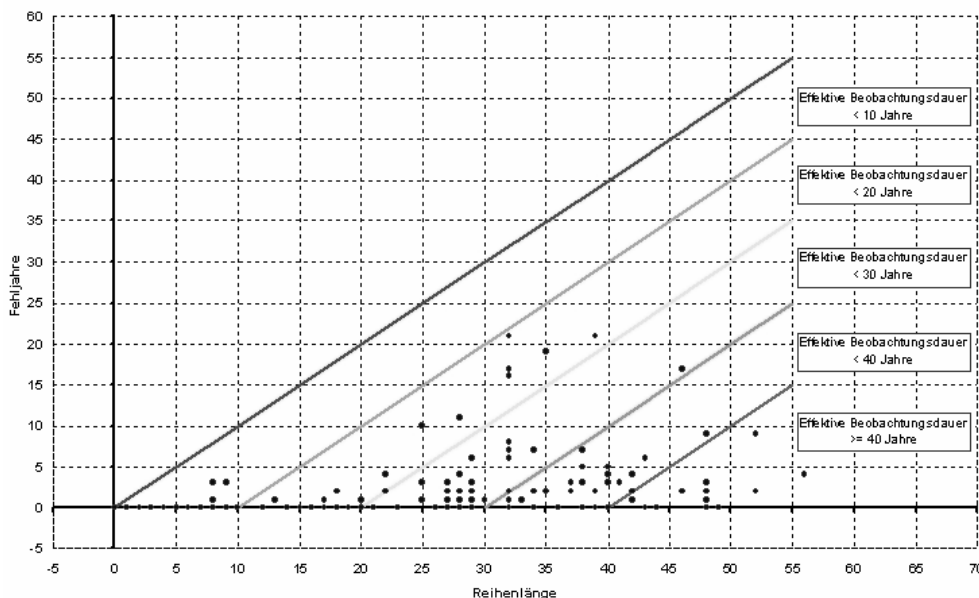


Abb. 5 Bestimmung der „effektiven“ Beobachtungsdauer der Pegel am Beispiel der Fließgewässerpegel.

Fig. 5 Determination of the effective observation period on river gauges.

$$N = A + V \quad (\text{mm/a}) \quad \text{Gl. (1)}$$

N = Niederschlagshöhe

A = Abflußhöhe

V = Verdunstungshöhe

Die Bilanzgleichung (1) ist aber nur gültig, wenn der gesamte im Flußgebiet gefallene Niederschlag tatsächlich im Abfluß erscheint oder verdunstet. Da diese Voraussetzung nur bei geschlossenen Flußgebieten gegeben ist, wurde zur Vermeidung von fehlerhaften Aussagen die Verdunstungshöhe V durch die Unterschiedsgröße U ersetzt (Gleichung (2)). Im Normalfall kann aber angenommen werden, daß der mittlere Wert des Unterschiedsbetrages für ganze Flußgebiete der Verdunstung entspricht.

$$N = A + U \quad (\text{mm/a}) \quad \text{Gl. (2)}$$

Die Darstellung erfolgte in der Ausgabe von 1959 basierend auf einer topographischen Übersichtskarte im Maßstab 1:200.000, wobei die Wasserhaushaltsgrößen in Feldern mit den Maßen 1,75 cm x 1,5 cm (3,5 km x 3 km = 10,5 km²) dargestellt wurden. Die Karten beruhen auf Meßdaten des Niederschlags der Jahresreihe 1921 bis 1940, die z.T. über Regressionsbeziehungen zu Nachbarstationen ergänzt wurden. Die räumliche Analyse der Niederschläge erfolgte mittels der Isohyetenmethode (s. Kapitel 4). Probleme traten vor allem im heutigen Mecklenburg-Vorpommern auf, da nur wenige Abflußdaten vorlagen. So mußten viele Abflußhöhen mit Hilfe der Gleichung (2) aus empirisch berechneten Unterschiedsgrößen abgeleitet werden.

Das N-A-U-Kartenwerk ist später mit Hilfe des Rechenprogramms RASTER (GLUGLA et al. 1977) aktualisiert worden. Dabei fanden auf Grund des deutlich ausgebauten Pegelmeßnetzes in den drei Nordbezirken der DDR mehr und räumlich differenziertere Abflußdaten Eingang in die Berechnungen. Andererseits wurden die Berechnungen der Verdunstung als wesentlicher Bestandteil des Unterschiedsbetrags U verbessert, indem verbesserte Werte der potentiellen Verdunstung sowie der BAGROV-Ansatz (Effektivitätsparameter) zur Ermittlung der realen Verdunstung (s. DYCK et al. 1980b) zum Ansatz kamen. Berechnungsergebnisse für die Zeitreihe 1931-1960 wurden unter anderem auch im bereits genannten Hydrographischen Kartenwerk der Wwd Küste (ca. 1985/1986) dargestellt. Dabei wurde parallel für Teilgebiete der oberen Warnow, der oberen Peene sowie das Müritzgebiet eine Neuberechnung für die (durch leicht niederschlagsärmere Verhältnisse gekennzeichnete) Zeitreihe 1951-1975 durchgeführt, um einen Vergleich mit den beobachteten Abflüssen vornehmen zu können.

Erwähnenswert ist ferner der bereits oben zitierte ATLAS DER BEZIRKE ROSTOCK, SCHWERIN UND NEUBRANDENBURG (1962). Hier haben zwar KARBAUM & REINHARD (1962) der Hydrologie ein Kapitel gewidmet. Allerdings sind die Ausführungen und die zugehörige Kartendarstellung eher beschreibender und damit allgemeiner hydrographischer Natur.

KLINKER & HANSEN (1965, 1966) untersuchten Grundwasserspiegelschwankungen und tagesperiodische Variationen der Wasserführung kleiner Fließgewässer im Zusammenhang mit Verdunstungs- und Niederschlagsvorgängen. Die bei der Historie der Niederschlagskennzeichnung bereits erwähnten Messungen am Goldberger See wurden auch genutzt, um Rückschlüsse auf die reale Verdunstung flacher Binnenseen zu gewinnen (KARBAUM & BAUER 1966). Daneben erfolgten im Zusammenhang mit intensiven hydrographischen Untersuchungen von Bodden- und Haffgewässern (BROSIN 1965, 1970, CORRENS 1973, 1974, 1975 alle zit. in CORRENS 1976), des Strelasunds (BIRR 1970, zit. in CORRENS 1976) und der Unterwarnow/Breitling (CORRENS 1976) Wasserhaushaltsbetrachtungen, die auch die jeweiligen Zuflußgebiete erfaßten.

Die wohl allgemein bedeutsamsten und auch für Mecklenburg-Vorpommern insgesamt relevanten Arbeiten zur Klassifizierung bzw. Typisierung von Abflußregimen (im Sinne der Typisierung von Schwankungen im mittleren jährlichen Abflußgang) entstanden in den 60er Jahren (PARDÉ 1964, MARCINEK 1967, GRIMM 1968). P A R D É S Arbeit ist davon wohl die bekannteste. Nach seiner Einteilung fallen die Fließgewässer Mecklenburg-Vorpommerns dem „Einfachen Regime“, das im mittleren Verhalten nur zwei hydrologische Jahreszeiten aufweist (je nur eine Hochwasser- und eine Niedrigwasserperiode), und hinsichtlich der Speisung dem „Ozeanischen Regenregime“ zu, das durch eine im Jahresverlauf relativ frühe, durch (überwiegend flüssige) Niederschläge bedingte Hochwasserperiode gekennzeichnet ist. Eine normierte Vergleichs- und damit Typisierungsmöglichkeit bietet der P A R D É ' S C H E Abflußkoeffizient als Verhältnis des mittleren langjährigen Durchflusses jedes Monats (MQ(m)) zum mittleren langjährigen Jahresdurchfluß (MQ) für jeden Kalendermonat, was für alle Monate graphisch aufgetragen eine anschauliche, mittlere relative Abflußkurve über das Jahr ergibt (s.a. Kapitel 5.1.3). Auch MARCINEK (1967) hat eine Reihe von mitteleuropäischen Flüssen (Einzugsgebiete zwischen mehreren hundert bis zu einigen tausend Quadratkilometern) hinsichtlich ihrer langjährigen mittleren Durchflüsse analysiert und kommt zu einer hydrogeographischen Gliederung, die im wesentlichen auf dem innerjährlichen Durchflußgang (Anzahl und Stärke von Durchflußmaxima) sowie der jährlichen Abflußhöhe fußt. Aber auch nach seiner Einteilung fallen alle Regionen Mecklenburg-Vorpommerns in eine Typkategorie. GRIMM (1968) versuchte dagegen erstmals, die Eigenbürtigkeit des Abflußregimes durch die Auswahl von Fließgewässern mit verhältnismäßig kleinen Einzugsgebieten (sog. „Elementartypen“) zu erfassen, und konnte auf der Basis hervorragender Phasen der Abflußganglinie (z.B. Dauer der Abflußmaxima und -minima) insgesamt 55 Abflußtypen für Europa ableiten, wovon zwei Typen des „pluvialen Abflußregimes“ für Mecklenburg-Vorpommern kartographisch ausgewiesen wurden. Eine besondere Rolle spielte

dabei auch die offensichtliche Weiterentwicklung des Abflußkoeffizienten nach P A R D É , indem G R I M M einen Schwankungskoeffizienten des Hauptmaximums als Quotient aus dem mittleren langjährigen Abfluß des abflußreichsten Doppelmonats und des mittleren langjährigen Jahresabflusses bildete. Jüngst hat RÖDEL (2001) auf der Basis der Zeitreihe 1961-1990 die Abflußregime im Einzugsgebiet der Ostsee u.a. analog GRIMM (1968) typisiert.

Die hydrogeologischen Arbeiten von SCHLINKER (u.a. 1967, 1969, 1980) sind auch für die Hydrologie der Oberflächengewässer bedeutsam. Zum einen konnte S C H L I N K E R statistisch signifikant nachweisen, daß in Mecklenburg-Vorpommern in Trockenwetterzeiten der Grundwasserabfluß als Abflußkomponente dominiert. Zum anderen hat er sich sehr um die Berechnungsmöglichkeiten der Grundwasserneubildung verdient gemacht (BIERSTEDT 1991). So ermöglicht sein Verfahren (SCHLINKER 1980), auf der Basis der Jahresniederschlagshöhe, des geologischen Substrattyps und der jeweiligen Flächengröße eine Abschätzung der Grundwasserneubildung, indem von folgenden mittleren Versickerungsanteilen des Niederschlags ausgegangen wird: Sand ohne Humus 25%, Sand mit Humus 20%, Sand, lehmig 15%, Lehm/Geschiebemergel, sandig 10%, Lehm/Geschiebemergel, tonig 5%, Wasser, Moor (Zehrflächen) 0%.

Eine orientierende hydrographische Gliederung Mecklenburg-Vorpommerns nimmt KLOSTERMANN (1978) vor. Zudem beschäftigt er sich unter anderem mit regionalen und temporären Abflußschwankungen und mit der Durchflußkennzeichnung unbeobachteter Gebiete. Getrennt für Einzugsgebiete westlich der Warnow (einschließlich Warnow) und östlich der Warnow gibt er Regressionsgleichungen an, die bei bekannter Einzugsgebietsfläche zur vereinfachten Schätzung mittlerer und maximaler Durchflüsse verwendet werden können.

In der bereits vorgestellten Arbeit zu den Wasserhaushaltsgrößen für das Gebiet der DDR der Periode 1931-1960 (FREYDANK et al. 1983) wurden neben den Niederschlagsverhältnissen auch eine Karte der mittleren jährlichen Verdunstung, eine Karte des mittleren jährlichen Abflusses sowie des mittleren unterirdischen Abflusses (alle in Isoliniendarstellung) veröffentlicht. Für Gebiete ohne Abflußmessungen erfolgte dabei die Berechnung der Verdunstung nach dem Bagrov-Verfahren (s.o.), die Abflußbestimmung als Restgröße der vereinfachten Wasserhaushaltsgleichung (Gl. (1)).

Ende der 80er und Anfang der 90er Jahre wurden für einige Flußgebiete Mecklenburg-Vorpommerns exemplarische Untersuchungen zum Abflußverhalten auf der Basis deterministischer Einzugsgebietsmodelle durchgeführt (Modell EGMO F, zu den Grundlagen und der Programmstruktur s. BECKER & PFÜTZNER 1987), wobei die Notwendigkeit der Einführung geeigneter Modellparameter für die regionalspezifischen Verhältnisse im nordostdeutschen Tiefland erkannt wurde (Wirkung von Entwässerungsmaßnahmen auf grundwasserfernen Standorten, Bedeutung von Zehrprozessen auf grundwassernahen Standorten (ZARNCKE 1989); Bedeutung der Seeretention (MEHL 1991)). MÜLLER et al. (1996) haben verschiedene Verfahren zur Abschätzung des mittleren Gebietsabflusses auch für Teile Mecklenburg-Vorpommerns geprüft, wobei für ausgewählte Flußgebiete ein Vergleich mit gemessenen Abflüssen vorgenommen wurde. Die Autoren weisen für den gesamten betrachteten Lockergesteinsraum Nordost- und Mitteldeutschlands vier Typen des Niederschlags-, Verdunstungs- und Abflußregimes aus. Zudem wurden drei Abfluß-Grobszenarien mit erhöhten Werten der potentiellen Evapotranspiration und des Niederschlages entsprechend den Erwartungswerten für Klimaänderungen nach KENNY et al. (1993, zit. bei MÜLLER et al. 1996) gerechnet.

Eine hydrographisch orientierte Einordnung der Grund- und Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns nimmt BILLWITZ (1995b) vor. Dabei veröffentlicht er auch mittlere Wasserhaushaltsgrößen für Mecklenburg-Vorpommern (Gesamtfläche) ohne Angabe eines Zeitbezugs.

Durch MEHL & THIELE (1998) wurden erstmals hydrologische Regimetypen für das Gros der durch Pegel erfaßten Fließgewässer Mecklenburg-Vorpommerns abgeleitet. Die dynamisch

orientierten Regimetypen sind dabei im wesentlichen durch einen normierten, mittleren innerjährlichen Jahresgang des Durchflusses entsprechend PARDÉ (1964) gekennzeichnet. Jüngere hydrologische Arbeiten mit dem regionalen Schwerpunkt Mecklenburg-Vorpommern beschäftigen sich überwiegend mit der Regionalisierung von Hochwasserkennwerten (z.B. HAUPT et al. 1999, 2000, HAUPT 2000) oder widmen sich spezifischen methodischen Aspekten (z.B. FROMMHOLZ 2002).

Auch der bereits vorgestellte Hydrologische Atlas von Deutschland (HAD 2000, 2001, 2003) enthält wertvolle orientierende Kartenbeiträge nebst ausführlicher Methodenbeschreibung insbesondere zu folgenden hydrologischen Aspekten: mittlere jährliche und halbjährliche Abflußhöhen, mittlerer jährlicher Durchfluß und Durchflußvariabilität, Niedrigwasserabflußspenden, Abflußregime als inner- und zwischenjährliche Variation des Abflusses, hydrogeologische Informationen (z.B. mittlere jährliche Grundwasserneubildung) sowie eine nach Flußgebieten und Bundesländern differenzierte Abflußbilanz der Bundesrepublik Deutschland. Gesamtdeutsche Abflußbilanzen wurden bereits vorher von KRAHE & GLUGLA (1996) sowie AURADA (1999) veröffentlicht. Zeitbasis für alle Betrachtungen des HAD bildet die internationale Referenzperiode 1961-1990. Wiederum ist aber auf Grund der Maßstabsfrage eine regional differenziertere Analyse in Mecklenburg-Vorpommern erschwert. Auch bei den Abflußdaten (hydrologische Hauptzahlen) der Pegel Mecklenburg-Vorpommerns erfolgen wie im Fall der Niederschlagsdaten fortlaufend amtliche und annähernd aktuelle Veröffentlichungen (früher: Gewässerkundliches Jahrbuch der Deutschen Demokratischen Republik, heute: Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch).

Mittlerweile liegen flächendeckende, durchflußorientierte Karten für Mecklenburg-Vorpommern zu mittleren Mittelwasserabflüssen und Niedrigwasserabflüssen der aktuellen Zeitreihe 1971 bis 2000 vor (MEHL et al. 2003), die hier zwar mit den Ergebnissen Verwendung finden, aber an anderer Stelle umfassender publiziert werden sollen. Auf Grund des Fehlens von räumlich ausreichend differenzierten historischen Vergleichsdaten wäre ohnehin keine flächendeckende Trendanalyse möglich.

3 Die hydrographische Struktur der Flußgebiete in Mecklenburg-Vorpommern

Ausgehend von den Einzugsgebieten der Meere können die Flußgebiete in Mecklenburg-Vorpommern zunehmend feiner unterteilt werden. Auf der Basis der Ermittlung der oberirdischen Wasserscheiden entsprechend der orographischen Situation ergibt sich danach das folgende Bild (Abb. 6):

Mecklenburg-Vorpommern wird von einer Hauptwasserscheide zweigeteilt. Diese zieht sich im Bereich des Mecklenburgischen Landrückens von Südosten kommend unter mehrfach pendelndem Richtungswechsel nach Nordwesten quer durchs Land und teilt die Einzugsgebiete in Zustromgebiete zur Nordsee sowie zur Ostsee. Die größeren Flußgebiete Sude, Elde und Havel im Nordseegebiet sind dem Strom Elbe tributär. Im Ostseegebiet hat Mecklenburg-Vorpommern nur einen sehr kleinen Gebietsanteil am Stromgebiet der Oder. Hier wird die Situation durch einige größere Flußgebiete dominiert (Stepenitz, Warnow, Peene, Uecker). Die restlichen Zuflüsse sind in ihrer Bedeutung geringer. Sie lassen sich als Küstenzuflüsse mit ihren Einzugsgebieten räumlich zu Küstengebieten zusammenfassen (Abb. 7).

Flußgebiete bzw. Gewässereinzugsgebiete sind nur selten als „homogene“ Landschaftsräume ansprechbar. Im Regelfall bilden sie landschaftlich heterogene, somit chorische Raumeinheiten verschiedener Dimensionen. Analog den anderen geographisch orientierten Wissenschaften lassen sich verschiedene hydrogeographische und hydrologische Dimensionsstufen, und folglich Größenordnungen sowie Untersuchungsmaßstäbe ableiten (s. u.a. DYCK & PESCHKE 1983, BECKER 1992, KLEEBERG et al. 1999).

Ein praktikables Ordnungskonzept wurde mit der 1993 überarbeiteten „Richtlinie für die Gebietsverschlüsselung und die Verschlüsselung von Fließgewässern“ von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) als bundeseinheitliches System für die systematische Bezeichnung von oberirdischen Einzugsgebieten und Fließgewässern festgelegt (LAWA 1970, 1993). Diese Richtlinie wurde und wird im Kontext der WRRL aktualisiert (LAWA 2002), wobei hierbei vor allem die Anwendung bei der elektronischen Datenverarbeitung im Vordergrund steht (vor allem Handhabung in geographischen Informationssystemen).

Die Richtlinie (LAWA 2002) gibt von daher u.a. die folgenden Ordnungsprinzipien für Einzugsgebiete und Fließgewässer vor:

- Die sechs Hauptstromgebiete sowie die Küstenregion Deutschlands werden mit je einer Ziffer (1 bis 6 bzw. 9) bezeichnet: 1 – Donau, 2 – Rhein, 3 – Ems, 4 – Weser, 5 – Elbe, 6 – Oder, 9 – Küste
- Für die weitere Unterteilung dieser Gebiete werden bis zu 9 Untergebiete abgegrenzt, wobei gerade Ziffern Nebenflußgebiete und ungerade Ziffern sogenannte Zwischengebiete bezeichnen. Beim Festlegen der Nebengewässer soll eine sinnvolle hydrologische Aufteilung vorgenommen werden.
- In Ausnahmefällen kann die unterteilende Wasserscheide auch von einem anderen Punkt als der Einmündung eines Fließgewässers in das Hauptgewässer ausgehen (z.B. Brücke, Pegel, Grenze u.ä.).
- Die Unterteilung der Einzugsgebiete von Kanälen und Altarmen erfolgt wie bei natürlichen Gewässern. Bei Gewässerüberleitungen bzw. Nebenarmen (mit einer durchgehenden Verbindung zum Fließgewässer) erfolgt die Abgrenzung „fiktiv“ an der Ausleitungsstelle. Maßgebend für die Bildung der Gebietskennzahl ist die Einleitungsstelle.
- Das unterste Zwischengebiet (Mündungsgebiet) erhält stets eine Gebietskennzahl, die mit der Ziffer 9 endet.
- Alle Wasserscheiden werden primär durch manuelle Ausgrenzung entsprechend der orographischen Situation auf topographischen Karten im Maßstab 1:10.000 oder größer erhalten (bei möglichst weitgehender Berücksichtigung der aktuellen, häufig anthropogen veränderten Entwässerungssituation) und anschließend digitalisiert.

Zu Schwierigkeiten und notwendigen Lösungsansätzen bei der Anwendung der Richtlinie, die sich aus dem pauschalen Charakter der Richtlinie (LAWA 1993) und den hydrographischen Besonderheiten der Fließgewässersysteme und ihrer Einzugsgebiete im nordöstlichen Tiefland ergeben, siehe WOLFF et al. (2000). Abbildung 7 zeigt für Mecklenburg-Vorpommern die Struktur der Flußgebiete bis zu den „3Stellern“ entsprechend der landesspezifischen Umsetzung der LAWA-Richtlinie für die Gebietsbezeichnung und die Verschlüsselung von Fließgewässern (LAUN M-V 1996).

Diese digital vorliegende, aktuelle hydrographische Gliederung Mecklenburg-Vorpommerns bildet die räumliche Betrachtungsebene der vorliegenden Untersuchungen. Für detaillierte Auswertungen wird nachfolgend teilweise die detaillierte Einzugsgebietsdifferenzierung in der Größenordnung von ca. $\geq 10 \text{ km}^2$ genutzt. Die Einzugsgebiete wurden aber nach der Gebietskennzahl zusammengefaßt, um eine einheitlichere hydrographische Struktur zu erhalten (Abb. 8). Da sich die gesamten raumrelevanten Analysen in der Größenordnung von bis zu mehreren 1.000 km^2 bis in eine detaillierte Betrachtungsebene von ca. 10 km^2 erstrecken, entsprechen sie einer mesoskaligen hydrologischen Betrachtung (BECKER 1992) in der Flächendimension $0,1 \dots 10^3 \text{ km}^2$. Die wesentlichen (regionalisierten) Ergebnisse werden somit grundsätzlich dem hydrologischen Systembezug „Einzugsgebiet“ unterworfen.

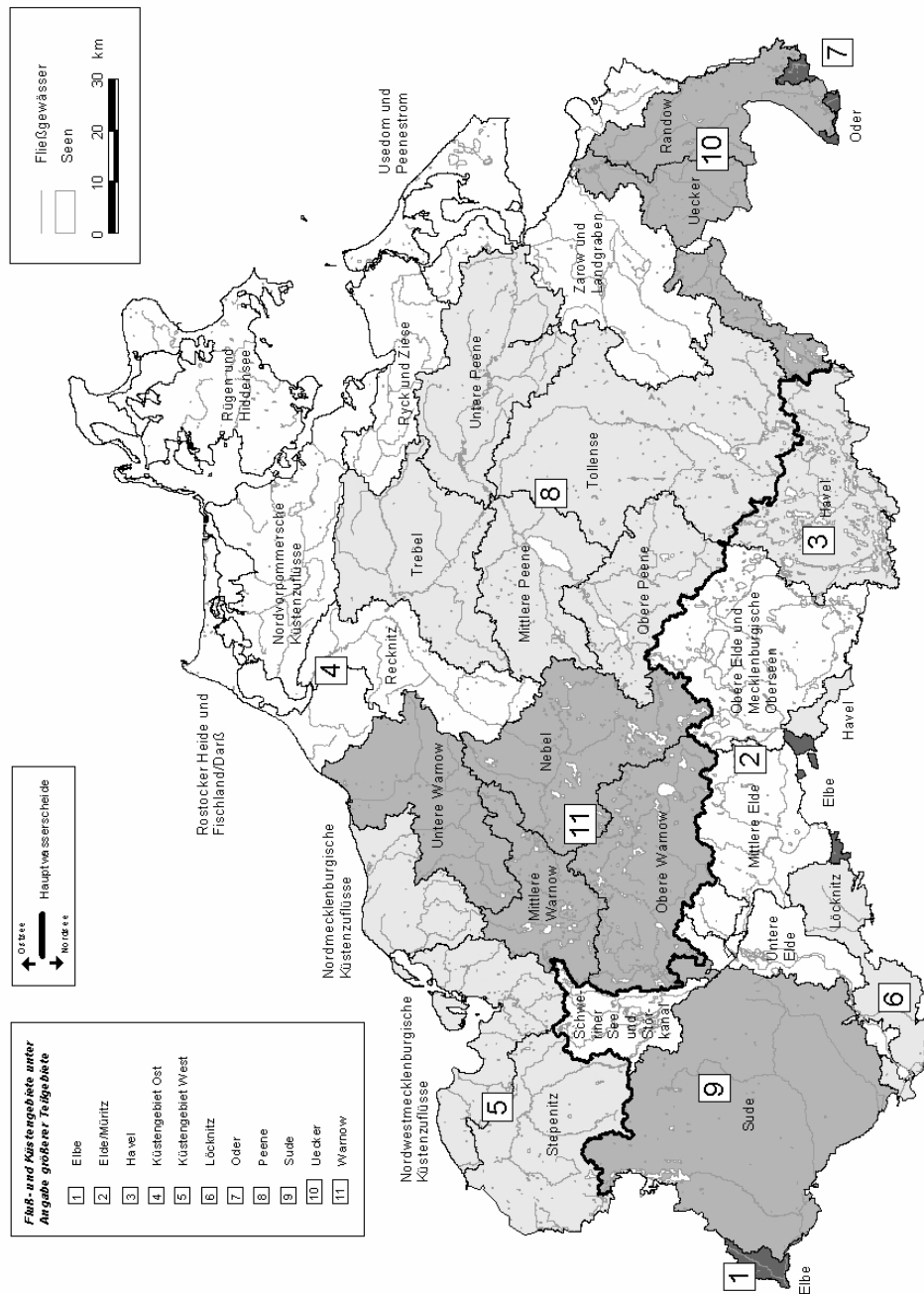


Abb. 6 Oberirdische Fließgewässereinzugsgebiete in Mecklenburg-Vorpommern.

Fig. 6 Surface river basins in Mecklenburg-Western Pomerania.

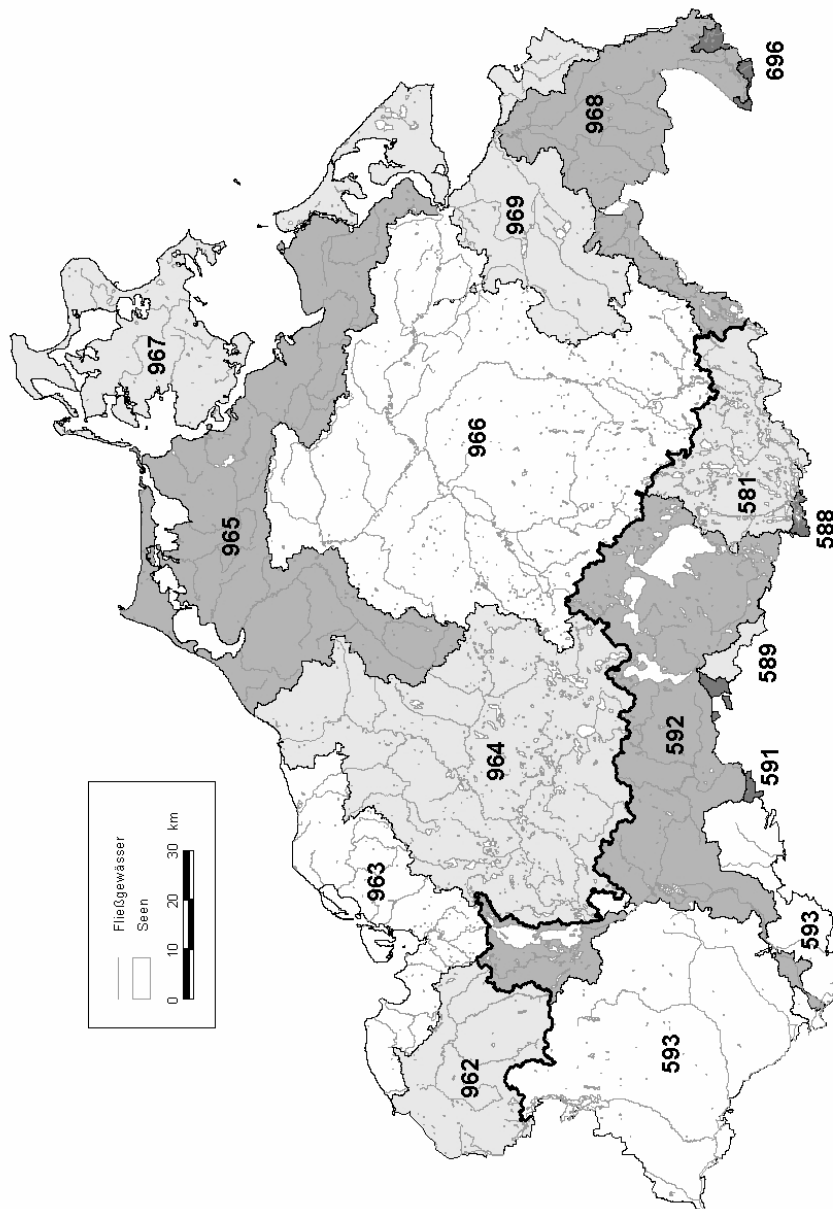


Abb. 7 Wasserscheiden und Gebietsverschlüsselung der oberirdischen Fließgewässer-einzugsgebiete nach LAWa (2002) am Beispiel Mecklenburg-Vorpommerns: Ebene der „3Steller“; Das Küstengebiet der Ostsee hat gemäß LAWa (2002) bis zur zweiten Stelle die Gebietskennzahl 96 erhalten.

Fig. 7 Watersheds and coding of surface river basins at the level of 3-digit water catchment indicator in Mecklenburg – Western Pomerania; According to LAWa (2002) the coastal area of the Baltic Sea is given the area identification code 96.

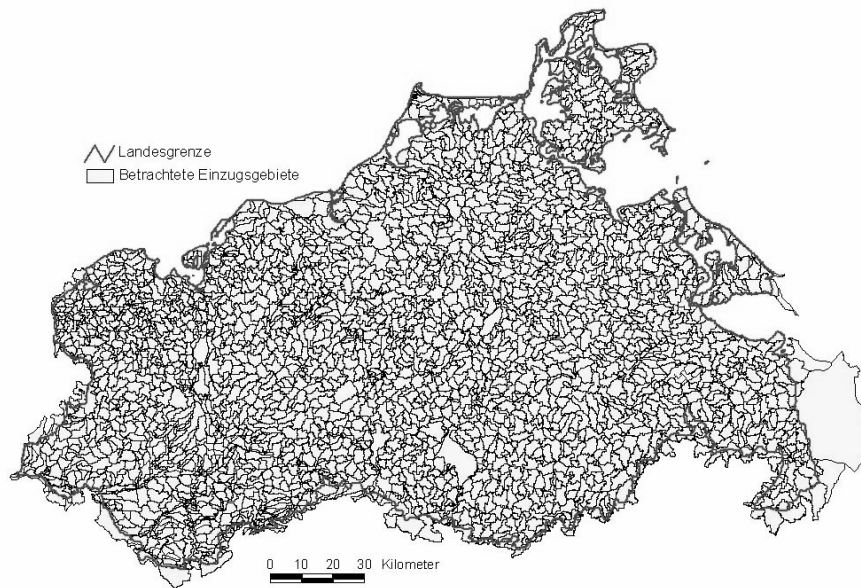


Abb. 8 Zugrundegelegte detaillierte räumliche Differenzierung der oberirdischen Gewässer-einzugsgebiete in Mecklenburg-Vorpommern.

Fig. 8 Spatial partition of river basins in Mecklenburg-Western Pomerania.

4 Grundlagen und Methoden

4.1 Niederschlag und Wasserhaushalt

Als Datenquellen für hydrometeorologische Werte standen für die Arbeit zur Verfügung:

- Historische Daten: HELLMANN 1906, HURTIG 1957, METEOROLOGISCHER UND HYDROLOGISCHER DIENST DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK 1961, VEIT et al. 1987, STÜDEMANN 1987
- Aktuelle und historische Daten: Deutscher Wetterdienst (DWD - www.dwd.de), Universität Rostock (Lysimeterstation Groß Lüsewitz), Daten größtenteils über das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern

Berechnungen mittlerer Niederschlagsverhältnisse wurden für folgende Zeitreihen durchgeführt: 1901-1950, 1951-1980, 1961-1990 sowie 1971-2000. Auf Grund der hydrologischen Ausrichtung der Arbeit erfolgten die Auswertungen grundsätzlich bezogen auf das hydrologische bzw. Abflußjahr (01. November...31. Oktober), teilweise das hydrologische Sommerhalbjahr (01. Mai...31. Oktober) sowie das hydrologische Winterhalbjahr (01. November...30. April). Für spezifische Fragestellungen des Wasserhaushalts wurde ein davon abweichendes „Wasserhaushaltsjahr“ (01. März...28. Februar) festgesetzt (s. u.).

Mindestens die Werte von 139 Stationen in Mecklenburg-Vorpommern sowie in den Randgebieten benachbarter Regionen bildeten jeweils die Basis für die flächendeckenden Gebietsmittelberechnungen. Bedingt durch Wegfall oder Neueinrichtung von Niederschlagsmeßstellen schwankt die Zahl der Meßstellen innerhalb der verschiedenen Zeitperioden, bewegt sich aber im Mittel bei 165 Stationen. Grundsätzlich ist damit für alle Zeitebenen eine gute und gleichmäßige räumliche Abdeckung gewährleistet, womit eine vergleichbare räumliche Differenzierung erreicht wird. Zur Analyse der Niederschlagstrends wurden zusätzlich Betrachtungen an ausgewählten repräsentativen Stationen durchgeführt (Abb. 9).



Abb. 9 Lage ausgewählter repräsentativer Niederschlagsmeßstellen in Mecklenburg-Vorpommern.

Fig. 9 Position of selected representative precipitation gauging stations in Mecklenburg-Western Pomerania.

Niederschlagsmessungen sind grundsätzlich fehlerbehaftet und müssen für Wasserhaushaltsbetrachtungen und Wasserbilanzen auf ein geländegleiches Niveau bezogen werden. Die wichtigsten Fehlerarten der Niederschlagsmessung ergeben sich durch Windfelddeformation, Verlust durch Benetzungsverdunstung am Niederschlagsmesser sowie Verdunstungsverlust aus dem Sammelgefäß (vgl. u.a. HAASE 1958 und KARBAUM 1969). Eine wesentliche Rolle spielt die Windfelddeformation, so daß mit wachsender Höhe einer Niederschlagsmessung über dem Erdboden (s. u.a. KREUTZ 1952 und KARBAUM 1966) sowie bei

abnehmender Windabschirmung einer Meßstelle die registrierte Niederschlagsmenge abnimmt.

Die mittleren jährlichen Niederschlagshöhen der einzelnen Stationen wurden fragestellungsbezogen unkorrigiert sowie korrigiert verwendet. In der DDR war eine Korrektur des mittleren Jahresniederschlags mit + 9% üblich (DYCK & PESCHKE 1983). Für diese Arbeiten wurden aber für die Korrektur der Monats- und Jahresniederschläge in Anlehnung an den HAD (2000, 2001, 2003) die Werte des Jahresganges des prozentualen Niederschlagsmeßfehlers in Abhängigkeit der Region und des Geschütztheitsgrades nach RICHTER (1995) verwendet (Tab. 1). Generell ist der Geschütztheitsgrad der Stationen bedeutsamer als die richtige Zuordnung zu einem Gebiet einheitlicher Niederschlagskorrektur (MIEGEL 1998). Da aber die Einschätzung des Geschütztheitsgrades der Stationen vom Deutschen Wetterdienst nicht bereitgestellt wurde, mußte einheitlich von einer mäßig geschützten Stationslage „c“ ausgegangen werden (vgl. zu dieser Problematik auch MÜCK 2000). Die Gebietseinteilungen wurden nach RICHTER (1995) bzw. HAD (2000, 2001, 2003) übernommen und die Stationen jeweils zugeordnet (Gebiete II und III entsprechend Abb. 10).

		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Gebiet I und VI (bis 700 m ü. NN)	a	22,8	23,6	20,0	16,0	12,0	10,3	10,5	10,3	11,5	13,6	16,2	18,9	14,9
	b	17,3	17,9	15,5	13,6	10,8	9,2	9,4	9,3	10,2	11,2	12,9	14,6	12,3
	c	13,4	13,7	12,6	11,6	9,8	8,4	8,5	8,4	9,1	9,7	10,6	11,6	10,4
	d	9,5	9,6	9,4	9,4	8,5	7,3	7,5	7,3	7,8	7,8	8,0	8,4	8,2
Gebiet II, IV und VII (bis 700 m ü. NN)	a	27,5	29,0	23,6	18,2	12,3	10,3	10,5	10,5	12,1	14,2	19,1	22,7	16,6
	b	20,5	21,5	17,8	15,0	10,9	9,3	9,4	9,5	10,9	11,6	15,0	17,3	13,5
	c	15,2	15,8	14,0	12,4	9,8	8,3	8,6	8,6	9,6	10,2	12,0	13,2	11,1
	d	10,3	10,7	10,0	9,6	8,5	7,3	7,5	7,5	8,2	8,2	8,7	9,2	8,6
Gebiet III und V (bis 700 m ü. NN)	a	31,6	33,5	26,9	18,3	12,5	10,4	10,8	10,5	12,6	15,5	21,8	26,5	18,2
	b	23,3	24,5	20,3	15,1	11,1	9,8	10,0	9,5	11,5	12,7	16,8	19,8	14,6
	c	17,3	17,9	15,5	12,7	10,1	8,8	9,1	8,5	10,2	11,0	13,3	15,0	12,0
	d	11,5	11,8	10,7	10,0	8,6	7,7	8,0	7,5	8,7	8,8	9,5	10,3	9,3
Gebiet VIII und IX (bis 1000 m ü. NN)	a	31,7	30,5	25,6	18,8	10,4	8,1	7,9	8,2	9,6	13,4	21,3	26,9	15,4
	b	23,0	22,2	19,4	15,0	9,0	7,2	7,1	7,3	8,6	10,6	16,0	19,7	12,2
	c	16,2	15,7	14,3	11,9	8,0	6,5	6,3	6,6	7,7	8,8	12,1	14,4	9,7
	d	10,6	10,2	9,6	8,7	6,7	5,7	5,6	5,8	6,5	6,8	8,3	9,5	7,3

Tab. 1 Mittlerer Jahresgang des Niederschlagsmeßfehlers 1961/90 (in %), gebietsweise zusammengefaßt (RICHTER 1995); a – freie, b – leicht geschützte, c – mäßig geschützte, d –stark geschützte Stationslage.

Tab. 1 Average monthly precipitation measuring errors 1961/90 (%) (RICHTER 1995); a – free standing, b – lightly protected, c – moderately protected, d – heavily protected position of the station.

Die ermittelten Ausgangswerte der unkorrigierten bzw. korrigierten Niederschläge für die verwendeten Stationen wurden zusammen mit den Stationskoordinaten in jeweils einer Excel-Tabelle je Reihe bzw. je Einzeljahr gespeichert. Diese Tabellen dienten als Datenquelle für die räumliche Interpolation der Daten. Für die Berechnung von Gebietsmitteln des Niederschlags gibt es unterschiedliche Ansätze (vgl. DYCK et al. 1980b). Zunehmend werden softwaregestützte geostatistische Verfahren angewandt. Vor allem bei räumlich ungleicher Stationsverteilung ermöglicht dabei die Einbeziehung weiterer Variablen (Höhenlage, Entfernungen zu Gewässern oder orographischen Strukturen, Exposition etc.) ein realistischeres Er-

gebnis, als einfache Interpolationsverfahren (VICENTE-SERRANO et al. 2003). Allerdings erfordern solche Verfahren ein hohes Maß an Datenverfügbarkeit.

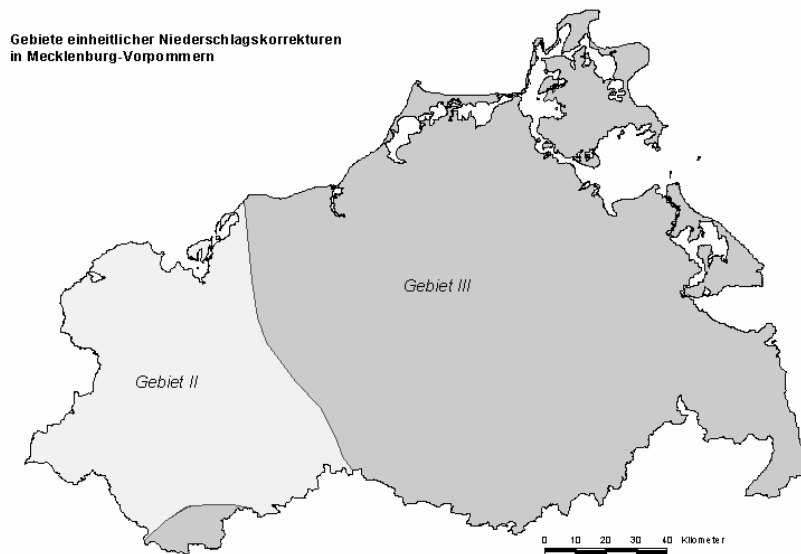


Abb. 10 Gebiete einheitlicher Niederschlagskorrektur in Mecklenburg-Vorpommern (prozentualer Niederschlagsmeßfehler der Reihe 1961/90) nach RICHTER (1995) bzw. HAD (2000, 2001, 2003).

Fig. 10 Areas of equal precipitation correction in Mecklenburg-Western Pomerania (Precipitation measuring error of time series 1961/90 in %) according to RICHTER (1995) resp. HAD (2000, 2001, 2003).

Bei dieser Arbeit mußten auf Grund der Datenverfügbarkeit (Jahreswerte der Einzeljahre waren nur für repräsentative Stationen verfügbar) folgende Methoden verwendet werden:

- (1) Arithmetische Mittelwertbildung: für bestimmte Niederschlagsauswertungen im Zusammenhang mit Abflusstrends (jeweils 2 bis 4 räumlich relevante Meßstellen)
- (2) Polygonmethode (Verfahren nach THIESSEN 1911): für das Bundesland und die Teilgebiete Mecklenburg und Vorpommern auf der Basis von elf weitgehend repräsentativen Stationen
- (3) Rastermethode: flächendeckend für flußgebietsbezogene Auswertungen
- (4) Isohyetenmethode: flächendeckend als Darstellungsvariante

GIESECKE et al. (1983) haben verschiedene Methoden verglichen und festgestellt, daß bei größeren Stationszahlen ($n > 60$) die Rastermethode und die Polygonmethode zuverlässige Ergebnisse bei der Ermittlung von Gebietsniederschlägen liefern. Die Rastermethode ist ein häufig verwendeter Ansatz (z.B. SCHÄFER 1999, LAHMER et al. 1999). Bei ihrer Anwendung werden Niederschläge für gleichmäßige Rasterzellen interpoliert. Dem Ansatz liegt zugrunde, daß eine Meßstation mit dem umgekehrt proportionalen Gewicht ihrer Entfernung zu dem zu schätzenden Punkt in die Berechnung eingeht. Sie wird daher auch als „Inverse Distance Weighted“ - Methode (IDW) bezeichnet. Im Allgemeinen werden bei der Anwendung dieser

Methodik die vier, dem zu interpolierenden Punkt am nächsten liegenden Stationen verwendet. Die rasterbasierten Ergebnisse wurden auch für die Erzeugung von Isohyeten verwendet.

Hierzu wurden mittels der Software Surfer 8.03® unter Anwendung der IDW-Methode zunächst Gitter („Grids“) mit einer Rasterweite von 250 m für alle betrachteten Reihen erzeugt. Diese Grids stellen die Verteilung der langjährigen Mittelwerte der jeweiligen Reihen für das Land Mecklenburg-Vorpommern dar. Aus den Grids wurden im Anschluß Isohyeten-Karten mit einer Klassenbreite von 25 mm erzeugt. Diese Karten konnten dann als ArcView-Shapefiles exportiert, und den Flächen zwischen den Isohyeten der Mittelwert der begrenzenden Linien als mittlerer Niederschlag zugewiesen werden. In einem geographischen Informationssystem (ArcView 3.1®) erfolgte als nächster Schritt eine „Verschneidung“ der räumlichen Niederschlagsstruktur mit den Einzugsgebieten entsprechend der hydrographischen Struktur in Mecklenburg-Vorpommern (siehe Kapitel 3). Dazu wurden für jedes Einzugsgebiet die Flächenanteile an Räumen bestimmter Niederschlagshöhen ermittelt und anschließend flächengewichtet die Gebietsmittel für die Einzugsgebiete berechnet.

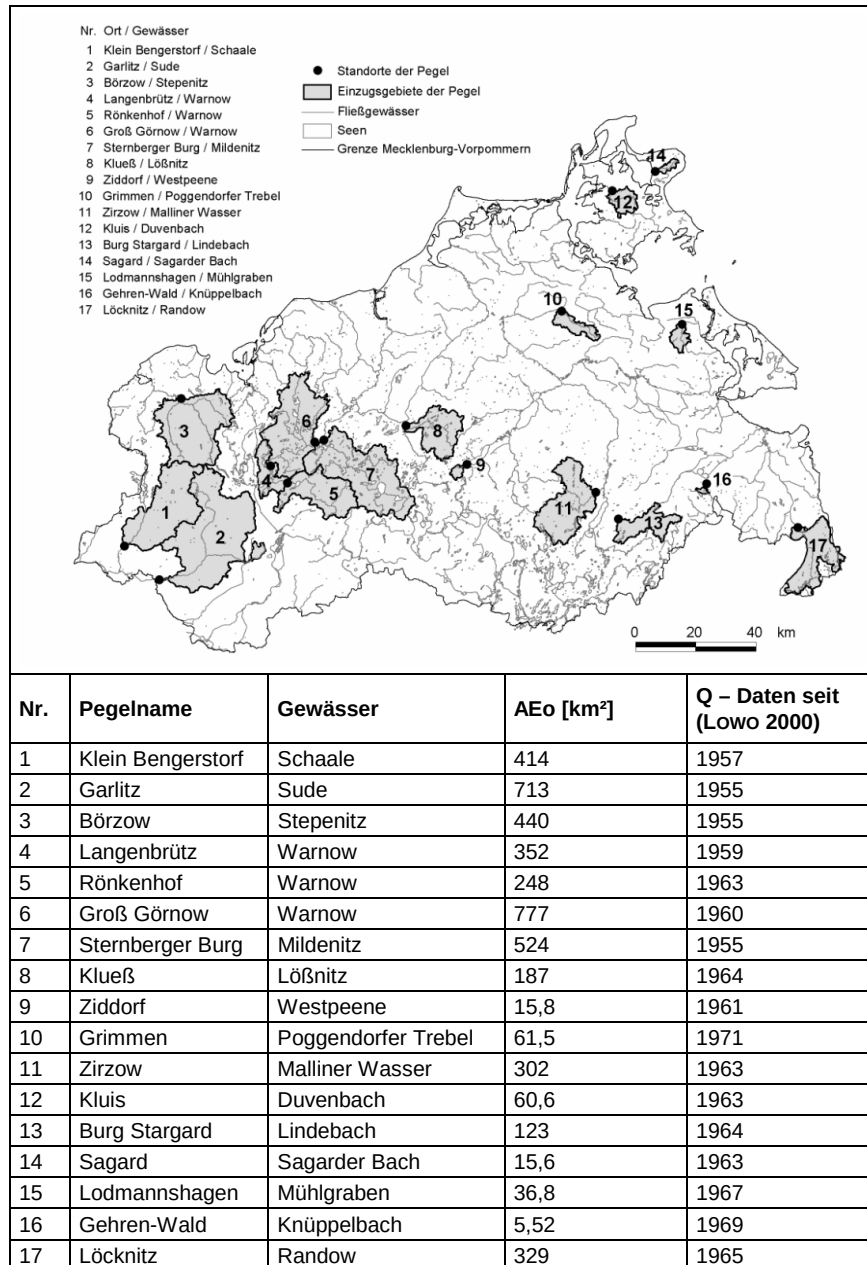
Zur Bestimmung von Trends werden neben der linearen Trendanalyse (vgl. Kapitel 4.2) überwiegend Differenzen der Mittelwerte der Zeitreihen verglichen. Beide Methoden gelten als Möglichkeiten zur Untersuchung trendhafter Veränderungen (RAPP 2000). Bei den Trends, die sich aus einer Regressionsberechnung der betrachteten Variablen und der Zeit ergeben (linearer Trend als Einfachregressionsmodell der Form $y = mx + n$, Anpassung/Schätzung mit der Methode der kleinsten Quadrate, strenggenommen setzt der lineare Trend Normalverteilung voraus), liefern der Korrelationskoeffizient R bzw. das Bestimmtheitsmaß R^2 ein Maß für die Trendstrenge bzw. –schärfe und damit für die Wahrscheinlichkeit einer Trendaussage. Nur teilweise erfolgt zusätzlich eine statistische Signifikanzprüfung mit einem t-Test.

4.2 Abfluß

Als Datenquelle für hydrologische Werte stand für die Arbeit der Langzeitdatenspeicher Oberflächenwasser „LOWO“ des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG M-V) zur Verfügung (Lowo 2000). Für landesweite Auswertungen wurden zudem Ergebnisse von aktuellen Landesprojekten im Bereich hydrologischer Grundlagenarbeit genutzt (MEHL & MARQUARDT 2003, MEHL et al. 2003).

Für die Analysen zum Abfluß und zum Wasserhaushalt wurden Daten ausgewählter, relativ langjährig beobachteter Pegel verwendet (Tab. 2). Die an diesen Pegeln gewonnenen Abflußdaten können im Hinblick auf mögliche Inkonsistenzen als robust angesehen werden. Demgegenüber erfolgten landesweite Auswertungen zum Wasserhaushalt auf der räumlichen Differenzierungsebene der „3Steller“ nach dem gewässerkundlichen Flächenverzeichnis der LAWA (vgl. Abb. 7). Für diese verhältnismäßig großen Gebiete kann von einer annähernden Kongruenz von oberirdischem und unterirdischem Einzugsgebiet ausgegangen werden (SCHWERDTFEGER 2003), so daß etwaiger Zu- oder Abstrom von Grundwasser für die folgenden Fragestellungen vernachlässigbar ist. Hingegen treten bei kleineren Gebieten im nord-ostdeutschen Lockergesteinsbereich mitunter größere räumliche Differenzen zwischen oberirdischem und unterirdischem Einzugsgebiet auf; hier bedarf auch die hydrologische Analyse einer besonderen Sorgfalt. Vor allem bei kompliziertem hydrogeologischen Aufbau der Grundwasserleiter, z.B. mit mehreren („übereinanderliegenden“) Grundwasserleitern und geohydrologisch bedeutsamen Verbindungen („Grundwasserfenster“), können in dieser Hinsicht erhebliche Diskongruenzen auftreten.

Die verwendeten Methoden umfassen Analysen zum Trendverhalten (linearer Trend, s.o.) sowie gängige Berechnungen von Wasserbilanzen und –haushaltsgrößen (vgl. beispielsweise DYCK et al. 1980 a, b).



Tab. 2 Kennwerte der ausgewählten Pegel mit integrierter Übersichtskarte, AEo = Fläche des oberirdischen Einzugsgebietes, Q = Durchfluß.

Tab. 2 Characteristics of the selected river gauges with overview map; AEo = size of the river basin, Q-Daten seit = beginning of runoff measuring.

5 Ergebnisse

5.1 Niederschlag

5.1.1 Analysen über repräsentative Stationen

Das standortbezogene und das großräumige Trendverhalten des Niederschlags wurde anhand der Meßdaten von elf räumlich weitgehend repräsentativen Stationen des DWD der Reihe 1951-2000 untersucht. Verwendet wurden die monatlichen Niederschlagshöhen, die Summen der hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahre sowie die Jahreswerte (alles unkorrigiert). Mittels Polygonverfahren wurden die Flächenmittel des Niederschlags für Mecklenburg-Vorpommern mit den beiden Teilgebieten Mecklenburg und Vorpommern (Abb. 9) berechnet. Wie auch bei den nachfolgenden Auswertungen zu den räumlich höher aufgelösten Gebietsmitteln (Kapitel 5.1.2) wurden auch hier die Teilreihen a) 1951-1980, b) 1961-1990 und c) 1971-2000 gebildet. Zudem erfolgt eine Betrachtung d) über die Gesamtperiode 1951-2000.

Insgesamt zeigt sich beim Niederschlag eine sehr hohe natürliche Variabilität, so daß die Größe und vor allem die Position einzelner außergewöhnlicher Werte innerhalb der Reihe das Gesamtergebnis (Anstieg der Trendgeraden) maßgeblich beeinflussen können. Aus diesem Grund erweisen sich Teilreihen zueinander und in Bezug auf die Gesamtreihe häufig als instabil. Für das Niederschlagsverhalten in der Gesamtreihe d) 1951-2000 und in den Teilreihen lassen sich im Ergebnis der durchgeführten Berechnungen der Trendgeraden die nachfolgend beschriebenen Tendenzen erkennen. Die Ausführungen beziehen sich auf die Tabellen 3 und 4 sowie Anhang I und II.

Jahreswerte: Mit Ausnahme der Teilreihe c) 1971-2000, in welcher für alle Stationen (und Gebiete) ein positiver Trend ausgewiesen wird, zeigen die anderen Teilreihen und die Gesamtreihe für die einzelnen Stationen sowohl Anstiege als auch (etwas häufiger) Rückgänge. Diese bewegen sich für d) 1951-2000 zwischen rd. +1 mm/a und -1 mm/a. Das Gebietsmittel dieser Reihe ist für Mecklenburg mit rd. -0,4 mm/a negativ, für Vorpommern mit rd. +0,3 mm/a allerdings positiv. Für gesamt Mecklenburg-Vorpommern ergibt sich insgesamt ein negativer Wert von rund -0,2 mm/a, was moderaten -10 mm in 50 Jahren entspricht und annähernd stabile Verhältnisse bei den Jahreswerten innerhalb der Gesamtreihe zum Ausdruck bringt. Die Schwankungsbreite des linearen Anstiegs reicht bei den 30jährigen Teilreihen an den Stationen von rd. -4 mm/a als Minimum (a) 1951-1980 bzw. b) 1961-1990) bis rund +5 mm/a als Maximum in der Reihe c) 1971-2000. Vorpommern zeigt sich gegenüber Mecklenburg auch bei den Teilreihen stets etwas bevorteilt, was den Trendverlauf der Jahreswerte anbelangt.

Winterhalbjahreswerte: Hier bildet die Teilreihe b) 1961-90 mit einer Mehrzahl von Stationen mit negativem Trend die Ausnahme, da ansonsten bei den anderen Reihen überwiegend positive Trends an den Stationen zu verzeichnen sind. Für d) 1951-2000 und a) 1951-1980 liegt der Anstieg des Gebietsmittels von gesamt Mecklenburg-Vorpommern bei rund +0,6 mm/a, für c) 1971-2000 sogar etwas über +1,4 mm/a. Die Unterschiede zwischen Mecklenburg und Vorpommern sind nicht so ausgeprägt wie bei den Jahreswerten, jedoch kehren sich hier die Verhältnisse um und Mecklenburg weist die etwas größeren Beträge als Vorpommern aus. Insgesamt liefern diese Ergebnisse Hinweise auf eine wahrscheinliche Zunahme der Niederschläge im Winterhalbjahr in Mecklenburg-Vorpommern innerhalb der letzten fünf Jahrzehnte.

Sommerhalbjahreswerte: Die Trendberechnungen für die Sommerhalbjahre weisen, bis auf die Teilreihe c) 1971-2000, im allgemeinen Niederschlagsrückgang auf. Dieser fällt für die Reihe d) 1951-2000 mit rd. -1 mm/a im Gebiet von Mecklenburg wesentlich höher aus als in

Vorpommern (rund -0,2 mm/a) und beträgt im Landesdurchschnitt rund -0,7 mm/a. Daraus resultiert, daß großräumlich betrachtet markante Unterschiede bestehen: während in Mecklenburg der winterliche Niederschlagszuwachs durch die Abnahme im Sommerhalbjahr mehr als kompensiert wird und sich in ein Defizit verkehrt, ist dies im Gebiet von Vorpommern nicht der Fall und so verbleibt dort beim Jahrestrend ein positiver Saldo.

Monatswerte: Der Analyse der einzelnen Monate kommt insofern eine besondere Bedeutung zu, da hier sichtbar wird, ob es Konzentrationen auf bestimmte Zeiträume für Zu- und Abnahmen der Niederschläge im Jahresverlauf gibt, die beispielsweise bei den Halbjahreswerten wegen deren integrativem Charakter nicht zum Ausdruck kommen. Als augenfälligste Ergebnisse bei diesen Trendberechnungen, die sich erstaunlich gut mit den Feststellungen von MALITZ (1991) decken, können für ein langjährig mittleres Verhalten (Reihe d) 1951-2000) der monatlichen Niederschläge in Mecklenburg-Vorpommern genannt werden:

- ein für alle Teilreihen und für den Gesamtzeitraum ermittelter positiver Trend insbesondere in den Monaten März und Dezember (alle Gebiete)
- negative Trends hingegen vor allem im August und Juli (alle Gebiete),
- überwiegend zurück gehende Monatsniederschläge auch noch im April (alle Gebiete)
- leichter Niederschlagsrückgang in Mecklenburg auch im Mai, Juni und November, während die Verhältnisse in Vorpommern in diesen Monaten relativ stabil bleiben
- insgesamt kaum Änderungen und räumliche Unterschiede vor allem im Januar, September und Oktober

	Nov	Dez	Jan	Febr	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Win	Som	Jahr
a) 1951-1980															
positiv (%)	73	73	0	0	91	82	27	9	45	9	55	64	73	18	27
negativ (%)	27	27	100	100	9	18	73	91	55	91	45	36	27	82	73
b) 1961-1990															
positiv (%)	0	91	100	18	91	0	0	100	36	0	55	82	27	45	36
negativ (%)	100	9	0	82	9	100	100	0	64	100	45	18	73	55	64
c) 1971-2000															
positiv (%)	0	82	73	100	91	55	45	64	18	91	82	36	100	73	100
negativ (%)	100	18	27	0	9	45	55	36	82	9	18	64	0	27	0
d) 1951-2000															
positiv (%)	18	100	73	73	100	18	27	55	0	9	64	55	82	9	45
negativ (%)	82	0	27	27	0	82	73	45	100	91	36	45	18	91	55

Tab. 3 Häufigkeiten des Auftretens von positiven und negativen Trends an elf DWD-Stationen in Mecklenburg-Vorpommern für unterschiedliche Reihen.

Tab. 3 Frequency of positive and negative trends at 11 measuring gauges of the DWD in Mecklenburg-Western Pomerania in several time scales.

Station	Nov	Dez	Jan	Febr	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Winter	Somm.	Jahr
Arkona	-0,09	0,01	-0,01	-0,13	0,14	-0,10	-0,01	0,15	-0,39	-0,50	0,01	0,09	-0,18	-0,65	-0,83
Barth	0,11	0,20	0,17	0,25	0,46	-0,08	0,06	0,34	-0,59	-0,14	-0,01	0,23	1,10	-0,11	0,98
Warnemünde	-0,19	0,09	0,00	0,11	0,28	-0,02	-0,03	0,32	-0,32	-0,42	0,19	0,00	0,26	-0,27	0,00
Greifswald	-0,11	0,21	0,09	0,14	0,40	-0,02	-0,01	0,33	-0,18	0,19	0,03	-0,01	0,72	0,34	1,05
Boltenhagen	-0,10	0,26	-0,06	-0,01	0,25	-0,05	0,02	0,03	-0,26	-0,27	0,07	0,10	0,28	-0,31	-0,03
Teterow	-0,15	0,31	0,07	0,18	0,36	-0,10	-0,08	-0,15	-0,13	-0,34	0,14	-0,01	0,68	-0,57	0,10
Ueckermünde	0,10	0,07	-0,13	-0,08	0,25	-0,23	0,16	0,17	-0,20	-0,16	0,06	-0,13	-0,03	-0,09	-0,12
Schwerin	-0,01	0,44	0,05	0,09	0,44	0,09	-0,34	-0,20	-0,19	-0,75	0,27	0,28	1,10	-0,93	0,17
Boizenburg	-0,05	0,34	0,00	0,08	0,36	0,18	-0,36	-0,04	-0,12	-0,61	-0,02	-0,06	0,90	-1,21	-0,31
Marnitz	-0,12	0,35	0,05	0,01	0,39	-0,01	-0,43	-0,07	-0,46	-0,50	-0,18	0,02	0,67	-1,63	-0,96
Neubrandenburg	-0,14	0,15	0,05	0,08	0,27	-0,20	-0,13	-0,53	-0,35	-0,56	-0,24	-0,08	0,20	-1,89	-1,69

Tab. 4 Anstieg der Trendgeraden des Niederschlags für elf DWD-Stationen in Mecklenburg-Vorpommern [mm/a], Reihe 1951-2000.

Tab. 4 Increase of the precipitation-trendline for 11 measuring gauges of the DWD in Mecklenburg-Western Pomerania [mm/a], time series 1951-2000.

Aus den durchgeführten Trenduntersuchungen zum Niederschlag kann zusammenfassend folgendes Fazit gezogen werden: Für Mecklenburg-Vorpommern gibt es offensichtliche Anzeichen, daß in den zurückliegenden fünf Jahrzehnten eine Zunahme der winterlichen und eine Abnahme der sommerlichen Niederschläge stattfand. Im Flächenmittel Mecklenburg-Vorpommern halten sich Zunahme und Abnahme dabei annähernd die Waage. Während die winterliche Zunahme in Mecklenburg nur unwesentlich über der von Vorpommern lag, war der sommerliche Rückgang in Mecklenburg jedoch erheblich stärker als der in Vorpommern. So ist der Niederschlagstrend auf das Jahr hochgerechnet in Mecklenburg negativ und in Vorpommern positiv. März und Dezember sind überall die Monate mit dem größten positiven Trend, Juli und August die mit dem negativsten. Zur verstärkt negativen Bilanz der Sommerhalbjahre im Gebiet von Mecklenburg tragen auch noch die Monate Mai und Juni bei, die in Vorpommern beim Trend eher ausgeglichen bis positiv sind.

5.1.2 Analysen über Gebietsmittel der Einzugsgebiete

Da die Berechnungen mittlerer Niederschlagsverhältnisse für vier Zeitreihen (1901-1950, 1951-1980, 1961-1990 sowie 1971-2000) durchgeführt wurden, sollen der besseren Übersicht wegen nur kartographische Abbildungen der Zeitreihe 1971-2000 sowie Trendabbildungen im Haupttext dargestellt werden. Daher erfolgt nachfolgend verschiedentlich der Hinweis auf Abbildungen im Anhang.

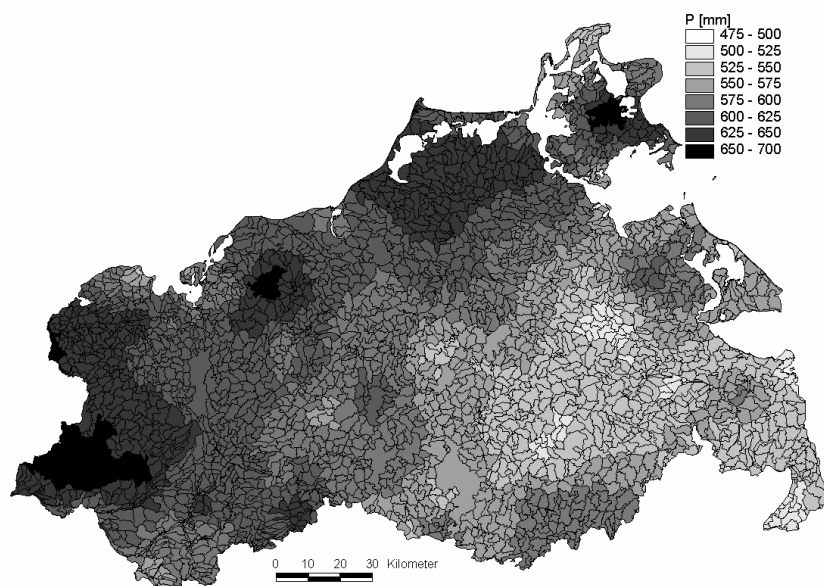


Abb. 11 Gebietsmittel der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen (unkorrigiert) in den Einzugsgebieten Mecklenburg-Vorpommerns, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1971-2000).

Fig. 11 Average uncorrected annual precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1971-2000).

Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe für die Einzugsgebiete der aktuellsten Zeitreihe 1971-2000 zeigt sich zunächst in der für Mecklenburg-Vorpommern bekannten und typischen Arealstruktur (Abb. 11 und 12). Ähnlich wie in den Untersuchungen von STÜDEMANN (1984), vgl. auch MEHL & THIELE (1998), lassen sich daher hydro- bzw. niederschlagsklimatische Grundaussagen ableiten:

- Generell ist eine Abnahme des Niederschlagsdargebots von West nach Ost sowie von Nord nach Süd feststellbar (resultierend: von Nordwest nach Südost).
- Beim unkorrigierten mittleren Jahresniederschlag lassen sich zwischen den Einzugsgebieten mit dem höchsten Niederschlag und dem niedrigsten Differenzen von ca. 200 mm feststellen.
- Insbesondere große Teile des Peene- sowie des Uecker- und Randowgebietes sind im langjährigen Mittel durch relative Niederschlagsarmut gekennzeichnet; vergleicht man die Gebietsmittel des mittleren korrigierten Jahresniederschlags (Abb. 12) mit aktuellen Angaben zur räumlichen Struktur der potentiellen Verdunstung in Mecklenburg-Vorpommern (HAD 2000, 2001, 2003), so weist die gebietsweise negative klimatische Wasserbilanz (Differenz aus dem mittleren korrigierten Jahresniederschlag und der mittleren potentiellen Jahresverdunstung) vor allem in den genannten Gebieten bereits auf Aridität bezogen auf den Bilanzzeitraum eines Jahres hin (!). Das bestätigen auch die kartographischen Analysen zur Periode 1961-1990, die MÜLLER-WESTERMEIER (1999) u.a. auch anhand der klimatischen Wasserbilanz vorgenommen hat.
- Die Niederschlagsverteilung zeigt trotz der vergleichsweise geringen orographischen Differenziertheit eine starke Reliefbedingtheit, so daß einige Höhenzüge bevorteilt werden (Raum Neukloster bis Kühlung, Erhebungen zwischen Spornitz und Marnitz mit Ruhner Berg, Höhenzüge beiderseits der unteren Recknitz, Erhebungen um die Stadt Bergen auf Rügen). Dabei erhalten die Leeseiten der Höhenzüge teilweise signifikant geringere Niederschläge.

Die mittleren halbjährlichen unkorrigierten Niederschlagshöhen für die Einzugsgebiete der Zeitreihe 1971-2000 zeigen, daß die Nordwest-Südost gerichtete Arealstruktur grundsätzlich erhalten bleibt (Abb. 13 und 14, Anhang VI und VII: korrigierte Niederschläge). Der landesweite Kontrast in den unkorrigierten Niederschlagssummen ist im Winterhalbjahr (Spanne: 205-335 mm Gebietsniederschlag, Standardabweichung: 23 mm) allerdings deutlich höher als im Sommerhalbjahr (Spanne: 295-375 mm Gebietsniederschlag, Standardabweichung: 17 mm). Das Gebietsmittel des unkorrigierten mittleren Niederschlags für die Landesfläche Mecklenburg-Vorpommerns beträgt für das Winterhalbjahr 263 mm, für das Sommerhalbjahr 327 mm. Alle mittleren Niederschlagsverhältnisse der Beobachtungsreihe 1971-2000 sind zusätzlich in Form von Isohyetenkarten im Anhang dargestellt (Anhang X bis XV).

Betrachtet man die mittleren jährlichen (unkorrigierten) Niederschlagshöhen der anderen Perioden (Anhang III bis V), so läßt sich ausgehend von der Zeitreihe 1901-1950 über 1951-1980 bis zu 1961-1990 eine Zunahme der Flächen der niederschlagsreicheren sowie -ärmeren Einzugsgebiete feststellen. Dieser diametrale räumliche Differenzierungsprozeß ist mit der Periode 1971-2000 unterbrochen. Hier nehmen die Flächen der niederschlagsreicheren Gebiete deutlich ab, während sich die Flächen der trockneren Gebiete vergrößern.

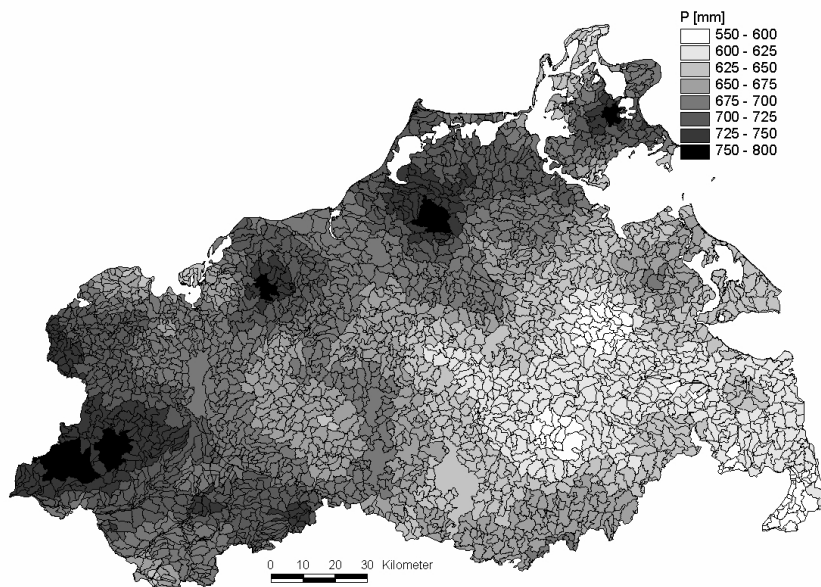


Abb. 12 Gebietsmittel der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen (korrigiert) in den Einzugsgebieten Mecklenburg-Vorpommerns, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1971-2000).

Fig. 12 Average corrected annual precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1971-2000).

Interessant ist daher die Frage, wie sich diese Veränderungen in den hydrologischen Halbjahren zeigen. Um die innerjährliche Variabilität der Niederschlagsverhältnisse der betrachteten Zeitreihen zu erfassen, ist eine Gegenüberstellung der mittleren Niederschlagssummen im hydrologischen Winterhalbjahr zum Sommerhalbjahr geeignet. Berechnet wurde für alle Einzugsgebiete ein einfacher dimensionsloser Variationskoeffizient CVP des mittleren Niederschlagsverhaltens Sommer-/Winterhalbjahresniederschläge für hydrologische Halbjahre in der Form $CVP = (P_{\text{Sommer}} - P_{\text{Winter}}) / P_{\text{Jahr}}$ (P – mittlere unkorrigierte Niederschlagssummen der jeweiligen Zeitreihe in mm).

Bei der räumlichen Darstellung des Variationskoeffizienten für die aktuellen Periode 1971-2000 (Abb. 15) wird deutlich, daß die Höhe der Niederschlagsvariabilität von West nach Ost deutlich zunimmt. Vor allem die westlichen und südwestlichen Einzugsgebiete weisen damit nur verhältnismäßig geringe Unterschiede im halbjahresbezogenen Niederschlagsangebot auf. Währenddessen ist dieser Unterschied am deutlichsten im Bereich der Randow und im Bereich zwischen den Flüssen Warnow und Recknitz ausgebildet.

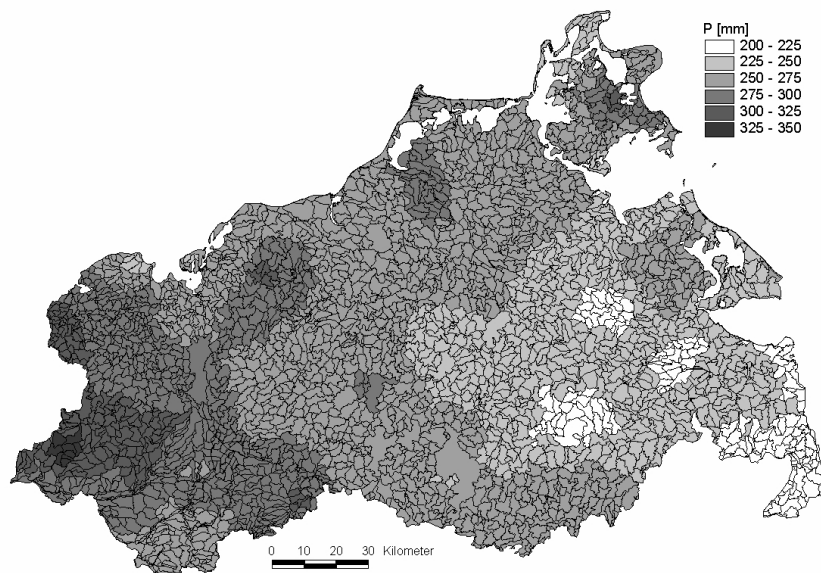


Abb. 13 Gebietsmittel der mittleren Winterhalbjahresniederschlagshöhen (unkorrigiert) in den Einzugsgebieten Mecklenburg-Vorpommerns, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1971-2000).

Fig. 13 Average uncorrected winter-precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1971-2000).

Ein Vergleich der Gebietsmittel des Variationskoeffizienten der Zeitreihen 1951-1980 sowie 1961-1990 (Anhang VIII und IX) zeigt, daß sich landesweit eine deutliche Verschiebung der Sommerniederschläge zu den Winterniederschlägen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts belegen läßt. Das wird auch anhand der zeitlichen Entwicklung der Gebietsmittel deutlich, da für die meisten größeren Flußgebiete die sommerlichen Gebietsniederschläge als Mittelwerte der Zeitreihen abnehmen (Tab. 5). Dieser Trend ist statistisch signifikant (t-Test, Vergleich Zeitreihen 51-80 und 71-00 aus Tab. 2 mit statistischer Sicherheit $P = 0,99$, Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,01$ sowie 61-90 und 71-00 mit statistischer Sicherheit $P = 0,9$, $\alpha = 0,1$). RAPP (2000) kann für weite Teile Deutschlands eine winterliche Niederschlagszunahme um bis zu 30% (statistisch signifikant) und eine entsprechende sommerliche Niederschlagsreduktion nachweisen. RAPP spricht von einer jahreszeitlichen „Niederschlagsumverteilung“, wobei für die vermehrten Winterniederschläge eine Intensivierung der Zonalzirkulation der mittleren Breiten verantwortlich ist.

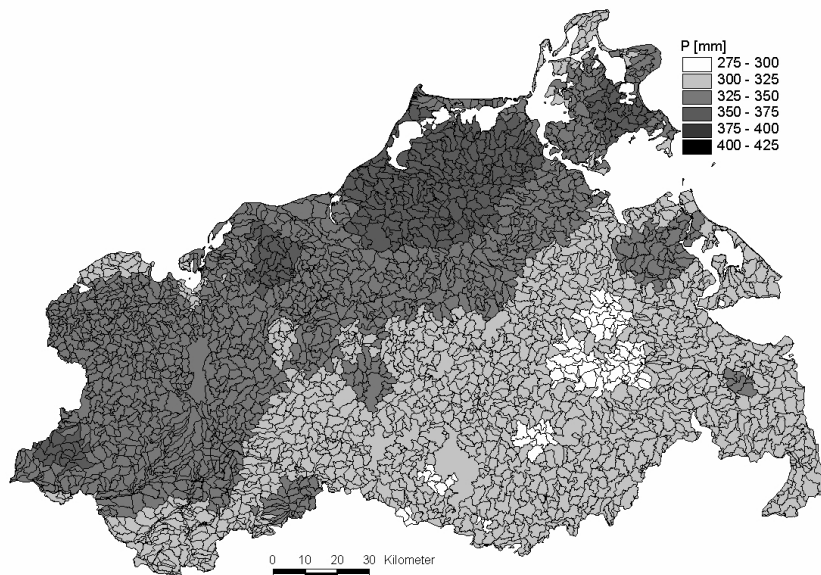


Abb. 14 Gebietsmittel der mittleren Sommerhalbjahresniederschlagshöhen (unkorrigiert) in den Einzugsgebieten Mecklenburg-Vorpommerns, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1971-2000).

Fig. 14 Average uncorrected summer-precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1971-2000).

5.2 Abfluß

Trendanalysen zu den Abflüssen müssen generell sehr kritisch betrachtet werden, da wie bereits im Kapitel 1 festgestellt, eine Vielzahl von natürlichen und häufig auch anthropogenen Faktoren in unterschiedlicher Stärke und Richtung auf das Abflußgeschehen einwirken, sich überlagern und in ihren Einzelwirkungen kaum identifizierbar sind. Insofern ist es schwierig, zum Beispiel eine eindeutige Antwort auf die Frage zu finden, ob und in welchem Maße sich in Mecklenburg-Vorpommern die nachweislich tendenziellen Veränderungen beim Niederschlag auf die Wasserführung in den Fließgewässern ausgewirkt haben. Die Abflußdaten enthalten Bewirtschaftungseinflüsse (v.a. Wasserentnahmen für landwirtschaftliche Beregnungszwecke in der früheren DDR). Allerdings sind diese auf Grund fehlender oder unzureichender Daten kaum im Nachhinein ermittelbar (EBNER VON ESCHENBACH 2003), so daß Abflußtrends grundsätzlich fehlerbehaftet sind.

Auch bei den Abflüssen gibt es wie beim Niederschlag eine große natürliche Variabilität, so daß die berechneten linearen Trends zeitlich sehr instabil sein können. Als Beispiel hierzu sollen die Abflußhöhen des Pegels Börzow/Stepenitz der beiden Teilreihen 1961-1990 und 1971-2000 dienen, bei denen die Veränderlichkeit des linearen Trends besonders deutlich zum Ausdruck kommt (Abb. 16 und 17).

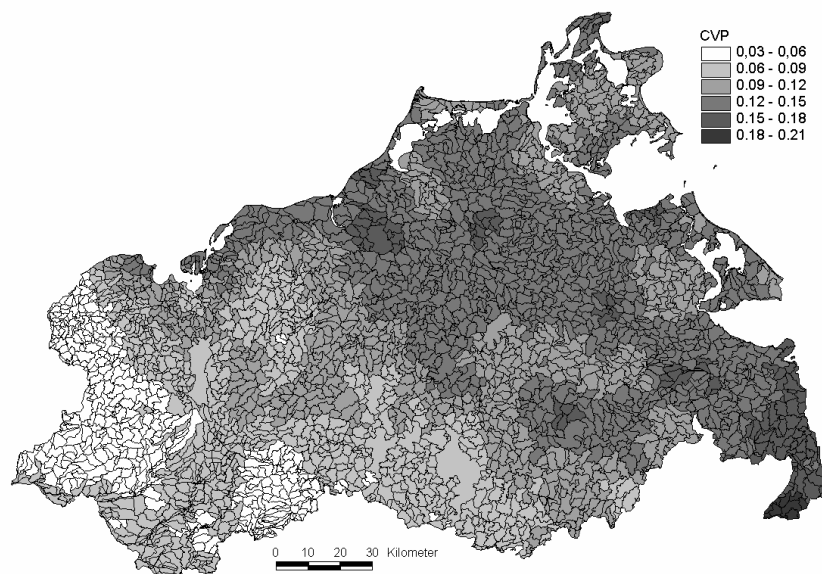


Abb. 15 Gebietsmittel des Variationskoeffizienten CVP in den Einzugsgebieten, Bezug: hydrologische Halbjahre (Reihe 1971-2000).

Fig. 15 Average variation-coefficient CVP in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological terms (time series 1971-2000).

	Hydrologischer Winter			Hydrologischer Sommer			Hydrologisches Jahr			
3Steller	51-80	61-90	71-00	51-80	61-90	71-00	01-50	51-80	61-90	71-00
581	252	257	262	339	324	316	599	591	581	578
588	255	265	265	335	325	308	564	590	590	573
589	246	275	259	328	335	302	561	574	610	561
591	259	286	270	346	338	313	608	605	624	583
592	258	274	272	344	332	319	600	602	606	591
593	279	294	293	361	344	333	626	640	638	626
696	203	212	214	315	305	312	518	518	517	526
962	274	288	292	347	336	337	621	621	624	629
963	261	269	269	346	337	339	603	607	606	608
964	257	271	270	347	337	334	602	604	608	604
965	260	269	266	355	349	348	608	615	618	614
966	237	245	244	333	319	318	575	570	564	562
967	258	265	265	354	335	339	623	612	600	604
968	222	230	233	327	311	312	556	549	541	545
969	233	237	234	329	312	310	565	562	549	544

Tab. 5 Niederschlagsgebietsmittel (unkorrigierter Niederschlag, mm/Zeitraum) der verschiedenen Zeitreihen in den größeren Flußgebieten (3Steller-Gebietskennzahlen, vgl. Abb. 7) in Mecklenburg-Vorpommern.

Tab. 5 Average uncorrected precipitation (mm/period) of different time-series in the larger river basins (cp. fig. 7) in Mecklenburg-Western Pomerania.

Die Berechnungen des linearen Trends wurden für die Abflußhöhen der hydrologischen Halbjahre und Jahre an den bereits aufgeführten 17 ausgewählten Meßstellen durchgeführt. Als gemeinsame 30jährige Bezugsreihe für diese Pegel kamen aufgrund der Datenverfügbarkeit nur die Jahre 1971 bis 2000 in Betracht. Ergänzend wurden jährliche Niederschlagsgebietsmittel in die Untersuchungen mit einbezogen, wobei diese hier vereinfachend durch arithmetische Mittelbildung der Niederschlagswerte von zwei bis vier Niederschlagsmeßstellen (je nach Größe der Einzugsgebiete) berechnet wurden.

**Abflusshöhen 1961-1990,
Pegel Börzow/Stepenitz**

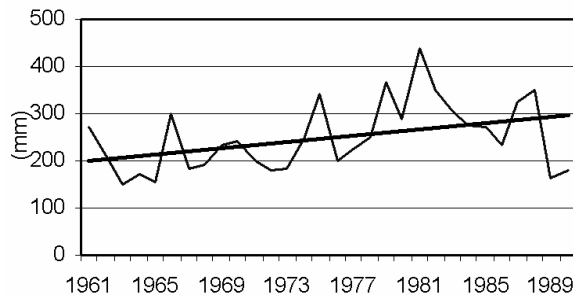


Abb. 16 Zeitreihe 1961-1990 der jährlichen Abflußhöhen am Pegel Börzow/Stepenitz mit eingetragenem linearem Trend.

Fig. 16 Time-series 1961-1990 of annual runoff depth at the gauge Boerzow/Stepenitz, including linear trend.

**Abflusshöhen 1971-2000,
Pegel Börzow/Stepenitz**

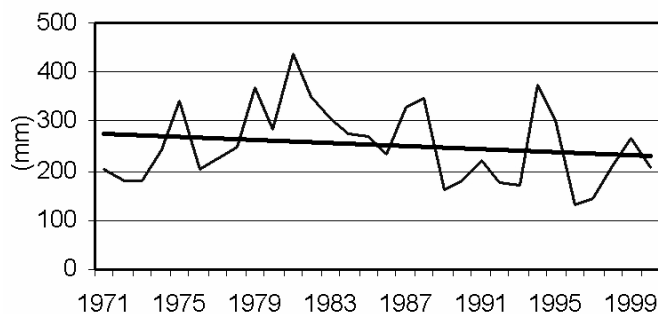


Abb. 17 Zeitreihe 1971-2000 der jährlichen Abflußhöhen am Pegel Börzow/Stepenitz mit eingetragenem linearem Trend.

Fig. 17 Time-series 1971-2000 of annual runoff depth at the gauge Boerzow/Stepenitz, including linear trend.

Die Ergebnisse der Trendberechnungen sind zusammenfassend in Tabelle 6 sowie für ausgewählte Pegelgebiete im Anhang (Anhang XVI bis XX) dargestellt. Auf Basis der gesamten Datenmatrix lassen sich folgende allgemeine (mittleren) Aussagen ableiten:

- Die Trends der Gebietsniederschläge besitzen erwartungsgemäß annähernd die gleichen Werte wie sie auch schon bei den repräsentativen Stationen für diese Reihe ermittelt wurden (s. Kap. 5.1.1).
- Obwohl die Anstiegsraten des Niederschlags in diesem zeitlichen Abschnitt (Zeitreihe 1971-2000) fast durchweg, und zum Teil recht deutlich positiv sind, halten sich bei den Winterhalbjahresabflüssen positive und negative Trends noch die Waage, während bei den Sommerhalbjahresabflüssen bereits Rückgang an den Meßstellen klar überwiegt, ebenso schließlich bei den Jahreswerten.
- Der insgesamt zu verzeichnende Abflußrückgang bei gleichzeitiger Zunahme des Niederschlags in dieser Zeitreihe ist, auch unter Berücksichtigung aller erwähnten Unsicherheiten, besonders bemerkenswert. Dies dürfte Ausdruck einer Zunahme der Evapotranspiration sein, die als Element des Wasserkreislaufes bei ansteigenden Werten in gleichem Maße abflußreduzierend wirkt.
- Die Ursache für einen möglichen Anstieg der Evapotranspiration läßt sich sowohl auf die „natürliche“ Komponente Temperaturanstieg (s. Kapitel 1), als auch auf anthropogene Einflüsse auf den Gebietswasserhaushalt zurückführen (möglicherweise gebietsweise höhere Verdunstungsverluste durch Bewässerung in der Landwirtschaft, höhere Hektarerträge verbunden mit einer Erhöhung der realen Verdunstung, Auswirkungen von Waldmehrungen und von Vorhaben zur Wiederherstellung von Binnenentwässerungen etc.). Eine Quantifizierung dieser Einflüsse ist äußerst schwierig, aber die hohe Zahl temperaturübernormaler Jahre in den 90er Jahren ist sicherlich besonders erwähnenswert.

Werden statt der Reihe 1971-2000 die an den Pegeln jeweils vorhandenen kompletten Abflußreihen (s. Tab. 2) auf linearen Trend untersucht, so ergibt sich zusammengefaßt ein leicht geändertes Bild gegenüber den obigen Aussagen: Im Winterhalbjahr steigt die Anzahl der Meßstellen mit einem Abflußrückgang geringfügig an. Das Trendverhalten im Sommerhalbjahr hingegen bleibt insgesamt nahezu unverändert.

Pegelname	Gewässer	AEo (km ²)	Winterhalbjahr		Sommerhalbjahr		Jahr	
			Q	P	Q	P	Q	P
Börzow	Stepenitz	440	-0,59	1,99	-0,89	0,97	-1,47	2,95
Groß Görnow	Warnow	777	0,32	2,02	-0,37	0,74	-0,04	2,75
Langenbrütz	Warnow	352	-0,36	1,67	-0,55	0,42	-0,91	2,07
Rönkenhof	Warnow	248	0,38	1,54	0,00	0,31	0,37	1,85
Klueß	Lößnitz	187	0,41	1,78	-0,57	0,82	-0,16	1,72
Sternberger Burg	Mildenitz	524	0,02	1,38	-0,70	0,39	-0,67	1,77
Kluis	Duvenbach	60,6	1,33	1,82	-0,09	1,62	1,24	2,69
Sagard	Sagarder Bach	15,6	0,56	1,38	-0,56	1,09	0,02	2,45
Lodmannshagen	Mühlgraben	36,8	-0,81	1,41	-0,19	2,21	-1,01	3,60
Ziddorf	Westpeene	15,8	-3,65	1,52	-3,12	0,87	-6,76	2,38
Grimmen	Poggend. Trebel	61,5	-0,10	1,37	-0,20	0,61	-0,30	1,97
Zirzow	Malliner Wasser	302	-0,22	1,32	-0,61	0,30	-0,83	1,59
Burg Stargard	Lindebach	123	-0,70	1,00	-1,08	-0,08	-1,79	0,91
Gehren-Wald	Knüppelbach	5,52	-0,39	1,38	-0,25	0,10	-0,64	1,47
Löcknitz	Randow	329	-0,95	1,72	-0,30	1,75	-1,24	3,47
Garlitz	Sude	713	1,22	2,34	0,30	1,69	1,54	4,03
Kl. Bengerstorf	Schaale	414	0,30	2,41	0,12	1,47	0,44	3,89

Tab. 6 Berechnungsergebnisse des linearen Trends für Abflußhöhen (Q) und Gebietsniederschlag (P) für ausgewählte Meßstellen (Anstiegswerte in mm/a), Zeitreihe 1971-2000, AEo = Fläche des oberirdischen Einzugsgebietes.

Tab. 6 Results of trend analyses (linear) of runoff and precipitation for the catchment areas of selected measuring gauges (average increase in mm/a), time series 1971 – 2000, AEo = size of the river basin.

5.3 Wasserhaushalt/Mittlere Wasserbilanzen

5.3.1 Analysen für Flußgebiete

Der Begriff Wasserhaushalt steht gemeinhin sowohl für den Wasserkreislauf als „ständige Zustands- und Ortsveränderung des Wassers“ (Dyck et al. 1980b), als auch für seine quantitative Erfassung mittels Wasserhaushaltsberechnungen bzw. raum- und zeitbezogenen Wasserbilanzen. Der Wasserhaushalt beschreibt das komplexe Zusammenwirken von Niederschlag P, Abfluß R, Verdunstung ET sowie Speicheränderung ΔS (Rücklage und Aufbrauch) in einem bestimmten Gebiet. Bei Zeitabschnitten von wenigen Jahren oder Einzeljahren gilt entsprechend dem Satz von der Erhaltung der Masse die Gleichung der Wasserbilanz:

$$P - R - ET - \Delta S = 0 \quad [\text{mm/a}] \quad \text{Gl. (3)}$$

Die Bilanzgleichung (3) ist aber nur gültig bei geschlossenen Flußgebieten (vgl. Ausführungen in Kapitel 2.1). Ggf. müssen unterirdischer Zu- und Abstrom oder bei anthropogener Beeinflussung entsprechende Wasserüberleitungen berücksichtigt werden.

Die Gebietsspeicherung wirkt ausgleichend (Retention) und kann in Abhängigkeit von den klimatischen, hydrogeologischen und geomorphologischen Bedingungen in Form von unterirdischem Wasser (Grundwasser, Bodenwasser), Oberflächenwasser, Eis oder Schnee auftreten. Die Speicheränderung ΔS kann folglich sowohl positive als auch negative Werte annehmen. Wird die Bilanzgleichung für längere Zeiträume (mehrere Jahre bis Jahrzehnte) und damit für mittlere langjährige Zustände angewandt, so kann wegen des längerfristigen Ausgleichs von Speichergewinn und -verlust gemeinhin die Gebietsspeicherung vernachlässigt werden. Damit gilt für das langjährige Mittel:

$$\overline{P} - \overline{R} - \overline{ET} = 0 \quad [\text{mm/a}] \quad \text{Gl. (4)}$$

Bei bekannten Gebietsmitteln des Niederschlages und mittleren Gebietsabflüssen kann somit auf die mittlere reale Verdunstung $\overline{ETR}$ geschlossen werden:

$$\overline{ETR} = \overline{P} - \overline{R} \quad [\text{mm/a}] \quad \text{Gl. (5)}$$

Ausgehend von diesen Vorüberlegungen konnten damit für die Zeitreihe 1971-2000 mittlere Wasserbilanzen für Flußgebiete in Mecklenburg-Vorpommern aufgestellt werden (Bezug: hydrologisches Jahr vom 01.11. bis 31.10.). Grundlage bildeten die korrigierten Gebietsmittel des Niederschlages (Kapitel 5.1) sowie die flächendeckend ermittelten mittleren Abflüsse nach MEHL et al. (2003). Damit kann die Gleichung (5) wie folgt ausgedrückt werden:

$$\overline{ETR}_{1971-2000} = \overline{P}_{1971-2000} - \overline{R}_{1971-2000} \quad [\text{mm/a}] \quad \text{Gl. (6)}$$

Der mittlere Gesamtabfluß (als Durchfluß) für Mecklenburg-Vorpommern der Periode 1971-2000 ergibt sich entsprechend den regionalisierten Karten der mittleren Durchflußspenden und der mittleren Durchflüsse nach MEHL et al. (2003) zu $113 \text{ m}^3/\text{s}$. Weitere Abflußanteile über das Grundwasser sollen hier auf Grund der im Regelfall geringen Bedeutung vernachlässigt werden. Die mittlere korrigierte Niederschlagshöhe des Landes für die gleiche Zeitreihe ergibt nach rechnerischer Auswertung der Karte (Abb. 11) 670 mm/a . Für die Gesamtfläche des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern (ca. 23.000 km^2) kann man damit folgende mittlere Wasserbilanz der Periode 1971-2000 aufstellen:

$$516 \text{ mm/a } (\overline{ETR}_{1971-2000}) = 670 \text{ mm/a } (\overline{P}_{1971-2000}) - 154 \text{ mm/a } (\overline{R}_{1971-2000})$$

Im Hydrologischen Atlas von Deutschland (HAD 2000, 2001, 2003) wird der mittlere Abfluß mit $122 \text{ m}^3/\text{s}$ angegeben, woraus sich eine mittlere Abflußhöhe für Mecklenburg-Vorpommern und die Bezugsperiode 1961-1990 in Höhe von 167 mm/a ergibt. Unter Hinzuziehung des korrigierten mittleren Jahresniederschlags für Mecklenburg-Vorpommern der gleichen Bezugsperiode ergibt sich damit folgende mittlere Wasserbilanz der Periode 1961-1990 für die Gesamtfläche des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern:

$$497 \text{ mm/a } (\overline{ETR}_{1961-1990}) = 664 \text{ mm/a } (\overline{P}_{1961-1990}) - 167 \text{ mm/a } (\overline{R}_{1961-1990})$$

Der Vergleich der Gesamtabflüsse zwischen den Angaben des HAD (2000, 2001, 2003) für die Bezugsperiode 1961-1990 in Höhe $122 \text{ m}^3/\text{s}$ und den hier vorgelegten Ergebnissen der Bezugsperiode 1971-2000 in Höhe von $113 \text{ m}^3/\text{s}$ weist nochmals auf den bereits oben beschriebenen Abflußrückgang und die Zunahme der realen Evapotranspiration in den 90er Jahren hin. Obgleich methodische Unterschiede zwischen der Herangehensweise des HAD (2000, 2001, 2003) und diesen Untersuchungen eine Rolle spielen können, ist dieser Abflußrückgang deshalb plausibel.

Die flächendeckend ermittelten Wasserbilanzen der Bezugsreihe 1971-2000 für die größeren Flußgebiete in Mecklenburg-Vorpommern enthält Tabelle 7. Teilweise liegen in dieser Hinsicht ältere Angaben vor. So haben beispielsweise ECKSTÄDT et al. (1994) für das Flußgebiet der Warnow (Gebietskennzahl: 964) folgende Wasserbilanz für langjährige Mittelwerte ermittelt:

$$507,8 \text{ mm/a (ETR)} = 681,4 \text{ mm/a (P)} - 173,6 \text{ mm/a (R)}$$

Für die bereits in Kapitel 5.2 ausgewählten Einzugsgebiete können zudem Analysen zum Wasserhaushalt von Einzeljahren durchgeführt werden. Diese verfolgen das Ziel, rückwirkend für die Periode 1971-2000 (aber ohne das Jahr 2000) die Jahre zu ermitteln, in denen der Gebietswasserhaushalt eine positive Rücklage erfuhr (Nährjahr), oder in denen das im Gebiet gespeicherte Wasser aufgebraucht wurde (Zehrjahr). Für derartige Wasserhaushaltsbetrachtungen ist es sinnvoll, daß alle Komponenten des Wasservorrates mit Beginn und Ende des Untersuchungszeitraumes möglichst konstant sind. Dies ist vor allem bei maximaler Aufweitung der Fall (hoher Füllstand aller Speicher wie Boden, Grundwasser, Gewässer). Als Zeitbasis für die folgenden Darstellungen wird daher abweichend vom prozeßorientiert festgelegten hydrologischen Jahr (01.11.-31.10.) das sogenannte „Wasserhaushaltsjahr“ genutzt, das für Mecklenburg-Vorpommern mit Beginn am 01.03. und Ende am 28.02. des Folgejahres angesetzt wird.

Für alle als repräsentativ angesehenen Gebiete wurden „Wasserhaushaltsdreiecke“ entwickelt (vgl. Beispiel in Abb. 18), die als Punktwolke die Einzeljahre in Abhängigkeit von Abfluß- und Niederschlagshöhe zeigen. Die eingezeichnete Gerade der linearen Einfachregression zwischen den beiden Wasserhaushaltskomponenten repräsentiert die Mittelwerte der Wasserhaushaltsglieder. Einzeljahre links der Geraden gelten damit als Zehrjahre, solche rechts der Geraden als Nährjahre.

Zur besseren Übersichtlichkeit sind die Ergebnisse aller Berechnungen und die Zuordnung der Nähr- bzw. Zehrjahre in Tabelle 8 dargestellt. Geht man von der Repräsentativität der Gebiete aus, kann man auch überschlägig eine Gesamtbetrachtung der Wasserhaushaltsjahre 1971-1999 vornehmen. Insofern ermöglicht die prozentuale Auswertung in Abbildung 19 eine Orientierung über die landesweite Dominanz von Nähr- oder Zehrjahren. Beim Vergleich mit früheren Angaben zu Trocken- und Naßjahren muß in der Interpretation beachtet werden, daß die Wasserhaushaltsbetrachtung nicht nur die Niederschlagssituation bewertet, sondern über die Abflußhöhe auch die Speichervorgänge in den Flußgebieten berücksichtigt. Zudem ist die Zuordnung der häufig relativ niederschlagsreichen Kalendermonate Januar und Februar innerhalb des Wasserhaushaltsjahrs zu beachten. Es kann aber beispielsweise eine gute Übereinstimmung zu den Einstufungen der Kalenderjahre 1991-1999 bezüglich Naß- und Trockenjahren in den Gewässergüteberichten des Landes Mecklenburg-Vorpommern (1991-1998/1999) konstatiert werden.

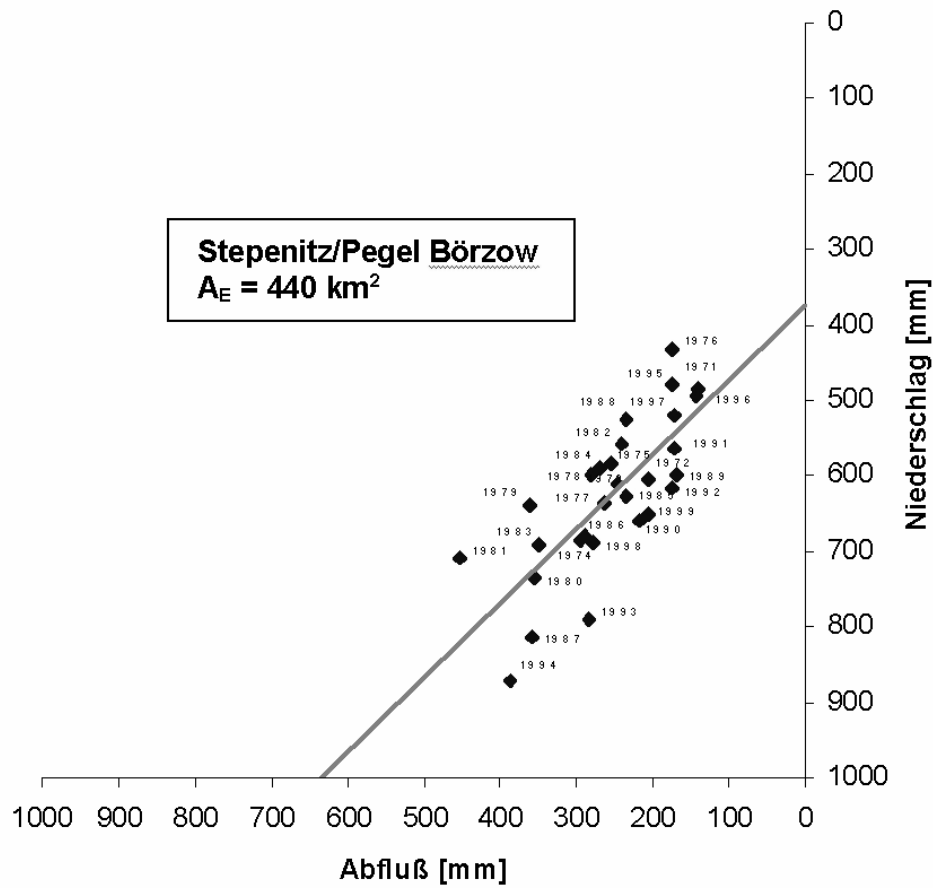
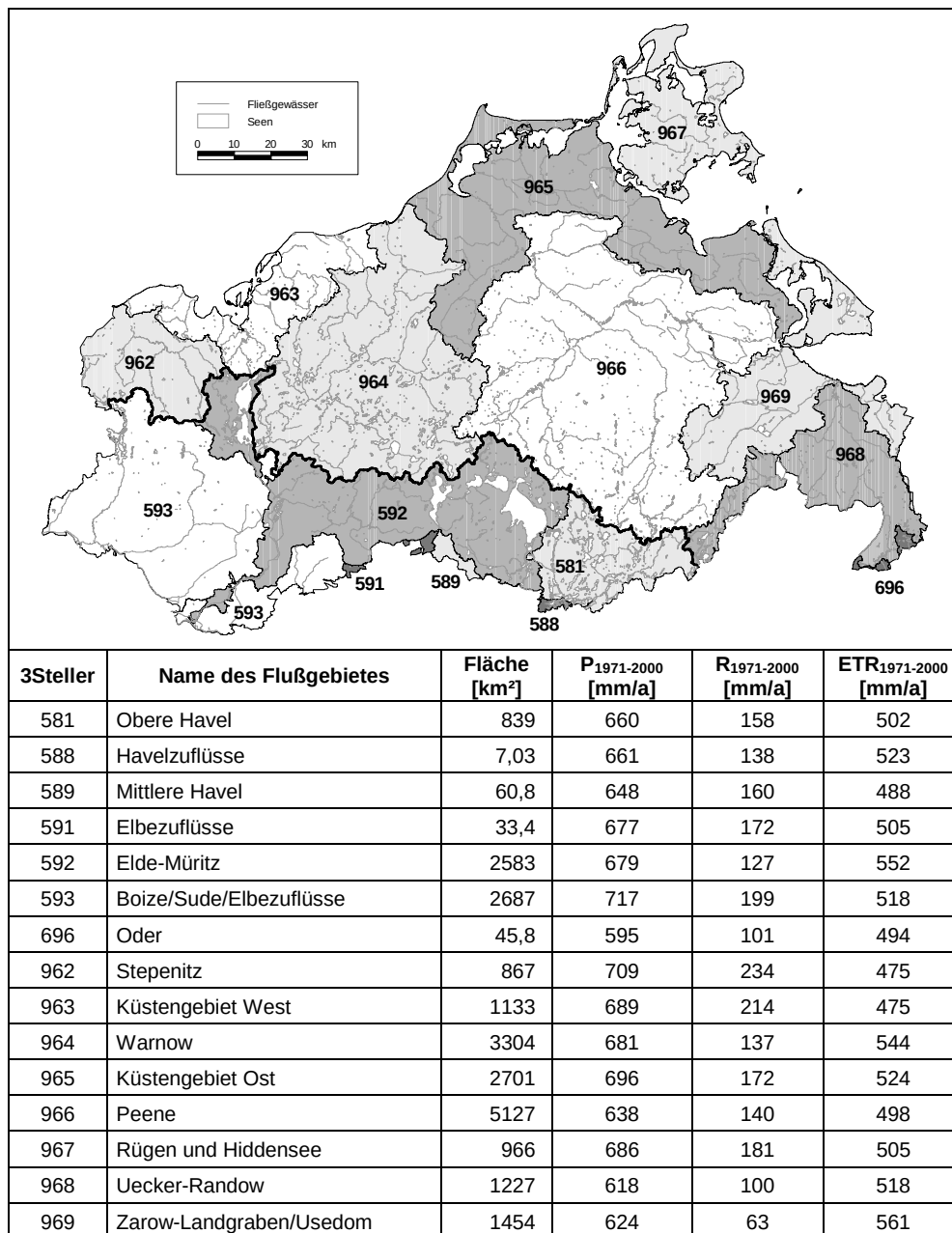


Abb.18 Beispiel für ein Wasserhaushaltsdreieck mit eingezeichneten Einzeljahren und Regressionsgerade (links der Geraden: Zehrjahre, rechts: Nährjahre).

Fig. 18 Example of a water balance triangle with single years and regression line (left of the line: years with negative water balance*, right of the line: years with positive water balance*) *compared with the multi-annual mean of the precipitation/runoff -ratio, symbolized by the regression line



Tab. 7 Mittlere Wasserbilanzen der größeren Flußgebiete (3stellige Gebietskennzahl) in Mecklenburg-Vorpommern (Landesanteil nach GIS-Analyse) der Bezugsperiode 1971-2000 mit integrierter Übersichtskarte.

Tab. 7 Average water balances of larger river basins (cp. fig. 7) in Mecklenburg-Western Pomerania, time series: 1971-2000.

Pegel	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
1971	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ
1972	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ
1973	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	NJ	ZJ
1974	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ
1975	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ
1976	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ
1977	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ
1978	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ
1979	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ
1980	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	ZJ
1981	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ
1982	ZJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ
1983	ZJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	ZJ
1984	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ
1985	ZJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ
1986	ZJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ
1987	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	NJ
1988	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ
1989	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ
1990	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ
1991	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ
1992	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ
1993	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ
1994	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ
1995	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ
1996	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ
1997	NJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	ZJ	NJ	ZJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ
1998	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ
1999	NJ	NJ	ZJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	NJ	ZJ	NJ
Σ NJ	14	15	17	15	16	18	15	14	13	16	14	16	15	17	15	14	15
Σ ZJ	15	14	12	14	13	11	14	15	16	13	15	13	14	12	14	15	14

Tab. 8 Tabellarische Auswertung zu Nähr- und Zehrjahren (NJ bzw. ZJ) mittels Wasserhaushaltsdreieck für die repräsentativen Pegel/Flußgebiete (Reihe 1971-2000, ohne Jahr 2000): (1) Klein Bengerstorf/Schaale, (2) Börzow/Stepenitz, (3) Garlitz/Sude, (4) Groß Görnow/Warnow, (5) Langenbrütz/Warnow, (6) Rönkenhof/ Warnow, (7) Klueß/Lößnitz, (8) Sternberger Burg/Mildenitz, (9) Ziddorf/Westpeene, (10) Grimmen/ Pogendorfer Trebel, (11) Zirzow/Malliner Wasser, (12) Burg Stargard/ Lindebach, (13) Kluis/Duvenbach, (14) Sargard/Sargarder Bach, (15) Lodmannshagen/ Mühlgraben, (16) Gehren-Wald/Knüppelbach, (17) Löcknitz/Randow.

Tab. 8 Tabular overview of years with positive (NJ) and negative (ZJ) water-balances compared with the multi-annual mean of the precipitation/runoff –ratio.

Insgesamt scheint diese Methodik besser geeignet, hydrologisch relevante Trocken- und Feuchtperioden abzugliedern als beispielsweise Ansätze über die klimatische Wasserbilanz bzw. entsprechende Kumulationen (fortlaufende Addition). Da die klimatische Wasserbilanz sich als Differenz aus Niederschlag und potentieller Verdunstung berechnet, wird mit ihr nur abgebildet, inwieweit der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre durch das Niederschlagsangebot theoretisch befriedigt werden kann. Die vielfältigen Faktoren, welche die reale Verdunstungshöhe beeinflussen, und auch die abflüßausgleichende Wirkung der Speichervorgänge in den Einzugsgebieten können damit nicht erfaßt werden.

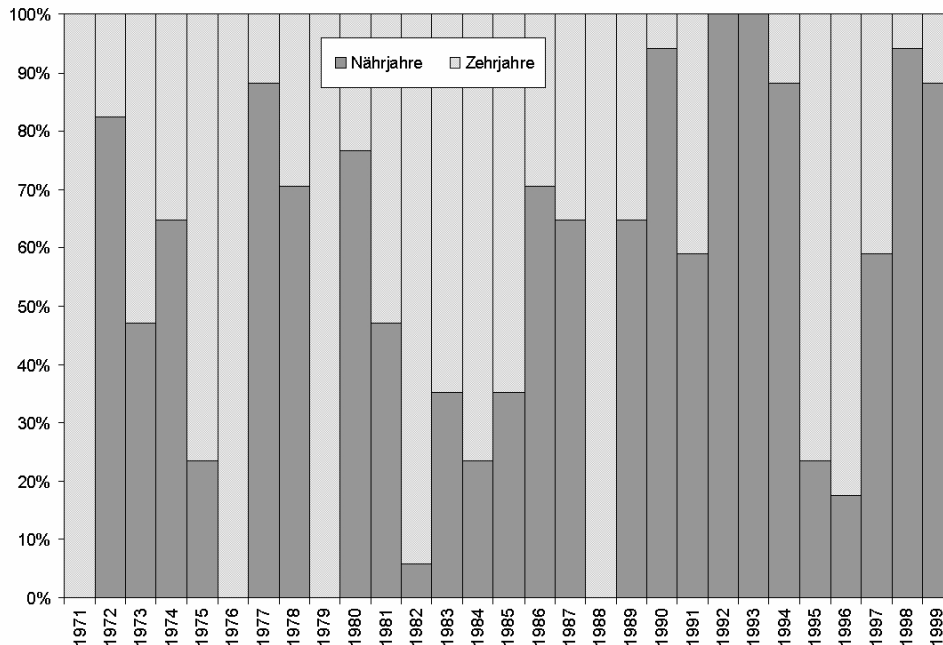


Abb. 19 Darstellung der prozentualen Verteilung ausgewählten Pegel/Flußgebiete (Reihe 1971-2000, ohne Jahr 2000) mit Nähr- und Zehrjahren.

Fig. 19 Years with positive (NJ) and negative (ZJ) water-balances compared with the multi-annual mean of the precipitation/runoff-ratio – proportional distribution of the selected catchment areas (cp. table 8).

5.3.2 Analysen für die Lysimeterstation Groß Lüsewitz

Als nördlichste Anlage dieser Art in Deutschland wird in Mecklenburg-Vorpommern die Lysimeterstation Groß Lüsewitz (südöstlich von Rostock) betrieben. Die Station besteht aus sechs wägbaren und mit natürlichem Boden gefüllten Lysimetern in drei standörtlichen Gruppen. Die Untersuchungen sind landwirtschaftlich orientiert, so daß auch der Bewuchs durch landwirtschaftliche Fruchtfolgen gebildet wird. Die vorliegenden Lysimeterdaten (Primärdatenquellen: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern sowie Universität Rostock, Institut für Kulturtechnik und Siedlungswasserwirtschaft) können für den Zeitraum 1975-2000 ausgewertet werden. Um den Einfluß der unterschiedlichen

Fruchtfolgegestaltung auf die Ergebnisse zu mindern, werden hier nur über alle Lysimeter gemittelte Werte für die Trendanalysen zu Wasserhaushaltsgrößen genutzt. Der Niederschlag wird als Mittel aus drei in Erdbodenhöhe eingelassenen Regenmessern verwendet.

Die durchgeführten linearen Trendanalysen (Abb. 20 bis 23) sind statistisch nicht signifikant und durch geringe Werte des Bestimmtheitsmaßes R^2 gekennzeichnet (schwach ausgebildete Tendenzen), aber die tendenziellen Änderungen erscheinen vor dem Hintergrund der sonstigen Aussagen plausibel.

Beim Niederschlag zeigt sich über die Gesamtreihe ein leicht positiver linearer Trend in Höhe von 36 mm, demnach ca. 1,4 mm/a mittlerer Anstieg (Abb. 20). Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ausführungen in Kapitel 5.1. Im Bodenspeicher halten sich erwartungsgemäß Zugewinn und Verlust über die Gesamtreihe nahezu die Waage (Abb. 21). Demgegenüber zeigt sich bei der Grundwasserneubildung der lineare Trend, auch unterstützt durch das Gleitmittel 5. Ordnung, als stark negativ (Abb. 22). Der mittlere lineare Trend beläuft sich auf dabei auf $-3,8$ mm/a. Bei der hohen Bedeutung des Grundwasserabflusses im Tiefland ist eine Verringerung der Grundwasserneubildung unbedingt im starken Zusammenhang mit den Gewässerdurchflüssen zu sehen. Insofern werden hier die Ausführungen zum verbreitet negativen Trend des Abflusses (Kapitel 5.2) bestätigt. Die genannten Tendenzen an der Lysimeterstation wirken sich aber vor allem auf die bilanzierte reale Verdunstung aus. Hier zeigt sich der lineare Trend dementsprechend als deutlich positiv (Abb. 23) und beträgt insgesamt $+84$ mm über die gesamte Zeitreihe, was einem mittleren Trend von $+3,4$ mm/a entspricht.

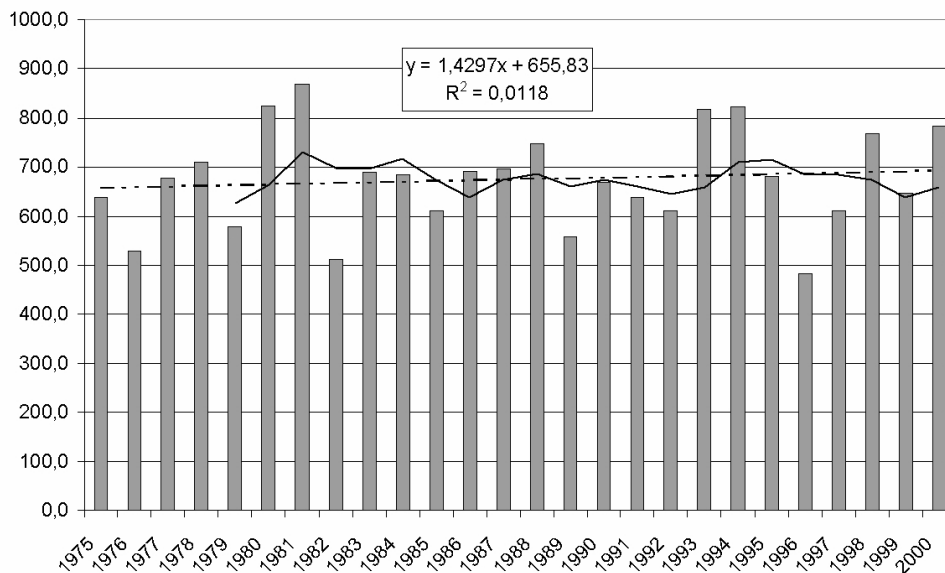


Abb. 20 Jahreswerte des Niederschlags der Reihe 1975-2000 sowie Gleitmittel 5. Ordnung und linearer Trend.

Fig. 20 Annual precipitation 1975-2000, floating mean (5th level) and linear trend (Gross Luesewitz).

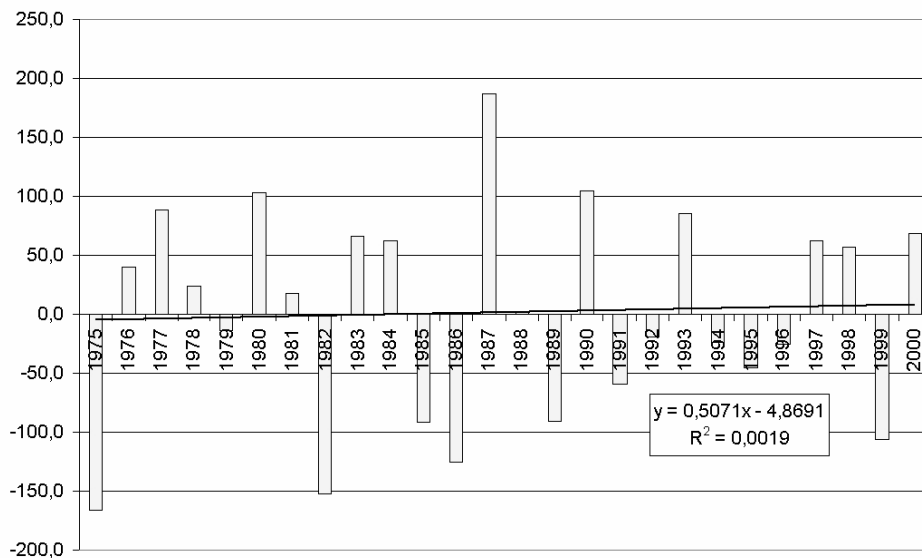


Abb. 21 Jahreswerte der Bodenwasseränderung der Reihe 1975-2000 (Mittelwert von sechs Einzellysimetern) sowie linearer Trend.

Fig. 21 Annual change of soil water 1975-2000 (average of 6 single lysimeters) and linear trend (Gross Luesewitz).

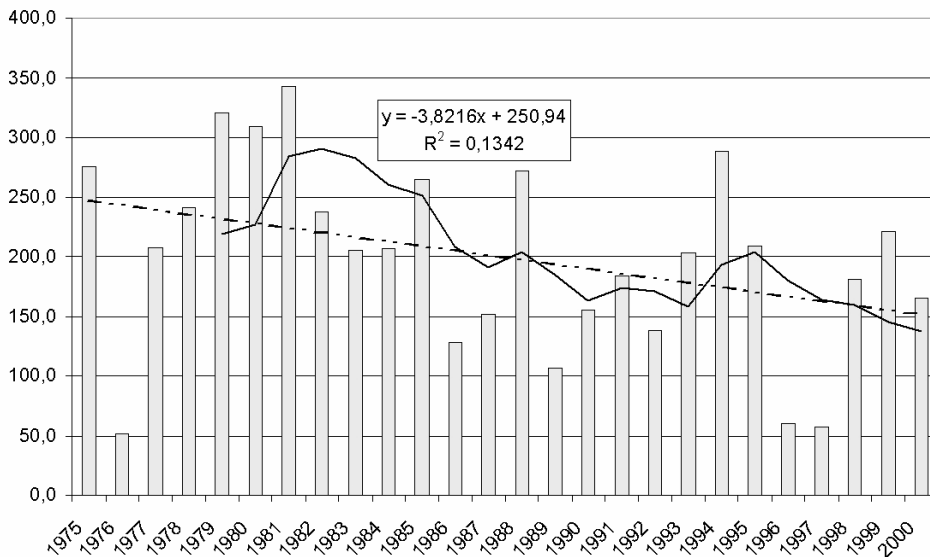


Abb. 22 Jahreswerte der Grundwasserneubildung (Mittelwert von sechs Einzellysimetern) der Reihe 1975-2000 sowie Gleitmittel 5. Ordnung und linearer Trend.

Fig. 22 Annual groundwater recharge (average of 6 single lysimeters) 1975-2000, floating mean (5th level) and linear trend (Gross Luesewitz).

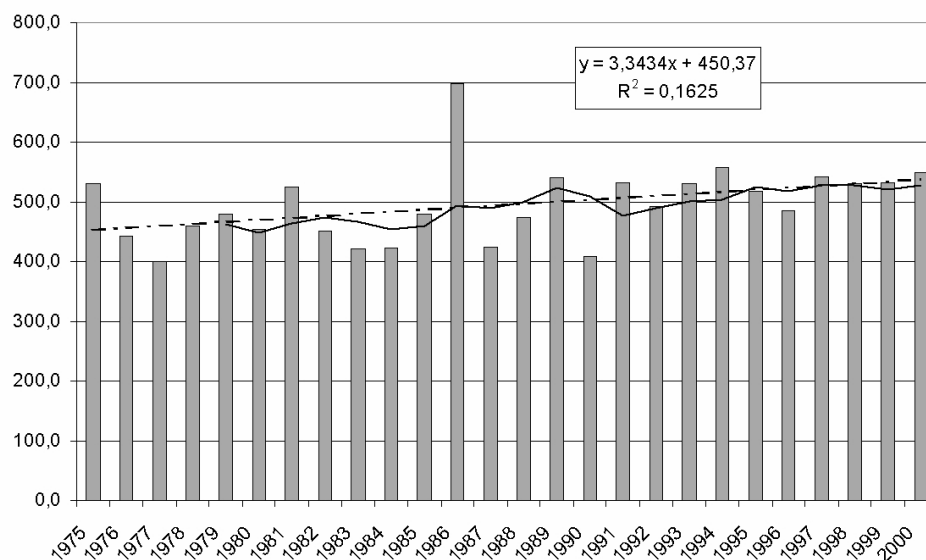


Abb. 23 Jahreswerte realer Verdunstung ETR der Reihe 1975-2000 (Mittelwert von sechs Einzelsystemen) sowie Gleitmittel 5. Ordnung und linearer Trend.

Fig. 23 Annual amounts of actual evaporation 1975-2000, floating mean (5th level) and linear trend (Gross Luesewitz).

6 Schlußfolgerungen und Diskussion

Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe der aktuellsten Zeitreihe 1971-2000 zeigt für Mecklenburg-Vorpommern eine Abnahme des Niederschlagsdargebots von West nach Ost sowie von Nord nach Süd (resultierend: von Nordwest nach Südost). Verglichen mit den mittleren jährlichen Niederschlagshöhen der anderen Perioden läßt sich ausgehend von der Zeitreihe 1901-1950 über 1951-1980 bis zu 1961-1990 eine kontinuierliche Zunahme des Flächenumfangs der niederschlagsreicheren sowie -ärmeren Gebiete feststellen. Der diametrale räumliche Differenzierungsprozeß ist mit der Periode 1971-2000 unterbrochen: die Flächen der niederschlagsreicheren Gebiete nehmen deutlich ab, während sich die Zunahme der Flächen der trockneren Gebiete fortsetzt. MÜLLER-WESTERMEIER & KREIS (2001) haben die Abweichungen der Mittelwerte der jährlichen Niederschlagshöhe der verschiedenen Dezenenien vom Mittelwert des 20. Jahrhundert in Form von Deutschlandkarten verglichen. Für Mecklenburg-Vorpommern ergibt sich dabei überwiegend folgendes Bild: Geringfügig trockenere Verhältnisse zwischen 1901 und 1950, Ausnahme 1921-1930 mit deutlich höheren Niederschlägen vor allem im Südosten, 1951-1960 annähernd Jahrhundertmittel in allen Regionen, 1961-1970 in allen Regionen leicht höhere Niederschläge als das Jahrhundertmittel, 1971-1980 deutlich trockener als das Jahrhundertmittel, 1981-1990 ca. Jahrhundertmittel im Mittel der Regionen, südöstliche Regionen deutlich trockener, 1991-2000 überall feuchter, ca. Jahrhundertmittel im Landesdurchschnitt.

Es kann zudem nachgewiesen werden, daß sich landesweit ein Trend einer deutlichen Verschiebung der Sommerniederschläge zu den Winterniederschlägen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts vollzieht, was mit der Zunahme der zonalen Westwetterlagen erklärt werden kann (BISSOLLI 1999). Auch die Analysen von RUDOLF et al. (2001) zeigen eine positive Abweichung des winterlichen Niederschlags im Zeitraum 1991-2000 von der Periode 1961-1990. Von BRONSTERT et al. (2003) wurde für Brandenburg gleichsam eine Verschiebung des Niederschlags von den Sommer- zu den Wintermonaten festgestellt (Abnahme im Sommer, Zunahme im Winter). Eine (sommerliche) Starkniederschlagszunahme, wie sie vom IPCC (2001) prognostiziert wird, ist möglicherweise vorhanden, scheint sich aber nicht in den Gesamtniederschlagshöhen zu widerspiegeln.

Obwohl die Anstiegsraten des Niederschlags in der Zeitreihe 1971-2000 für repräsentative Einzugsgebiete fast durchweg, und zum Teil recht deutlich positiv sind, halten sich bei den Winterhalbjahresabflüssen positive und negative Trends noch die Waage, während bei den Sommerhalbjahresabflüssen ein Durchflußrückgang an den Meßstellen klar überwiegt. Letzteres zeigt sich auch bei den Jahreswerten. Besonders hervorhebenswert ist der insgesamt negative Trend der Abflüsse bei gleichzeitig insgesamt positivem Trend des Niederschlags in dieser Zeitreihe. In den südöstlichen und teilweise südlichen Landesteilen Mecklenburg-Vorpommerns ist eine tendenzielle Niederschlagsabnahme zu beobachten, was die regionale Abflusssituation verschärft. Grundsätzlich zeigen die Untersuchungen, daß eine markante Zunahme der realen Evapotranspiration in allen Regionen wahrscheinlich ist, was entsprechend abflußmindernd wirkt. Ursachen bestehen neben der Temperaturerhöhung möglicherweise auch in anthropogenen Landnutzungsänderungen.

Auch die durchgeführten Analysen zum Wasserhaushalt belegen die große regionale Differenzierung der mittleren Niederschlags- und Abflußverhältnisse, wobei hier zusätzlich auf die Unterschiedsgröße und damit auf die mittlere reale Verdunstung geschlossen werden kann. Die Angaben zur grundlegenden Arealstruktur der mittleren realen Verdunstung durch den HAD (2000, 2001, 2003) finden sich bestätigt. Für entsprechend hohe Gebietsverdunstungen können die hohen Anteile annähernd potentiell verdunstender Landflächen (Moore, Waldgebiete mit geringem Grundwasserflurabstand) sowie der offenen Wasserflächen (Seen, hohe Gewässernetzdichte) plausibel verantwortlich gemacht werden (z.B. in den Flußgebieten Zarow/Landgraben/Usedom, Elde/Müritz, Warnow). Großen Einfluß auf den Gebietswasserhaushalt hat daher die Landnutzung. So hat beispielsweise WITTENBERG (2002) einen deutlichen Abflußrückgang für die Ilmenau (Lüneburger Heide) im Zusammenhang mit zunehmender Aufforstung nachweisen können. LAHMER et al. (2001) haben für die brandenburgische Stepenitz verschiedene Landnutzungsszenarien modelliert und festgestellt, daß moderate Änderungen nur geringfügige Auswirkungen auf die langjährige mittlere Wasserbilanz haben. Bei weitergehenden Betrachtungen muß dieser Aspekt Berücksichtigung finden.

Der Einfluß von Mengenbewirtschaftungsmaßnahmen auf Wasserhaushalt und Abflußregime wird dagegen häufig unterschätzt (Beispiel: Speicherraubbau und -bewirtschaftung im Ostseeraum, RÖDEL 2001, AURADA 2003). Bei weitergehenden Betrachtungen muß der Aspekt der anthropogenen, nicht-klimabedingten Prozeßbeeinflussung verstärkte Beachtung finden (AURADA 1999).

Eine Trendanalyse im Hinblick auf flächendeckende klimatische Wasserbilanzen wurde für Mecklenburg-Vorpommern zunächst noch nicht durchgeführt. Für das benachbarte Land Brandenburg zeigt die klimatische Wasserbilanz jedoch einen negativen Trend, der aber noch nicht statistisch signifikant ist (BRONSTERT et al. 2003). Ähnliches läßt sich auch für die Großlysimeteranlage in Colbitz (Sachsen) feststellen (STRUTHERS et al. 2003). Und auch die gemittelten Lysimeterdaten der einzigen Station in Mecklenburg-Vorpommern, Groß Lüsewitz, weisen in die gleiche Richtung: ein positiver Trend in der Wasserhaushaltsgröße reale Verdunstung sowie ein negativer Trend in der Grundwasserneubildung der Zeitreihe 1975-2000 in Groß Lüsewitz stützen die o.g. Aussagen.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß sich trendhafte hydrometeorologische und hydrologische Veränderungen in den Flußgebieten Mecklenburg-Vorpommern im Laufe des 20. Jahrhunderts nachweisen lassen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit im Zusammenhang mit der weltweiten Klimaveränderung stehen. Grundlegender Untersuchungsbedarf besteht darüber hinaus vor allem hinsichtlich

- potentieller Veränderungen in der Saisonalität, im Niederschlagstypus (advektive oder konvektive Niederschläge), im Niederschlagsverlauf und der Andauer von Niederschlagsereignissen,
- davon ausgehender Veränderungen in den Gebietswasserhaushalten und im hydrologischen Regime der Gewässer (z.B. in der Saisonalität und Stärke von Hoch- und Niedrigwasserereignissen) sowie
- der Bedeutung anthropogener Beeinflussung des Wasserhaushalts, der Abflußbildungsprozesse und des Durchflußverlaufs in den Gewässersystemen (nicht nur „Klimafolgenforschung“, sondern auch „Technikfolgenforschung“, s. AURADA 1999).

Danksagung

Die Autoren danken Herrn Dr. Hellmuth, Institut für Troposphärenforschung Leipzig e.V., für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und die leihweise Überlassung meteorologischer Fachliteratur. Frau Dipl.-Bibliothekarin (FH) Mehl, Leibnitz-Institut für Atmosphärenphysik Kühlungsborn, gilt ein besonderer Dank für die Unterstützung vor allem bei der Beschaffung vieler historischer Veröffentlichungen. Herrn Dr. Klinker, Kühlungsborn, ehemals Meteorologischer Dienst der DDR, gebührt ein ebensolcher Dank für die leihweise Überlassung älterer hydrometeorologischer Fachpublikationen.

Anmerkung

ArcView GIS 3.1 ist ein eingetragenes Warenzeichen der Environmental Systems Research Institute, Inc.; Surfer 8.03 ist ein eingetragenes Warenzeichen der Golden Software, Inc.; Microsoft Excel ist ein eingetragenes Warenzeichen der Microsoft Corporation.

Literaturverzeichnis

- ATLAS DER BEZIRKE ROSTOCK, SCHWERIN UND NEUBRANDENBURG (1962): Band 1: Natur des Landes. Textheft und Karten. – bearbeitet von Erfried Haack, Heinz Kliewe, Eginhard Wegner u.a., zusammengestellt und herausgegeben vom Topographischen Dienst Schwerin, 141 S. sowie 47 lose Karten.
- AURADA, K. D. (1999): Die Bildungs-, Nutzungs- und Bewirtschaftungsbedingungen des Wasserdargebots in Deutschland. – *Petermanns Geographische Mitteilungen* **143** (5+6): 333-347.
- AURADA, K. D. (2003): Co-evolvierende + Co-respondierende Systeme = Co-operierendes System. – *Erdkunde* **57**: 309-330.
- BECKER, A. & NEMEC, J. (1987). Macroscale Hydrologic Models in Support to Climate Change. – In: SOLOMON, S. I., BERAN, M. and HOOG, W. (Eds.): *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources*. – IAHS publication No. **168**: 431-446.
- BECKER, A. & PFÜTZNER, B. (1987): EGMO-System approach and subroutines for river basin modelling. – *Acta Hydrophysica* **31** (3/4): 125-141.

- BECKER, A. (1992): Criteria for hydrologically sound structuring of large scale land surface process models. – In: O Kane, J. P. (Ed.): *Advances in theoretical hydrology: a tribute to Jim Dooge*: 97-111; Elsevier.
- BIERSTEDT, W. (1991): Vergleich von Berechnungsverfahren zur Grundwasserneubildung. – *Wasserwirtschaft – Wassertechnik* **3** (1991): 101-102, 114.
- BILLWITZ, K. (1995a): Witterung und Klima, in LANDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG MECKLENBURG-VORPOMMERN (Hrsg.): *Historischer und geographischer Atlas von Mecklenburg und Pommern. Band I: Mecklenburg-Vorpommern. Das Land im Überblick*: 17-20.
- BILLWITZ, K. (1995b): Hydrographie, Grund- und Oberflächengewässer, in LANDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG MECKLENBURG-VORPOMMERN (Hrsg.): *Historischer und geographischer Atlas von Mecklenburg und Pommern. Band I: Mecklenburg-Vorpommern. Das Land im Überblick*: 25-29.
- BISSOLLI, P. (1999): Kommen Westwetterlagen häufiger als früher? – In: Dwd (Hrsg.): *Klimastatusbericht 1999*. 42-47; Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Selbsterlag).
- BLOOMFIELD, J. P., GAUS, I. & WADE, S. D. (2003): A method for investigating the potential impacts of climate-change scenarios on annual minimum groundwater levels. – *The Journal* (V17 N2).
- BOBBA, A. G., SINGH, V. P. & BENGTSSON, L. (2000): Application of environmental models to different hydrological systems. – *Ecological Modelling* **125**: 15-49.
- BORK, H.-R., DALCHOW, C., FAUST, B., PIORR, H.-P. & SCHATZ, T. (1998): *Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf die Landschaften*. – Gotha (Klett-Perthes), 328 S.
- BORK, H.-R., DALCHOW, C., KÄCHELE, H., PIORR, H.-P. & WENKEL, K.-O. (HRSG.) (1995): *Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen: ökologische und ökonomische Konsequenzen*. – Berlin (Ernst & Sohn), 418 S.
- BRONSTERT, A., LAHMER, W. & KRYSANOVA, V. (2003): *Klimaänderung in Brandenburg und Folgen für den Wasserhaushalt*. – *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg* **12** (3): 72-79.
- CORRENS, M. (1976): Beitrag zur Hydrographie der Unterwarnow. – *Acta Hydrophysika XXI* (3-4): 183-226.
- DANNOWSKI, R. (1995): *Landschaftsindikator Klimatische Wasserbilanz*. – In: BORK et al. (Hrsg.): *Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen: ökologische und ökonomische Konsequenzen*: 149-165; Berlin (Ernst & Sohn).
- DASCHKEIT, A. & STERR, H. (1999): *Klima – Küste – Gesellschaft. Erkenntnisstand und Perspektiven der Klimafolgenforschung im Forschungsprogramm „Klimaänderung und Küste“ (K&K)*. – unveröff. Bericht, Bearbeitungsstand September 1999, 56 S.
- DWD (2003): *Deutsches Meteorologisches Jahrbuch 2000*. – Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach (Selbstverlag), 379 S.
- DYCK, S. & PESCHKE, G. (1983): *Grundlagen der Hydrologie*. – Berlin (Verlag für Bauwesen), 388 S.
- DYCK, S. et al. (1980a): *Angewandte Hydrologie. Teil 1*. – Berlin (VEB Verlag für das Bauwesen), 2. völlig überarb. Aufl., 528 S.
- DYCK, S. et al. (1980b): *Angewandte Hydrologie. Teil 2*. – Berlin (VEB Verlag für das Bauwesen), 2. überarb. Aufl., 544 S.
- EBNER VON ESCHENBACH, A.-D. (2003): *Analyse und Bewertung von Bewirtschaftungsmaßnahmen anhand von Niedrigwasserkenngößen*. – Dissertation, Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät.
- ECKOLDT, M. (Hrsg.) (1998): *Flüsse und Kanäle. Die Geschichte der deutschen Wasserstraßen*. – Hamburg (DSV-Verlag), 526 S. + Anhang.
- ECKSTÄDT, H., STAPEL, C., TRÄNCKNER, J., TREMP, D., WENZEL, D., BALLSCHMITER, B., FREUND, R. & SOBOLEWSKI, W. (1994): *Untersuchung des Wasserhaushaltes der Warnow im*

- Bereich Bützow-Rostock. – unveröff. Studie, Universität Rostock, Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz im Auftrag des Staatlichen Amtes für Umwelt und Natur Rostock.
- EULENSTEIN, F. & WENKEL, K.-O. (2003): Wasserrückhalt in Agrarlandschaften. Beitrag der Landnutzung an der Versickerung von Wasser zur Grundwasser-Neubildung am Beispiel Mittlerer Fläming. – www.fachverband-feldberegnung.de/pdf/Eulenstein.pdf
- FLEMMING, G. (1995): Versagen der Regionalen Klimatologie (oder: Klimakatastrophe zweiter Art). – Mitteilungen der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft, Heft 2: 8-9.
- FREYDANK, E., GLANDER, H., GLOS, E. & GLUGLA, G. (1983): Karten der Wasserhaushaltsgrößen für das Gebiet der DDR. Ein Beitrag zum Internationalen Hydrologischen Programm der sozialistischen Länder Europas. – Z. Meteor. **33** (4): 244-257.
- FROMMHOLZ, M. (2002): Bestimmung und Analyse von Abflußkomponenten in ausgewählten Einzugsgebieten des nordostdeutschen Tieflandes. – Dipl.-Arb., Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, 118 S.
- GEINITZ, F. E. (1886): Die Seen, Moore und Flußläufe Mecklenburgs. Ein Versuch zur Erklärung der Entstehung der Seen und Wasserläufe der norddeutschen Diluviallandschaft, sowie der Küstenbildung. – Güstrow (Commissionsverlag von Opitz & Co.), 130 S.
- GEINITZ, F. E. (1922): Von der mecklenburgischen Seenplatte. – Archiv des Vereins der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg **75**: 202-224.
- GEWÄSSERGÜTEBERICHTE DES LANDES MECKLENBURG-VORPOMMERN (1991-1998/1999), herausgegeben vom Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern/Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern.
- GIESECKE, J., SCHMITT, P. & MEYER, H. (1983): Vergleich von Rechenmethoden für Gebietsniederschläge. – Wasserwirtschaft **73**: 1-7.
- GLANDER, H. (1966): Zur Interpretation des Niederschlags für hydrogeologische Zwecke. – Zeitschrift für angewandte Geologie **12** (11): 594-599.
- GLUGLA, G., ENDERLEIN, R. & EYRICH, A. (1977): Anwenderinstruktion für das Rechenprogramm RASTER zur Berechnung langjähriger Mittelwerte der Grundwasserneubildung und des Wasserhaushalts für den Lockergesteinsbereich der DDR. – Institut für Wasserwirtschaft und Kammer der Technik, Berlin.
- GRIMM, F. (1968): Das Abflußverhalten in Europa – Typen und regionale Gliederung. – Wiss. Veröff. d. Deutschen Instituts für Länderkunde, N. F. **25/26**: 18-180.
- HAASE, H. (1958): Kritik, Fehler und Brauchbarkeit von Niederschlagsmessungen. – Wasser und Boden **5**: 112-117.
- HAD (2000, 2001, 2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. – Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Bonn/Berlin, 2000 (1. Lieferung), 2001 (2. Lieferung), 2003 (3. Lieferung).
- HAUPT, R. (2000): Regionalisierung von Hochwasserkennwerten in Mecklenburg-Vorpommern. – Dissertation, Universität Rostock, Umwelt- und Agrarwissenschaftliche Fakultät.
- HAUPT, R., MIEGEL, K., SCHRAMM, M. & WALTHER, J. (1999): Saisonalität und Regionalisierung von Hochwasserscheiteldurchflüssen in Mecklenburg-Vorpommern. – Wasserwirtschaft **89**: 7-8.
- HAUPT, R., WIDMOSER, P. & MIEGEL, K. (2000): Hochwasserstatistik für Wasserstände und Durchflüsse in Mecklenburg Vorpommern - Vergleich der geeignetsten Verteilungsfunktionen. – Wasserwirtschaft 2000/**10**: 500-505.
- HECK, H.-L. (1958): Die hydrogeologische Situation Mecklenburgs als Grundlage für Planung und Wirtschaft. – Zeitschrift für angewandte Geologie, Heft 2/3: 51-59.
- HELLMANN, G. (1894): Kleinere Mitteilungen: Vergleichung englischer und deutscher Regensmesser. – Meteorologische Zeitschrift **11**: 476-477.

- HELLMANN, G. (1897): Ein neuer registrierender Regenschner. – Meteorologische Zeitschrift **14**: 41-44.
- HELLMANN, G. (1901): Regenkarte der Provinzen Brandenburg und Pommern, sowie der Grossherzogtümer Mecklenburg-Schwerin und Mecklenburg-Strelitz, Berlin, 39 S.
- HELLMANN, G. (1906): Die Niederschläge in den Norddeutschen Stromgebieten. – Berlin (Verlag Dietrich Reimer), 3 Bände: Bd. I: Text, Bd. II, III: Tabellen.
- HELLMANN, G. (1915): Anleitung zur Messung und Aufzeichnung der Niederschläge. – Veröffentlichungen des Königlich Preußischen Meteorologischen Instituts Nr. 288, 9. Aufl., Berlin (Behrendt & Co), 16 S.
- HELLMANN, G. (1926): Die Entwicklung der meteorologischen Beobachtungen in Deutschland von den ersten Anfängen bis zur Einrichtung staatlicher Beobachtungsnetze. – Einzelausgabe, Sonderabdruck aus den Abhandlungen der Preußischen Akademie der Wissenschaften Jahrgang 1926. Phys.-Math. Klasse, Nr. 1, Verlag der Akademie der Wissenschaften (Berlin) in Kommission bei Walter de Gruyter U. Co., 25 S.
- HELLMUTH, O. (1993): Das Klima von Mecklenburg-Vorpommern. – unveröffentlichte Studie, Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern, Abteilung Naturschutz, Neuenkirchen, 122 S.
- HELLMUTH, O. (1997): Zum Stand der Klimapotentialbewertung von Mecklenburg-Vorpommern. Ein Diskussionsbeitrag zum Problem der "Klimakatastrophe zweiter Art". – Greifswalder Geographische Arbeiten **14**: 51-68.
- HODGKINS, G. A., DUDLEY, R. W. & HUNTINGTON, T. G. (2003): Changes in the timing of high river flows in New England over the 20th Century. – Journal of Hydrology **278**: 244-252.
- HURTIG, Th. (1957): Physische Geographie von Mecklenburg. – Berlin (VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften), 252 S.
- IPCC (2001): Third Assessment Report – Climate Change: Summary for Policemakers. – Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), c/o World Meteorological Organization (WMO), Hrsg.: ProClim – Forum für Klima und Global Change. Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften, Bern (www.ipcc.ch).
- JÄGER, K.-D. (1962): Über Alter und Ursachen der Auelehmablagerung Thüringer Flüsse. – Praehist. Z. **40**: 1-59.
- JAHRBUCH FÜR DIE GEWÄSSERKUNDE DES DEUTSCHEN REICHS, ABFLUßJAHR 1939. Teil III, Elbegebiet, Teil VI, Küstengebiet der Ost- und Nordsee. – Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivelements beim Generalinspektor für Wasser und Energie in Berlin (Hrsg.), Berlin 1943.
- JAHRBUCH FÜR DIE GEWÄSSERKUNDE NORDDEUTSCHLANDS, ABFLUßJAHR 1929. Heft VI, Küstengebiet der Ost- und Nordsee. – Preußische Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivelements (Hrsg.), Berlin 1933 (Ernst Siegfried Mittler und Sohn, Buchdruckerei G.m.b.H.), 41 S.
- KARBAUM, H. & REINHARD, H. (1962): Hydrologie. – In: Atlas der Bezirke Rostock, Schwerin und Neubrandenburg, VEB Topographischer Dienst Schwerin (Hrsg.): 71-79.
- KARBAUM, H. (1966): Zur Niederschlagsmessung in größeren Höhen über Grund (Niederschlagsmesser am Mast). – Z. Meteor. **18** (5-7): 254-258.
- KARBAUM, H. (1969): Der Niederschlag als Wasserhaushaltsgröße. – Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik Nr. **86** (Band XI), Akademie-Verlag (Berlin), 79 S.
- KARBAUM, H. & BAUER, M. (1966): Zur Verdunstung flacher Binnenseen. – Gerlands Beiträge zur Geophysik **75**: 474-488.
- KARBAUM, H. & KLINKER, L. (1966): Niederschlagsvergleichsmessungen mit Hilfe des Goldberger Sees. – Gerlands Beiträge zur Geophysik **75** (2): 154-161.
- KERN, K. (1995): Die geomorphologische Entwicklung und nachhaltige Bewirtschaftung von Fließgewässern. – Zbl. Geol. Paläont. Teil I, **10**: 929-944.

- KLEEBERG, H.-B., MAUSER, W., PESCHKE, G., STREIT, U., DIEKKRÜGER, B., SCHWARZE, R. & SCHUMANN, A. H. (Hrsg.) (1999): Hydrologie und Regionalisierung. Ergebnisse eines Schwerpunktprogramms (1992-1998). Forschungsberichte (DFG). – Wiley-VCH (Weinheim), 477 S.
- KLIMAATLAS FÜR DAS GEBIET DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK (1953, 1. Ergänzung 1958, 2. Ergänzung 1962), herausgegeben vom Meteorologischen und Hydrologischen Dienst der Deutschen Demokratischen Republik, Berlin (Akademie-Verlag).
- KLINKER, L. & HANSEN, H. (1965): Bemerkungen zu tagsperiodischen Variationen des Grundwasserhorizontes und des Wasserstandes in kleinen Wasserläufen. – Zeitschrift für Meteorologie 17 (7/8): 240-245.
- KLINKER, L. & HANSEN, H. (1966): Auffallende Anstiege im Grundwasser und im oberirdischen Abfluß eines kleinen Einzugsgebietes bei Niederschlägen. – Tagungsband Simpozionul International Precipitatile Atmosferice Bukarest 8.-13. Juni 1964: 131-141.
- KLINKER, L. & KARBAUM, H. (1961): Über die Windabhängigkeit der Eigenschwingungen eines flachen Binnensees. – Zeitschrift für Meteorologie 15 (9): 271-277.
- KLINKER, L. & KARBAUM, H. (1966a): Der Goldberger See als Niederschlagsmesser. – Tagungsband Simpozionul International Precipitatile Atmosferice Bukarest 8.-13. Juni 1964: 97-105.
- KLINKER, L. & KARBAUM, H. (1966b): Die Eigenschwingungen des Goldberger Sees. – Acta Hydrophysica X (3): 133-161.
- KLINKER, L. & KARBAUM, H. (1966c): Vergleich der niederschlagsbedingten Wasserspiegelanstiege des Goldberger Sees mit herkömmlichen Niederschlagsmessungen. – Zeitschrift für Meteorologie 18 (1/2): 88-89.
- KLITZSCH, S. (2000): Anforderungen an das hydrologische Meßnetz und Meßnetzkonzeption M-V. – Vortragskurzfassung, Tagungsband 2. Forum Wasserwirtschaft „Gewässerschutzprogramme in Mecklenburg-Vorpommern“ am 21.03.2000, Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern, 6 S.
- KLOSTERMANN, H. (1978): Zu den Beziehungen zwischen natürlichen Regimefaktoren und dem Wasserdargebot. – Wiss. Abh. d. Geogr. Ges. d. DDR, Bd. 14: 201-210.
- KLOSTERMANN, H. (1981): Zur Untersuchung anthropogener Eingriffe in den Wasserkreislauf der Flußgebiete im Tiefland der DDR. – Wiss. Abh. d. Geogr. Ges. d. DDR 15: 117-132.
- KOPP, D. & KIRSCHNER, G. (1985): Erfassung des Klimas bei der topischen und chorischen Naturraumerkundung durch die forstliche Standorterkundung im Tiefland der DDR. – Zeitschrift für Meteorologie 35 (3): 137-145.
- KOPP, D., JÄGER, K.-D. & SUCCOW, M. (1982): Naturräumliche Grundlagen der Landnutzung am Beispiel des Tieflandes der DDR. – Berlin (Akademie-Verlag), 339 S.
- KRAHE, P. & GLUGLA, M. (1996): Abfluß- und Wasserbilanz der Bundesrepublik Deutschland. – BfG-Information 1/96, 3 S.
- KRES, J. (1911): Deutsche Küstenflüsse. – bearbeitet in der Preußischen Landesanstalt für Gewässerkunde, Berlin (Ernst Siegfried Mittler und Sohn, Königliche Hofbuchhandlung), 832 S. + Anhang.
- KREUTZ, W. (1952): Niederschlagsmessungen in verschiedenen Höhen über dem Erdboden unter Berücksichtigung der Windverhältnisse. – Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone 38 (Weickmann-Heft): 182-185.
- LAHMER, W., KLÖCKING, B. & PFÜTZNER, B. (1999): Meteorological Input Variables in Meso and Macroscale Hydrological Modelling. – In: Extended abstracts of the International Conference on Quality, Management and Availability of Data for Hydrology and Water Resources Management, Koblenz, 22.-26. März 1999: 165-168.
- LAHMER, W., PFÜTZNER, B. & STRÖBL, B. (2001): Possible Impacts of Climate and Land Use Changes on the Water Balance of Semi-arid German River Basins. – 19th European

- Regional ICID Conference Sustainable Use of Land and Water, Brno and Prague, Czech Republic, 4-8 June 2001.
- LAUN M-V (1996): Gebietsbezeichnung und Verschlüsselung der oberirdischen Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern - Küstengebiet Ostsee - Elbeeinzugsgebiet. – Zusammengestellt vom Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern (LAUN M-V) in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Ämtern für Umwelt und Natur, Stand: Dezember 1996.
- LAWA (1993): Richtlinie für die Gebietsbezeichnung und die Verschlüsselung von Fließgewässern. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, ausgearbeitet vom LAWA-ad-hoc-Arbeitskreis „Verschlüsselung von Fließgewässern“.
- LAWA (2000): Leitlinien eines zukunftsfähigen gewässerkundlichen Mess- und Beobachtungsdienstes. – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Daten“ der LAWA, Schwerin.
- LAWA (2001): Gewässerkundliche Pegel – Aufgaben, Anforderungen, Abgrenzungen. – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Arbeitskreis „Pegel“, Schwerin.
- LAWA (2002): Richtlinie für die Gebiets- und Gewässerverschlüsselung. – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, ausgearbeitet vom LAWA-Unterausschuss „Gewässerverschlüsselung in der Wasserrahmenrichtlinie“ beim „Ständigen Ausschuss Daten“.
- LEIBUNDGUT, C. (2002): Hydrologische Extreme – nicht nur aus aktuellem Anlaß. – Editorial zum Themenheft. – Wasser & Boden **54** (10): 1.
- LOWO (2000): Langzeitdatenspeicher Oberflächenwasser. – Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG M-V) Güstrow, Datenbestand 2000.
- LÜTTIG, G. (1960): Zur Gliederung des Auelehms im Flußgebiet der Weser. – Eiszeitalter und Gegenwart **11**: 39-63.
- MALITZ, G. (1991): Ergebnisse regionalklimatologischer Untersuchungen langer Reihen von Monatssummen der Niederschlagshöhe. – Zeitschrift für Meteorologie **41** (2): 148-153.
- MARCINEK, J. (1967): Über das Abflußverhalten mitteleuropäischer Flüsse. – Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, Math.-Nat. R. **XVI** (1967) 3: 351-358.
- McKERCHAR, A. I. & HENDERSON, R. D. (2003): Shifts in flood and low-flow regimes in New Zealand due to interdecadal climate variations. – Hydrological Sciences-Journal-des-Sciences Hydrologiques **48** (4): 637-653.
- MEHL, D. & MARQUARDT, A. (2003): Optimierung des Landespegelmeßnetzes Mecklenburg-Vorpommern – Kurzüberblick zum Sachstand. – Tagungsband Kurzvorträge: Erweiterte Dienstberatung der Dezernate 340/310 der StÄUN und des LUNG am 01./02.04.2003 in Markgrafenheide (Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.)).
- MEHL, D. & THIELE, V. (1998): Fließgewässer- und Talraumtypen des Norddeutschen Tieflandes am Beispiel der Naturräume Mecklenburg-Vorpommerns. – Berlin (Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschaftsverlag), 261 S.
- MEHL, D. (1991): Anpassung eines hydrologischen Einzugsgebietsmodells an Teilgebiete der Warnow. – Dipl.-Arb., Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, 83 S.
- MEHL, D., STEINHÄUSER, A. & MARQUARDT, A. (2003): Entwicklung von Karten der mittleren Mittelwasserdurchflüsse sowie der mittleren Niedrigwasserdurchflüsse in den Flußgebieten Mecklenburg-Vorpommern. – biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, unveröff., 56 S.
- MENSCHING, H. (1958): Bodenerosion und Auelehmbildung in Deutschland. – Gewässerkundl. Mitt. **1/2**: 110-114.

- METEOROLOGISCHER UND HYDROLOGISCHER DIENST DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK (Hrsg.) (1961): Klimatologische Normalwerte für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik (1901-1950). – Berlin (Akademie-Verlag), 2. Lieferung, 74 S.
- MIEGEL, K. (1998): Praktische Fragen der Nutzung von Niederschlagsdaten in der Hydrologie. – Vortragszusammenfassung, Tagung „Gewässerkundlicher Landesdienst Mecklenburg-Vorpommern“ am 15. April 1998 in Feldberg, Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.).
- MIEGEL, K. (2002): Bedeutung der zeitlichen Verfügbarkeit hydrologischer Daten für statistische Analysen. – Tagungsband Kurzvorträge: Erweiterte Dienstberatung der Dezernate 340/310 der StÄUN und des LUNG am 17./18.04.2002 in Prerow/Darß (Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.).
- MOHSENI, O., STEFAN, H. G. & EATON, J. G. (2003): Global warming and potential changes in fish habitat in U.S. streams. – *Climatic Change* **59**: 389-409.
- MÜCK, R. (2000): Räumliche und zeitliche Verteilung von Starkregen und deren Wahrscheinlichkeiten. – Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen – Mitteilungen 73/2000, München (Kommissionsverlag Oldenbourg Industrieverlag), 131, S.
- MUDELSEE, M., BÖRNGEN, M., TETZLAFF, G. & GRÜNEWALD, U. (2003): No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe. – *Nature* **425**: 166-169.
- MÜLLER, L., DANNOWSKI, R., SCHINDLER, U., EULENSTEIN, F. & MEISSNER, R. (1996): Gebietsabflüsse aus Agrarlandschaften Nordost- und Mitteldeutschlands. – *Arch. Acker-Pfl. Boden* **40**: 345-362.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. & KREIS, P. (2001): Die bodennahe Lufttemperatur und der Niederschlag im 20. Jahrhundert dargestellt anhand von Karten. – In: Dwd (Hrsg.): Klimastatusbericht 2001. – Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Selbsterlag), 12-19.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1999): Die mittleren klimatologischen Bedingungen in Deutschland (Teil III), in Dwd (Hrsg.): Klimastatusbericht 1999. – Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Selbsterlag), 48-51.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. (2001): Klimatrends in Deutschland. – In: Dwd (Hrsg.): Klimastatusbericht 2001. – Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Selbsterlag), 114-123.
- MURDOCH, P. S., BARON, J. S. & MILLER, T. L. (2000): Potential effects of climate change on surface-water quality in North America. – *Journal of the American Water Resources Association* **36** (2): 347-366.
- N-A-U-KARTE ÜBER DAS GEBIET DER DDR (1959), 1:200.000, Institut für Wasserwirtschaft, Berlin.
- NIEL, H., PATUREL, J.-E. & SERVAT, E. (2003): Study of parameter stability of a lumped hydrological model in a context of climatic variability. – *Journal of Hydrology* **278**: 213-230.
- NIPHER, F. E. (1879): Ueber die Bestimmung der wahren Regenmenge mittelst hochaufgestellter Regenmesser. – *Zeitschrift der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie* **XIV**: 250-254.
- PARDE, M. (1964): *Fleuves et Rivières*. – 4. Auflage, Paris.
- PELTZ, W. (1894): Die Flächenverhältnisse der mecklenburgischen Flussgebiete. – Beiträge zur Statistik Mecklenburgs. – Grossherzogliches Statistisches Bureau zu Schwerin, Zwölfter Band, Drittes Heft, Erste Abteilung, Schwerin (Bärensprungsche Hofbuchdruckerei), 12 S.
- RAPP, J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. – Bericht des Deutschen Wetterdienstes Nr. **112**, Offenbach (Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes), 145 S.
- RASMUS, G. (1969): Optimale Gestaltung des hydrologischen Durchflußmeßnetzes im Großeinzugsgebiet Küste – Warnow – Peene. – Konzeption. Wasserwirtschafts-direktion Küste – Warnow – Peene, unveröff. Studie, 30 S.

- REICH, T. (1983): Zur Kennzeichnung des Jahresganges der Niederschlagshöhe. – Z. Meteor. **33** (4): 258-266.
- REICH, T. (1985a): Typisierung und Regionalisierung des Niederschlagsklimas. – Zeitschrift für Meteorologie **35** (1): 15-25.
- REICH, T. (1985b): Die räumliche Struktur des Niederschlagsfeldes - 1. Multidimensionale Skalierung. – Zeitschrift für Meteorologie **35** (2): 93-109.
- REICH, T. (1986): Die regionale Gefährdung durch Trockenheit in der DDR. – Zeitschrift für Meteorologie **36** (2): 145-149.
- REICH, T. (1989): Eine regionale Gliederung der DDR auf der Basis von Monatssummen der Niederschlagshöhe. – Zeitschrift für Meteorologie **39** (1): 40-50.
- RICHTER, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. – Berichte des Deutschen Wetterdienstes **194**, 93 S.
- RIPL, W. & WOLTER, K.-D. (2003): Intakter Wasserhaushalt und Hochwasserschutz. – Wasser & Boden **55** (7+8): 15-21.
- RÖDEL, R. (2001): Die Auswirkungen des historischen Talsperrenbaus auf die Zuflußverhältnisse der Ostsee. – Greifswalder Geographische Arbeiten **18**, 118 S.
- RUDOLF, B., GRIESER, J. & SCHNEIDER, U. (2001): Verteilung der mittleren Niederschlagshöhen in Europa im letzten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts im Vergleich zur Normalperiode 1961 bis 1990. – In: DWD (Hrsg.): Klimastatusbericht 2001. – Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Selbsterlag), 86-93.
- SCHÄFER, M. (1999): Regionalisierte Stoffstrombilanzen in städtischen Einzugsgebieten. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft Universität Karlsruhe (TH), Band **97**, Oldenbourg Verlag, München.
- SCHLINKER, K. (1967): Beiträge zur wasserwirtschaftlichen Erfassung des Grundwasserdargebots, seines Chemismus und seiner Beziehungen zum Oberflächenabfluß im Großeinzugsgebiet Küste – Warnow- Peene. – Dissertation, Technische Universität Dresden, 194 S.
- SCHLINKER, K. (1969): Komplexmethodik der regionalen Grundwassererkundung im Großeinzugsgebiet Küste-Warnow-Peene. – Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock, 18. Jahrgang, Math.-Naturwissen. R., Heft 7: 729-738.
- SCHLINKER, K. (1980): Grundwasserbewirtschaftung. – WWD Küste: Synthetische und spezifische Kennziffern (4. Approximation), Wasserwirtschaftsdirektion Küste, Schwerin – unveröffentlicht.
- SCHWERDTFEGER, B. (2003): Grundlegende hydrogeologische Verhältnisse in Mecklenburg-Vorpommern. – mündliche Mitteilungen.
- SIMONOVIC, S. P., ASCE, M. & LANHAI, L. (2003): Methodology for Assessment of Climate Change Impacts on Large-Scale Flood Protection System. – Journal of Water Resources Planning and Management **129** (5): 361-371.
- STRAUTZ, W. (1962): Auelehmbildung und -gliederung im Weser- und Leinetal mit vergleichenden Zeitbestimmungen aus dem Flußgebiet der Elbe - ein Beitrag zur Landschaftsgeschichte der nordwestdeutschen Flußauen. – Beitr. z. Landespflege, **1** (Festschr. WIEPKING): 273-314.
- STRUTHERS, I., HINZ, C., SIVAPALAN, M., DEUTSCHMANN, G., BEESE, F. & MEISSNER, R. (2003): Modelling the water balance of an free-draining lysimeter using the downward approach. – Hydrological Processes **17**: 2151-2169.
- STÜDEMANN, O. (1984): Zur Kennzeichnung hydrometeorologischer Verhältnisse für die Pflanzenproduktion und das Meliorationswesen. – Dissertation B, Universität Rostock, 130 S.
- THIESSEN, A. H. (1911): Precipitation averages for large areas. – Mon. Weather Rev. **39**: 1082-1084.

- VEIT, U., PETZOLD, B. & PIEHL, H.-D. (1987): Klimadaten der Deutschen Demokratischen Republik. Ein Handbuch für die Praxis. Reihe B, Bd. **14** „Klimatologische Normalwerte 1951/80“, Meteorologischer Dienst der Deutschen Demokratischen Republik, Hauptamt für Klimatologie, Potsdam (Eigenverlag), 111 S.
- VICENTE-SERRANO, S. M., SAZ-SÁNCHEZ, M. A. & CUADRAT, J. M. (2003): Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. – *Climate Research* **24**: 161-180.
- WILDHAGEN, H. & MEYER, B. (1972): Holozäne Boden-Entwicklung, Sediment-Bildung und Geomorphogenese im Flußauenbereich des Göttinger Leinetal-Grabens - Teil 1: Spätglazial und Holozän bis zum Beginn der eisenzeitlichen Auenlehmlagerungen - Teil 2: Die Auenlehmdecken des Subatlantikums. – *Gött. Bodenkundl. Ber.* **21**: 1-75 u. 77-158.
- WITTENBERG, H. (2002): Aufforstung und Landnutzung – die Veränderung des Wasserhaushalts in der Lüneburger Heide. – *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* **1**: 95-100.
- WOLFF, A., MEHL, D. & KLITZSCH, S. (2000): Ausgrenzung und Verschlüsselung oberirdischer Einzugsgebiete: Probleme und Lösungsansätze. – *Wasser & Boden* **52** (12): 61-66.
- WRR (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Amtsblatt der EG Nr. L 327/1 vom 22.12.2000.
- WWD Küste (ca. 1985/1986): Hydrographisches Kartenwerk der Wasserwirtschaftsdirektion Küste. – 26 Karten + Erläuterungsteil (verschiedene Autoren).
- ZARNCKE, T. (1989): Untersuchungen zum Abflußverhalten kleiner Einzugsgebiete im nördlichen Flachland der DDR bei Verwendung eines deterministischen Einzugsgebietsmodells. – Dissertation, Universität Rostock, 131 S.

Anhang

	Nov	Dez	Jan	Febr	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Win	Som	Jahr
1951-2000															
Mittelwert	-0,07	0,22	0,02	0,06	0,33	-0,03	-0,10	0,09	-0,29	-0,35	0,06	0,05	0,55	-0,54	0,01
Minimum	-0,19	0,01	-0,13	-0,13	0,14	-0,23	-0,43	-0,20	-0,59	-0,75	-0,18	-0,13	-0,18	-1,63	-0,96
Maximum	0,11	0,44	0,17	0,25	0,46	0,18	0,16	0,34	-0,12	0,19	0,27	0,28	1,10	0,34	1,05
1951-1980															
Mittelwert	0,28	0,21	-0,35	-0,36	0,31	0,35	-0,42	-0,56	0,01	-0,84	-0,03	0,12	0,44	-1,72	-1,28
Minimum	-0,11	-0,32	-0,70	-0,78	-0,11	-0,24	-1,05	-1,86	-0,70	-1,81	-0,72	-0,33	-1,17	-3,07	-4,08
Maximum	0,73	0,47	-0,03	-0,16	0,53	1,10	0,20	0,26	0,91	0,18	0,67	0,71	1,76	0,92	1,65
1961-1990															
Mittelwert	-0,51	0,14	0,54	-0,18	0,26	-0,56	-0,75	0,63	-0,10	-0,69	0,00	0,29	-0,32	-0,61	-0,93
Minimum	-0,87	-0,31	0,13	-0,34	-0,10	-0,97	-1,41	0,12	-0,58	-1,22	-0,66	-0,15	-1,58	-3,21	-4,10
Maximum	-0,20	0,31	0,93	0,17	0,49	-0,23	-0,16	0,98	0,63	-0,15	0,36	0,83	0,57	0,91	1,42
1971-2000															
Mittelwert	-0,40	0,47	0,16	0,81	0,41	0,08	-0,09	0,28	-0,30	0,71	0,37	-0,07	1,54	0,90	2,44
Minimum	-0,64	-0,14	-0,09	0,14	-0,03	-0,26	-0,48	-0,77	-0,64	-0,10	-0,23	-0,64	0,15	-0,75	0,58
Maximum	-0,17	1,05	0,46	1,17	0,65	0,42	0,19	1,21	0,27	1,66	0,66	0,52	2,95	2,24	5,19

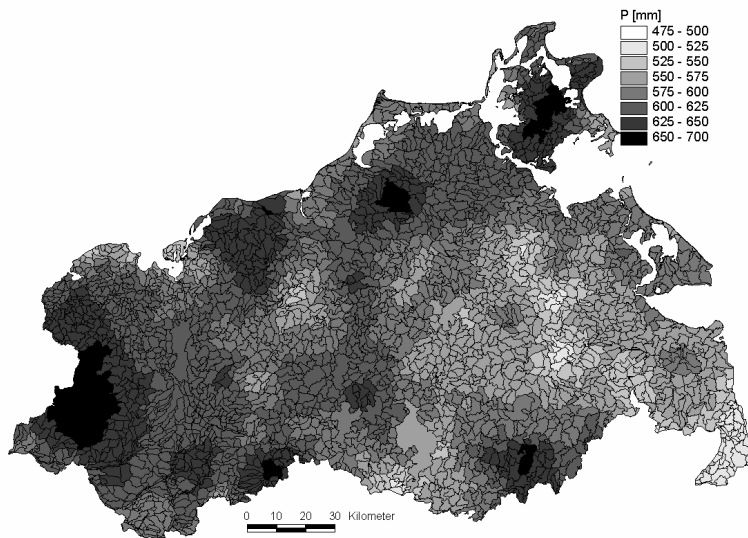
Anh. I Übersicht über den mittleren, minimalen und maximalen Anstieg der Trendgeraden von elf repräsentativen Stationen des Deutschen Wetterdienstes in Mecklenburg-Vorpommern für die unterschiedlichen Niederschlagsreihen.

App. I Average, minimum and maximum increase of the trend line for 11 representative precipitation measuring gauges in Mecklenburg-Western Pomerania in different time-series.

	Nov	Dez	Jan	Febr	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Win	Som	Jahr
Mecklenburg															
1951-2000	-0,11	0,28	0,04	0,09	0,34	-0,04	-0,19	-0,14	-0,27	-0,50	0,03	0,04	0,60	-1,02	-0,42
1951-1980	0,25	0,33	-0,30	-0,40	0,27	0,45	-0,68	-0,68	0,18	-1,06	-0,05	0,00	0,61	-2,28	-1,67
1961-1990	-0,56	0,17	0,48	-0,13	0,32	-0,56	-0,61	0,67	-0,30	-0,81	-0,09	0,21	-0,27	-0,94	-1,21
1971-2000	-0,40	0,47	0,11	0,90	0,51	0,00	-0,14	-0,03	-0,38	0,65	0,41	0,11	1,58	0,62	2,20
Vorpommern															
1951-2000	-0,01	0,15	0,03	0,07	0,33	-0,12	0,04	0,18	-0,28	-0,10	0,01	0,00	0,45	-0,15	0,29
1951-1980	0,26	0,22	-0,27	-0,29	0,46	0,16	0,03	-0,57	-0,05	-0,21	-0,13	0,49	0,53	-0,44	0,09
1961-1990	-0,28	0,15	0,63	-0,17	0,13	-0,59	-1,05	0,57	0,15	-0,68	0,03	0,30	-0,14	-0,68	-0,82
1971-2000	-0,39	0,28	0,12	0,68	0,30	0,12	-0,04	0,74	-0,13	0,71	0,45	-0,48	1,11	1,26	2,37
Meckl.-Vorp.															
1951-2000	-0,08	0,24	0,03	0,08	0,34	-0,06	-0,12	-0,04	-0,27	-0,37	0,03	0,03	0,55	-0,74	-0,19
1951-1980	0,25	0,30	-0,29	-0,36	0,33	0,35	-0,46	-0,63	0,11	-0,79	-0,08	0,16	0,58	-1,69	-1,11
1961-1990	-0,47	0,16	0,53	-0,14	0,26	-0,57	-0,75	0,64	-0,15	-0,77	-0,05	0,23	-0,23	-0,86	-1,09
1971-2000	-0,40	0,41	0,11	0,83	0,44	0,04	-0,11	0,22	-0,30	0,67	0,42	-0,08	1,43	0,83	2,26

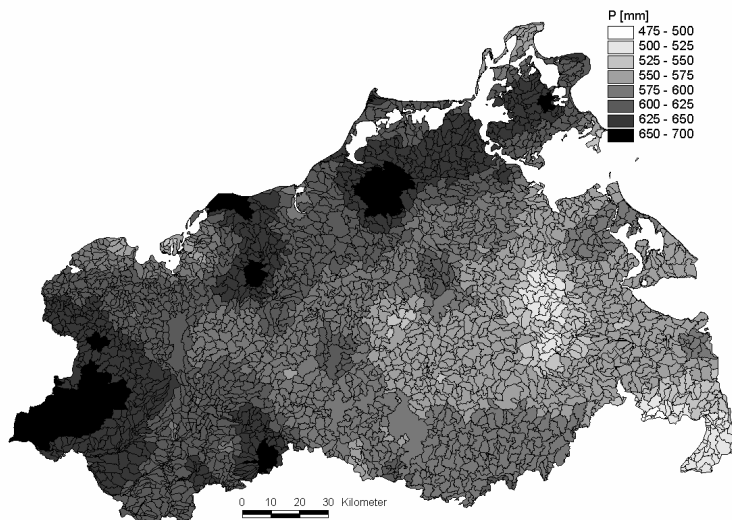
Anh. II Übersicht über den Anstieg der Trendgeraden für Gebietsmittel des Niederschlags in Mecklenburg-Vorpommern und Teilgebieten (in mm/a).

App. II Increasing trend-line of average areal precipitation in whole Mecklenburg-Western Pomerania and its parts.



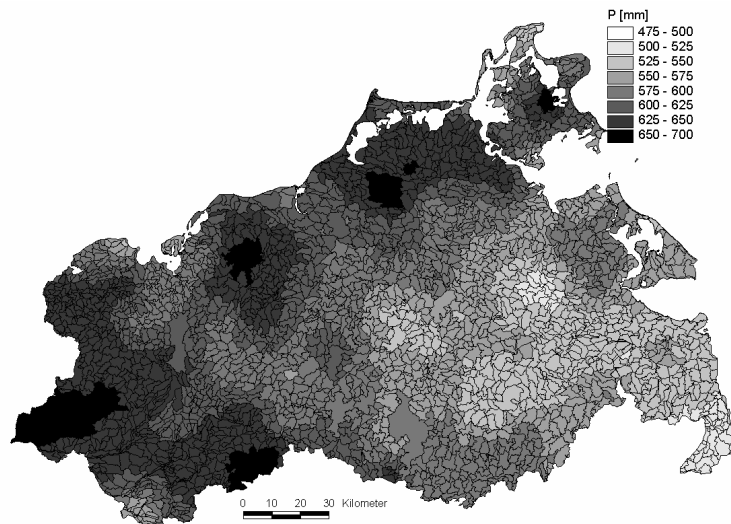
Anh. III Gebietsmittel der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen (unkorrigiert) in den Einzugsgebieten Mecklenburg-Vorpommerns, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1901-1950).

App. III Average uncorrected annual precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1901-1950).



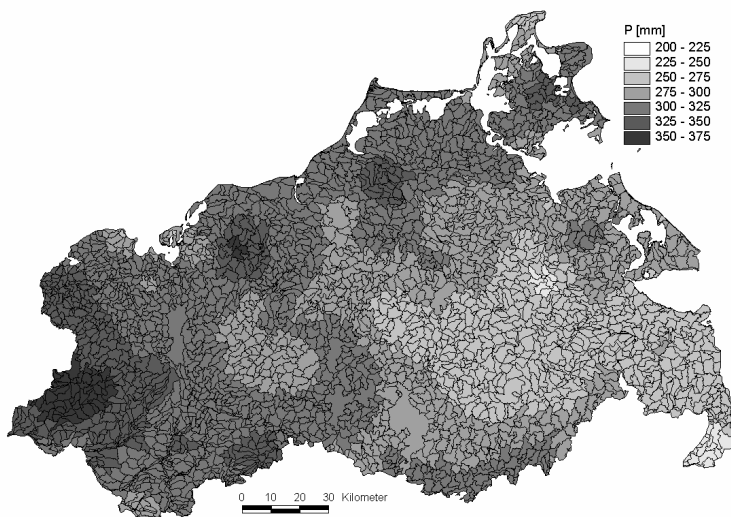
Anh. IV Gebietsmittel der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen (unkorrigiert) in den Einzugsgebieten Mecklenburg-Vorpommerns, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1951-1980).

App. IV Average uncorrected annual precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1951-1980).



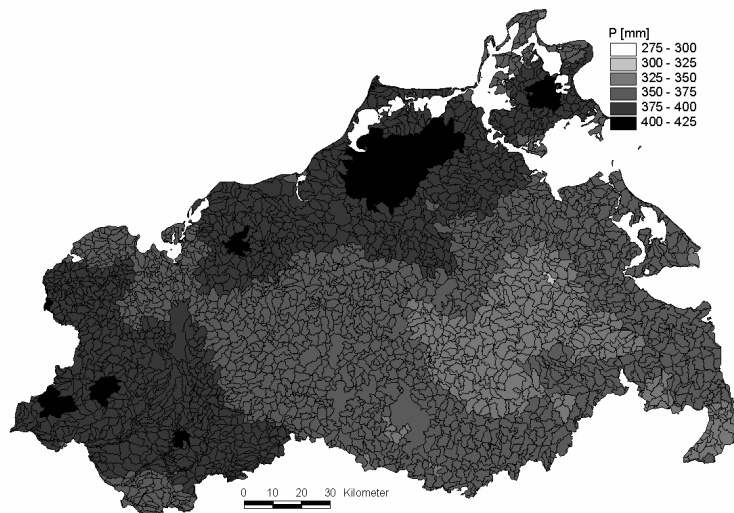
Anh. V Gebietsmittel der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen (unkorrigiert) in den Einzugsgebieten Mecklenburg-Vorpommerns, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1961-1990).

App. V Average uncorrected annual precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1961-1990).



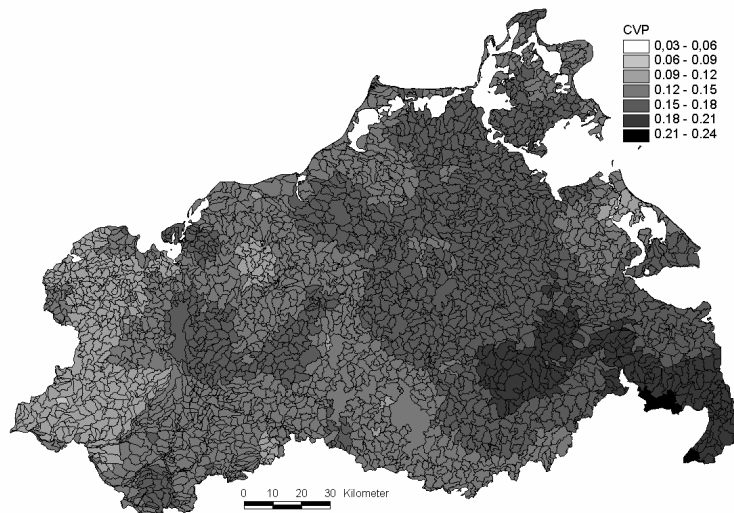
Anh. VI Gebietsmittel der mittleren Winterhalbjahresniederschlagshöhen (korrigiert) in den Einzugsgebieten Mecklenburg-Vorpommerns, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1971-2000).

App. VI Average corrected winter-precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1971-2000).



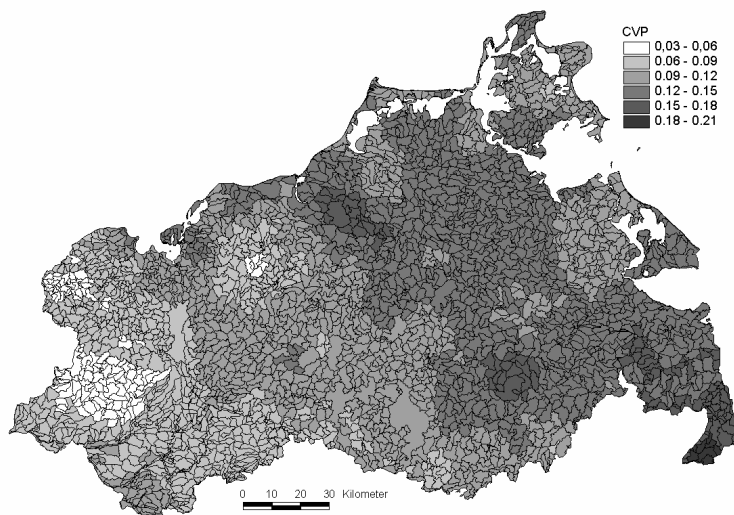
Anh. VII Gebietsmittel der mittleren Sommerhalbjahresniederschlagshöhen (korrigiert) in den Einzugsgebieten Mecklenburg-Vorpommerns, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1971-2000).

App. VII Average corrected summer-precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1971-2000).



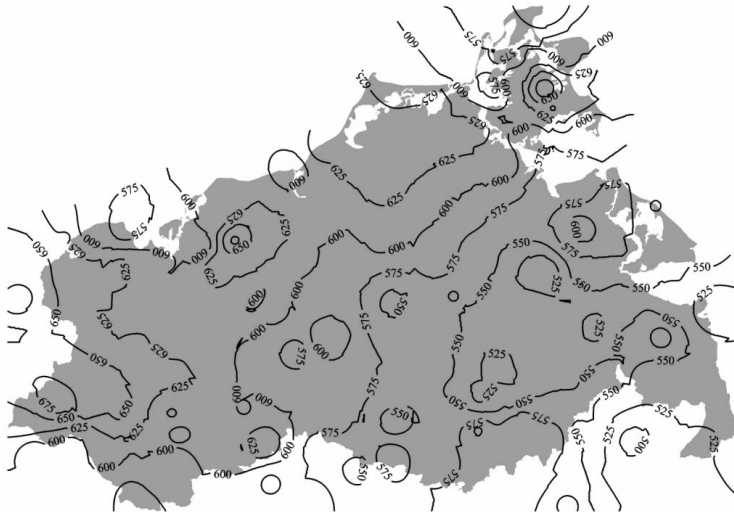
Anh. VIII Gebietsmittel des Variationskoeffizienten CVP in den Flußgebieten, Bezug: hydrologische Halbjahre (Reihe 1951-1980).

App. VIII Average variation-coefficient CVP in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological terms (time series 1951-1980).



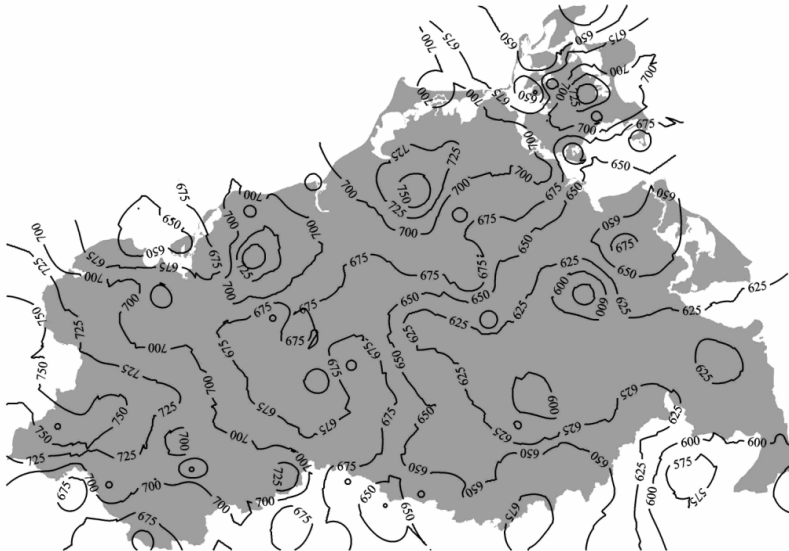
Anh. IX Gebietsmittel des Variationskoeffizienten CVP in den Einzugsgebieten, Bezug: hydrologische Halbjahre (Reihe 1961-1990).

App. IX Average variation-coefficient CVP in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological terms (time series 1961-1990).



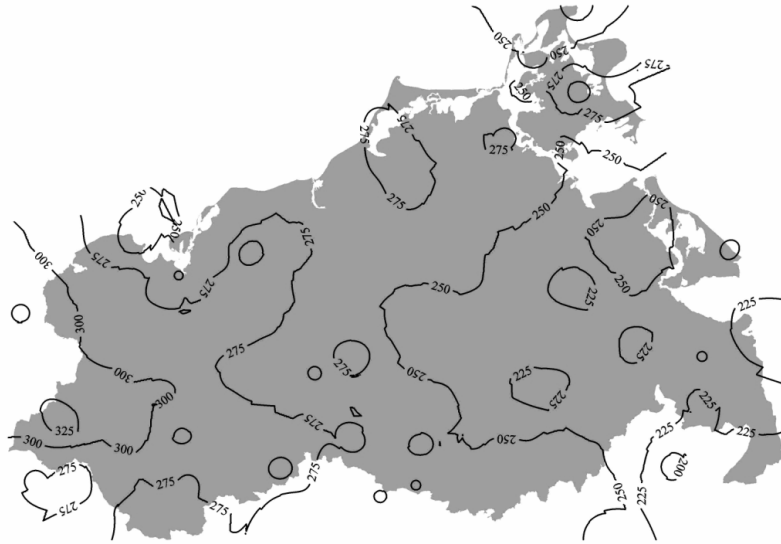
Anh. X Mittlere Jahresniederschlagshöhen (unkorrigiert) in Mecklenburg-Vorpommern, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1971-2000).

App. X Average uncorrected annual precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1971-2000).



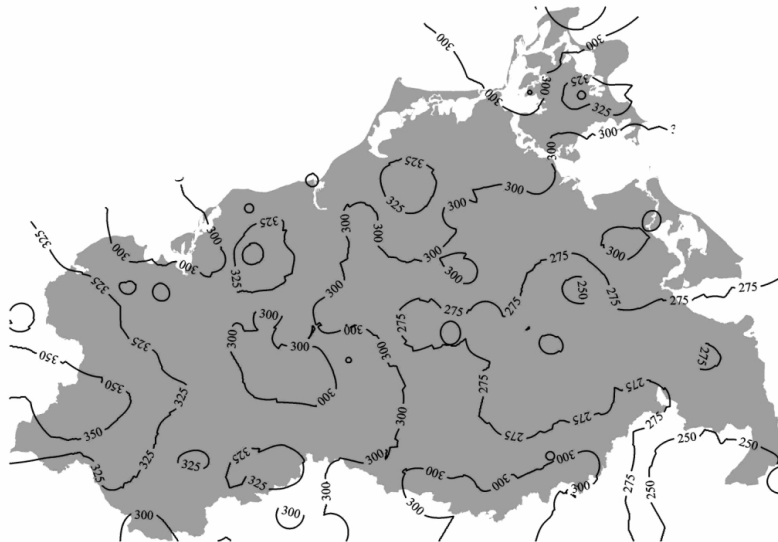
Anh. XI Mittlere Jahresniederschlagshöhen (korrigiert) in Mecklenburg-Vorpommern, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1971-2000).

App. XI Average corrected annual precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1971-2000).



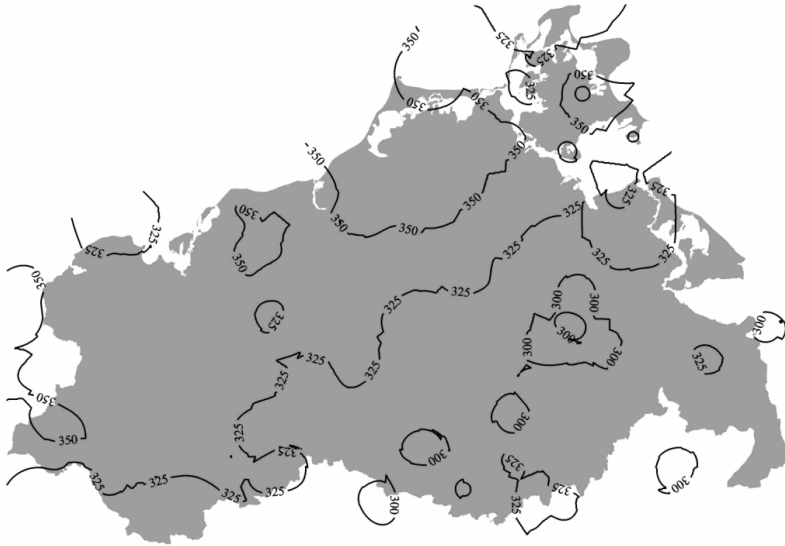
Anh. XII Mittlere Winterhalbjahresniederschlagshöhen (unkorrigiert) in Mecklenburg-Vorpommern, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1971-2000).

App. XII Average uncorrected winter-precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1971-2000).



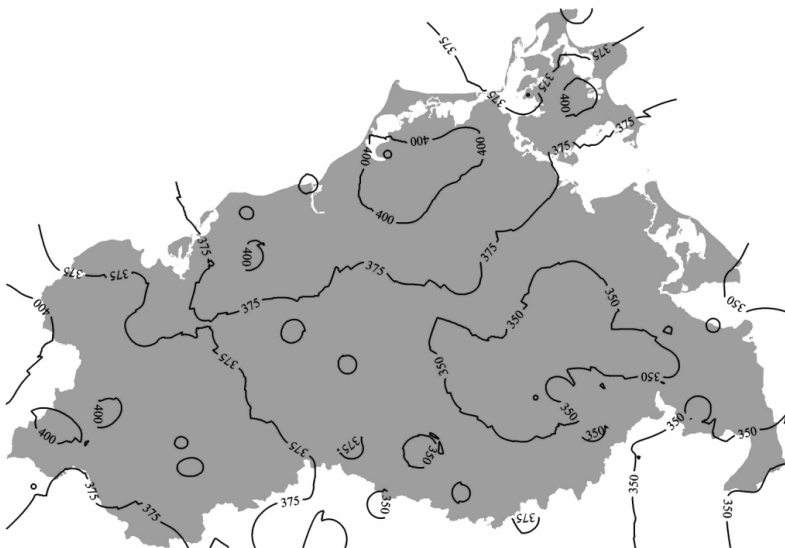
Anh. XIII Mittlere Winterhalbjahresniederschlagshöhen (korrigiert) in Mecklenburg-Vorpommern, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1971-2000).

App. XIII Average corrected winter-precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1971-2000).



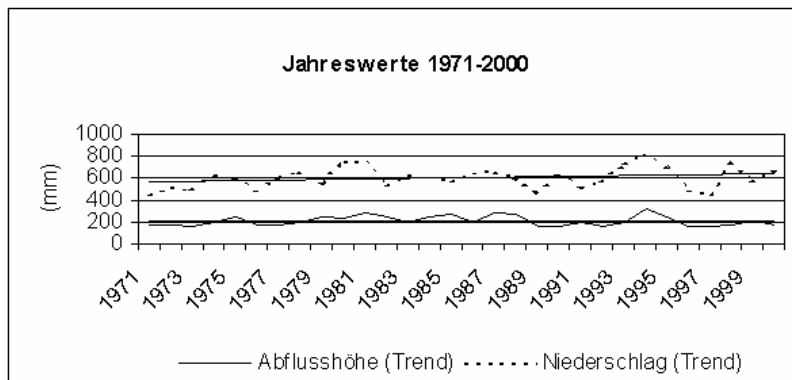
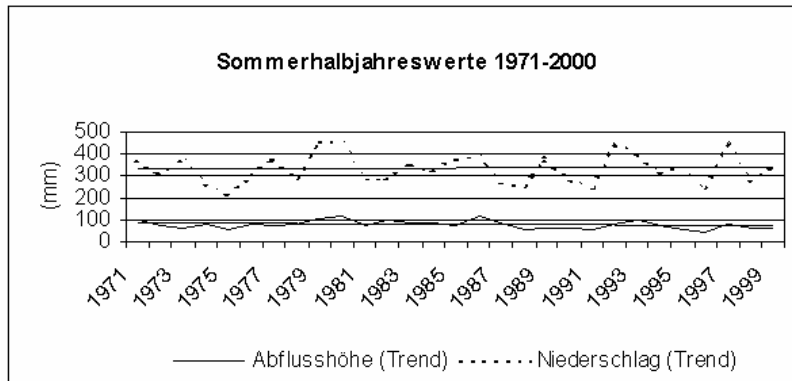
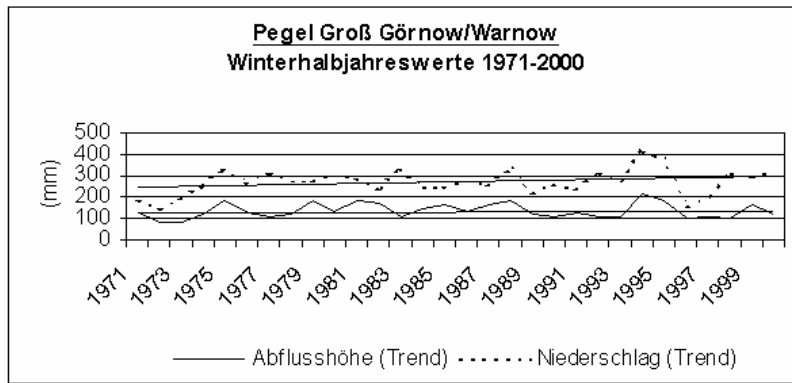
Anh. XIV Mittlere Sommerhalbjahresniederschlagshöhen (unkorrigiert) in Mecklenburg-Vorpommern, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1971-2000).

App. XIV Average uncorrected summer-precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1971-2000).



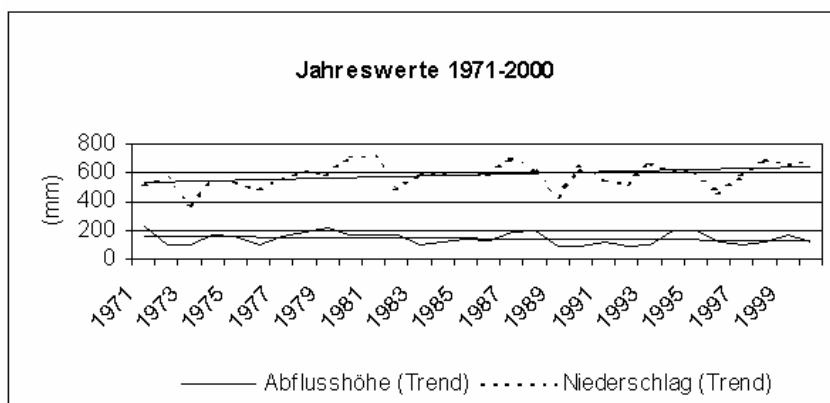
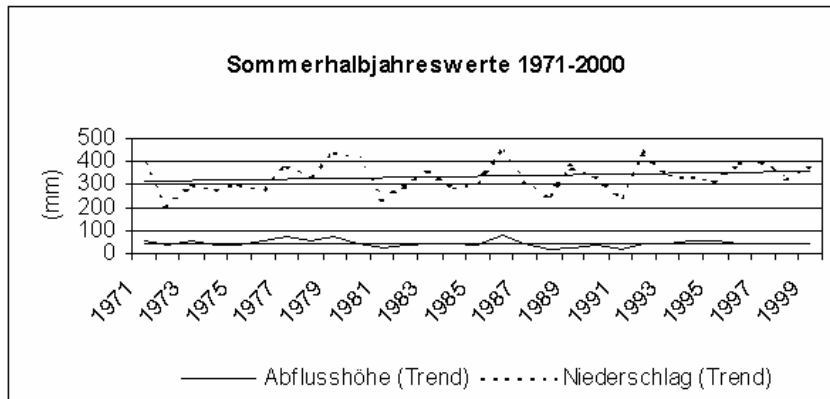
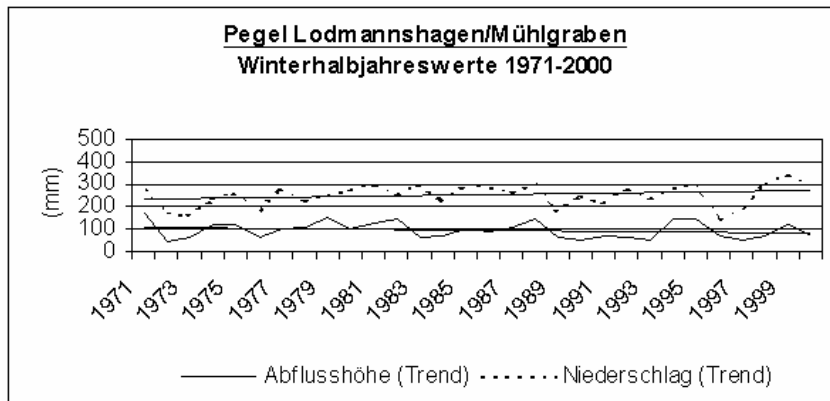
Anh. XV Mittlere Sommerhalbjahresniederschlagshöhen (korrigiert) in Mecklenburg-Vorpommern, Bezug: hydrologisches Jahr (Reihe 1971-2000).

App. XV Average corrected summer-precipitation in the river basins of Mecklenburg-Western Pomerania; time-reference: hydrological year (time series 1971-2000).



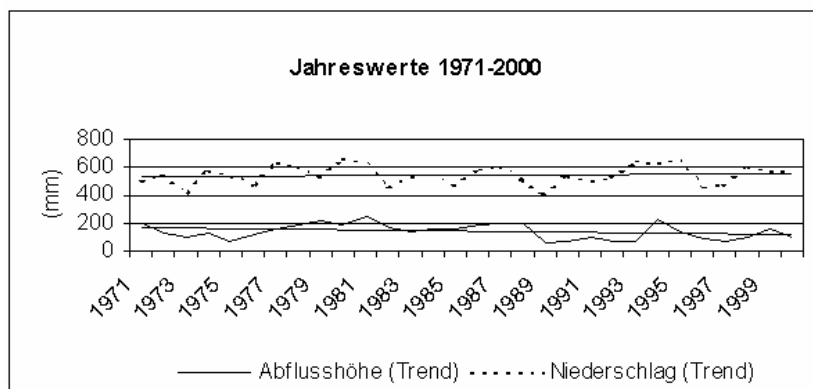
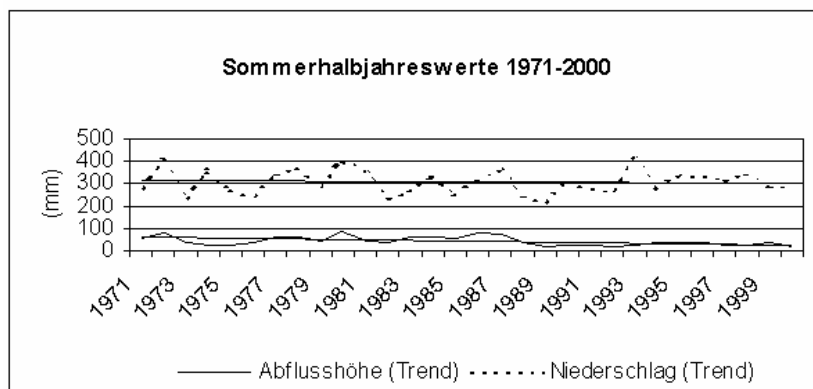
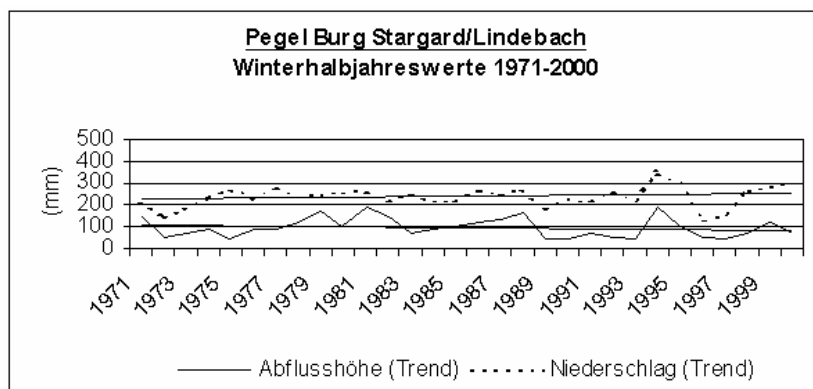
Anh. XVI Abflußhöhen und Gebietsniederschläge mit eingetragenen linearen Trend am Pegel Groß Görnow/Warnow für die Reihe 1971-2000.

App. XVI Runoff depth and areal precipitation at the river gauge Gross Goernow/Warnow, time series: 1971-2000.



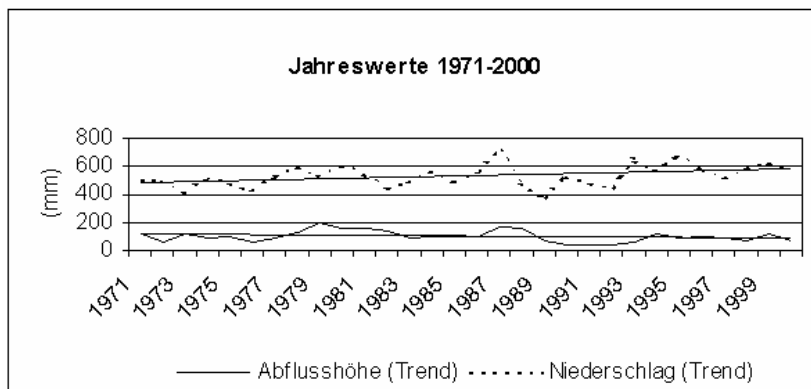
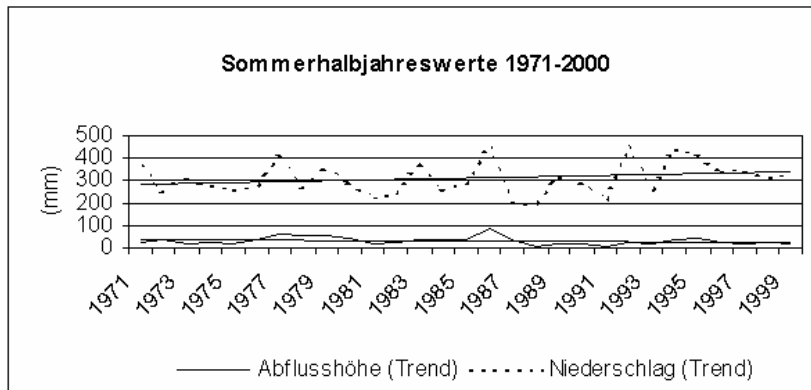
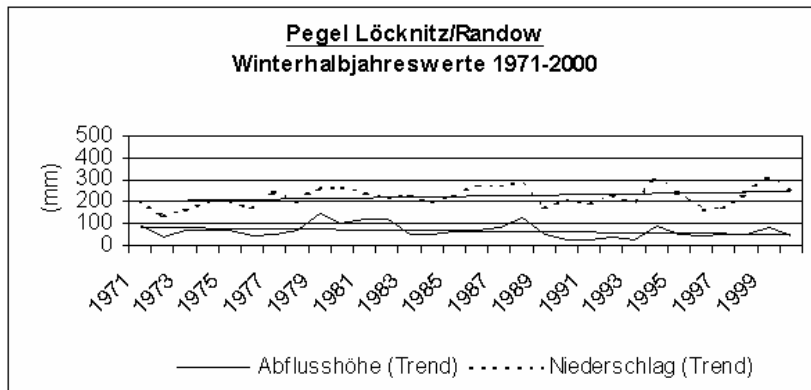
Anh. XVII Abflußhöhen und Gebietsniederschläge mit eingetragenem linearen Trend am Pegel Lodmannshagen/Mühlgraben für die Reihe 1971-2000.

App. XVII Runoff depth and areal precipitation at the river gauge Lodmannshagen/Muehlgraben, time series: 1971-2000.



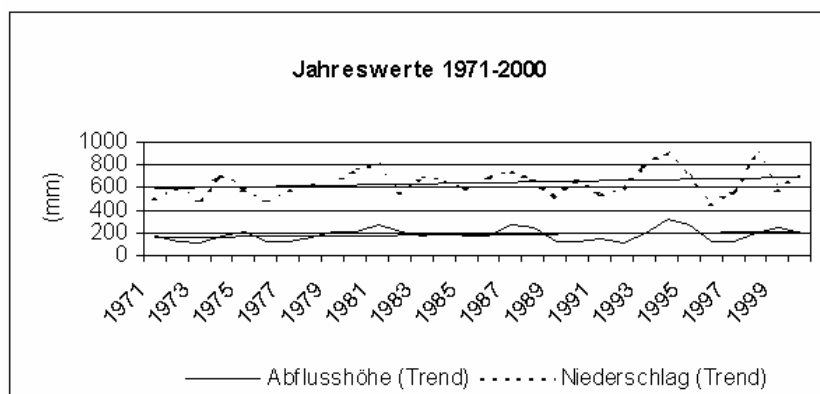
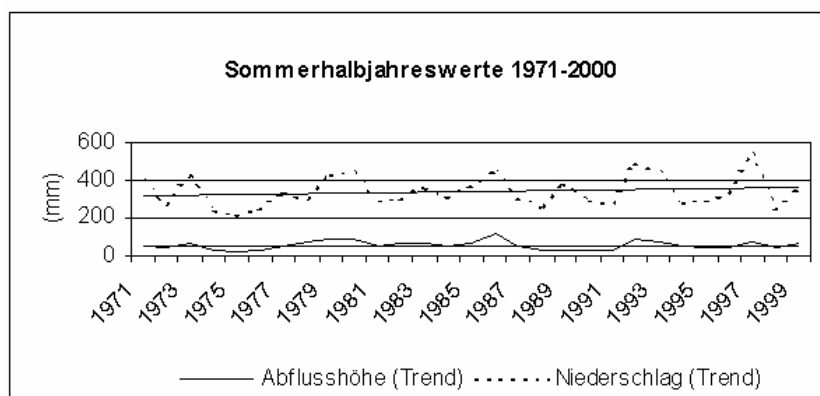
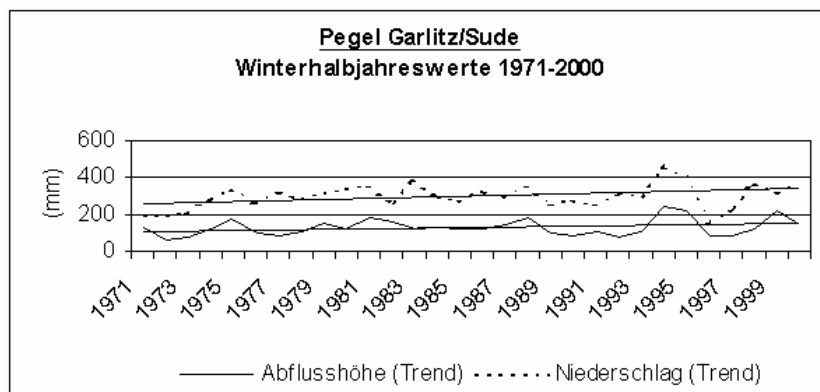
Anh. XVIII Abflußhöhen und Gebietsniederschläge mit eingetragenen linearen Trend am Pegel Burg Stargard/Lindebach für die Reihe 1971-2000.

App. XVIII Runoff depth and areal precipitation at the river gauge Burg Stargard/Lindebach, time series: 1971-2000.



Anh. XIX Abflußhöhen und Gebietsniederschläge mit eingetragenem linearen Trend am Pegel Löcknitz/Randow für die Reihe 1971-2000.

App. XIX Runoff depth and areal precipitation at the river gauge Loecknitz/Randow, time series: 1971-2000.



Anh. XX Abflußhöhen und Gebietsniederschläge mit eingetragennem linearen Trend am Pegel Garlitz/Sude für die Reihe 1971-2000.

App. XX Runoff depth and areal precipitation at the river gauge Garlitz/Sude, time series: 1971-2000.

Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung

Archives of Nature Conservation and Landscape Research

Herausgeber:

N. Kessel & M. Succow

Schriftleitung:

L. Jeschke

unter Mitarbeit von R. Fronczek, H. Joosten, M. Manthey, T. Timmermann & W. Wichtmann

Ernst Moritz Arndt Universität Greifswald,
Institut für Botanik, Landschaftsökologie und Botanischer Garten
Grimmer Str. 88, D-17487 Greifswald

Fachbeirat:

K. Billwitz Hude	K.-D. Jäger Berlin	P. Schmidt Tharandt
M. Broggi Birmensdorf (Schweiz)	P. Janiesch Oldenburg	R. Schmidt Eberswalde
R. Bürger-Arndt Göttingen	H.-D. Knapp Insel Vilm	W. Schmidt Göttingen
K. Dierßen Kiel	D. Kopp Tewswos	H. Sukopp Berlin
A. Grootjans Haren (Niederlande)	A. Kowalkowski Kielce (Polen)	H. Thomasius Tharandt
W. Haber Freising-Weihenstephan	V. Luthardt Eberswalde	K. Tobolski Poznan (Polen)
U. Hampicke Greifswald	J. Pfadenhauer Freising-Weihenstephan	U. Willerding Göttingen

Die Zeitschrift erscheint mit vier Heften pro Jahr (im Jahr 2003 waren es drei Hefte). Das Einzelheft ist zum Preis von 20 € (incl. Versand) zu beziehen. Ein Jahresabonnement kostet inklusive Versand 80 €. Bestellungen sind an die Schriftleitung bzw. direkt an den Verlag zu richten:

Verlag Dr. Kessel

Eifelweg 37, D-53424 Remagen-Oberwinter
nkessel@web.de, Tel.: 02228 - 493, Fax: 01212 - 512382426
www.ArchivNatur.de

ISSN 0003-9306

Hinweise für die Autoren

Das **Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung** publiziert Originalbeiträge sowie Reviews in deutscher oder englischer Sprache, die das ganze Spektrum der landschaftsbezogenen Naturschutzforschung und Landschaftsökologie umfassen. Eingeschlossen sind dabei ausdrücklich Themen, die sich mit der zeitlichen Dimension, bis hin zu ausgesprochen paläoökologischen Fragen, auseinandersetzen. Beiträge aus dem Bereich der Einzelwissenschaften wie Bodenkunde, Vegetationskunde, Hydrologie, Klimatologie und Geomorphologie sollten einen konkreten Raumbezug aufweisen. Beiträge, die über den mitteleuropäischen Raum hinausgehen sind erwünscht.

Manuskripte können bei der Redaktionsleitung in zwei Exemplaren eingereicht werden. Der Text muss 1½-zeilig mit breiten Rand für vorzunehmende Korrekturen vorliegen. Jedes Manuskript wird von zwei Gutachtern beurteilt.

Nach positiver Begutachtung ist der Artikel in Form einer DOC-Datei mit einem Ausdruck einzureichen. Der Text ist außer Überschriften und Absätze als durchlaufender Fließtext (ohne Abb., Tab.; keine Silbentrennung) anzufertigen. Generelle Formatierungshinweise sind unter **www.ArchivNatur.de** zu erhalten.

Abbildungen, Tabellen und Fotos werden mit arabischen Zahlen nummeriert und mit deutschen sowie englischen Untertiteln versehen. Sie sind dem Manuskript gesondert beizufügen. Im Text ist ihre korrekte Position anzugeben. Abbildungen nur in Form von TIF-Dateien, andere Formate nach Rücksprache mit dem Verlag.

Die Autoren erhalten je ein Exemplar des Heftes, in dem ihr Beitrag publiziert ist, kostenlos. Zudem wird der Beitrag als pdf-file zur Verfügung gestellt.

Manuskriptgestaltung:

1. Überschrift (kurz und prägnant; ohne Großschreibung).
2. Ausgeschriebene Vor- und Nachnamen der Autoren/innen.
3. Institution, Anschrift der Autoren/innen.
4. Kurze Zusammenfassung in Deutsch und Englisch (Abstract einschließlich Titel), unter Angabe von 4-6 Schlüsselwörter/Keywords in alphabetischer Folge.
5. Zitate im Text mit Autor (KAPITÄLCHEN) und Jahreszahl [z.B. KOPP (2003) bzw. SUCCOW et al. (2001)].
6. Wissenschaftliche Artnamen *kursiv* geschrieben.
7. Grafiken und Schaubilder nur in zweidimensionaler Darstellungsweise.
8. Literaturverzeichnis (Autoren in alphabetischer Folge, Arbeiten zeitlich geordnet) in folgender Anordnung: Autorennamen (KAPITÄLCHEN), Vornamen (abgekürzt), Erscheinungsjahr in (), dann: Titel. – Zeitschrift (ausgeschrieben), Bandnummer (**Fettdruck**): Seiten; bei Einzelbänden Erscheinungsort und Verlag in ().

Beispiele:

MANTHEY, M. (1998): Bodenerosion auf Ackerflächen im Stechlinsee-Gebiet. – Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung **37**: 149-166.

KOSKA, I., SUCCOW, M. & CLAUSNITZER, U. (2001): Vegetation als Komponente landschaftsökologischer Naturraumkennzeichnung. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Auflage: 112-128; Stuttgart (Schweizerbart).