



Berichte des Deutschen Wetterdienstes

201

**Das Langzeitverhalten von Niederschlag und Verdunstung und
dessen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt des
Stechlinseegebietes**

von
Dieter Richter



Zitationsvorschlag:

Richter, Dieter: Das Langzeitverhalten von Niederschlag und Verdunstung und dessen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt des Stechlinseegebietes. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1997.
(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 201)

ISSN der Onlineausgabe: 2194-5969

ISSN der Druckausgabe: 0072-4130

Nutzungsbedingungen



Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz

Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Herausgeber und Verlag: :

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Straße 135
D- 63067 Offenbach am Main

Internet: www.dwd.de

Mail: bibliothek@dwd.de

Deutscher Wetterdienst



Berichte des Deutschen Wetterdienstes

201

**Das Langzeitverhalten von Niederschlag und
Verdunstung und dessen Auswirkungen auf den
Wasserhaushalt des Stechlinseegebietes**

von
Dieter Richter

Zur Herstellung dieses Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

ISSN 0072-4130
ISBN 3-88148-333-0

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Deutschen Wetterdienstes in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Für den Inhalt sind die Autoren verantwortlich.

Herausgeber und Verlag:

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Str. 135
D-63067 Offenbach a.M.

Anschrift des Autors:

Dr. Dieter Richter
Deutscher Wetterdienst
GF Hydrometeorologie
HM2 Entwicklungen u. Anwendungen
Lindenberger Weg 24
13125 Berlin-Buch

Inhaltsverzeichnis

Seite

	Vorwort	5
	Zusammenfassung	7
1	Einleitung	9
2	Veranlassung	10
3	Meßprogramme	11
4	Ergebnisse der Niederschlagsuntersuchungen	14
4.1	Entwicklung des Niederschlagsmeßnetzes	14
4.2	Erläuterungen zum Datenmaterial	15
4.3	Korrektur und Darstellung der Niederschlagshöhen	15
4.4	Statistische Analyse des Niederschlagsverhaltens im Einzugsgebiet	20
4.5	Auswertung von Einzelereignissen	26
4.6	Langzeitverhalten der Niederschlagshöhe	29
5	Grund- und Seewasserstände	34
5.1	Hydrogeologische Bedingungen	34
5.2	Entwicklung der Meßprogramme	35
5.3	Räumliche Verteilung der Grund- und Seewasserstände	37
5.4	Zeitlicher Verlauf der Grund- und Seewasserstände	41
5.5	Vorratsänderung in Seen und Grundwasser	46
6	Ober- und Unterirdischer Abfluß	52
6.1	Oberirdischer Abfluß	52
6.2	Unterirdischer Abfluß	54
6.3	Gesamtabfluß	58
7	Verdunstungshöhe von der freien Wasseroberfläche	62
7.1	Beschreibung der Meßeinrichtungen	62
7.2	Methodische Grundlagen	64
7.3	Ergebnisse der Verdunstungsbestimmung	65
8	Verdunstungshöhe der bewaldeten Landflächen	74
8.1	Methodische Grundlagen	74
8.2	Ergebnisse der Verdunstungsberechnungen	76
9	Bodenwasservorratsänderung	82
10	Wasserhaushalt	84
10.1	Mittlere Wasserbilanz des Gesamtgebietes	85
10.2	Wasserbilanz des Stechlin- und Nehmitzsees	88
10.3	Wasserbilanz der Landflächen	93
10.4	Mittlere Jahregänge der Wasserhaushaltsgrößen	99
11	Langzeitliche Schwankungen im Wasserhaushalt	102
11.1	Anpassung mittels linearer Einfachregressionen	103
11.2	Anpassung mittels linearer Zweifachregressionen	111

11.3	Langzeitsimulationen	113
12	Schlußbemerkungen und Ausblick	117
	Danksagung	120
	Literaturverzeichnis	121

Vorwort

Wohl selten hat ein See mit seiner umgebenden Landschaft eine so gleichermaßen literarische wie wissenschaftliche Beachtung gefunden wie der Stechlinsee. Er gab den Titelnamen für Fontanes Roman "Der Stechlin", erschienen 1897/98 als Fortsetzungsserie in der Wochenzeitschrift "Über Land und Meer" und findet Eingang in Falladas Erzählung "Damals bei uns daheim", in der auch der in seiner unmittelbaren Nähe gelegene Ort Neuglobsow als "das Verlassendste, Einsamste, Schönste, was man sich denken konnte" beschrieben wird (ADW, 1974). Diese erhabene Schönheit der Natur und ihre erholsame Ruhe machten Ort und See schon in den 30er Jahren zu einem beliebten Ausflugsziel für Berlin, wozu Fontane sicherlich nicht unwesentlich beigetragen haben mag.

Einschneidende Veränderungen brachten einmal der zwischen Stechlin- und Nehmitzsee von 1960 bis 1965 erfolgte Bau des Kernkraftwerks Rheinsberg und zum anderen die zu diesem Zeitpunkt beginnende umfangreiche touristische Erschließung Neuglobsows durch den FDGB-Feriedienst der DDR mit sich. Ersterer war auch die Veranlassung für den Beginn einer umfangreichen wissenschaftlichen Tätigkeit. Beteiligt hieran waren und sind:

- ab 1957 das Hauptamt für Hydrologie des Meteorologischen und Hydrologischen Dienstes der DDR, später Forschungsinstitut für Hydrometeorologie Berlin, dann Zentralstelle für Hydrometeorologische Entwicklungen und Anwendungen und heute Geschäftsfeld Hydrometeorologie des DWD
- ab 1959 die Forschungsstelle für Limnologie Jena der Akademie der Wissenschaften, später Abteilung Limnologie des Zentralinstituts für Mikrobiologie und Experimentelle Therapie und heutige Abteilung Limnologie geschichteter Seen des Institutes für Gewässerökologie und Binnenfischerei im Forschungsverbund Berlin e.V.
- ab 1991 das Umweltbundesamt, Außenstelle Neuglobsow, nach Übernahme der Umweltaufgaben des Meteorologischen Dienstes der DDR

So ist der Stechlinsee heute ein gleichermaßen literarisch bekannter, touristisch beliebter und wissenschaftlich erforschter See, ohne daß er seine Anziehungskraft in dieser oder jener Hinsicht verloren hätte. Wissenschaft und Umweltschutz sollten alles tun, dieses Kleinod der Natur zu erhalten und dem interessierten Besucher in seiner ganzen Vielfalt zu erschließen. Als ein Beitrag hierzu soll auch die vorliegende Arbeit verstanden werden, in der die diffizilen Prozesse des Wasserhaushaltes im Stechlinseegebiet in ihren Zusammenhängen und Wechselwirkungen dargestellt sind, um hierdurch zum Verständnis der Natur und ihres ökologischen Gleichgewichtes beizutragen.

Zusammenfassung

Seit 1975 werden im Einzugsgebiet des Stechlin- und Nehmitzsees umfangreiche Wasserhaushaltsuntersuchungen durchgeführt. Die auf der Grundlage eines dichten Netzes von Niederschlags-Grundwasser- und Seewasserstandsmeßstellen über 38 Jahre gesammelten Meßdaten bildeten eine umfassende Grundlage für eine detaillierte Auswertung des räumlichen und langzeitlichen Verhaltens der einzelnen Wasserhaushaltskomponenten. Im wesentlichen erstreckten sich die Untersuchungen auf folgende Schwerpunkte:

- Bestimmung und Analyse des langzeitlichen Verhaltens der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen
- Aufstellung kurz- und langzeitlicher Wasserbilanzen
- Nachweis von Zusammenhängen zwischen den zeitlich variierenden Niederschlags- und Verdunstungshöhen und den daraus resultierenden Grund- und Seewasserstandsschwankungen

Die Ergebnisse, dargestellt in 43 Bildern und 21 Tabellen, zeigen die vielfältigen Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen den Wasserhaushaltsgrößen des Einzugsgebietes. Möglichkeiten zur Nutzung der Ergebnisse für Langzeitsimulationen werden erläutert.

Abstract

Water balance investigations of the Lake Stechlin and Lake Nehmitz catchment area are carried out since 1957. Based on a dense network of measuring-points for precipitation, ground-water and lake-water levels many data are collected over 38 years fit for detailed studies on the water balance components and their long-term behaviour. The most important topics of the investigations are:

- determination and analysis of the long-term behaviour of the water balance components
- derivation of short- and long-term water balances
- demonstration of connections between the temporal fluctuation of precipitation and evaporation amounts and the therefrom resulting ground-water and lake-water level variations

The results demonstrate the different connections and interactions between the water balance components in the catchment area presented in 43 pictures and 21 tables. The use of the results for long-term calculations is discussed.

Das Langzeitverhalten von Niederschlag und Verdunstung und dessen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt des Stechlinseegebietes

1. Einleitung

Seit 1957 werden im Einzugsgebiet des Stechlin- und Nehmitzsees meteorologische Beobachtungen und umfangreiche Messungen aller Wasserhaushaltsgrößen durchgeführt. Eine eingehende Beschreibung der physisch-geographischen Verhältnisse sowie der von Beginn an laufenden Meßprogramme ist bei HEITMANN u. a. (1969) in einer ersten Auswertung des Wärme- und Wasserhaushaltes des Stechlin- und Nehmitzsees nachzulesen. Hiernach gehört das Gebiet naturräumlich zur Mecklenburger Seenplatte und ist hinsichtlich seiner Entwässerung dem Einzugsgebiet der Oberen Havel zuzuordnen.

Die Entstehung des Gebietes in seiner heutigen Form geht auf die letzte große norddeutsche Inlandvereisung, der Weichseleiszeit zurück. Beim Rückzug des Eises kam es zur Ausbildung von Rinnen- und Platteneis, das durch die abschließende Stillstandsphase, der sog. Fürstenberger Staffel, nochmals überschüttet wurde, so daß das endgültige Abschmelzen des Eises erst an der Wende vom Spät- zum Postglazial um 12000 v. d. Z. erfolgte. Was blieb, war ein morphologisch sehr vielfältig gestaltetes Gelände mit zahlreichen größeren und kleineren Seen, Mooren und auch Hohlformen ohne Wasser mit weitgehend fehlendem oberirdischen Abfluß, also Binnenentwässerungsgebiete (SCHUMANN, 1968).

Die Anbindung des Gebietes an die Havel erfolgte in der Zeit von 1745 bis 1750 durch den Ausbau des Polzow-Kanals von den Wentow-Seen über den Polzow-Fließ und Roofenbach bis zum Roofensee und von dort aus einigen Toteishohlformen folgend über den Teufelssee, Nehmitzsee, Gerlinsee und Kleinen Stechlinsee bis zum Großen Stechlinsee. Der Zweck dieses Kanalbaus bestand in der Schaffung einer Wasserverbindung nach Berlin, um hier den Waldbestand der Menzer Heide als Brenn- und Bauholz nutzen zu können. Nach der Abholzung des Waldes wurde die Holzflößerei bereits 1786 wieder eingestellt und der Kanal verlandete. Als Folge des Kanalbaus blieb eine mittlere Absenkung des Stechlinsee-Wasserspiegels um rund 1,1 m.

Ein erneuter Ausbau des Kanals zwischen Stechlin- und Nehmitzsee erfolgte 1959/60 im Zusammenhang mit der Errichtung des KKW Rheinsberg. Dadurch kam es zu einer weiteren durchschnittlichen Absenkung des Stechlinsee-Wasserspiegels um rund 0,2 m und zu einer Trockenlegung des Kleinen Stechlinsees, von dem heute nur noch Teile als anmooriges Gebiet bestehen. Gleichzeitig mit dem Kanalausbau erfolgte am Ausfluß des Polzow-Kanals an der südöstlichen Bucht des Nehmitzsee-Nordbeckens in Richtung Teufelssee die Einrichtung einer Abflußmeßrinne und eines Zugwehres zur Wasserstandsregulierung, im weiteren kurz als Regelbauwerk bezeichnet.

Eine Übersicht zum Einzugsgebiet des Stechlin- und Nehmitzsees vermittelt Bild 1. Das grün umrandete Gebiet ist als sogenanntes scheinbares oberirdisches Einzugsgebiet zu bezeichnen und umfaßt die in der Hauptneigung des Geländes zum Stechlin- und Nehmitzsee gerichtete Fläche einschließlich einiger Hohlformen, die oberflächlich kleine selbständige Binnenentwässerungsgebiete darstellen. Diese Fläche ist weder mit dem tatsächlichen oberirdischen Einzugsgebiet, noch mit dem durch die rote Umrandung gekennzeichneten unterirdischen Einzugsgebiet identisch. Einzelheiten

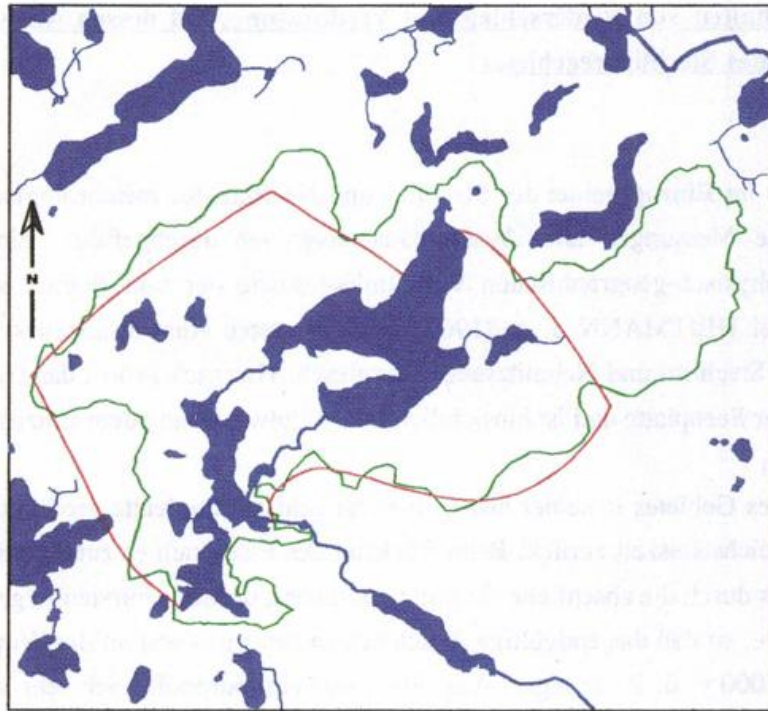


Bild 1: Stechlin- und Nehmitzseegebiet
 — o — scheinbares oberirdisches Einzugsgebiet
 — — — unterirdisches Einzugsgebiet

hierzu finden sich auch in der bereits genannten Arbeit von HEITMANN u. a.. Ebenso wird hierauf im Zusammenhang mit der Erläuterung der Grundwasserstände im Gebiet (Kapitel 5.1) noch näher eingegangen.

2. Veranlassung

Das Interesse einer detaillierten, auf den Wärme- und Wasserhaushalt ausgerichteten Untersuchung des Stechlinseegebietes entstand mit der Projektierung und dem Bau des KKW Rheinsberg und der in diesem Zusammenhang vorgesehenen Nutzung des Stechlin- und Nehmitzsees als natürlichen Kühlkreislauf. So wurde auf der Grundlage eines Vertrages zwischen dem Amt für Kernforschung und Kerntechnik und dem Meteorologischen und Hydrologischen Dienst der DDR im Juni 1957 mit der Einrichtung der Hydrometeorologischen Hauptstation Neuglobsow/Großer Stechlinsee und dem Aufbau eines umfangreichen meteorologisch-hydrologischen Meßprogrammes begonnen. Im Vordergrund der in den ersten Jahren durchgeführten Untersuchungen stand neben der Erfassung der lokalen klimatischen Bedingungen und ihrer großräumigen regionalen Einordnung vor allen Dingen die detaillierte Erfassung aller am Wärme- und Wasserhaushalt des Stechlinsees und seines Einzugsgebietes beteiligten Größen. In diesem Zusammenhang war hauptsächlich die Frage zu beantworten, ob beim Betrieb des vorgesehenen Kernkraftwerkes der Wasserhaushalt dieses Gebietes die dann zu erwartenden zusätzlichen Verdunstungsverluste des thermisch belasteten Stechlinsees verkraftet oder zusätzliches Wasser aus dem Einzugsgebiet der ca. 3 km nördlich vorbeifließenden Havel durch den Bau eines Überpumpwerkes bereitgestellt werden muß. Auch die Möglichkeit der Gewinnung von

Zuschußwasser aus einem Grundwasserleiter außerhalb des Gebietes wurde in Erwägung gezogen. Auf der Grundlage einer eingehenden wissenschaftlichen Analyse der gewonnenen Meßdaten konnte auf diese Baumaßnahmen verzichtet werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden dem Amt für Kernforschung und Kerntechnik sowie dem VEB Energieprojektierung Berlin bis einschließlich 1964 in insgesamt 6 Halbjahresgutachten und 4 Jahresgutachten durch das Hauptamt für Hydrologie, später Forschungsinstitut für Hydrometeorologie, übergeben (HfH, 1958/65). Sie dienten auch dem Amt für Wasserwirtschaft, Wasserwirtschaftsdirektion Havel, Abteilung I in Potsdam als Hauptauftragnehmer zur diesbezüglichen Entscheidungsfindung.

Zusätzliche Bedeutung erfuhren die Untersuchungen durch ein bereits 1961 konzipiertes und ein Jahr später begonnenes Forschungsvorhaben zur Untersuchung des Wasser- und Wärmehaushaltes von natürlichen Seen am Beispiel des Stechlin- und Nehmitzsees. Es brachte eine nochmalige Erweiterung und Verdichtung der Meßprogramme mit sich und führte darauf aufbauend in der Folgezeit zu einer Vielzahl wissenschaftlicher Leistungen zu den hydrometeorologischen Grundproblemen des Zusammenwirkens von Niederschlag und Verdunstung mit den weiteren Prozessen des Wärme- und Wasserhaushaltes. Diese Arbeiten sind in der Literaturübersicht des vorliegenden Berichtes vollständig enthalten, auch wenn hierauf im einzelnen nicht immer direkt Bezug genommen wird. Dabei wurden auch einige nicht publizierte Ergebnisberichte über die wichtigsten Forschungsleistungen mit aufgeführt.

Nach nunmehr 38jähriger ununterbrochener Meß- und Beobachtungstätigkeit, in deren Verlauf die vielfach zur Lösung spezieller Teilprobleme sehr aufwendigen Meßprogramme auf ein im Monatsrhythmus betriebenes Überwachungsprogramm reduziert wurden, erscheint es angemessen, das umfangreiche Datenmaterial einer zusammenfassenden Analyse zu unterziehen. Dabei ist zwangsläufig die Betrachtung des Langzeitverhaltens im Zusammenwirken der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen in den Vordergrund zu stellen, zumal hierüber eine so langzeitliche und lückenlose Meßreihe nur sehr selten anzutreffen ist. Die Grundlage hierfür bildet eine detaillierte Untersuchung und Bilanzierung aller am Wasserhaushalt beteiligten Größen.

3. Meßprogramme

Die nachfolgende Beschreibung der Meßprogramme soll einen ersten zusammenfassenden Eindruck von dem Umfang und der Vielfalt der durchgeführten Untersuchungen liefern. Detaillierte Angaben zur räumlichen Verteilung und zum zeitlichen Verlauf der Messungen erfolgen jeweils bei der Behandlung der einzelnen Wasserhaushaltskomponenten und im Rahmen der Ausführungen zur Gesamtwasserbilanz des Stechlin- und Nehmitzseegebietes. Eine Übersicht zu den nachfolgenden Ausführungen liefert Bild 2.

Die klimatologischen Beobachtungen wurden mit Beginn des hydrologischen Jahres 1958 am 1. November 1957 aufgenommen und liegen seither in vollständiger und geprüfter Form vor. Sie bilden die Grundlage für die Entwicklung der erforderlichen Methoden zur rechnerischen Bestimmung und Ergänzung einzelner Größen des Wärme- und Wasserhaushaltes und sind gleichzeitig notwendige Hintergrundinformationen für das Verständnis und die Interpretation der ablaufenden Wasserhaushaltsprozesse. Besonders wichtig ist in dieser Hinsicht die Messung der Niederschlagshöhe, die zu-

nächst nur an der Station und ab 1965 auch mit einem dichten Meßnetz an weiteren 12 Meßstellen im und um das Einzugsgebiet herum erfolgte.

Ebenso von Anfang an gehörten die Messungen der Grund- und Seewasserstände sowie des Abflusses aus dem Stechlin- und Nehmitzsee zum Standardprogramm. Bereits vor Einrichtung der Station erfolgten im Frühjahr 1957 auf dem Baugelände des künftigen Kernkraftwerkes und um den Stechlinsee herum umfangreiche Grundwasserbohrungen und die Abteufung von Grundwasserrohren, die bis Ende 1958 zu einem vollständigen Meßnetz im Gebiet führten, welches bis 1966 noch um einige Rohre ergänzt wurde. Zeitweilig befanden sich 49 Grundwasserrohre und 2 Wirtschaftsbrunnen in Betrieb, von denen im Laufe der Zeit einige durch Versandung und mutwillige Beschädigung ausfielen. Gegenwärtig können noch 39 Rohre ständig bemessen werden.

Die Wasserstandsbeobachtungen erfolgten zunächst nur am Stechlin-, Nehmitz- und Dagowsee. Das Meßprogramm wurde im April 1960 um den Peetsch- und Großen Glietzensee und ab Mai 1965 nochmals um 9 Seen im und außerhalb des Einzugsgebietes erweitert und ist bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt vollständig erhalten geblieben.

Abflußmessungen fanden unter den anfänglich bestehenden natürlichen Bedingungen sowohl am Auslauf des Stechlinsees als auch des Nehmitzsees statt; nach dem Ausbau des Polzow-Kanals zwischen beiden Seen und der Einrichtung des Regelbauwerks nur noch am Auslauf des Nehmitzsees. Erste Messungen zur Bestimmung der Verdunstungshöhe von der freien Wasseroberfläche begannen 1958 auf dem Stechlinsee mit einem quadratischen Floß und drei zentrisch angeordneten Verdunstungskesseln. Ab 1962 erfolgte die zusätzliche Einrichtung eines Dreieckfloßes, das bis zum heutigen Tage jeweils in der eisfreien Zeit in Betrieb ist. Die Messungen mit dem quadratischen Floß wurden nach 3jährigen Parallelmessungen im Herbst 1965 eingestellt.

Im Hinblick auf die nach der Inbetriebnahme des Kernkraftwerkes zu erwartenden Veränderungen im Wärmehaushalt des Stechlinsees wurden bereits ab Sommer 1957 regelmäßige Messungen der Wassertemperatur des Stechlinsees und ein Jahr später auch des Nehmitzsees jeweils von der Oberfläche bis zum Grund im Abstand von 2 zu 2 Metern durchgeführt. Sie bildeten zusammen mit mehreren Neuvermessungen beider Seen, die sowohl mit Echolot als auch mit Peilgewicht im Winter vom Eis aus erfolgten, und der daraus bestimmten Beckeninhaltskurven die Grundlage zur genauen Ermittlung des Wärmehaushaltes beider Gewässer. Mit zu diesem Wärmehaushaltsprogramm, dessen Ergebnisse auch zur Verifikation der Verdunstungsmessungen dienen, gehören die 1961 aufgenommenen regelmäßigen Beobachtungen der Eisbedeckung auf beiden Seen, deren Entwicklung von der ersten Eisbildung bis zur Eisauflösung anhand regelmäßig gezeichneter Eisbedeckungskarten dokumentiert ist. Auch diese Programme blieben, abgesehen von Änderungen im Meßzyklus, über den gesamten Zeitraum erhalten.

Als weitere unmittelbar im Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt in Verbindung zu sehende Messungen sind u. a. die ständige Erfassung der Sichttiefen in den Seen und die in den ersten Jahren erfolgten chemischen Analysen des See- und Grundwassers zu nennen. Außerdem gehören hierzu die Durchführung von Niederschlags- und Verdunstungsvergleichsmessungen mit unterschiedlichen Meßgeräten auf dem Meßfeld der Station, ein ständig erweitertes Umwelt-Überwachungsprogramm und mehrere detaillierte Wassertemperatur-Meßprogramme zur Bestimmung der veränderten Bedin-

gungen beim Betrieb des Kernkraftwerkes (RICHTER u. a., 1979). Letztlich soll auch die von 1980 bis 1995 routinemäßig auf dem Stechlinsee betriebene Strahlungsbilanzanlage Erwähnung finden. Ungenannt müssen eine Vielzahl kleinerer Untersuchungen bleiben, die jeweils nur auf ein spezielles Teilproblem ausgerichtet waren und nur über einen relativ kurzen Zeitraum durchgeführt wurden. Hinweise auf Ergebnisse finden sich in der beigefügten Literaturzusammenstellung wieder.

4. Ergebnisse der Niederschlagsuntersuchungen

Die bestimmende Größe im Wasserhaushalt ist die Niederschlagshöhe in ihrer räumlichen und zeitlichen Verteilung. Alle weiteren Prozesse des Wasserhaushaltes in einem Einzugsgebiet werden hiervon in einem mehr oder weniger starken Maße beeinflusst. Eine detaillierte Analyse des Niederschlagsverhaltens ist somit als primäre Voraussetzung einer umfassenden Wasserhaushaltuntersuchung anzusehen. Um dieser Anforderung gerecht zu werden, erfolgte bei der Bearbeitung der Niederschlagsmessungen aus dem Stechlinseegebiet neben der Darstellung und Interpretation der Meßergebnisse auch eine vergleichende Einbindung in die Niederschlagsverteilung der umgebenden Niederschlagsstationen. Aus diesem Vergleich ergaben sich die Grundlagen zur Ableitung einer bis zum Beginn dieses Jahrhunderts zurückreichenden Niederschlagsreihe für Neuglobsow und somit die Voraussetzungen für entsprechende Langzeit-Wasserhaushaltsberechnungen. Letztlich wurden durch die Anbringung von Korrekturen zur Beseitigung des systematischen Niederschlagsmeßfehlers auch eine quantitativ exakte Bestimmung des verfügbaren Niederschlagsdargebotes gesichert.

4.1 Entwicklung des Niederschlagsmeßnetzes

Die standardmäßige Erfassung der Niederschlagshöhe beginnt mit der Aufnahme des klimatologischen Meßprogrammes an der Station Neuglobsow im Oktober 1957. Aus den darauf aufbauenden ersten Untersuchungen des Wasserhaushaltes erschien es zweckmäßig, zur besseren Bestimmung des Gebietsniederschlags und zur Behandlung einiger spezieller Probleme des Grund- und Seewasserstandsverhaltens ein dichtes Netz von Niederschlagsmeßstellen aufzubauen. Dies erfolgte im Frühjahr 1965, wobei die Verteilung der Meßstellen für tägliche Niederschlagsmessungen an das Vorhandensein von Ansiedlungen gebunden war. So fanden sich mit Ausnahme von Dagow nur Orte außerhalb des Untersuchungsgebietes, allerdings mit nur geringen Entfernungen zur Einzugsgebietsgrenze, und zwar Altglobow, Neuroofen, Menz-Altroofen, Beerenbusch, Pelzkuhl, Groß Menow und Schönhorn, vier davon Förstereien. Ergänzend hierzu erfolgte noch innerhalb des Einzugsgebietes die Aufstellung von drei Totalisatoren auf der Breutzenwiese westlich des gleichnamigen Sees, in der Pelzräume nördlich des Stechlinsees und in unmittelbarer Nähe der Tradenwiesen am östlichen Rand des Peetschsees mit jeweils halbmonatiger Ablesung. Die Messungen wurden im Mai 1965 aufgenommen und zu Vergleichszwecken ab November 1965 noch um einen Totalisator an der Station Neuglobsow ergänzt. Wegen Ausfall der Beobachter mußten auch die Stationen Neuroofen (November 1974), Altglobow (März 1975) und Groß Menow (September 1978) auf Totalisatorbetrieb umgestellt werden. Eine weitere Totalisatormeßstelle befand sich ab Mai 1968 auf der Halbinsel des Stechlinsees, die ab Juli 1984 nach zunächst 23 Monaten Parallelmessung auf dem Baugelände des KKW

weitergeführt wurde.

Ab September 1990 erfolgte die Einstellung aller Totalisatormessungen und ab 1993 die der Niederschlagsstationen Menz und Schönhorn, jeweils aus personellen Gründen. Neue Beobachter konnten ab 1994 in Steinhavelmühle und Altglobosow gewonnen werden. Eine zusammenfassende Übersicht des Meßbetriebes enthält Tabelle 1, während die Lage der Meßstellen aus Bild 2 ersichtlich ist. Sie zeigt eine annähernd gleichmäßig dichte Verteilung der Niederschlagsmeßstellen im und um das Einzugsgebiet, womit auch gute Voraussetzungen für eine detaillierte Untersuchung des Gebietsverhaltens der Niederschlagshöhe gegeben sind.

4.2 Erläuterungen zum Datenmaterial

Die Grundlagen zur Untersuchung der Niederschlagsverteilung im Einzugsgebiet bilden die 25jährigen Meßreihen des Zeitraumes 1966/90. Während die Messungen mit dem Hellmann von vornherein von allen Stationen in vollständiger und geprüfter Form vorlagen, waren bei den Totalisatormessungen einige Korrekturen und Ergänzungen erforderlich. Hierzu gehörten neben offensichtlichen Fehlmessungen bei der unter schwierigen Feldbedingungen nicht immer sicher zu handhabenden Wägemethode auch Ergänzungen der gelegentlich durch Fremde vorgenommenen mutwilligen Entleerungen des Totalisatorinhaltes. Diese Ergänzungen erfolgten aus dem Vergleich mit den nächstgelegenen Stationen einheitlich nach den ebenfalls in Tabelle 1 angegebenen Prinzipien. Dies gilt auch für die von September bis Dezember 1990 fehlenden Daten zur Vervollständigung der 25jährigen Meßreihe. Insgesamt beträgt der Anteil ergänzter Daten rund 5 %, womit keine daraus resultierenden schwerwiegenden Verfälschungen der Meßreihen zu erwarten sind.

Eine weitere Prüfung der Daten diene zur Beantwortung der Frage, ob bei den Niederschlagshöhen meßmethodisch bedingte Unterschiede zwischen den Hellmann- und Totalisatorwerten bestehen. Aus getrennt berechnetem Gebietsmittel der Niederschlagshöhe ergibt sich bei einem mittleren Unterschied von 0,8 % und einer Streuung der Einzeljahre von 2,3 % keine signifikante systematische Differenz. Auch ein Test der aus Hellmann- und Totalisatormessungen zusammengesetzten Stationsreihen mittels Doppelsummenanalyse zeigt im Vergleich zur Basisstation Neuglobsow keine Inhomogenitäten. Damit können die für 25 Jahre und von 13 Stationen bzw. Meßstellen vorliegenden monatlichen Niederschlagshöhen als ein in sich einheitlicher und untereinander uneingeschränkt vergleichbarer Datensatz behandelt werden.

4.3 Korrektur und Darstellung der Niederschlagshöhen

Bei allen standardmäßig durchgeführten Niederschlagsmessungen treten hauptsächlich durch Benetzung, Verdunstung und Windeinfluß systematische Meßfehler auf. Diese sind durch entsprechende Korrekturen zu beseitigen, wenn für Wasserhaushaltsuntersuchungen eine quantitativ richtige Bewertung des Niederschlagsdargebotes gewährleistet werden soll. Die methodischen Grundlagen hierfür liegen ebenso vor (RICHTER, 1995), wie die aus den meteorologischen Beobachtungen zu entnehmenden Informationen zur Niederschlagshöhe und Niederschlagsart sowie die in Tabelle 2 für die Stationen des Stechlinseegebietes genannten Einschätzungen der Windexposition. Die für die Hellmann-Niederschlagsmesser gewonnenen Ergebnisse ließen sich dabei gut für die Totalisatormes-

Tabelle 1: Dokumentation der Niederschlagsmeßstellen im Stechlinseegebiet

Meßstelle	Symbol	Hellmann von bis	Totalisator von bis	Bemerkungen
Neuglobsow	Ng	11/57	11/65 08/90	
Dagow	Da	05/65	-	
Menz-Altroofen	Mz	05/65	-	
Beerenbusch	Be	05/65	12/92	Unterbrechung 07/92 - 10/93
Schönhorn	Sh	05/65	-	Sammelmessungen 01 - 07/90
Pelzkuhl	Pe	05/65	-	
Groß Menow	Gm	05/65	09/78 08/90	
Neuroofen	Nr	05/65	11/74 08/90	
Altglobsow	Ag	05/65	03/75 08/90	Neuaufnahme Hellmann 01/94
Steinhavelmühle	St	01/94	-	
Halbinsel/	Hb	-	05/68 05/86	
Baugelände KKW		-	07/84 08/90	
Breutzenwiese	Br	-	05/65 08/90	
Pelzräume	Pr	-	05/65 08/90	
Peetschsee	Pe	-	05/65 08/90	

Ergänzung von Totalisatorausfällen

Ausfall	Ergänzung mit Hellmann (H)
Halbinsel/KKW Baugelände	(2xH(Neuglobsow) + H(Beerenbusch)) / 3
Breutzenwiese	(H(Neuglobsow) + H(Beerenbusch)) / 2
Pelzräume	(H(Pelzkuhl) + H(Schönhorn)) / 2
Groß Menow	0,96 H(Schönhorn)
Peetschsee	(H(Dagow) + H(Schönhorn)) / 2
Neuroofen	(H(Dagow) + H(Menz)) / 2
Altglobsow	0,98 T(Neuroofen)

H = Hellmann, T = Totalisator

Tabelle 2: Gemessene und korrigierte mittlere Jahressummen der Niederschlagshöhe (N in mm),
1966/90

Δ - Abweichung vom Mittel aller Stationen (in mm), Korr - Korrekturbetrag (in %)

Station	Lage	N (gem)	N (korr)	ΔN (gem)	ΔN (korr)	Korr (%)
Neuglobsow	mäßig geschützt	595,2	665,4	0,0	+6,6	11,8
Dagow	stark geschützt	613,9	670,1	+18,7	+11,3	9,2
Menz-Altroofen	stark geschützt	606,6	663,6	+11,4	+4,8	9,4
Beerenbusch	stark geschützt	592,9	647,8	-2,3	-11,0	9,3
Schönhorn	leicht geschützt	593,1	678,6	-2,1	+19,8	14,4
Pelzkuhl	stark geschützt	592,3	647,0	-2,9	-11,8	9,2
Groß Menow	leicht geschützt	570,7	653,2	-24,5	-5,6	14,5
Neuroofen	stark geschützt	600,8	656,7	+5,6	-2,1	9,3
Altglobsow	mäßig geschützt	587,8	657,8	-7,4	-1,0	11,9
*Halbinsel/KKW	stark geschützt	600,1	660,9	+4,9	+2,1	10,1
Breutzenwiese	mäßig geschützt	577,9	646,5	-17,3	-12,3	11,9
Pelzräume	stark geschützt	598,0	653,2	+2,8	-5,6	9,2
Peetschsee	stark geschützt	608,0	664,1	+12,8	+5,3	9,2
Mittel/Streuung		595,2	658,8	$\sigma=11,8$	$\sigma=9,6$	10,7

* ab 1984 Baugelände des KKW: leicht geschützt

sungen nutzen.

Nach der Korrekturmethode ergibt sich

$$N_{\text{korr}} = N_{\text{gemessen}} + \Delta N \quad (1)$$

mit $\Delta N = bN^\epsilon$,

wobei b und ϵ Parameter sind, die in Abhängigkeit von der Stationslage und der Niederschlagsart aus langjährigen Vergleichsmessungen bestimmt wurden.

Die Ergebnisse der Niederschlagskorrektur enthält Tabelle 2, in der von allen Stationen die gemessenen und korrigierten mittleren Jahressummen zusammengestellt sind. Weiterhin sind die jeweiligen Abweichungen vom Gebietsmittelwert und die korrekturbedingten prozentualen Niederschlagsserhöhungen mit angegeben. Letztere liegen entsprechend der Stationslagen zwischen 9,2 und 14,5 %. Es zeigt sich, daß durch das Anbringen der Korrektur die Unterschiede in der Niederschlagshöhe zwischen den einzelnen Stationen insgesamt abnehmen, wobei besonders die lagebedingten stärkeren Abweichungen von Groß Menow, Dagow und der Breutzenwiese erheblich kleiner werden. Des weiteren verringert sich die Streuung der einzelnen Niederschlagshöhen um das Mittel aller Stationen von 11,8 auf 9,6 mm.

Grundsätzlich ist zu Tabelle 2 noch anzumerken, daß in dieser Tabelle, wie auch in allen nachfolgenden, die Niederschlagshöhen und ebenso alle weiteren Größen des Wasserhaushaltes in der Regel auf Zehntelmillimeter Genauigkeit angegeben sind. Dies erwies sich als zweckmäßig, um insbesondere bei den Bilanzierungen rundungsbedingte Ergebnisunterschiede zu vermeiden und ist keinesfalls als tatsächlich erzielbare Genauigkeit bei der Bestimmung der einzelnen Wasserhaushaltskomponenten zu bewerten.

Darstellungen der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen im Stechlinseegebiet und ihre Zuordnung zur regionalen Verteilung in der weiteren Umgebung enthalten die Bilder 3 und 4. Sie zeigen eine sich über das Stechlinseegebiet von Südwesten nach Nord-Nordosten hin erstreckende Zone mit höheren Niederschlägen, aus der sich noch ein schmaler Streifen mit Jahressummen > 650 mm hervorhebt. Sowohl westlich als auch südöstlich hiervon werden dagegen deutlich geringere Niederschlagshöhen gemessen. Hierbei scheint es sich in den Grundzügen um eine in diesem Bereich regelmäßig auftretende Niederschlagsverteilung zu handeln, zumal auch entsprechende kartenmäßige Darstellungen der Normalwerte 1951/80 bzw. 1961/90 analoge Verhältnisse ergeben. Ob und in welchem Ausmaße hierfür orographisch bedingte Effekte in der Randlage der Mecklenburger Seenplatte eine Rolle spielen, ist definitiv nicht zu beurteilen. Einflüsse dieser Art sind aber denkbar, da auch schon die älteren und auf einer geringeren Netzdichte beruhenden Meßergebnisse des Zeitraumes 1891/1930, dargestellt im Klimaatlas der DDR (MHD, 1953), ein zumindest ähnliches Verhalten aufweisen. Damit besitzen die für das Stechlinseegebiet vorliegenden Ergebnisse auch in Hinblick auf Langzeitbetrachtungen eine relativ hohe Aussagekraft.

4.4 Statistische Analyse des Niederschlagsverhaltens im Einzugsgebiet

Ausgehend von der zentral gelegenen Station Neuglobsow befinden sich alle Niederschlagsmeßstellen im Umkreis von 6,5 km. Das ergibt eine Netzdichte von einer Station auf rund 10 km². Im Vergleich dazu befindet sich in der näheren und weiteren Umgebung jeweils nur eine nebenamtliche Niederschlagsstation auf 125 km², und auch das gesamte Meßnetz des Deutschen Wetterdienstes ist mit ca. 4300 Stationen und somit jeweils einer Station auf rund 83 km² wesentlich weitmaschiger. Mit den 13 Stationen des Stechlinseegebietes bestand somit über 25 Jahre in einem orographisch gering gegliederten Gelände ein außergewöhnlich dichtes Niederschlagsmeßnetz auf einer Fläche, die sonst nur von ein bis zwei Stationen repräsentiert wird. Diese Voraussetzungen bieten sich zwangsläufig dafür an, das Gebietsverhalten des Niederschlages einmal in wesentlich kleinräumigeren Details zu untersuchen, als dies sonst möglich ist. Hieran knüpfen sich beispielsweise Fragen, in welcher Größenordnung und in welchem Zeitscale unterschiedliche Niederschlagshöhen auf so engem Raum auftreten, womit letztlich auch Aussagen zur Repräsentanz einer Niederschlagsmeßstelle bei normaler Netzdichte getroffen werden.

Als Grundlage der Untersuchungen dienten die Monats- und Jahressummen der Niederschlagshöhe. Um eine durchgehend einheitliche statistische Auswertung zu gewährleisten, wurde auch die erst im Sommer 1968 beginnende Meßreihe auf der Halbinsel nach dem in Tabelle 1 angegebenen Prinzip anhand von Neuglobsow und Beerenbusch vervollständigt. Überprüfungen ergaben, daß hieraus keine signifikanten Auswirkungen auf die in Tabelle 3 zusammengefaßten statistischen Ergebnisse erwachsen. Zur Erläuterung des Tabelleninhalts sind folgende Anmerkungen zu treffen:

Neben den als arithmetisches Gebietsmittel der 13 Stationen berechneten Jahressummen werden auch die Niederschlagshöhen der Sommer- und Winterhalbjahre angegeben. Dies sind für die Sommerhalbjahre die Monate April bis September und für die Winterhalbjahre jeweils die Monate von Oktober des Vorjahres bis zum März des betreffenden Jahres. Damit sind die jeweils zwei Halbjahressummen nicht mit der kalendarischen Jahressumme identisch. Sie haben aber den für Wasserhaushaltsberechnungen wichtigen Vorteil einer Auflistung der Halbjahressummen in kontinuierlicher zeitlicher Folge, beginnend ab Oktober 1965 bis hin zum September 1990.

Als weitere Größen werden für jedes Jahr die größte und kleinste an einer Station des Gebietes gemessene Monatssumme angegeben, um hiermit einen Eindruck von der innerjährlichen Variabilität der Niederschlagshöhe zu vermitteln. Gleiches gilt auch für die Angaben zur jährlichen und zur größten monatlichen Varianzbreite, erstere als Differenz (Δ) zwischen den beiden Stationen mit der größten und kleinsten Jahresniederschlagssumme, letztere dementsprechend als die größte für einen Monat festgestellte Differenz berechnet. Damit wird gezeigt, in welcher Größenordnung auf so engem Raum noch Unterschiede in den Monats- und Jahressummen möglich sind, wobei diese keinesfalls immer zwischen zwei der am weitesten voneinander entfernt gelegenen Randstationen des Gebietes auftreten.

Zur Beurteilung der Niederschlagsvariabilität innerhalb des Gebietes dienen drei verschiedene Angaben zur Streuung der Jahres- und Monatssummen. Dies sind die Streuung der Jahressummen von den einzelnen Stationen um das jährliche Gebietsmittel, die jeweils größte in einem Jahr aufgetretene Streuung der Monatssummen und die mittlere Streuung aller Monatssummen eines Jahres

Tabelle 3: Niederschlagshöhen (in mm) und statistische Maßzahlen der Monatssummen der 25jährigen Messungen im Stechlinseegebiet

Jahr	N Jahr	N Sommer	N Winter	N MoMax	N MoMin	A Jahr	A MoMax	B Jahr	B MoMax	B Mon
1966	847,3	510,4	356,3	169,6	17,8	94,0	57,0	28,2	16,0	7,2
1967	720,3	324,3	388,5	93,5	19,8	83,4	36,8	24,5	12,0	6,5
1968	761,9	477,3	295,8	177,0	6,8	105,8	53,7	29,8	16,8	8,1
1969	587,2	334,3	285,6	139,1	6,5	104,3	35,6	25,5	10,8	4,9
1970	703,1	346,1	290,4	111,3	7,6	52,5	40,4	14,8	12,9	5,7
1971	483,9	282,1	283,8	140,5	11,2	59,4	18,5	17,6	5,5	3,2
1972	659,2	497,4	180,9	222,5	4,1	79,0	121,9	24,8	34,2	10,7
1973	671,1	379,1	181,8	201,9	12,7	98,0	98,2	26,6	26,1	9,1
1974	752,5	355,9	308,5	123,9	13,1	84,5	29,7	25,2	8,5	5,4
1975	442,2	248,5	386,8	83,9	6,6	51,8	29,9	15,7	8,7	4,5
1976	545,4	206,4	302,4	157,4	10,5	40,1	25,1	11,0	6,4	4,3
1977	752,5	435,9	288,3	133,2	27,4	73,0	31,4	25,8	10,5	5,4
1978	709,6	417,5	298,7	157,9	4,5	69,0	37,8	24,6	10,8	5,8
1979	669,7	302,4	326,2	112,5	16,4	87,4	40,3	23,6	12,9	6,3
1980	780,0	475,0	317,4	203,3	18,9	148,4	85,1	39,5	28,9	9,9
1981	810,3	367,1	419,8	130,5	13,9	80,0	48,3	22,3	12,3	7,0
1982	562,1	291,1	358,6	112,3	10,8	67,3	40,0	21,5	12,3	5,9
1983	658,0	305,9	294,0	159,0	4,1	119,3	40,4	29,2	12,1	5,8
1984	659,2	377,1	326,0	108,9	8,6	35,5	30,4	11,6	7,8	4,7
1985	603,0	342,2	244,3	129,4	11,7	103,2	48,1	32,3	16,0	7,1
1986	701,8	354,7	302,2	133,5	17,9	78,6	30,8	22,8	8,3	5,6
1987	604,3	351,2	311,1	117,2	14,1	132,5	43,2	32,4	16,7	6,8
1988	616,8	253,8	367,5	112,7	1,1	93,4	36,0	25,7	10,6	6,1
1989	489,0	224,3	237,1	71,8	8,3	39,7	30,6	12,1	9,2	4,0
1990	680,6	386,4	301,9	180,1	11,9	104,5	60,3	28,5	16,3	6,6
Mittel	658,8	353,9	306,2	139,3	11,5	83,4	46,0	24,1	15,3	6,2

N(Jahr) - Jährliches Gebietsmittel der Niederschlagshöhe
 N(Sommer) - Gebietsmittel der Niederschlagshöhe des Sommerhalbjahres
 N(Winter) - Gebietsmittel der Niederschlagshöhe des Winterhalbjahres
 N(MoMax) - Größte jährliche Monatssumme einer Station
 N(MoMin) - Kleinste jährliche Monatssumme einer Station
 A(Jahr) - Differenz zwischen der größten und der kleinsten Jahressumme
 A(MoMax) - Größte in einem Monat aufgetretene Differenz
 s(Jahr) - Streuung der Jahressummen um das Gebietsmittel
 s(MoMax) - Größte Streuung der Monatssummen um das Gebietsmittel
 s(MoMin) - Mittlere Streuung der Monatssummen um das Gebietsmittel

um ihren jeweiligen monatlichen Gebietsmittelwert.

Aus den statistischen Ergebnissen in Tabelle 3 lassen sich eine ganze Reihe von Aussagen zum kleinräumigen Gebietsverhalten des Niederschlages treffen. Bei einem langjährigen Gebietsmittelwert von 658,8 mm wurden mit 847,3 mm im Jahre 1966 und 442,2 mm im Jahre 1975 zwei Extremwerte erfaßt, die die große Variationsbreite jährlicher Niederschlagssummen dokumentieren. Nach den Untersuchungsergebnissen zum Langzeitverhalten (Kapitel 4.5) sind sie wahrscheinlich auch für einen wesentlich längeren als den hier behandelten Zeitraum repräsentativ, zumal die bis 1901 zurückberechnete Reihe der Station Neuglobsow (Tabelle 5) keine wesentlich größeren Extreme aufweist. Ebenso sind die jeweils extremsten Niederschlagshöhen von allen Stationen des Gebietes mit 888,1 mm in Schönhorn und 424,2 mm in Beerenbusch diesen beiden Jahren zuzuordnen.

Ausschlaggebend für die größte Jahressumme waren 1966 die sehr hohen Sommerniederschläge, die mit 510,4 mm auch den höchsten Halbjahreswert der Reihe erreichten. Die größte Wintersumme fiel 1980/81 mit 419,8 mm, was für 1981 immerhin noch ein sekundäres Jahresmaximum von 810,3 mm zur Folge hatte. In keinem unmittelbaren Zusammenhang mit besonders geringen Sommer- oder Winterniederschlägen steht dagegen die niedrigste Jahressumme von 1975. So traten die kleinsten Halbjahressummen im Sommer 1976 mit 206,4 mm und im Winter 1971/72 mit 180,9 mm auf. Insgesamt fielen im Sommerhalbjahr mit durchschnittlich 353,9 mm mehr Niederschläge als im Winterhalbjahr mit 306,2 mm. Der sich bei einer Zusammenfassung ergebende Unterschied zur mittleren Jahressumme resultiert aus der zeitlichen Versetzung.

Bei einer mittleren Differenz von 83,4 mm zwischen den beiden Stationen des Gebietes mit der jeweils größten und kleinsten Jahressumme und bei einer Streuung der Jahressummen aller Stationen von 24,1 mm um den jährlichen Gebietsmittelwert sind auch in einem so relativ kleinen Gebiet noch beachtliche Unterschiede in den jährlichen Niederschlagshöhen festzustellen. Dagegen liegen die langjährigen mittleren Jahressummen erheblich enger beieinander. So verringert sich ihre Streuung um das Gebietsmittel auf 9,6 mm und die größte Differenz zwischen zwei Stationen auf 32,1 mm. Sie besteht zwischen Schönhorn mit 678,6 mm/a und der Breutzenwiese mit 646,5 mm/a durchschnittlicher Niederschlagshöhe. Da auch die Stationen Beerenbusch und Pelzkuhl nahezu gleich niedrige Jahresmittel wie die Breutzenwiese aufweisen, ist somit das in der regionalen Verteilung nach Westen hin bestehende Niederschlagsgefälle bereits im Randbereich des Stechlinseegebietes erkennbar (vgl. Bild 4). Maximale Differenzen und Streuungen der Jahressummen traten 1980 mit $\Delta_{\text{Jahr}} = 148,4$ mm und $s_{\text{Jahr}} = 39,5$ mm auf. Speziell dieses Ergebnis wird noch im Zusammenhang mit der Untersuchung extremer Niederschlagsereignisse und ihrer Auswirkungen auf die Variabilität von Monats- und Jahressummen einer näheren Betrachtung unterzogen. Gleiches gilt auch für die im Juli 1972 aufgetretene größte Streuung der Monatssummen von 34,2 mm in Verbindung mit der maximalen Monatssumme von 222,5 mm an der Totalisatormeßstelle Pelzräume. Hieraus resultiert auch die mit 121,9 mm größte für einen Monat berechnete Differenz zwischen zwei Stationen, da gleichzeitig im nur 5 km entfernt gelegenen Beerenbusch lediglich 100,6 mm Niederschlagshöhe gefallen sind. Diese Werte liegen alle erheblich über dem Durchschnitt, wonach jährlich an einer Station des Gebietes mit einer höchsten Monatssumme von 139,3 mm und einer jeweils größten Streuung und Differenz der Monatssummen aller Stationen von 15,3 mm bzw. 46,0 mm zu rechnen

ist. Im Vergleich hierzu betragen die kleinsten Monatssummen eines Jahres im Mittel nur 11,5 mm mit einem Minimum von 1,1 mm im April 1988, das gleichzeitig an den Meßstellen Pelzräume und Breutzenwiese auftrat.

Die pro Jahr berechneten Streuungen aller Monatssummen um ihre jeweiligen monatlichen Gebietsmittel bewegen sich zwischen 10,7 mm und 3,2 mm und haben einen langjährigen Mittelwert von 6,2 mm. Das heißt, die Monatssummen der einzelnen Stationen sind im Durchschnitt mit dieser wahrscheinlichen Abweichung vom Gebietsmittel behaftet. Hierzu ist ergänzend zu bemerken, daß rund 25 % aller monatlichen Gebietsmittel eine Streuung von < 3,0 mm und reichlich 60 % von < 5,0 mm aufweisen und nur in ca. 8 % aller Fälle Streuungen von > 10,0 mm zu erwarten sind. Nicht in Tabelle 3 aufgeführt ist die jährlich aufgetretene kleinste Streuung der Monatssummen, die in fast allen Jahren unter 3,0 mm, zum größten Teil auch unter 2,0 mm liegt.

Eine Betrachtung der Streuung in Relation zur Niederschlagshöhe zeigt eine deutliche prozentuale Zunahme mit der abnehmenden Länge des Bezugszeitraumes. So entspricht die Streuung der langjährigen mittleren Jahressummen von 9,6 mm einem Betrag von 1,5 %, die der einzelnen Jahreswerte von 3,7 % und die der Monatswerte von 11,3 %. In extremen Einzelmonaten werden auch mehr als 20 % erreicht.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß durch die statistische Analyse der 25jährigen Meßreihen umfangreiche Informationen zur Variabilität und Variationsbreite des Niederschlagsverhaltens in einem kleinen Gebiet des Norddeutschen Tieflandes gewonnen wurden, wie sie aus den Messungen bei standardmäßiger Meßnetzdicke nicht abzuleiten sind.

Neben dieser umfassenden Einschätzung des Gesamtverhaltens aller Stationen untereinander interessiert natürlich auch, mit welcher statistischen Sicherheit der Gebietsniederschlag erfaßt wird, wenn entsprechend der normalen Meßnetzdicke für die gegebene Gebietsgröße nur eine Station zur Verfügung steht. Dahingehende Aussagen können anhand der Genauigkeit getroffen werden, mit der sich die einzelnen Stationen an das Gebietsmittel anpassen. Als Bewertungskriterien hierfür dienten neben der Differenz zwischen der mittleren Jahressumme und dem langjährigen Gebietsmittel (Δ_{Jahr}) hauptsächlich die mittleren quadratischen Abweichungen (d) der einzelnen Jahres- und Monatssummen, berechnet nach

$$d = \sqrt{\frac{\sum (N(\text{Station}) - \bar{N}(\text{Gebiet}))^2}{n-1}} \quad (2)$$

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengefaßt. Erwartungsgemäß ergeben sich für die Stationen in zentraler Lage die besten Anpassungen, wobei Neuglobsow mit +4,2 mm/a Differenz zum langjährigen Gebietsmittel und den jeweils kleinsten mittleren quadratischen Abweichungen der Jahres- und Monatssummen von $d_{\text{Jahr}} = 16,6$ mm und $d_{\text{Monat}} = 4,7$ mm insgesamt am besten mit dem Gebietsniederschlag übereinstimmt.

Bei den monatlichen Abweichungen bleibt neben Neuglobsow nur noch Dagow unter 5,0 mm, während diese mit zunehmend dezentraler Lage auf über 6 bis 7 mm ansteigen. Besonders auffällig

Tabelle 4: Mittlere Abweichungen (Δ, d) der Niederschlagshöhe der Stationen vom Gebietsmittel (in mm) und von der Station Neuglobsow, (Δ', d'), 1965/90

Symbol	Ng	Da	Mz	Be	Sh	Pk	Gm	Nr	Ag	Hb	Br	Pr	Pe	Mittel	%
Δ_{Jahr}	+6,6	+11,3	+4,8	-11,0	+19,8	-11,8	-5,6	-2,1	-1,0	+2,1	-12,3	-5,6	+5,3	0	0
d_{Jahr}	17,4	23,3	30,2	23,0	31,5	23,6	28,5	21,3	27,3	19,0	26,0	20,7	18,9	24,1	3,7
d_{Monat}	4,7	4,9	7,4	6,4	6,5	5,6	7,0	5,5	7,1	5,4	6,8	7,1	6,0	6,2	11,3
$d_{\text{Monat}}(99\%)$	4,2	4,0	6,1	5,6	5,3	5,1	6,2	5,2	6,3	4,8	5,9	5,2	5,4	5,5	10,0
Δ'_{Jahr}	0	+4,7	-1,8	-17,5	+13,3	-18,4	-12,1	-8,6	-7,6	-4,4	-18,9	-12,2	-1,2	-6,5	-1,0
d'_{Jahr}	0,0	21,2	36,5	32,4	28,5	31,5	39,9	28,6	32,5	24,3	37,2	30,6	24,8	29,9	4,5
d'_{Monat}	0,0	6,5	7,7	7,9	8,2	8,0	9,9	7,6	9,6	5,9	8,5	8,7	8,4	8,1	14,6
d''_{Monat}	4,5	4,4	6,6	5,8	5,6	5,6	6,3	5,5	6,6	4,8	6,2	5,6	5,8	5,6	10,2

* siehe Kapitel 4.5

ist in dieser Hinsicht die Abweichung der noch relativ zentral gelegenen Meßstelle Pelzräume mit $d_{\text{Monat}} = 7,1 \text{ mm}$. Als Ursache hierfür erweist sich die bereits genannte extrem hohe Niederschlags-summe von 222,5 mm im Juli 1972, die um 77,3 mm über dem Gebietsmittel liegt. Allein ohne diesen Wert würde die mittlere Abweichung für Pelzräume nur 5,5 mm betragen und sich damit gut in eine gleichmäßig vom Zentrum nach außen hin abnehmende Anpassungsgenauigkeit einfügen. Hier wird deutlich, daß extreme Einzelereignisse selbst auf die Ergebnisse der statistischen Analyse einer 25jährigen Meßreihe noch einen deutlichen Einfluß ausüben können. Ähnlich hoch war nur noch die Abweichung der Monatssumme von Menz im Juli 1973 mit 60,9 mm, während die 5 nächstgrößeren Beträge mit Werten zwischen 40 und 50 mm bereits erheblich kleiner sind. Im Gegensatz zur Pelz-räume handelt es sich hierbei jeweils um Stationen in der Randlage des Gebietes.

Da offensichtlich die Zufälligkeit von Einzelereignissen einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß auf die mittlere quadratische Abweichung der Monatssummen vom Gebietsmittel hat, wurde diese auch jeweils ohne Berücksichtigung der 3 größten Abweichungen jeder Station berechnet. Bei 300 Monats-summen entspricht dies einer Vernachlässigung der größten 1 % der Abweichungen. Diese als $d_{\text{Monat}}(99 \%)$ mit in Tabelle 4 angegebenen Werte haben nun eine annähernd konzentrische Gebiets-vertei-lung, wie auch aus ihrer Darstellung auf Bild 5 zum Ausdruck kommt. Neben einer zwangs-läufig besseren Anpassung aller Stationen sind als besonders hervorzuheben Veränderungen die erheblich geringere mittlere Abweichung von Pelzräumen und die nunmehr beste Anpassung von Dagow mit durchschnittlich nur noch 4,0 mm Abweichung zum monatlichen Gebietsmittel zu nennen. Mit 4,2 mm liegt Neuglobsow allerdings nur geringfügig schlechter.

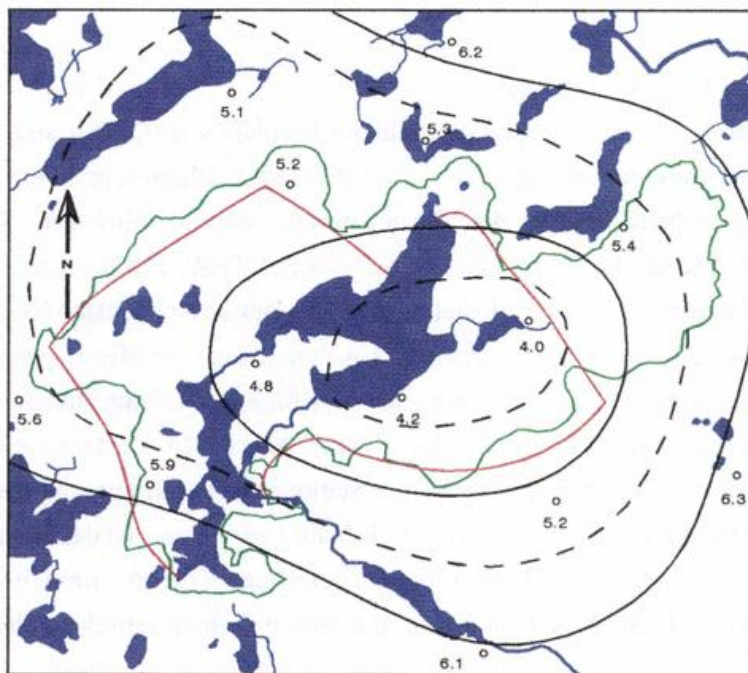


Bild 5: Mittlere quadratische Abweichung der monatlichen Niederschlags-höhe vom Gebietsmittel (in mm) für d-Monat (99%) gemäß Tabelle 4

Insgesamt zeigen die statistischen Analysen des Niederschlagsverhaltens im Stechlinseegebiet, daß selbst bei langjährigen Meßreihen die Ergebnisse noch durch den Einfluß einzelner zufälliger Ereignisse mitgeprägt werden können und somit hinsichtlich ihrer bewertenden Interpretation in jedem Falle einer eingehenden Überprüfung bedürfen. Als wichtigste zusammenfassende Schlußfolgerung der Untersuchungen ist festzustellen, daß die auf das Stechlinseegebiet fallenden Niederschläge mit großer Wahrscheinlichkeit am besten durch die Station Neuglobsow repräsentiert werden. Dieses Ergebnis ist von erheblicher Bedeutung, zumal für die Untersuchungen zum Langzeitverhalten des Wasserhaushaltes ohnehin nur die Meßwerte dieser Station und deren Ergänzung zu einer entsprechend langen Reihe zur Verfügung stehen.

Es war somit naheliegend, das Niederschlagsverhalten an den Stationen des Gebietes auch in bezug zur Station Neuglobsow zu untersuchen. Als Bewertungskriterien dienten wiederum die mittlere Differenz der Jahressummen (Δ'_{Jahr}) und die mittleren quadratischen Abweichungen (d') der einzelnen Jahres- und Monatssummen. Die Ergebnisse sind ebenfalls in Tabelle 4 enthalten. Da die Station Neuglobsow annähernd das langjährige Gebietsmittel der Niederschlagshöhe repräsentiert, ergeben sich bei den mittleren Differenzen der Jahressummen der einzelnen Stationen nur relativ kleine Veränderungen gegenüber der Verwendung des Gebietsniederschlags als Bezugsgröße. Demgegenüber sind die mittleren Abweichungen (d') der Jahres- und Monatssummen für fast alle Stationen größer. Lediglich bei den Jahressummen sind die Übereinstimmungen für Dagow und Schönhorn mit Neuglobsow etwas besser. Insgesamt bedeutet die Verwendung von Niederschlagshöhen der Station Neuglobsow für gebietsbezogene Aussagen keine gravierende qualitative Verschlechterung. Für die Betrachtung längerer Zeiträume besteht eine relativ gute Übereinstimmung von Stationswert und Gebietsmittel.

4.5 Auswertung von Einzelereignissen

Bereits mehrfach wurde bei der Interpretation einiger besonders auffälliger statistischer Ergebnisse auf den ursächlichen Zusammenhang mit extremen Niederschlagsereignissen hingewiesen. Eine speziell hierauf ausgerichtete Analyse des Datenmaterials einschließlich der Registrierungen der 3m²-Niederschlagswanne an der Station Neuglobsow (RICHTER, 1989) ergab, daß es sich hierbei um lokal meist eng begrenzte Gewitterschauer handelt, die mit ihren höchsten Niederschlagsintensitäten jeweils nur einen Teil des Gebietes erfaßten. Aus den 25jährigen Messungen konnten 11 solcher markanter Ereignisse festgestellt werden, deren kartenmäßige Darstellung anhand der daraus resultierenden Tagessummen erfolgte. Zur Einbeziehung der Totalisatoren wurde ausgehend von den ohne diesen Tageswert berechneten Monatssummen der Stationen mit Hellmann-Niederschlagsmesser die reduzierte Monatssumme für Totalisatoren gemäß Tabelle 1 bestimmt und der wahrscheinliche Tageswert als Differenz zur gemessenen Monatssumme berechnet. Die so ermittelten "Tageswerte für Totalisatoren" passen sich in allen Fällen sehr gut in die Gebietsverteilung der untersuchten Ereignisse ein.

Als Beispiele sind auf den Bild 6 bis 8 die drei Tage dargestellt, an denen die höchsten lokalen Niederschlagssummen gemessen wurden. Besonders eindrucksvoll sind hierbei die beiden Schauer vom 23. Juli 1972 und vom 11. Juli 1980. An beiden Tagen verursachte eine nur sehr langsam zie-

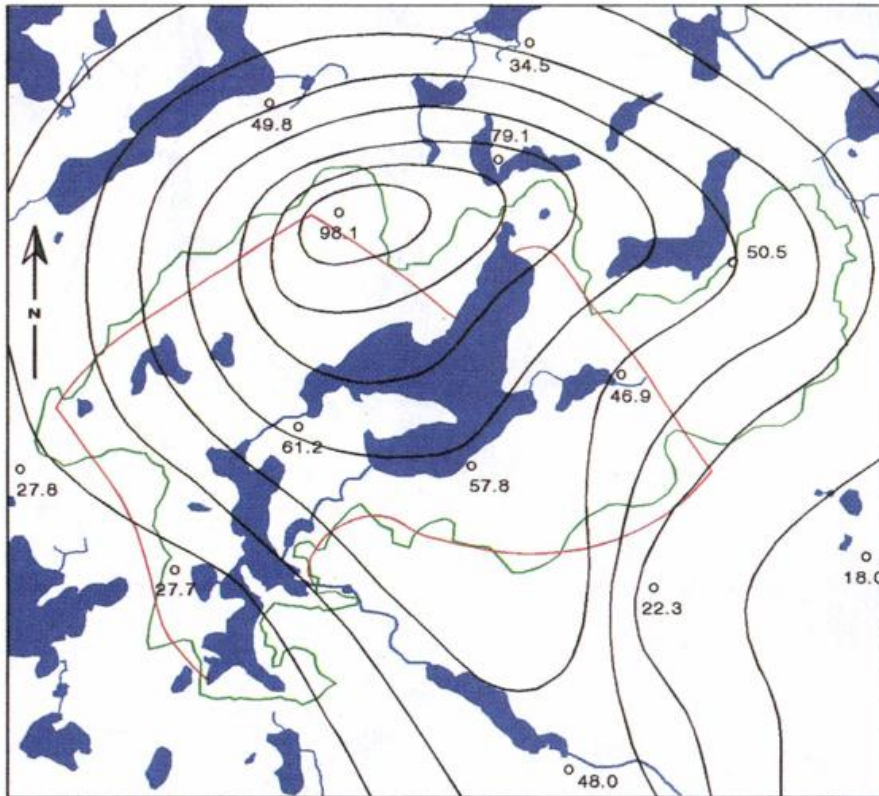


Bild 6: Verteilung der Niederschlagshöhe vom 23. Juli 1972 (in mm)

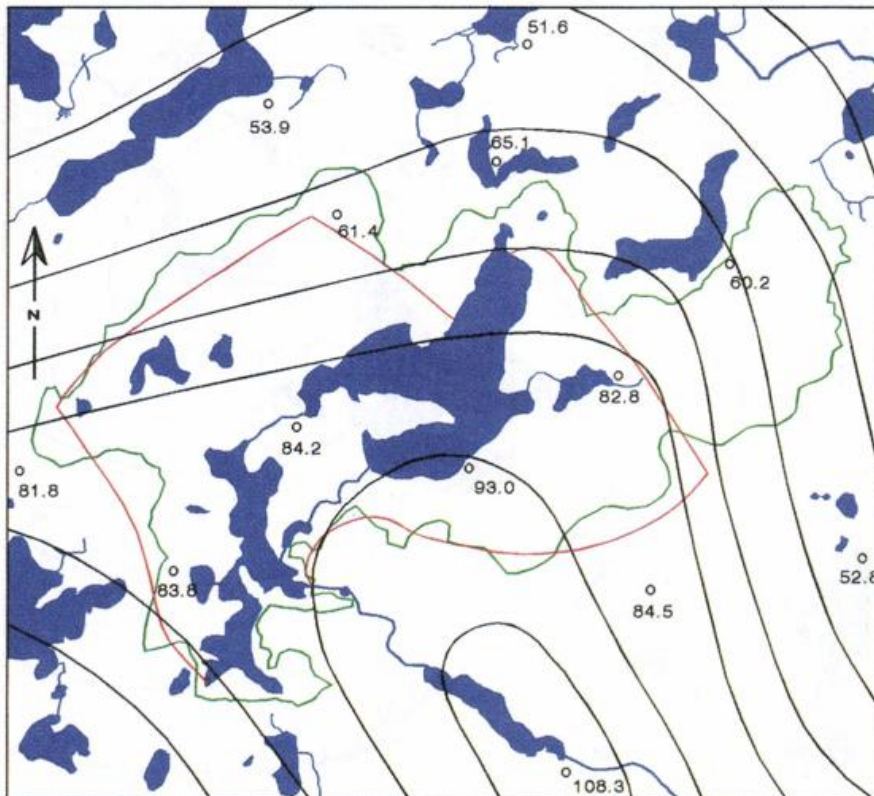


Bild 7: Verteilung der Niederschlagshöhe vom 15. Juli 1973 (in mm)

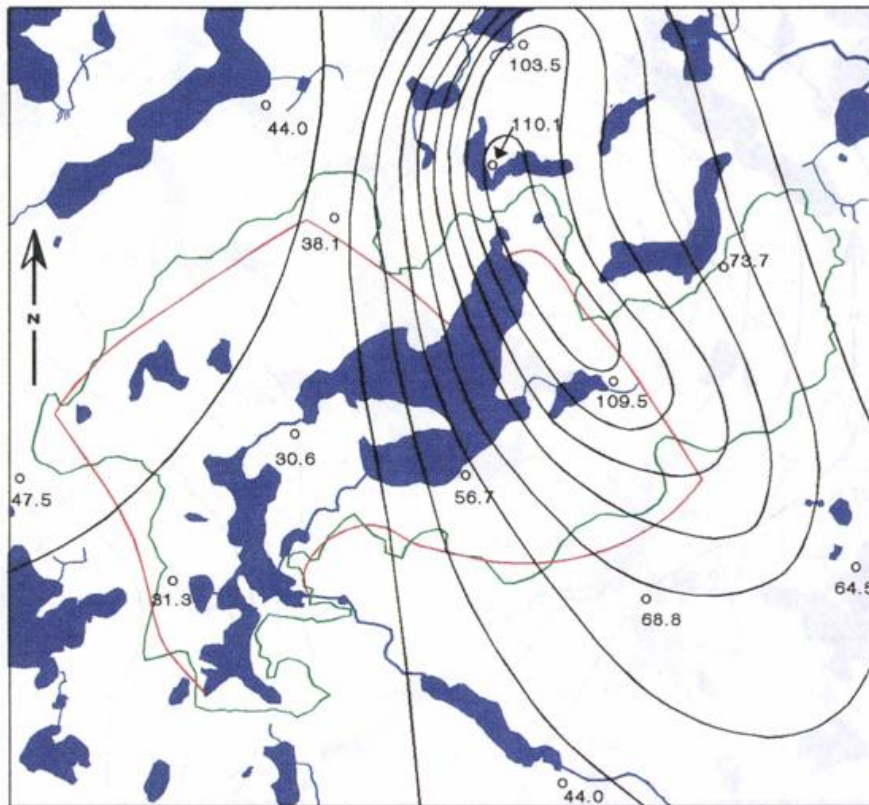


Bild 8: Verteilung der Niederschlagshöhe vom 11. Juli 1980 (in mm)

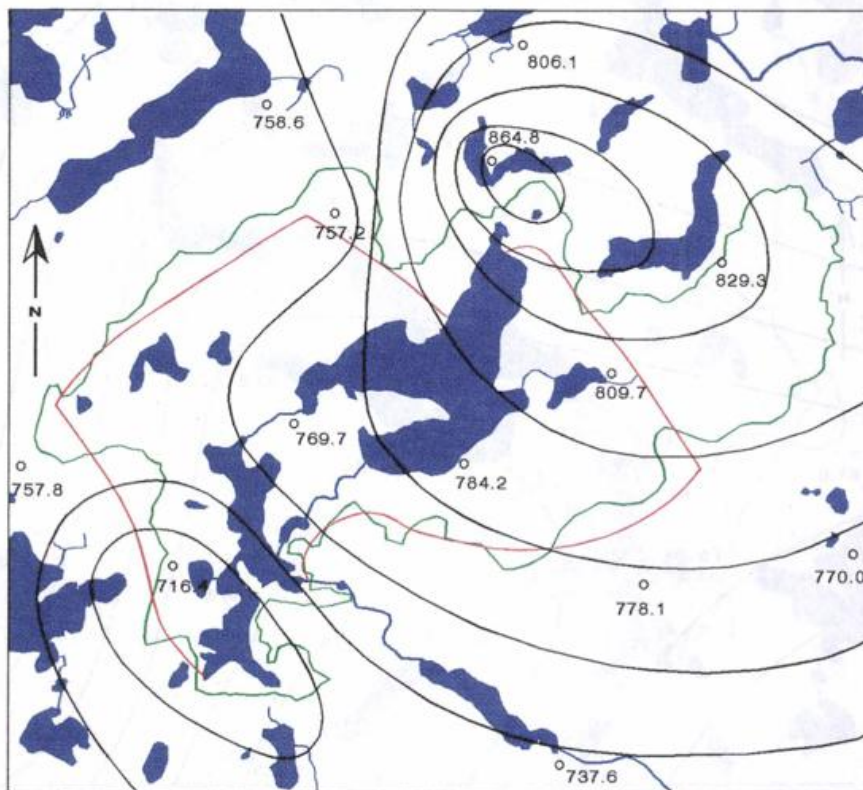


Bild 9: Verteilung der Niederschlagshöhe von 1980 (in mm)

hende Gewitterzelle in wenigen Stunden Niederschlagshöhen von maximal 98 bzw. 110 mm, wobei die stark betroffenen Gebiete jeweils nur 10 bis 15 km² groß sind. Im Vergleich hierzu hat das Ereignis vom 15. Juli 1973 ein deutlich größeres Gebiet erfaßt, was allerdings die Ausnahme darstellt.

In der Regel kann davon ausgegangen werden, daß die hochintensiven Schauer nur eine sehr kleine Flächenausdehnung besitzen. Mit Hilfe konventioneller Meßtechnik sind sie somit nur bei einer so außergewöhnlichen Meßnetzdicke festzustellen, wie sie im Stechlinseegebiet besteht. Im Routinemeßnetz werden sie wahrscheinlich oft gar nicht oder zumindest nicht in ihrer maximalen Intensität erfaßt. Hierfür spricht auch, daß die einzige zum Routinemeßnetz gehörende Station Neuglobsow von den 11 untersuchten Ereignissen nur 4mal zentral betroffen war. Eine flächendeckende Lösung dieses besonders für Extremuntersuchungen so wichtigen Problems ist nur über die verbesserte quantitative Auswertung von Radar-Niederschlagsmessungen zu erreichen.

Zu einer weiteren Überprüfung der Auswirkungen extremer Ereignisse auf die statistischen Ergebnisse des Gebietsverhaltens wurden die Tageswerte der drei dargestellten Beispiele unberücksichtigt gelassen und die sich dann ergebende mittlere quadratische Abweichung der Monatssummen für den gesamten 25jährigen Beobachtungszeitraum neu berechnet. Auch dieses Ergebnis ist mit in Tabelle 4 unter d_{Monat}^* aufgeführt. Es zeigt, daß es allein durch die Vernachlässigung dieser drei Ereignisse für alle Stationen zu einer Verbesserung der statistischen Maßzahlen kommt, die nahezu dem generellen Weglassen der drei am stärksten abweichenden Monatssummen bei $d_{\text{Monat}}(99\%)$ entspricht. Selbst einzelne extreme Gewitterschauer können somit noch deutliche Auswirkungen auf die statistischen Aussagen zum langjährigen Gebietsverhalten des Niederschlages haben.

Offensichtlich werden auch die höheren mittleren Jahressummen von Dagow und Schönhorn (Bild 3) mit von der Verteilung der 11 Extremereignisse geprägt, zumal dieses Gebiet einschließlich der östlichen Hälfte des Stechlinsees am häufigsten davon betroffen war und hierbei um durchschnittlich rund 15 bis 20 mm mehr Niederschlag fielen als an den westlich und südöstlich gelegenen Stationen. Deutliche Auswirkungen solcher Ereignisse finden sich auch in den einzelnen Jahressummen der Niederschlagshöhe wieder, wie abschließend zu diesem Problem am Beispiel von 1980 auf Bild 9 gezeigt wird. Die Niederschlagsverteilung dieses Jahres wird erheblich durch das Ereignis vom 11. Juli mitbestimmt.

4.6 Langzeitverhalten der Niederschlagshöhe

Besonders für die Aufgaben der wasserwirtschaftlichen Bilanzierung ist das Langzeitverhalten des Niederschlages von wesentlicher Bedeutung. In dieser Hinsicht besteht mit den im Oktober 1957 an der Station Neuglobsow begonnenen Messungen erst eine relativ kurze Meßreihe. Vergleichsweise hierzu liegen aus der näheren Umgebung von den Stationen Mirow, Rheinsberg, Neu Glienicke, Fürstenberg, Bredereiche und Lychen bereits seit Beginn dieses Jahrhunderts Niederschlagsmessungen vor und auch die Meßreihe von Wesenberg beginnt bereits 1937. Von der ebenfalls nahe gelegenen Station Zechlinerhütte sind allerdings erst ab 1972 Daten verfügbar.

Größere Unterbrechungen gab es bei den langjährigen Stationen nur in Rheinsberg in den Jahren 1934, 1939/40 und von 1944 bis 1954, in Mirow 1942/46, in Fürstenberg 1933 und von 1945 bis

1949 sowie in Wesenberg 1945/46 zeitweise. Weiterhin ergab die Analyse der Reihe von Neu Glienicke, daß diese Station um 1940 eine sprunghafte Abnahme der durchschnittlichen Niederschlagshöhe von rund 80 mm/a aufweist und sich erst danach in das Niederschlagsniveau der umliegenden Stationen einpaßt. Vor dieser Zeit sind die Meßwerte für Vergleichsuntersuchungen als weitgehend ungeeignet anzusehen. Trotz eingehender Recherchen konnte nicht geklärt werden, woraus sich diese offensichtliche Inhomogenität in der Meßreihe ergibt. Für die anderen Stationen erweist sich dagegen das Langzeitverhalten des Niederschlages im Niveau und im Verlauf als weitgehend identisch, so daß auf der Basis von Monatssummen insgesamt sehr umfangreiche Grundlagen für eine bis 1901 zurückreichende Simulation der Meßreihe von Neuglobsow bestehen.

Hierzu wurde wie folgt vorgegangen:

Zunächst erfolgte eine Vervollständigung der Reihen von Mirow und Wesenberg, soweit möglich, aus den Relationen der beiden Stationen untereinander und für die zeitgleichen Lücken beider Stationen aus den Beziehungen zu Bredereiche, Neu Glienicke (nach 1940) und der auch ab 1901 verfügbaren Daten von Waren/Müritz. Darauf aufbauend ließen sich dann Rheinsberg anhand von Bredereiche, Mirow und Neu Glienicke sowie Fürstenberg anhand von Wesenberg, Lychen und Bredereiche ergänzen. Damit waren von allen umliegenden Stationen vollständige langjährige Niederschlagsreihen vorhanden. Davon dienten zur Rückberechnung der wahrscheinlichen Niederschlagshöhe von Neuglobsow für den Zeitraum 1951/57 die nächstgelegenen Stationen Rheinsberg, Fürstenberg und Bredereiche, während für die Zeit von 1901 bis 1950 anstelle von Fürstenberg auf Mirow zurückgegriffen wurde.

Als Ergänzungsmethoden wurden drei verschiedene Varianten getestet, bei denen jeweils monatsweise eine Berechnung aus dem Verhältnis zum Niederschlagsmittel der drei Bezugsstationen, eine Berechnung aus den Regressionsbeziehungen zu den Bezugsstationen und eine Berechnung durch gewichtete Mittelung entsprechend dem Verhältnis der Niederschlagshöhen und der Entfernung zu den Bezugsstationen erfolgte. Die Grundlagen der Untersuchungen bildeten jeweils die langjährigen Zeiträume, von denen für alle Stationen Messungen vorhanden waren, um hieraus die mittleren Quotienten bzw. Regressionskoeffizienten zu bestimmen. Im Ergebnis der Untersuchungen ist die letztgenannte Variante als beste Anpassungsmethode zu nennen. Danach beträgt beispielsweise die monatliche Niederschlagshöhe (N_i) von Neuglobsow

$$N_i(N_g) = (R_1 N_1 f_1) + (R_2 N_2 f_2) + (R_3 N_3 f_3), \quad (3)$$

wenn R_i der mittlere monatliche Quotient der Niederschlagshöhe zwischen Neuglobsow und der jeweiligen Bezugsstation 1 bis 3 ist und f_i den relativen Gewichtsanteil umgekehrt proportional zur Entfernung dieser Stationen angibt mit der Summe $f_{1,2,3} = 100 \%$.

Nach diesem Verfahren ergeben sich für die Reihe 1958/94 die berechneten Monatssummen der Niederschlagshöhe von Neuglobsow mit einer Anpassungsgenauigkeit von $\pm 5,8$ mm an die Meßdaten. Sie wurden bis einschließlich 1901 zurückberechnet und anschließend gemäß Gleichung (1) korrigiert. Für diese Korrektur mußten für 1901/50 die aus den ab 1957 vorliegenden Messungen bestimmbaren mittleren monatlichen Korrekturfaktoren herangezogen werden, da vor 1950 keine

Informationen zur detaillierteren Berücksichtigung der Art und Höhe täglicher Niederschlagswerte vorliegen. Für 1951/57 konnte dagegen noch auf entsprechende Informationen von der Station Fürstenberg zurückgegriffen werden, womit eine direkte Anwendung des auf Tageswerte aufbauenden Korrekturverfahrens (RICHTER, 1995) möglich war.

Zur Absicherung des Ergebnisses wurden die für Neuglobsow simulierten Niederschlagshöhen noch anhand einer einfachen Mittelung der nächstgelegenen, aber teilweise ergänzten Stationen Fürstenberg und Rheinsberg überprüft. Es ergab sich eine weitgehend gute Übereinstimmung in den Monats- und Jahressummen. Lediglich in einzelnen Monaten mit jeweils > 100 mm Niederschlagshöhe bestanden größere Unterschiede, deren Ursachen offensichtlich auf starke lokale Schauer zurückzuführen sind. Für diese Fälle wurde die wahrscheinlich richtige Niederschlagshöhe von Neuglobsow anhand der regionalen Verteilung der betreffenden Monatssummen unter Beachtung aller verfügbaren Stationen festgelegt.

Die lange Reihe der Monats- und Jahressummen der Niederschlagshöhe 1901/95 enthält Tabelle 5, angegeben in einheitlicher Form auf ganze Millimeter gerundet. Danach sind für Neuglobsow im langjährigen Mittel 659 mm Niederschlagshöhe pro Jahr zu erwarten. Die höchste Jahressumme trat 1926 mit 894 mm auf, die kleinste im Jahre 1975 mit 427 mm. Somit weicht nur das im Ergänzungszeitraum liegende Maximum etwas von dem bisher 1966 gemessenen höchsten Wert von 871 mm ab.

Als wahrscheinlich extremste Monatssummen sind der Juli 1930 mit 239 mm und der Oktober 1908 mit 0 mm zu nennen. Die Streuung der Jahressummen liegt bei 96 mm, die der Monatssummen zwischen 20 mm im Februar und 46 mm im Juli.

Eine Darstellung des langjährigen zeitlichen Verlaufs der Jahressummen der Niederschlagshöhe von Neuglobsow zeigt Bild 10. Zum Vergleich hierzu sind auf Bild 11 und 12 die Zeitreihen von Bredereiche und Rheinsberg angegeben. Neben dem Gang der Jahressummen sind jeweils der Verlauf des 9jährig übergreifenden gewichteten Mittels (Tiefpaßfilterung) und der Trend dargestellt. Charakteristisch im zeitlichen Verlauf aller drei Reihen sind die von 1914 bis 1931 anhaltende längerfristige Periode mit deutlich überdurchschnittlichen Niederschlagshöhen und zwei besonders für Neuglobsow gut ausgebildete periodische Schwankungen in den letzten 30 Jahren. Der Trend ist in Neuglobsow gleichbleibend, während für Rheinsberg ein leichter Anstieg und für Bredereiche ein leichter Abfall zu verzeichnen ist. Entsprechende Analysen der weiteren vorliegenden langen Reihen zeigen auch für Lychen und Waren einen mit Bredereiche vergleichbaren Rückgang, während Mirow einen Anstieg in gleicher Größe aufweist. Signifikante Rückschlüsse auf eine nachweisliche Veränderung des Niederschlagsregimes seit Beginn dieses Jahrhunderts lassen sich somit daraus nicht ziehen, zumal sich bei den meisten Stationen für den länger zurückliegenden Zeitraum ohnehin nicht mehr feststellen läßt, inwieweit Stationsverlegungen und Veränderungen der Umgebungsbedingungen zu diesen Ergebnissen beigetragen haben. Gleiche Aussagen lassen sich auch aus der Analyse langer Niederschlagsreihen für rund 70 Stationen Nordostdeutschlands ziehen (MALITZ, 1991).

Tabelle 5: Monats- und Jahressummen der korrigierten Niederschlagshöhe von Neuglobsow (in mm), 1901/95

JAHR	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Σ JAHR
1901	34	15	31	53	45	34	60	58	48	40	61	63	542
1902	64	18	88	26	65	52	95	80	37	9	45	45	674
1903	35	53	29	69	34	44	44	103	62	98	65	12	648
1904	37	81	22	49	36	40	32	20	29	73	68	53	540
1905	43	37	64	67	42	60	160	91	58	70	49	41	782
1906	74	35	65	15	88	39	71	76	70	44	50	50	677
1907	49	40	36	20	34	67	208	70	27	19	15	68	653
1908	34	61	20	27	108	29	94	61	22	0	22	14	492
1909	35	37	51	36	42	71	87	36	64	26	68	79	632
1910	41	40	22	20	54	56	117	88	58	34	77	31	638
1911	30	64	30	47	34	49	64	14	31	39	33	40	475
1912	42	44	46	41	55	64	79	107	29	59	60	68	694
1913	32	44	39	27	23	56	60	70	48	31	50	130	610
1914	49	19	113	36	78	71	131	25	61	92	41	59	775
1915	89	24	110	34	10	11	69	73	44	21	25	145	655
1916	131	27	22	41	34	95	59	65	19	80	49	94	716
1917	80	14	50	29	24	28	65	63	17	122	69	38	599
1918	110	56	28	40	21	68	101	112	61	58	19	109	783
1919	39	40	82	80	19	68	55	59	16	88	96	106	748
1920	96	38	20	123	72	72	66	60	37	2	7	44	637
1921	136	35	7	33	52	58	24	58	32	46	32	89	602
1922	73	28	32	72	33	50	197	81	66	20	66	63	781
1923	54	39	14	69	89	67	70	56	54	71	33	31	647
1924	15	44	10	86	97	53	105	96	75	25	29	25	660
1925	59	53	52	33	40	46	23	49	85	59	56	117	672
1926	64	43	67	23	30	153	186	64	48	79	91	46	894
1927	59	21	36	85	42	108	119	137	52	42	33	21	755
1928	71	72	16	34	58	53	82	88	2	82	105	39	702
1929	32	15	7	44	33	98	46	26	21	111	19	56	508
1930	37	8	32	64	53	34	239	94	78	67	100	16	822
1931	82	38	34	72	44	115	141	79	112	42	10	67	836
1932	53	11	14	57	86	31	71	58	88	107	34	6	616
1933	28	54	25	27	36	100	42	45	45	67	43	20	532
1934	43	28	39	46	23	33	29	89	52	67	51	31	531
1935	46	65	31	94	32	120	65	95	45	102	32	30	757
1936	46	58	22	52	67	15	116	31	58	55	58	33	611
1937	27	87	67	81	57	62	85	57	54	17	27	41	662
1938	85	26	17	29	88	47	76	54	40	56	31	41	590
1939	62	26	79	71	47	65	85	87	28	75	82	46	753
1940	25	32	73	77	39	21	94	98	32	18	95	47	651
1941	37	33	41	23	46	47	143	114	47	122	28	73	754
1942	16	26	23	28	60	34	148	59	69	71	76	28	638
1943	47	37	16	58	29	87	46	90	33	9	58	25	535
1944	62	44	49	41	67	53	57	57	40	53	116	30	669
1945	59	41	42	52	54	65	95	72	50	58	53	55	696
1946	39	91	27	18	58	129	60	119	75	39	22	14	691
1947	20	13	42	33	23	50	56	34	24	16	103	82	496
1948	88	70	22	42	23	58	68	103	40	56	23	16	609
1949	37	38	47	73	84	70	34	33	28	9	49	112	614
1950	53	65	22	77	80	58	129	64	63	35	60	25	731
1951	73	37	74	35	86	60	58	33	61	2	75	45	639
1952	62	37	27	17	81	94	64	50	69	47	66	68	682
1953	64	51	18	16	93	144	44	47	30	16	28	19	570
1954	59	19	33	64	19	41	144	105	61	67	44	91	747
1955	42	30	48	50	56	90	67	61	40	62	24	92	662
1956	65	37	51	67	22	87	68	115	47	89	56	47	751
1957	32	53	64	15	48	39	90	51	77	20	24	52	565
1958	51	65	20	47	97	58	108	61	41	44	14	49	655
1959	46	5	8	43	38	27	97	41	1	59	37	49	451
1960	59	30	15	33	40	61	94	56	35	79	78	87	667
1961	49	57	55	49	99	63	84	97	30	72	61	64	780
1962	61	63	44	69	46	42	84	71	44	12	36	41	613
1963	29	14	23	54	64	56	62	80	41	39	104	14	580
1964	25	26	30	63	80	71	19	87	56	46	60	47	610
1965	48	37	40	76	76	26	86	29	48	20	79	96	661
1966	50	81	47	70	53	136	149	80	25	20	54	106	871
1967	73	71	67	20	47	94	86	35	63	42	53	60	711
1968	48	13	55	9	150	52	84	37	152	61	66	29	756
1969	39	56	35	57	72	70	13	119	7	20	85	27	600
1970	29	59	67	95	61	30	74	11	70	77	67	50	690
1971	23	26	28	25	57	141	13	25	43	24	43	53	501
1972	19	4	39	50	118	89	158	59	37	18	64	13	668
1973	34	34	14	80	60	24	157	17	40	61	69	66	656
1974	57	29	15	40	43	80	76	70	49	115	51	125	750
1975	45	9	32	49	37	18	58	46	36	27	32	38	427
1976	146	18	33	17	60	37	34	22	48	37	55	41	548
1977	55	52	46	87	37	57	120	107	43	34	69	66	773
1978	42	27	65	8	41	89	47	94	148	37	19	106	723
1979	43	48	79	40	62	50	85	45	23	25	80	94	674
1980	39	51	30	90	29	90	147	90	32	66	65	54	783
1981	71	29	126	17	44	106	69	44	97	100	56	53	812
1982	60	14	73	28	89	68	25	63	21	46	27	50	564
1983	82	45	50	80	137	14	6	43	25	66	51	62	661
1984	91	43	15	33	102	101	59	37	55	46	54	40	676
1985	58	19	41	80	30	117	42	62	45	26	53	83	656
1986	72	27	60	49	75	92	47	67	45	42	38	123	737
1987	36	46	33	40	53	55	93	49	64	20	80	41	610
1988	50	95	74	3	22	104	97	34	26	20	52	62	639
1989	12	39	53	29	25	37	52	64	11	49	55	53	479
1990	39	66	36	35	18	128	23	87	94	24	63	70	683
1991	32	33	28	49	58	90	42	55	35	19	55	53	549
1992	40	52	88	68	36	13	57	113	27	43	84	45	666
1993	79	41	15	26	64	100	87	77	78	37	36	116	756
1994	122	15	95	63	86	96	21	62	88	46	45	76	815
1995	78	72	60	43	35	114	40	32	66	18	39	37	634
MIT.	54	40	42	48	55	66	81	66	49	49	53	56	659
MAX.	146	95	126	123	150	153	239	137	152	122	116	145	894
MIN.	12	4	7	3	10	11	6	11	1	0	7	6	427
STR.	26	20	25	24	27	32	45	28	26	29	24	31	96

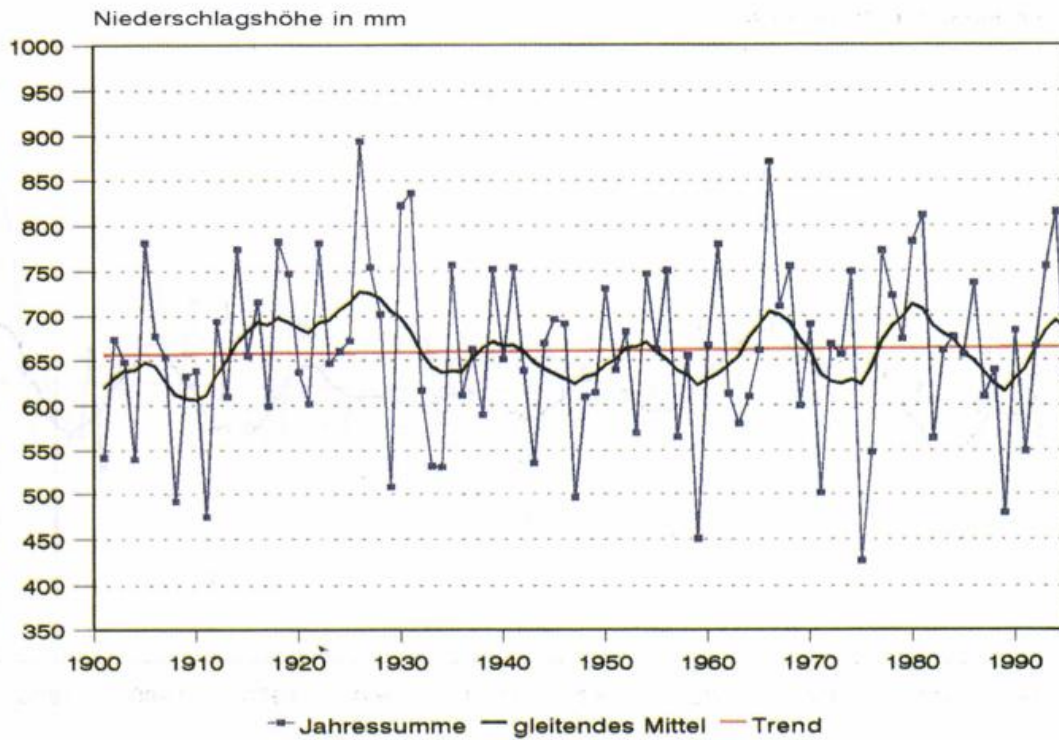


Bild 10: Langjähriger Gang der Jahressummen der korrigierten Niederschlagshöhe von Neuglobsow, 1901/1995

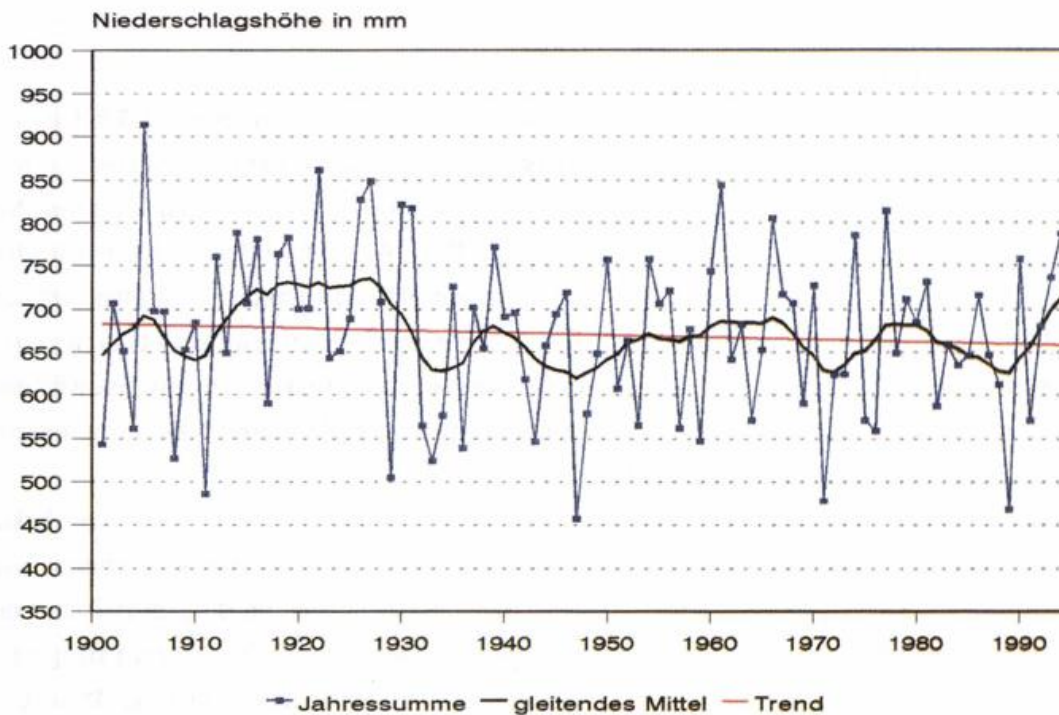


Bild 11: Langjähriger Gang der Jahressummen der korrigierten Niederschlagshöhe von Bredereiche, 1901/1995

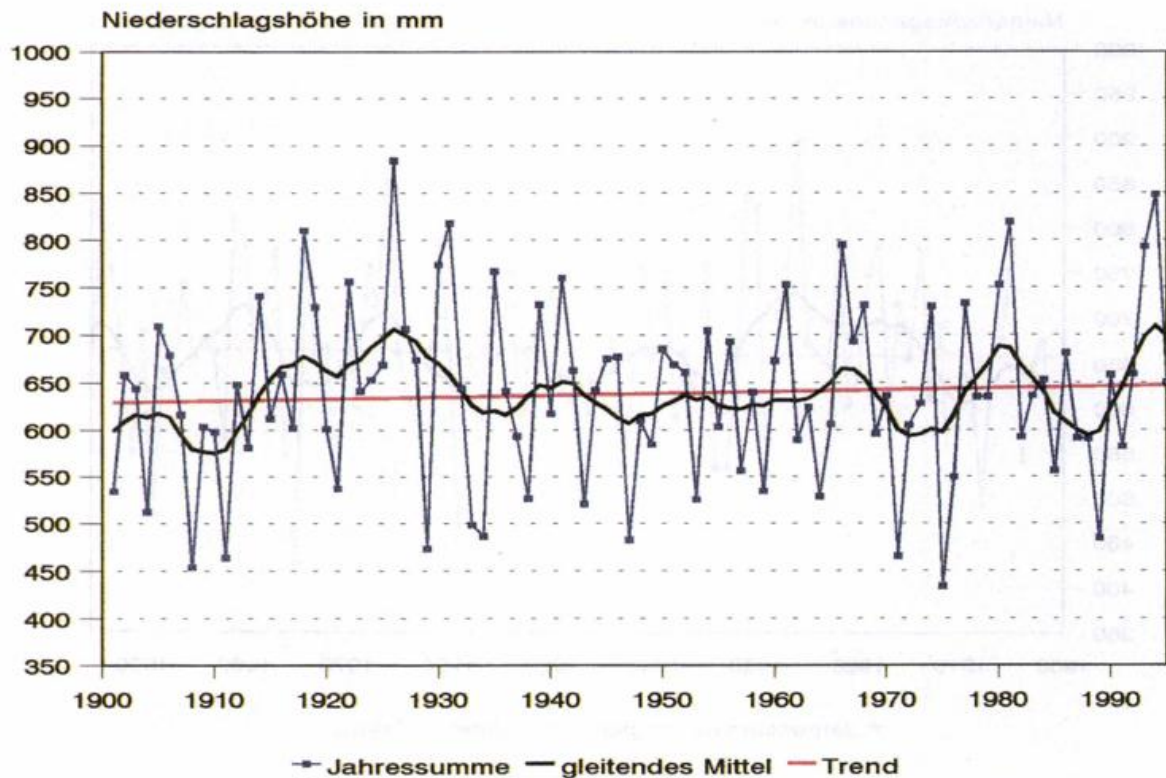


Bild 12: Langjähriger Gang der Jahressummen der korrigierten Niederschlagshöhe von Rheinsberg, 1901/1995

5. Grund- und Seewasserstände

5.1 Hydrogeologische Bedingungen

Die Grund- und Seewasserstände des Stechlin- und Nehmitzseegebietes werden hauptsächlich durch die hydrogeologischen Bedingungen eines west-südwestlich der Fürstenberger Endmoränenstaffel entstandenen Sandergebietetes mit einer auffallend großen Anzahl von größeren und kleineren Seen geprägt. Der geologische Aufbau besteht aus einer rund 20 bis 40 m mächtigen Deckschicht jungpleistozäner fein- bis grobkörniger Sande, durchsetzt mit einzelnen Tonsanden. Darunter liegt eine größtenteils ebenso mächtige Geschiebemergelschicht. Der gesamte Schichtenaufbau ist durch glaziale Pressungen und Stauchungen gestört. Unterhalb des Geschiebemergels finden sich teilweise wiederum Sandschichten an, unterlagert von einem weiteren Geschiebemergelhorizont bzw. von tertiären Braunkohleschluffen (RUSITZKA, 1957).

Zur Sondierung der hydrogeologischen Bedingungen wurden bereits 1957 eine Reihe von Erkundungsbohrungen um den Stechlinsee herum durchgeführt und Rohre für kontinuierliche Grundwasserstandsmessungen gesetzt. Besonders intensiv erfolgten die Untersuchungen im Bereich zwischen dem Westbecken des Stechlinsees und dem nördlichsten Teil des Nehmitzsees, dem späteren Baugelände des KKW Rheinsberg. Die Tiefe der Bohrungen erstreckte sich größtenteils auf rund 45 m unter Geländehöhe bis in die Geschiebemergelschicht. Lediglich bei den auf 70 m abgeteuften Bohrungen in Höhe der Grundwasserrohre 1 und 11, südlich und nördlich des Stechlinsees (vgl. Bild 2) wurde diese durchstoßen, wobei nur bei Bohrung 1 unterhalb des Geschiebemergels noch eine ca. 4,5 m

mächtige schwach wasserführende Sandschicht festgestellt werden konnte. Inwieweit diese zum vermuteten 2. Grundwasserstockwerk gehört, läßt sich nicht definitiv beurteilen, zumal weitere hierfür empfohlene und in noch größere Tiefen reichende Bohrungen nicht mehr erfolgten (KUPKE, 1958).

Einen Querschnitt des geologischen Aufbaus vom jetzigen Grundwasserrohr 10 über 11 nach 1 bis 3, also von NNW nach SSE durch den Stechlinsee zeigt Bild 13. Hierbei handelt es sich um einen diagonalen Schnitt durch eine infolge der Lagerung des Geschiebemergels und der aufliegenden Sande von NE nach SW verlaufenden Rinne, wobei die Darstellung der tieferen Schichten anhand der nur zwei Tiefenbohrungen als unsicher anzusehen ist.

Weitere Bohrprofile weisen darauf hin, daß die Schichtungen sowohl nach Nordwesten als auch nach Südosten hin noch ansteigen, während in die Richtungen der Längserstreckung der Rinne nach beiden Seiten hin abfallende Neigung besteht. Wie unter 5.3 noch gezeigt werden kann, wird dieser geologische Aufbau auch weitgehend im Grundwasserstandsverhalten wiedergespiegelt. Insgesamt lassen die Bohrungen auf eine leicht gewellte Lagerung der Schichten schließen, wobei die aufliegenden Sande eine nahezu ungestörte Grundwasserbewegung zulassen. Eingebettet in diese Sandschichten liegen die Seen, die mit Ausnahme des Stechlinsees in ihrer maximalen Tiefe nicht den Geschiebemergelhorizont erreichen. Auf Grund weitgehend fehlender Uferverschlämmung besteht größtenteils ein annähernd ungehinderter Austausch zwischen See- und Grundwasser. Damit sind die Seen praktisch als frei liegendes Grundwasser (Grundwasserblänken) anzusehen und können mit zur Bewertung des Grundwasserstandsverhaltens im Einzugsgebiet herangezogen werden.

5.2 Entwicklung der Meßprogramme

Im Zusammenhang mit den geohydrologischen Erkundungsbohrungen wurden im Laufe des Jahres 1958 an nahezu allen Bohrstellen Grundwasserrohre abgeteuft, so daß bereits ab Januar 1959 an 35 Rohren und 2 Wirtschaftsbrunnen im Ort Neuglobsow kontinuierliche Grundwasserstandsmessungen aufgenommen werden konnten. Bis 1963 erfolgte eine schrittweise Inbetriebnahme weiterer 14 Rohre. Als Besonderheiten sind hierbei einmal die Einrichtung der Brunnen 9.0 bis 9.2 an der Nordspitze des Stechlinsees in dreieckiger Anordnung bei nur rund 2 m mittlerer Entfernung untereinander zu nennen und zum anderen die unmittelbar nebeneinander stehenden Rohre 1 und 40 sowie 41 und 42. Die Brunnen 9 dienten der Durchführung von Tracer-Untersuchungen (BUSCH u. a., 1966) zur Bestimmung des Grundwasserflusses, während von den paarweise angeordneten Brunnen jeweils einer zur Ermittlung des Grundwasserstandsverhaltens in einer tieferen Schicht diente. Brunnen 1 ragt dabei mit seiner Sohle bis in die Sandschicht unterhalb des Geschiebemergels (s. Bild 13), während Brunnen 41 nur bis zum Erreichen der Geschiebemergelschicht abgeteuft wurde.

Die Durchführung der Messungen erfolgte mittels einer an einem Stahlbandmaß angehängten Brunnenpfeife. Dieses einfache Meßprinzip wurde bei einem anfänglich wöchentlichen, später dekaden- bis monatsweisen Meßrhythmus bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt beibehalten. Zwischenzeitliche Versuche zur Registrierung der Wasserstandsänderungen ergaben vor allen Dingen bei den Rohren mit größerem Grundwasserflurabstand nicht die erforderlichen Genauigkeiten und wurden

bald wieder eingestellt. Lediglich der von vornherein auf Registrierung ausgelegte Brunnen 40 mit einer wesentlich größeren lichten Weite von 180 mm gegenüber sonst üblichen 100 bis 125 mm wurde von Beginn der Messungen (1963) bis April 1975 mit einem aufgesetzten Schwimmerschreibpegel betrieben. Danach erfolgte bis 1990 täglich eine manuelle Ablesung und anschließend eine Umstellung auf monatliche Messungen.

Von den ebenfalls zur Bewertung des Grundwasserstandsverhaltens im Einzugsgebiet herangezogenen Seen liegen von 1958 an nur für den Stechlinsee, Nehmitzsee und Dagowsee Wasserstandsmessungen vor. Im April 1960 kamen der Peetschsee und der Große Glietzensee hinzu. Die nächste Erweiterung des Meßprogramms erfolgte von 1964 bis 1966 mit dem Teufelssee bei Schönhorn, dem Roofensee und dem Teufelssee am Polzow-Kanal unterhalb des Regelbauwerks. In den Jahren 1968/69 wurden dann nochmals 8 weitere Seen mit Pegeln ausgestattet. Von diesem Zeitpunkt an liegen somit von insgesamt 16 Seen des Einzugsgebietes und seiner unmittelbaren Umgebung durchgehende Wasserstandsbeobachtungen vor. Lediglich vom Glabatzsee sind diese wegen anfänglicher längerer Ausfälle erst ab 1974 vollständig vorhanden.

Eine Übersicht aller Seen und Grundwasserrohre liefert Tabelle 6 mit den Angaben zum Meßzeitraum, zum jeweiligen mittleren sowie höchsten und tiefsten Wasserstand über NN und zum mittleren Flurabstand des Grundwassers. Als Zeitraum für die Mittelwertbildung wurde 1962/94 gewählt, da in der davor liegenden Zeit für einige Seen und Grundwassermeßstellen Beeinflussungen durch den Aufstau beim Ausbau des Polzow-Kanals zwischen Stechlin- und Nehmitzsee und dem Bau des Regelbauwerks auftraten. Die Einbeziehung dieser Zeit würde zu Verfälschungen im Vergleich der mittleren und extremen Wasserstände führen. Für alle nicht vollständigen Meßreihen erfolgte eine Hochrechnung der Wasserstandszahlen auf den Zeitraum 1962/94 anhand vergleichbarer Meßreihen. Bei den Grundwasserrohren ist als zusätzliche Information die Tiefe des Wasserstandes unter der Rohroberkante (Pegel 0) angegeben. Sie zeigt, daß an den grundwasserfernen Standorten der durchschnittlich 0,75 m aus dem Boden ragenden Rohre Flurabstände des Grundwassers von über 25 m auftreten.

5.3 Räumliche Verteilung der Grund- und Seewasserstände

Die Angaben der Mittelwasserstände in Tabelle 6 bildeten die Ausgangsdaten für eine kartenmäßige Darstellung der Grundwasserstandsverteilung im Gebiet des Stechlin- und Nehmitzsees sowie zur Festlegung des wahrscheinlichen unterirdischen Einzugsgebietes beider Seen. Hierunter soll das Gebiet verstanden werden, aus dem bei den gegebenen Grundwasserständen den beiden Seen im Mittel Grundwasser zufließt. An Grundwasseraustrittsstellen wird das Einzugsgebiet durch die Uferlinien der Seen begrenzt.

Die mittleren Grundwasserstände im Einzugsgebiet und seiner näheren Umgebung zeigt Bild 14 anhand von Grundwasserhöhengleichen, zu deren Festlegung auch die in Meßtischblättern angegebenen Mittelwasserstände der umliegenden Seen herangezogen wurden. Die Darstellung erfolgte im Bereich der langjährig gemessenen Wasserstände im Niveauunterschied von 0,5 m mittels ausgezogener Linien und darüber hinaus im Niveauunterschied von 1,0 m in gestrichelter Form. Unberücksichtigt blieben die mittleren Wasserstände vom Teufelssee/Schönhorn und von der Fuchskuhle westlich

Tabelle 6: Grund- und Seewasserstände (in m ü.NN) im Stechlin- und Nehmitzseegebiet, 1962/1995

a) Grundwasserstände

Rohr Nr.	Mittel	Max	Min	Grundwasser- tiefe	Meßzeit- raum	Ergänzung
1	59,06	59,28	58,76	6,02	62/95	-
2	59,98	60,28	59,65	11,07	62/95	-
3	61,29	61,80	60,64	25,29	62/95	-
4	59,61	59,95	59,25	4,81	62/95	-
5	59,79	60,44	59,17	23,47	62/95	-
6	60,34	61,01	59,68	8,13	62/95	-
7	61,61	62,39	60,62	16,29	67/95	R15
8	59,33	59,97	58,63	3,07	62/95	-
9.0	59,43	59,89	58,95	4,97	62/95	-
9.1	59,57	60,04	59,18	4,83	62/95	-
9.2	59,58	60,04	59,11	4,82	62/95	-
10	59,78	60,27	59,27	21,58	62/95	-
11	59,66	59,92	59,33	11,84	62/95	-
12	62,71	63,65	61,30	19,39	62/95	-
13	60,17	60,61	59,65	21,53	62/95	-
14	59,65	59,93	59,33	9,89	62/95	-
15	59,80	60,18	59,46	16,03	62/95	-
16	59,91	60,29	59,50	23,03	62/95	-
17	59,45	59,73	58,23	14,08	62/69	R23
18	59,21	59,71	58,87	1,76	62/95	-
19	59,14	59,72	58,82	1,68	62/92	R21
20	59,43	59,72	59,01	1,16	62/95	-
21	59,12	59,73	58,79	2,89	62/95	-
23	59,59	59,82	59,22	14,15	62/95	-
24	59,48	59,75	59,07	8,16	62/95	-
25	59,78	60,10	59,47	26,95	67/95	R16
26	58,45	59,06	57,96	3,13	62/95	-
27	59,53	59,93	59,10	21,74	62/95	-
28	59,73	60,36	59,14	15,38	62/95	-
29	59,64	60,33	58,96	6,07	62/95	-
30	61,26	62,10	60,51	5,53	62/95	-
32	59,89	60,23	59,57	6,62	62/95	-
33	59,79	60,06	59,49	4,37	62/95	-
34	59,74	60,04	59,40	26,73	67/95	R16
35	61,97	62,89	61,00	24,78	62/95	-
37	62,20	62,97	61,24	26,62	62/95	-
38	61,50	62,16	60,70	24,01	62/95	-
40	59,85	60,11	59,55	5,53	63/95	-
41	60,71	61,47	59,88	22,90	64/95	-
42	61,74	62,58	60,76	21,89	64/95	-
51	59,71	59,95	59,42	12,46	62/95	-
52	59,87	60,14	59,28	13,05	62/95	-
53	59,72	59,97	59,23	5,48	63/89	R40
54	59,73	59,98	59,30	14,52	62/95	-
58	59,65	59,91	59,22	3,86	63/95	-
60	60,02	60,29	59,60	4,02	62/75	R58
61	60,31	61,00	59,70	6,50	62/86	R29

b) Seewasserstände

See	Mittel	Max	Min	Meßzeit- raum	Ergänzung
Dagowsee	60,33	60,86	59,97	62/95	-
Glabatzsee	60,05	60,36	59,53	74/95	Glietzen See
Glietzen See	59,21	59,84	58,53	62/95	-
Krukowsee	60,85	61,44	60,12	69/95	Glietzen See
Krummensee	60,75	61,43	59,99	69/95	Glietzen See
Nehmitzsee	59,57	59,78	59,08	62/95	-
Peetschsee	59,71	60,43	59,00	62/95	-
Plötzensee	59,70	60,19	59,27	69/95	Glietzen See
Roofensee	58,45	58,95	58,28	66/95	Nehmitzsee
Stechlinsee	59,61	59,81	59,31	62/95	-
Steutzensee	61,01	61,63	60,23	69/89	Glietzen See
Teufelssee/Schönhorn	60,46	60,83	60,00	64/95	-
Teufelssee/Polzowkanal	59,21	59,56	58,91	67/95	Glietzen See
Tietzensee	59,19	59,70	58,66	69/95	Glietzen See
Wittwensee	60,39	60,80	59,73	70/95	Glietzen See
Zeutensee	58,39	58,74	58,23	69/95	Glietzen See

des Zeutensees. An letzterer wurden temporäre Messungen vom Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei durchgeführt. Beide Seen liegen oberhalb ihres umgebenden Grundwasserniveaus und haben einen stark anmoorigen Charakter. Mit großer Wahrscheinlichkeit handelt es sich jeweils um ein hangendes Grundwasserstockwerk über darunterliegenden bindigen Schichten, worauf für den Teufelssee auch die Ergebnisse der geologischen Erkundungsbohrungen (KUPKE, 1958) hindeuten. Bild 14 zeigt, daß das Verteilungsbild des Grundwasserstandes wesentlich durch zwei höhere Niveaus im Bereich der flurfernen Standorte nordwestlich und südöstlich des Stechlin- und Nehmitzsees und einem dazwischen liegenden, beide Seen umfassenden Gebiet mit nahezu gleichen Grundwasserständen geprägt wird. Von beiden auch geologisch und morphometrisch ausgebildeten Sätteln senkt sich der Grundwasserspiegel zu den Seen hin ab und neigt sich dann weiter nach Süden und Norden in tiefer liegende Gebiete.

Die anhand dieser Grundwasserverteilung bestimmte unterirdische Wasserscheide weist aus, daß der Stechlinsee hauptsächlich aus südöstlicher, zum Teil auch aus nordwestlicher Richtung unterirdisch gespeist wird, während dem Nehmitzsee aus nördlicher bis westlicher Richtung Grundwasser zufließt. Grundwasseraustritte bestehen dagegen am Westufer des Stechlinsee-Nordbeckens bis hin zur nördlichsten Bucht und vom Südufer des Nehmitzsee-Südbeckens bis zum Regelbauwerk am Auslauf Polzow-Kanal.

Das gesamte unterirdische Einzugsgebiet umfaßt eine Fläche von 30,9 km², bestimmt anhand von 16 Beispieluntersuchungen gemäß Kapitel 6.2. Es ist somit erheblich kleiner, als das aus früheren Untersuchungen festgestellte scheinbare oberirdische Einzugsgebiet von 42,3 km² (HEITMANN u. a., 1969). Besonders der im Ostteil gelegene Bereich der Tradenwiesen ist nicht am Gesamtwasserhaushalt dieses Einzugsgebietes beteiligt. Vielmehr fließt hier das Grundwasser in nordwestlicher Richtung direkt zum Peetschsee und weiter nach Norden ab und somit östlich des Dagowsees am unterirdischen Einzugsgebiet des Stechlinsees vorbei. Für die Aufstellung einer Gebietswasserbilanz steht somit nur der auf den Bereich des unterirdischen Einzugsgebietes fallende Niederschlag zur Verfügung. Das daraus nach Abzug der Verdunstungshöhen von den Land- und Seeflächen zunächst im Gebiet verfügbare Wasser fließt, soweit der Niederschlag auf die Landflächen fällt, über die Grundwasserneubildung zu den Seen hin und dann von diesen oberirdisch über den Polzow-Kanal bzw. unterirdisch über die genannten Grundwasseraustrittsstellen ab.

Im Gebiet zwischen den beiden Seen bestehen nur sehr geringe Niveauunterschiede im Grundwasserstand mit einem leichten von Nord nach Süd weisenden Gefälle. Ein unterirdischer Wasseraustausch zwischen dem Stechlin- und Nehmitzsee findet somit nicht statt, zumal sich die ausschließlich infolge des Kernkraftwerkbetriebes ergebenden Wasserstandsunterschiede von wenigen Zentimetern ohnehin wesentlich schneller über die Kanalverbindung auspegeln.

Besonders veränderlich sind die Grundwasserbedingungen im gesamten nördlichen Bereich des Stechlinsees und zum Peetschsee hin, da hier das Gefälle Richtungsänderungen in Abhängigkeit von der Höhe des zeitlich variierenden Grundwasserstandes unterliegt. So bildet sich bei sehr hohen Grundwasserständen um das gesamte Nordbecken des Stechlinsees herum eine temporäre Grundwasserscheide aus, womit unter diesen Bedingungen zeitweilig nach Norden hin überhaupt kein Grundwasseraustritt stattfindet. Dabei kann es in Höhe des Nordostufers sogar kurzzeitig zu einem

durchgängig leichten Gefälle vom Peetschsee zum Stechlinsee hin kommen.

Eine Umkehr dieser Fließrichtung tritt bei tiefen Wasserständen ein, wobei dann der Bereich des Grundwasseraustritts nahezu das gesamte Nordbecken des Stechlinsees umfaßt. Außerdem vergrößert sich bei tiefem Wasserstand auch die Breite des Grundwasseraustritts nach Süden in Richtung Zeuten- und Roofensee und reicht jetzt vom Südbecken des Nehmitzsees über das Regelbauwerk bis hin zum Beginn des Polzow-Kanals am Stechlinsee. Bei hohen Wasserständen ist dagegen in diesem Bereich keine wesentliche Veränderung der Austrittsbreite gegenüber dem Mittelwasserstand zu verzeichnen. Weitere Auswirkungen der variierenden Grundwasserstände ergeben sich für die Flächengröße des unterirdischen Einzugsgebietes. Auswertungen zur Lage der Wasserscheide bei verschiedenen Wasserständen zeigen, daß sich das Einzugsgebiet bei hohem Wasserstand auf rund 32 km² vergrößern und bei niedrigem auf ca. 28 km² verkleinern kann. Damit sind die verändernden Wirkungen bei tiefen Wasserständen stärker. Sie wurden allerdings nur kurzzeitig bei den besonders extremen Niedrigwasserständen von 1991/92 festgestellt. In der Regel bewegen sich die Gebietsveränderungen um < 3 %, so daß für die weiteren Wasserhaushaltsuntersuchungen von einer insgesamt konstanten Flächengröße des unterirdischen Einzugsgebietes ausgegangen werden kann. Lediglich bei der Bestimmung des unterirdischen Abflusses wurde die verringerte Einzugsgebietsgröße bei tiefen Wasserständen gleich in die ermittelte Beziehung zur Berechnung der gebietsbezogenen Abflußhöhe eingearbeitet. Für den oberirdischen Abfluß war dies nicht erforderlich, da das Regelbauwerk unter diesen Bedingungen immer geschlossen blieb.

5.4 Zeitlicher Verlauf der Grund- und Seewasserstände

Eine sehr gute Grundlage für die Einschätzung des langfristigen Verhaltens der Grund- und Seewasserstände ergibt sich aus einer vergleichenden graphischen Darstellung ihres zeitlichen Verlaufs in Form von Ganglinien. Zu bewerten sind hieraus

- das unterschiedliche Grundwassergefälle im Einzugsgebiet
- die verschiedenen zeitlichen Schwankungsintensitäten
- das Verhalten der Grundwasserstände in vorfluternen und vorflutnahen Bereichen
- die Übereinstimmung von Grund- und Seewasserständen und
- die wechselnden Grundwasserfließrichtungen.

Zur Beurteilung dieser Teilprobleme wurden jeweils die langjährigen Wasserstandsganglinien mehrerer hierfür aussagekräftiger Meßstellen auf einem Bild zusammengefaßt, deren Auswahl in Form von 5 Profilen durch das Einzugsgebiet erfolgte. Die Lage dieser Profile zeigt Bild 15, das Verhalten der Grund- und Seewasserstände in diesen Profilen ist auf den Bildern 16 bis 20 dargestellt. Repräsentiert werden hiermit:

- im Profil I das von Norden nach Süden verlaufende Grundwassergefälle vom hochliegenden nördlichen Rohr 12 über den Kleinen Krukowsee, den Nehmitzsee und das Rohr 21 bis zum Zeutensee zur Veranschaulichung des unterirdischen Zu- und Abflusses vom Nehmitzsee (Bild 16)
- im Profil II das von Südosten nach Norden verlaufende Gefälle von Rohr 37 über die Rohre 3, 2 und 40, den Stechlinsee und die Rohre 27 und 26, womit der Bereich des unterirdischen Zu- und Abflusses vom Stechlinsee erfaßt wird (Bild 17)

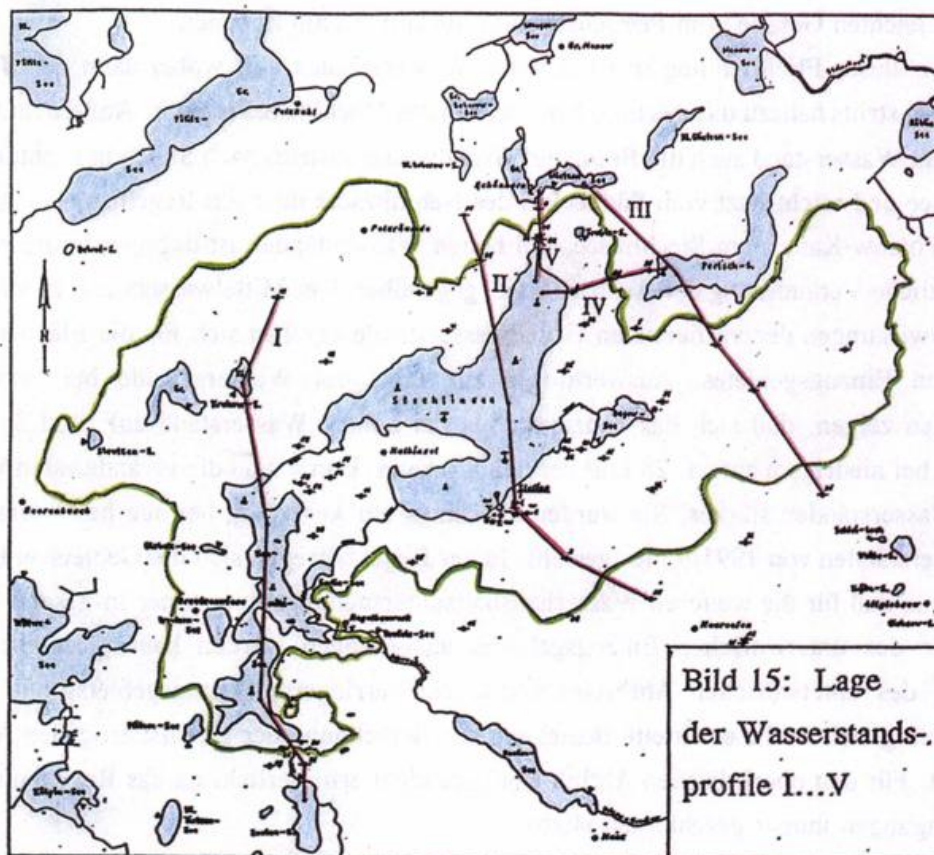


Bild 15: Lage der Wasserstandsprofile I...V

- im Profil III das von Rohr 35 über 30 und 6 zum Peetschsee und weiter zum Glietensee hin verlaufende Südost-Nordwestgefälle des östlich vom unterirdischen Einzugsgebiet durch den Bereich der Tradenwiesen fließenden Grundwasserstromes (Bild 18)

- in den Profilen IV und V einmal der Bereich wechselnder Grundwasserfließrichtungen zwischen dem Stechlin- und Peetschsee über die Rohre 4, 28, und 29 und zum anderen der Bereich des nahezu ständig nach Norden hin bestehenden Grundwasserabflusses vom Stechlinsee zum Großen Glietensee über die Rohre 9 und 8 (Bild 19 und 20).

Aus den entsprechend ihrer Höhenlage über NN in jeweils vergleichbaren Maßstäben dargestellten Ganglinien lassen sich im einzelnen folgende Aussagen treffen:

Ein starkes Gefälle besteht im Profil I von dem am höchsten gelegenen Grundwasserstand des gesamten Einzugsgebietes bei Rohr 12 bis hin zum Nehmitzsee (Bild 16). Es erreicht bei sehr hohen Wasserständen (1970,1982) maximal rund 4 m und geht bei sehr tiefen Wasserständen bis auf rund 2 m zurück (1994). Diese großen Gefälleunterschiede entstehen nahezu ausschließlich infolge der langzeitlichen periodischen Schwankungen im vorfluternen Bereich. Einen vergleichbaren Gang weist auch der Wasserstand des Kleinen Krukowsees auf. Bei nicht so großer Vorflutferne ist auch die Schwankungsbreite etwas geringer. Außerdem werden die langzeitlichen Änderungen noch durch die Jahrgänge, wie sie sich aus Niederschlag und Verdunstung ergeben, überlagert.

Im Vergleich hierzu sind die Wasserstandsänderungen des Nehmitzsees nur gering, wobei durch die Regulierung des Abflusses besonders in Zeiten höherer Wasserstände noch eine zusätzliche Nivellierung erfolgt. Eine ebenso geringe Variabilität des Wasserstandes weisen auch die südlich des Neh-

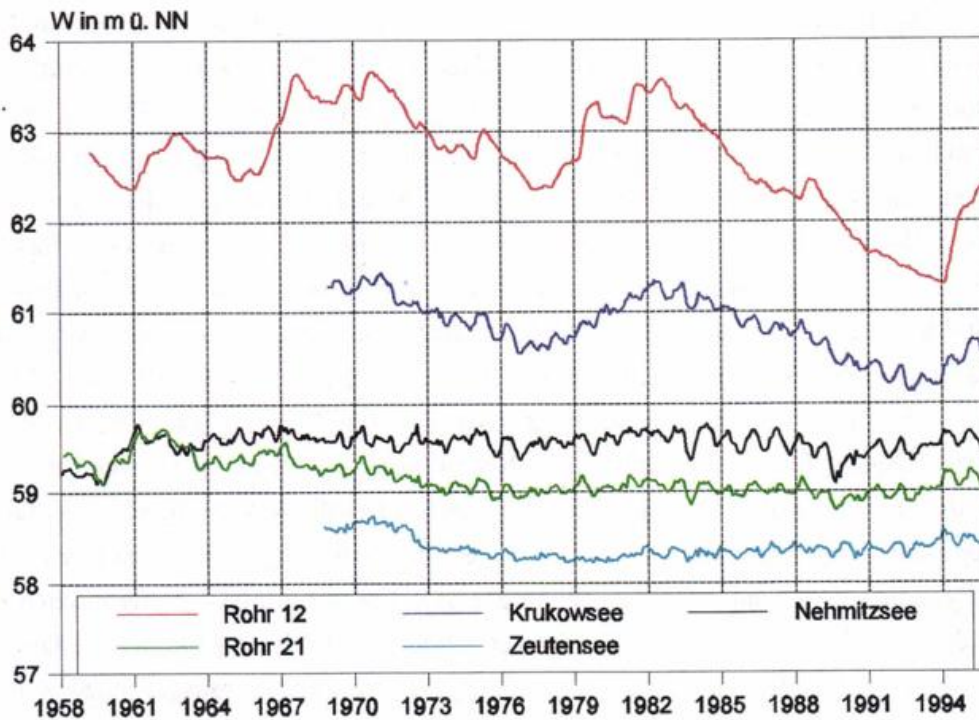


Bild 16: Gang der Grund- und Seewasserstände (W), Profil I, 1958/1995

mitzsees im Bereich des unterirdischen Abflusses gelegenen Meßstellen auf. Sie sind allerdings durch einen auffallend abweichenden Gang im langzeitlichen Verlauf geprägt. So bestehen zunächst bis Mitte 1963 weitgehend gleich hohe Wasserstände im Nehmitzsee und im Grundwasserrohr 21. Deutlich erkennbar wirkt sich in dieser Zeit auch die Anhebung des Nehmitzsees durch die Einrichtung des Regelbauwerks auf das südlich gelegene Grundwasserniveau aus, wobei immer nur zeitweilig ein Grundwassergefälle in diese Richtung besteht. Im Anschluß daran setzt ein bis ca. 1976 andauernder kontinuierlicher Abfall des Grundwasserstandes ein, der sich nachfolgend auf einen gleichbleibenden Niveauunterschied einpegelt. Ein hiermit übereinstimmender Gang des Wasserstandes ist auch für die weiteren Grundwasserrohre südlich des Nehmitzsees gegeben und läßt sich bezüglich des Abfalls ebenso noch an den erst 1968 beginnenden Messungen am Zeutensee erkennen.

Ein ausgeprägtes Grundwassergefälle liegt auch im Profil II vor, ausgehend von den vorflutfernen Gebieten südöstlich des Stechlinsees bis hin zu der vom Stechlinsee zum Großen Boberowsee in Richtung Norden verlaufenden Rinne (Bild 17). Auch in diesem Profil zeigen sich die starken periodischen Grundwasserschwankungen im vorflutfernen Bereich und deren Abnahme zum Vorfluter hin. An den unterhalb des Stechlinsees gelegenen Meßstellen sind sie nur noch in abgeschwächter Form erkennbar. Das Gefälle zwischen dem höchstgelegenen Wasserstand im Rohr 37 und dem Stechlinsee ist mit 2 bis 3 m allerdings etwas geringer als zu dem hohen Grundwasserniveau im Nordwesten.

Besonders bemerkenswert in diesem Profil ist der Gang des Wasserstandes in den Rohren 27 und 26,

also im Bereich des nach Norden hin gerichteten Grundwasseraustritts aus dem Stechlinsee. So besteht zu dem ca. 500 m vom Stechlinsee entfernt gelegenen Rohr 27 nur ein durchschnittlich geringer Wasserstandsunterschied, während zu dem doppelt so weit entfernt gelegenen Rohr 26 dann ein sehr starkes Grundwassergefälle auftritt. Die Ursachen hierfür dürften in den geologischen Schichtungsbedingungen und in der Lage des Rohres 26 zu suchen sein. Dieses befindet sich in einer vom Stechlin- zum Boberowsee verlaufenden Rinne, die hier die meist nur leicht gewellten Sanderflächen in markanter Form durchschneidet. Trotz der unterschiedlichen morphometrischen Bedingungen und der mit 20,7 m bei Rohr 27 und 2,4 m bei Rohr 26 sehr unterschiedlichen Grundwasserflurabstände weisen die Ganglinien gleich große periodische Schwingungen auf. Auffällig ist dabei allerdings der zwischen 1970 und 1975 stattfindende deutliche Niveauabfall im Rohr 26, etwa vergleichbar mit dem Grundwasserrückgang im Gebiet südlich des Nehmitzsees. Da diese Niveauverschiebungen nur außerhalb des Einzugsgebietes in den Bereichen des unterirdischen Abflusses aus beiden Seen vorkommen, könnte als potentielle Ursache hierfür ein durch die Regulierung erhöhter oberirdischer Abfluß bei gleichzeitiger erhöhter Verdunstung des Stechlinsees infolge der thermischen Belastung und einer demzufolge verminderter unterirdischer Abflußpende in Frage kommen. Dies läßt sich allerdings wegen fehlender längerfristiger Messungen unter den vorausgegangenen natürlichen Bedingungen nicht beweisen.

Ein weiterer Hinweis ist auf den Verlauf der Ganglinie des Rohres 27 zu geben. Sie zeigt, daß zur Zeit der höchsten Wasserstände, wie 1967/71 und 1981/82, das Grundwasserniveau in diesem Gebiet über den Wasserstand des Stechlinsees ansteigt und somit der sonst bestehende unterirdische Abfluß zeitweilig unterbrochen wird. Die Ursachen hierfür liegen im natürlichen Wasserhaushalt des Gebietes und sind nicht auf die Regulierung des oberirdischen Abflusses zurückzuführen. Dies zeigt auch die Parallelität des Wasserstandsganges im Stechlinsee und in den oberhalb gelegenen Grundwasserrohren 40 und 2 im Bereich des ständig von Südosten her zufließenden Grundwassers.

Ein ausgeprägtes Wasserstandsverhalten besteht auch im Profil III (Bild 18). So haben die langperiodischen Schwankungen an allen 5 Meßstellen bei annähernd gleich großen Amplituden einen nahezu parallelen Verlauf und wegen der fehlenden nivellierenden Wirkung, wie im vorflutnahen Bereich des Stechlin- und Nehmitzsees, bleibt dabei auch das Gefälle zwischen den Meßstellen unabhängig vom Wasserstand annähernd gleich.

Lediglich zwischen dem sehr grundwasserfernen Rohr 35 und dem Rohr 30 ergeben sich etwas größere Gefälleunterschiede bei hohen und tiefen Grundwasserständen, wie sie auch schon für Profil I und II beschrieben wurden. Außerdem ist für den Glietzensee ein insgesamt leichter Rückgang des Wasserstandes zu verzeichnen, was aus dem Vergleich der tiefen Wasserstände von 1960 und 1993 ersichtlich ist.

Weiterhin ist darauf hinzuweisen, daß die Ganglinien der beiden Grundwasserrohre 30 und 6 ebenso wie die der beiden Seen durch die aus Verdunstung und Niederschlag resultierenden Jahresgänge mit geprägt werden. Beide Rohre liegen in unmittelbarer Nähe tiefer abgesenkter anmooriger Bereiche der Tradenwiesen mit sehr geringem Grundwasserflurabstand und einem somit ähnlichen Verdunstungsverhalten wie die Seen. Dagegen weist das Rohr 35 die für tief gelegene und vorflutferne Grundwasserstände typische Glättung der Ganglinien auf, vergleichbar mit den Rohren 12 sowie 3

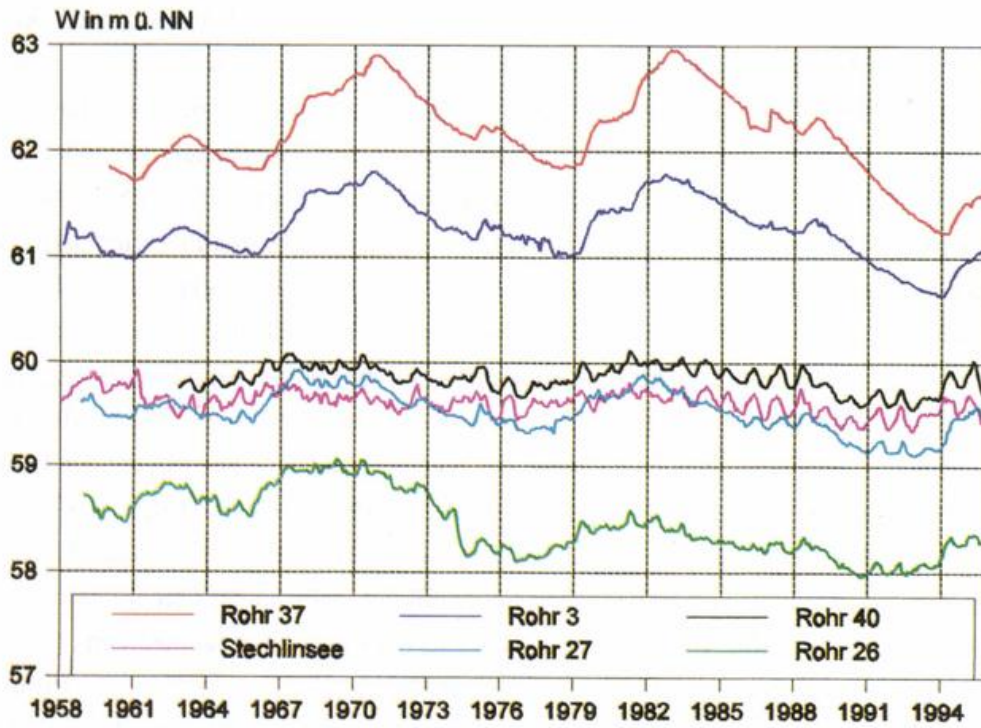


Bild 17: Gang der Grund- und Seewasserstände (W), Profil II, 1958/1995

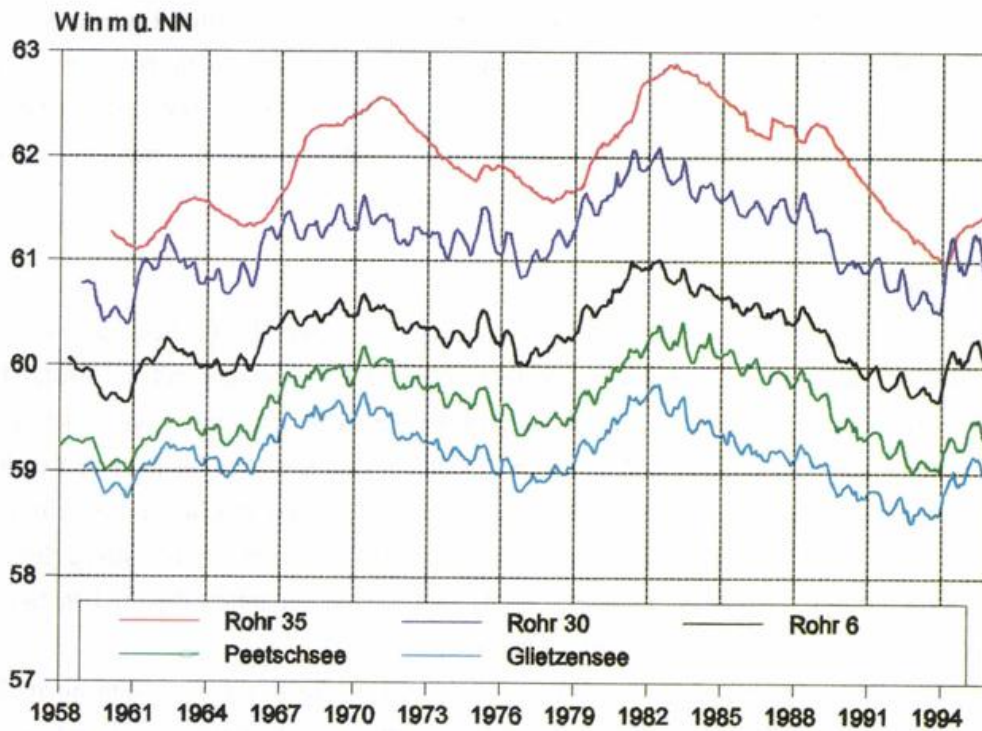


Bild 18: Gang der Grund- und Seewasserstände (W), Profil III, 1958/1995

und 37 in den Profilen I und II. Dieser Verlauf ergibt sich immer dann, wenn die kurzzeitigen Schwankungen im Wasserdargebot durch den bis über 25 m tiefen Versickerungsraum weitgehend gedämpft werden und auch keine Rückwirkungen von Seespiegelschwankungen auf den vorflutnahen Grundwasserraum bestehen. Letzteres wird im Kapitel 10.3 noch eingehender behandelt.

Das Profil IV (Bild 19) verdeutlicht ein zeitlich wechselndes Grundwassergefälle zwischen dem Stechlin- und Peetschsee mit einer häufiger zum Stechlinsee hinweisenden Fließrichtung bzw. relativ ausgeglichenen Wasserständen. Letztere bedingen fast immer einen schmalen Grundwasserrücken zwischen beiden Seen mit den höchsten Wasserständen im Rohr 28 und einem somit identischen Verlauf der ober- und unterirdischen Wasserscheide. Durchgehende Grundwasserneigungen vom Peetschsee zum Stechlinsee bestanden von 1971 bis 1974 und von 1982 bis 1988 jeweils im Anschluß an die Perioden mit den höchsten Wasserständen des Meßzeitraumes. Eine Umkehr der Fließrichtung ergab sich bei den tiefen Wasserständen 1963/67 und 1990/94 sowie kurzfristig um 1976/77, wobei allerdings das Gefälle jeweils nur vom Stechlinsee bis Rohr 29 und dann weiter nach Norden verlief. Die sehr großen Unterschiede von 1959/60 wurden durch den Aufstau des Stechlinsees beim Ausbau des Polzow-Kanals verursacht. Weitere Einzelheiten sind aus Bild 19 zu entnehmen.

Aus den Ganglinien des Profils V (Bild 20) wird ersichtlich, daß im Bereich der Nordspitze des Stechlinsees nahezu immer ein mehr oder weniger starker Abfall zum Glietzensee hin besteht, der nur bei sehr hohen Grundwasserständen wie 1969/71 und 1981/82 durch einen schmalen Grundwasserrücken zwischen beiden Seen kurzzeitig unterbrochen ist. Auch hierdurch wird der unter diesen Bedingungen weitgehend fehlende unterirdische Abfluß belegt, was bereits in den Anmerkungen zum Profil II hervorgehoben wurde.

Mit diesen Erläuterungen zum Wasserstandsverhalten in den 5 ausgewählten Profilen sind auch die wesentlichsten Merkmale der Grundwasserbewegung im Stechlin- und Nehmitzseegebiet und deren räumliche und zeitliche Veränderungen charakterisiert. Keiner weiteren Erklärungen bedürfen die weitgehend ausgeglichenen Bedingungen zwischen beiden Seen, die definitiv nur ein sehr geringes, von Nord nach Süd weisendes Grundwassergefälle aufweisen.

5.5 Vorratsänderung in Seen und Grundwasser

Entsprechend der langjährigen periodischen Schwankungen der Grund- und Seewasserstände erfolgt auch eine zeitlich variierende Wasservorratsänderung, deren Bestimmung mit als Bestandteil einer vollständigen Bilanzierung des Gesamtwasserhaushaltes erforderlich ist. Dies erweist sich insofern als problematisch, als daß Rücklage und Aufbrauch sowohl in den Seen als auch in den Gebieten mit starker bzw. geringer Grundwasserstandsschwankung zeitlich phasenverschoben bis zeitweilig sogar gegensätzlich verlaufen. Infolgedessen ist eine möglichst differenzierte Betrachtung der Speicherprozesse durchzuführen, um somit die anteiligen Auswirkungen der unterschiedlichen Bedingungen im Gebiet auf die Gesamtspeicherung richtig einzuschätzen.

Zur Lösung des Problems wurde neben einer gesonderten Betrachtung der Seen auch das unterirdische Einzugsgebiet noch in Bereiche mit starken, mittleren und geringen Grundwasserstandsschwankungen unterteilt, deren Lage aus Bild 21 ersichtlich ist. Angaben zur Flächengröße der Teilgebiete und der Seen sowie deren prozentuale Anteile am Gesamtgebiet enthält Tabelle 7. Sie

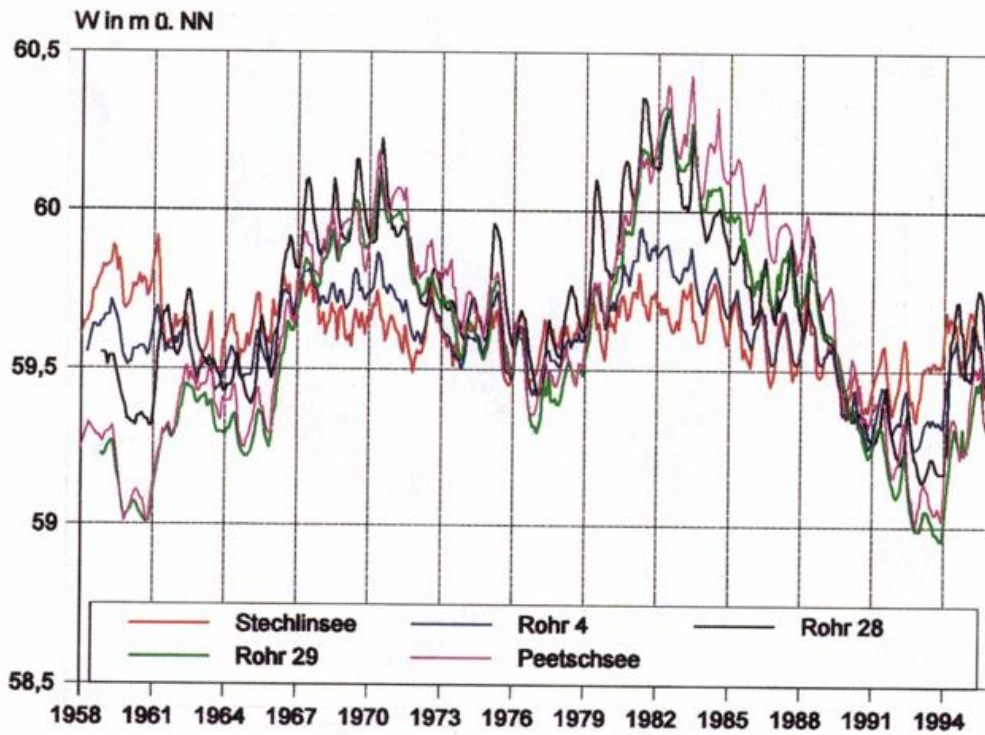


Bild 19: Gang der Grund- und Seewasserstände (W), Profil IV, 1958/1995

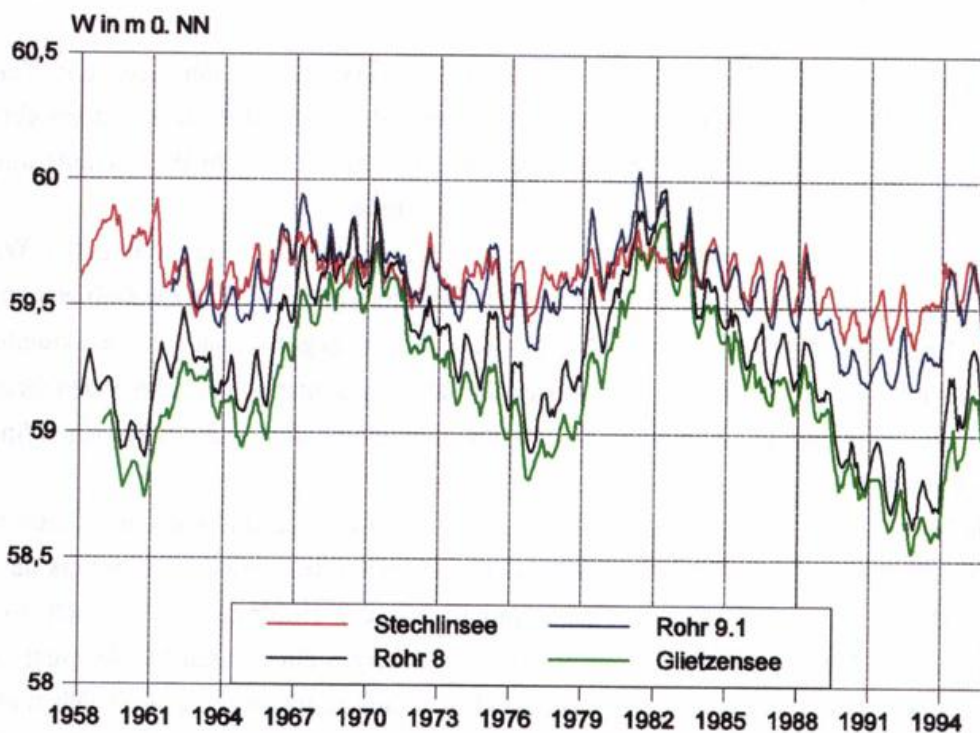


Bild 20: Gang der Grund- und Seewasserstände (W), Profil V, 1958/1995

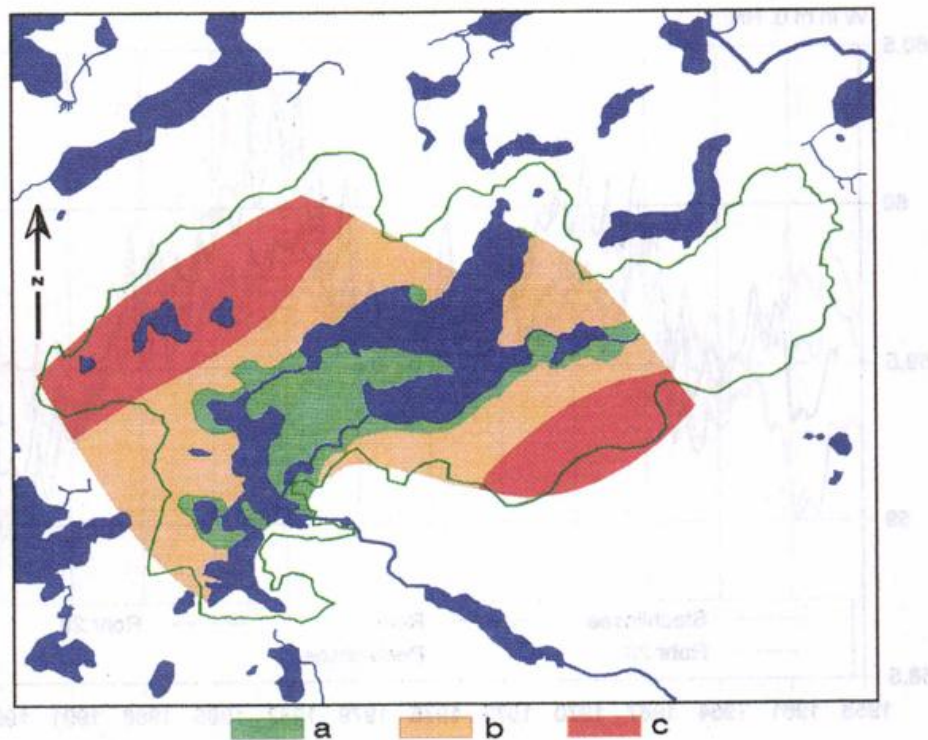


Bild 21: Unterteilung des Stechlin- und Nehmitzseegebietes in Bereiche mit geringen (a), mittleren (b) und starken (c) Grundwasserstandsschwankungen

bilden die Grundlage für eine über das Gebiet gewichtete Mittelung der Vorratsänderung, wobei im einzelnen wie folgt vorgegangen wurde:

Zunächst erfolgte eine Bestimmung des monatlichen Wasserstandes in den Seen und Teilgebieten, jeweils als Abweichung vom langjährigen Mittelwasserstand. Für die Seen war dies insofern einfach, da die jeweils abgelesenen Wasserstände in cm direkt als Differenz in mm Wassersäule umgerechnet werden können. Bei einem Mittelwasserstand des Stechlinsees von 59,61 m über NN entspricht somit ein abgelesener Wert von 59,51 m einem aktuellen Wasserstand von -100 mm, der dann gemäß Tabelle 7 mit einem Gewicht von 13,9 % in die Gebietsmittelung eingeht. Für die drei definierten Grundwasserbereiche war dagegen zunächst die aktuelle Wasserstandsabweichung als Mittel aus den verfügbaren und als repräsentativ anzunehmenden Grundwasserrohren zu bestimmen und diese dann in mm Wassersäule gemäß dem wahrscheinlichen Speichervermögen im Grundwasserleiter umzurechnen.

Die Grundlage hierfür bildeten die in früheren Wasserhaushaltsuntersuchungen durchgeführten Bodenanalysen, wobei für Probenentnahmen aus dem Bereich des Grundwasserleiters das Trockenvolumen und das Gesamtvolumen bestimmt und daraus der Hohlraumgehalt, auch als Porosität bezeichnet, zu 32 % ermittelt wurde. Dieser für den Lockergesteinsbereich Nordostdeutschlands bei Erdstoffarten wie sandiger Kies und kiesiger Sand durchaus repräsentative Wert läßt nun auf eine entwässerbare Porosität von 15 bis 25 % schließen (BUSCH und LUCKNER, 1973). Er wurde für die weiteren Berechnungen unter Berücksichtigung der aus Bohrungen vorliegenden Informationen über die dominierenden Schichtungsbedingungen des Grundwasserleiters zu 20 % angenommen, das

Tabelle 7: Größe der Teilflächen (in km² und %) des mittleren unterirdischen Einzugsgebietes vom Stechlin- und Nehmitzsee

Teilfläche	km ²	%
Gebiet großer Grundwasserstandsschwankungen	7,5	24,3
Gebiet mittlerer Grundwasserstandsschwankungen	11,8	38,2
Gebiet kleiner Grundwasserstandsschwankungen	4,8	15,5
Stechlinsee	4,25	13,8
Nehmitzsee einschließlich Breutzen- und Gerlinsee	1,9	6,1
Sonstige Seen	0,65	2,1
Gesamt	30,9	100,0

heißt, eine Grundwasserstandsänderung von 10 cm entspricht einer Speicheränderung von 20 mm. Dieser Wert ist wegen der variierenden Bodenstruktur zwangsläufig mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Daraus entstehende mögliche Fehler wirken sich allerdings nur auf die kurzzeitigen Wasserbilanzen mit zeitweilig zu groß oder klein berechneten Beträgen der Wasserstandsänderung aus. Für längerfristige Betrachtungen besteht dagegen ein periodisch wiederkehrender Ausgleich zwischen Rücklage und Aufbrauch und somit eine Fehlerkompensation. Dies wird auch anhand der auf Bild 22 dargestellten Ganglinie des mittleren Gebietswasserstandes verdeutlicht. Ihre Berechnung erfolgte aus dem Verlauf aller repräsentativen Grund- und Seewasserstände des Einzugsgebietes durch gewichtete Mittelung gemäß den in Tabelle 7 angegebenen Gebietsanteilen. Sie stellt definitiv die Integration aller Wasserstandsänderungen im Gebiet dar. Als Bezugs- oder Basiswasserstand wurde der Wert von 60.00 m über NN gewählt, der nach den vorliegenden Messungen auch unter extremsten Bedingungen im gewichteten Gebietsmittel nicht unterschritten wird. Im langjährigen Zeitraum 1959/95 ergibt sich dieses Gebietsmittel zu 60.25 m über NN, gleichzusetzen mit einem Wasserstand von 250 mm auf Bild 22. Auf diesen Wert wurden dann die zunächst als Abweichung vom Gebietsmittel berechneten monatlichen Wasserstände bezogen. Die größte Wasserspeicherung im Gebiet bestand im Juni 1983 bei einem Wasserstand von 345 mm, die kleinste im November 1992 bei 113 mm über 60.00 m, was einer Abweichung von +95 mm bzw. -137 mm vom langjährigen Gebietsmittelwert entspricht. Als maximaler Speicherunterschied ergibt sich somit ein Betrag von 232 mm.

Für die monatliche Bilanzierung des Wasserhaushaltes ist nun die jeweilige Vorratsänderung im Grund- und Seewasser direkt als Differenz des Wasserstandes vom betreffenden zum nachfolgenden Monat in mm Wassersäule, bezogen auf das Einzugsgebiet, zu bestimmen. Die Vorgabe eines möglichen Fehlers der festgelegten Porosität in den angegebenen Grenzen zwischen 15 und 25 % führt zu einer maximal möglichen Veränderung in der Speicheramplitude von ± 33 mm, was einer Fehler-toleranz von ± 14 % entspricht. In diesen relativen Grenzen bewegen sich dann auch die Unsicher-

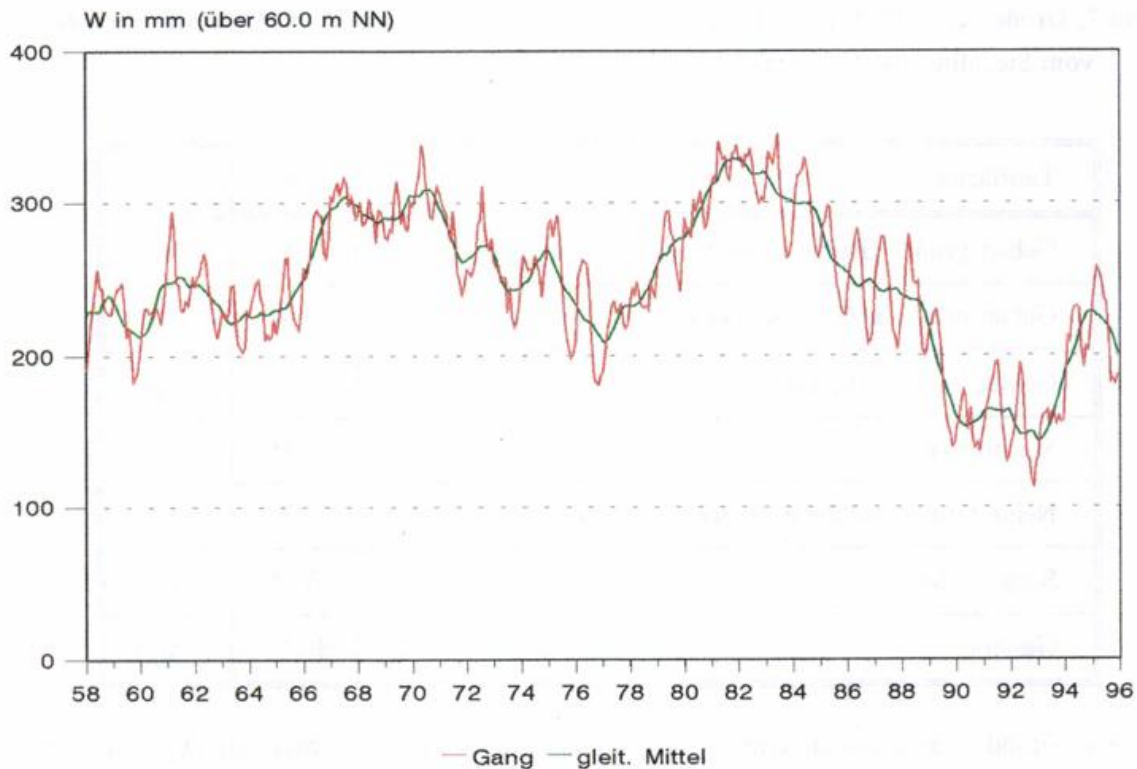


Bild 22: Gang des Wasserstandsgebietsmittels (W) im Stechlin- und Nehmitzseegebiet 1958/1995

heiten der monatlichen Wasserstandsänderungen, die bei einer mittleren Variabilität von $\pm 9,7$ mm somit nur mit einem wahrscheinlichen mittleren Fehler von $\pm 1,4$ mm behaftet sind. Insofern haben die relativ hoch angesetzten Fehlertoleranzen der Porosität auch für aktuelle Monatswerte keine gravierenden Abweichungen in den berechneten Wasserspeicherungen zur Folge. Da sich außerdem mögliche Fehler bei der Festlegung der Flächengrößen der Teilgebiete mit jeweils unterschiedlichen Wasserstandsschwankungen selbst bei einem Irrtum von 1 km^2 nur mit weniger als $\pm 0,5$ mm in der berechneten monatlichen Wasserstandsänderung auswirken, ist die Bestimmung der Grund- und Seewasserspeicherung bei der Aufstellung monatlicher Gesamtwasserbilanzen als insgesamt relativ sicher einzuschätzen. Für Langzeitbilanzierungen ist sie ohnehin von untergeordneter Bedeutung.

Die Ergebnisse der aus den Grund- und Seewasserstandsschwankungen für das Gebiet berechneten Monats- und Jahressummen der Wasservorratsänderung enthält Tabelle 8. Wie sich zeigt, ist die Bilanz für den Gesamtzeitraum ausgeglichen. Obwohl über eine Beobachtungsperiode von 38 Jahren ohnehin im Mittel keine größeren Speicherunterschiede zu erwarten sind, ist die sich ergebende Vorratsänderung von exakt $0,0$ mm als zufällig anzusehen. Sie wäre beispielsweise zu den Jahresenden von 1994 mit $-1,2$ mm und von 1992 mit $+1,6$ mm geringfügig hiervon abgewichen.

Auch die jährlichen und monatlichen Vorratsänderungen sind in der Regel relativ klein. So entstand die größte Jahresspeicherung 1960 mit $+58,4$ mm durch den Aufstau des Stechlin- und Nehmitzsees bei der Einrichtung des Regelbauwerks, während der größte Aufbrauch von $-75,6$ mm in dem sehr niederschlagsarmen Jahr 1975 stattfand. Bei den Monatssummen liegt die größte Speicherung mit $+40,0$ mm im Januar 1976 als Folge des mit $150,1$ mm sehr hohen Gebietsniederschlages bei einem

Tabelle 8: Monats- und Jahressummen der Grund- und Seewasservorratsänderung (in mm) im Stechlin- und Nehmitzseegebiet, 1958/1995

JAHR	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Σ JAHR
1958	11,7	18,6	8,5	15,5	11,3	-11,4	-1,2	-12,0	-2,5	-1,9	-0,2	7,1	43,5
1959	7,7	2,3	1,7	1,7	-13,9	-20,9	6,4	-17,7	-16,8	2,6	4,7	14,9	-27,3
1960	13,7	10,8	0,0	-2,9	1,1	-2,9	5,6	-2,9	-7,7	9,3	14,3	20,0	58,4
1961	12,3	17,6	-13,1	-34,0	-1,5	-16,8	0,3	5,6	-2,3	8,9	10,5	-7,4	-19,9
1962	6,3	1,9	6,8	7,2	-6,1	-17,6	-5,4	-11,7	-10,1	-4,7	9,5	8,4	-15,5
1963	-2,3	-3,2	5,8	15,5	1,0	-26,0	-12,7	-2,4	-2,2	2,7	23,4	-2,4	-2,8
1964	7,6	6,9	6,6	1,8	-11,7	-4,6	-22,9	3,3	-2,5	1,6	11,1	-9,3	-12,1
1965	8,8	10,2	13,9	16,1	0,8	-24,7	-8,5	-8,0	-2,6	3,4	12,2	28,7	43,5
1966	-6,4	3,8	7,7	18,0	11,2	2,5	-3,3	-0,3	-23,4	-4,7	13,5	27,2	45,8
1967	-2,2	7,3	4,6	-8,8	6,7	5,0	-3,7	-14,6	5,8	4,7	-9,1	2,4	-11,3
1968	8,5	-15,1	0,2	4,1	12,8	-10,2	-2,0	-16,7	21,0	-1,0	-6,6	-9,8	-14,8
1969	-1,6	6,4	-1,5	21,5	11,6	-9,3	-18,9	7,6	-10,5	1,3	18,9	-2,8	20,1
1970	3,7	11,5	4,6	20,4	-6,4	-20,9	-7,0	-13,3	-1,1	13,5	7,4	-3,8	8,6
1971	-6,6	-3,8	-3,9	-10,4	-7,1	19,6	-18,0	-21,8	-6,7	-5,0	7,5	9,8	-50,4
1972	-1,7	-2,2	0,7	9,0	20,2	4,6	21,2	-27,4	-10,0	-5,1	7,9	-14,9	5,1
1973	-3,2	5,0	-4,7	1,2	-0,5	-22,7	16,4	-18,7	-6,9	3,1	9,8	21,5	-8,4
1974	12,6	-10,2	9,2	4,4	-2,1	10,6	-5,4	-5,6	-16,0	15,7	10,5	21,2	33,3
1975	40,0	6,9	4,7	-1,3	-15,6	-28,5	-21,9	-13,4	-8,0	-5,4	3,3	8,6	-75,6
1976	11,9	14,9	7,9	8,2	-1,2	-17,5	-31,9	-23,2	-4,2	-1,1	5,9	2,8	-20,5
1977	10,9	-4,0	8,1	-10,4	-5,3	-1,4	1,3	3,9	-12,8	-3,3	2,0	12,4	43,4
1978	6,9	1,4	19,6	8,1	0,0	-14,1	-2,7	-15,2	19,2	-8,5	-2,0	19,3	24,7
1979	-8,4	1,8	-6,2	25,2	-7,9	6,5	6,8	-10,1	-11,0	3,9	14,3	11,5	32,2
1980	4,2	-3,5	26,9	-5,7	5,5	1,3	-12,2	-3,9	-5,1	0,7	5,3	14,1	16,2
1981	1,0	-6,7	8,7	-1,3	7,4	-28,0	-11,8	-13,9	-15,4	1,2	-2,1	12,5	-15,0
1982	20,6	9,7	0,9	3,8	11,2	-8,9	-9,7	-16,9	-15,9	-11,3	-3,0	5,4	-15,4
1983	22,6	3,5	12,4	8,1	-8,6	-6,4	-21,5	-5,5	-10,0	-4,1	-0,3	18,5	-25,1
1984	14,3	3,6	8,3	-0,3	-13,7	-10,1	-24,0	-20,0	-10,6	1,8	6,0	33,2	3,7
1985	14,1	8,4	16,5	-13,9	-17,0	-1,2	1,7	-27,6	-5,0	-3,4	15,3	8,5	-20,7
1986	12,0	21,6	7,6	7,6	-18,1	-20,9	-18,8	-8,2	-5,9	-8,9	1,7	10,7	-65,5
1987	1,1	10,6	1,6	-4,1	-21,3	14,7	-20,2	-5,8	2,5	-5,4	8,5	2,4	-9,2
1988	5,7	6,1	7,9	5,8	9,6	0,7	-19,0	-20,9	-12,0	-11,3	5,2	7,7	-12,8
1989	10,4	10,5	21,4	14,2	-8,6	-32,2	-20,9	-2,2	4,3	-6,5	15,9	5,7	-8,4
1990	6,3	8,5	0,5	2,3	-8,3	6,8	-0,6	-6,0	13,3	-3,7	1,2	24,4	48,1
1991	29,4	-2,1	17,4	4,2	0,5	-1,8	-25,3	-12,9	-1,6	13,4	13,4	18,9	53,6
1992	12,4	8,6	-3,0	-5,6	-12,0	-1,8	-22,2	-29,1	1,8	-2,8	5,2	3,4	-45,1
MIT.	8,3	4,2	5,5	3,2	-2,7	-8,4	-9,3	-10,9	-5,2	-1,6	7,2	9,7	0,0
MAX.	40,0	21,6	26,9	25,2	20,2	19,6	21,2	7,6	21,0	15,7	23,4	33,7	58,4
MIN.	-8,4	-15,1	-13,1	-34,0	-22,8	-32,2	-31,9	-29,1	-23,4	-11,3	-9,1	-14,9	-75,6
STR.	9,8	8,0	8,4	11,3	10,4	12,7	12,4	9,3	10,4	6,3	7,4	11,7	32,9

nach dem Trockenjahr 1975 noch geschlossenen Schütz, während sich der größte monatliche Aufbrauch im April 1961 durch die Schützöffnung des zu diesem Zeitpunkt in Betrieb gehenden Regelbauwerks ergibt, verbunden mit dem starken Abfluß des bis dahin aufgestauten Wassers. Im Mittel liegt die jährliche Vorratsänderung von $\pm 32,9$ mm bei 5 % der jährlichen durchschnittlichen Niederschlagshöhe.

6. Ober- und unterirdischer Abfluß

Als resultierende Größe aller im Einzugsgebiet ablaufenden Wasserhaushaltsprozesse ergibt sich der Abfluß, der entsprechend der hydrogeologischen Gegebenheiten getrennt in ober- und unterirdischen Abfluß zu bestimmen ist.

Die ersten Messungen des oberirdischen Abflusses erfolgten bereits mit Beginn der Untersuchungen im Sommer 1957 noch unter natürlichen Bedingungen sowohl am Auslauf des Stechlinsees als auch des Nehmitzsees. Sie sind wegen der besonders bei niedrigen Wasserständen im Polzowkanal nicht eindeutig definierten Durchflußprofile als relativ unsicher anzusehen. Auf Grund der im Sommer 1958 beginnenden Bauarbeiten mit zeitweiliger Sperrung des Auslaufs vom Stechlinsee wurden hier die Messungen bereits im Oktober dieses Jahres wieder eingestellt, so daß brauchbare Ergebnisse über die anfänglich gemessenen Abflußspenden des Gebietes nur vom Auslauf Nehmitzsee vorliegen. Auch hier erfolgte eine Abriegelung des Abflusses mittels Erddamm ab Oktober 1959. Sie wurde nach Fertigstellung des Regelbauwerks, bestehend aus einem Zugwehr und einer betonierten Abflußrinne, im März 1961 wieder aufgehoben. Mit zur Ausstattung des Regelbauwerks gehören je ein Wasserstandspegel unmittelbar oberhalb des Zugwehres in Richtung Nehmitzsee (Oberpegel) und zum unteren Ende der Meßrinne (Unterpegel). In der Folgezeit fanden zunächst umfangreiche Abflußmessungen bei verschiedenen Schützöffnungen von 5 bis 25 cm zur Bestimmung erster Abflußkurven statt, die dann in den späteren Jahren durch sporadische Kontrollmessungen besonders in Hinblick auf extreme Wasserstände ergänzt wurden. Der oberirdische Abfluß unterliegt seither einer gezielten Regulierung durch das KKW Rheinsberg, durchgeführt auf der Grundlage einer wasserrechtlichen Nutzungsgenehmigung, um die für den Betrieb des KKW gewünschten Wasserstände in einem vorgegebenen Schwankungsbereich zu gewährleisten.

Nicht meßbar sind hingegen die unterirdischen Abflüsse über die bereits in Kapitel 5 erläuterten Grundwasseraustrittsstellen des Stechlin- und Nehmitzsees. Ihre Bestimmung erfolgte durch Berechnung unter Beachtung der unterschiedlichen Austrittsbreite in Abhängigkeit von den natürlichen Grundwasserstandsschwankungen. Erkennbare Rückwirkungen anthropogener Einflüsse liegen nicht vor.

6.1 Oberirdischer Abfluß

Zur Bestimmung des oberirdischen Abflusses wurden alle verfügbaren Unterlagen über die seit 1961 durchgeführten Abflußmessungen einer zusammenfassenden Auswertung unterzogen. Für die Festlegung der erforderlichen Abflußkurven erfolgte die Erprobung mehrerer möglicher Varianten der Ableitung von Beziehungen zwischen Abflußspende, Schützöffnung und den Wasserständen am Ober- und Unterpegel. Die beste Anpassung zwischen gemessenen und berechneten Abflüssen ergab

sich dann, wenn für die einzelnen Schützöffnungen die Wasserstände beider Pegel Berücksichtigung finden. Das Problem dabei ist allerdings, daß die Messungen am Unterpegel von 1967 bis 1979 über einen langen Zeitraum nicht durchgeführt wurden und eine einheitliche Abflußberechnung auf dieser Grundlage somit ausscheidet. Verwendung fanden letztlich Abflußkurven, die die Abflußspende in Abhängigkeit von der Schützöffnung und dem Wasserstand am Oberpegel darstellen. Ihre Ermittlung erfolgte über vier Öffnungsstufen von 5 bis 20 cm, wovon besonders die beiden kleineren Stufen von 5 und 10 cm wichtig sind, da die gesamte Abflußregulierung im wesentlichen mit diesen beiden Schützöffnungen erfolgte. Größere Öffnungen von 15 bis 20 cm bestanden nur beim Ablassen des aufgestauten Wassers nach der Abriegelung von März bis Mai 1961, im November 1967 infolge eines unbefugten Eingriffes durch Fremde und zeitweilig im Frühjahr 1994 und 1995.

Die festgelegten Abflußkurven zeigt Bild 23. Ihr Ausgangswert bei einem Pegelstand von 45 cm ergibt sich, da im Bereich darunter liegender Wasserstände Niveaugleichheit mit dem unterhalb gelegenen Teufelssee/Polzowkanal besteht und somit definitiv kein oberirdischer Abfluß (Q_0) mehr stattfindet. Außerdem war unter diesen Bedingungen das Wehr ohnehin immer geschlossen. Die berechnete Anpassungsfunktion für die Abflußkurven lautet

$$Q_0 = - a + b \ln(P-20) \text{ m}^3/\text{s} \quad (4)$$

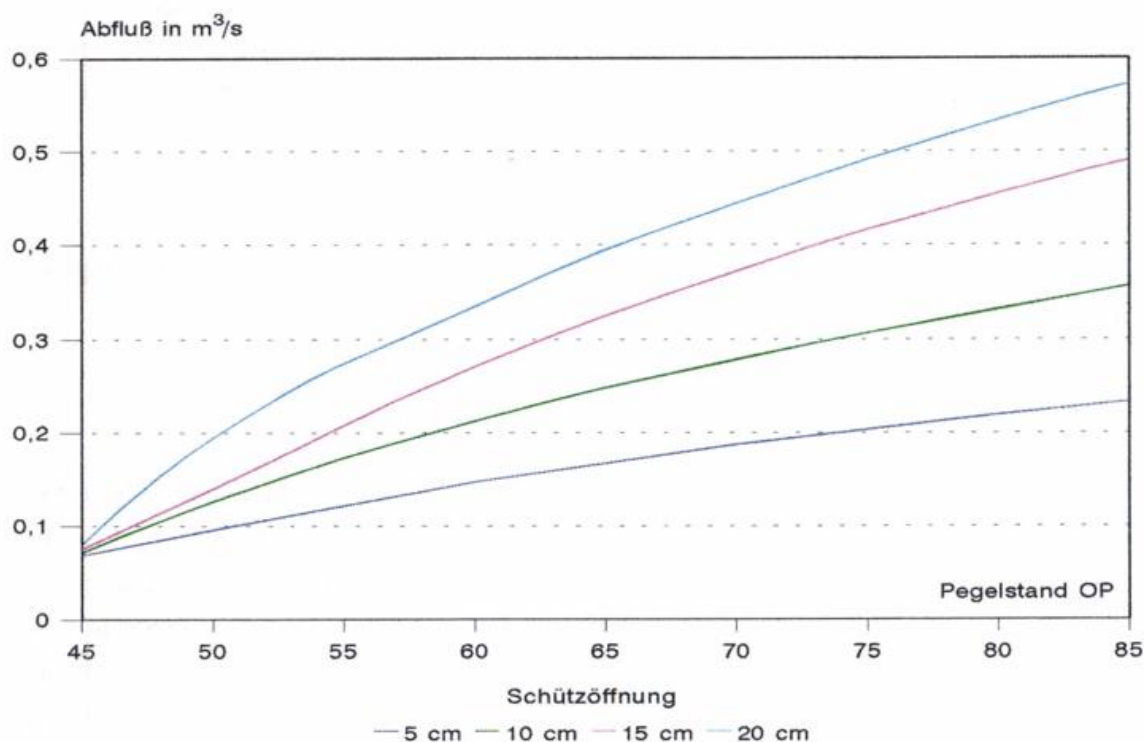


Bild 23: Abflußkurven bei vorgegebenen Schützstellungen des Regelbauwerks Nehmitzsee

mit P als Wasserstand des Oberpegels und den Koeffizienten a und b in Abhängigkeit von den Schützöffnungen:

Schützöffnung	a	b	Schützöffnung	a	b
5 cm	0,506	0,177	15 cm	1,404	0,454
10 cm	0,888	0,298	20 cm	1,468	0,489

Die mittlere Anpassungsgenauigkeit aller vier Abflußkurven beträgt $\pm 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$. Sie ist damit gegenüber $0,013 \text{ m}^3/\text{s}$ bei der Verwendung von Ober- und Unterpegel nur geringfügig schlechter. Die berechneten Monatssummen des oberirdischen Abflusses sind in Tabelle 9 in mm Wassersäule angegeben und beziehen sich auf die mittlere Größe des unterirdischen Einzugsgebietes von $30,9 \text{ km}^2$. Sie stimmen von daher auch in den Jahren 1958 bis 1965 nicht mehr mit den Werten der früheren Wasserhaushaltsuntersuchungen überein, denen das oberirdische Einzugsgebiet von $42,3 \text{ km}^2$ zugrunde liegt.

Trotz der Regulierung zeigt der zeitliche Verlauf der Abflüsse mittelfristig weitgehende Übereinstimmung mit dem Niederschlagsdargebot. So entstanden die höchsten Abflüsse 1981 mit $224,3 \text{ mm}$, nachdem ab 1977 eine Folge von niederschlagsreichen Jahren vorausgegangen war sowie 1967 mit $187,4 \text{ mm}$ und 1995 mit $198,7 \text{ mm}$ ebenfalls jeweils im Anschluß an sehr niederschlagsreiche Jahre (vgl. Tabelle 5). Kein oberirdischer Abfluß fand dagegen in den Jahren mit durchgehend geschlossenem Wehr statt. Hier ragt besonders die Periode ab 1990 heraus. Bei einem langjährigen Mittelwert von $83,0 \text{ mm/a}$ hat die Abflußhöhe somit eine relativ große Variabilität, deren kurzfristig auftretende starke Schwankungen weitgehend durch die Regulierung erzeugt werden. Insgesamt ist der oberirdische Abfluß mit umgerechnet $81,3 \text{ l/s}$ Abflußspende als sehr gering einzuschätzen.

6.2 Unterirdischer Abfluß

Als Grundlage zur Bestimmung des unterirdischen Abflusses kann das Gesetz von DARCY angewendet werden. Hiernach errechnet sich die unterirdische Abflußspende (Q_u) zu

$$Q_u = k_f * G * B * M, \quad (5)$$

wenn k_f den mittleren Durchlässigkeitsbeiwert des Grundwasserleiters und G das Gefälle angeben und mit der Breite B und der Mächtigkeit M die senkrecht zur Bewegungsrichtung durchströmte Fläche bestimmt wird. Allein aus der hiermit erfolgten Benennung der erforderlichen Ausgangsdaten wird die gesamte Problematik der Berechnung unterirdischer Abflußwerte deutlich, zumal im Stechlin- und Nehmitzseegebiet besonders die Austrittsbreite und das Gefälle des Grundwassers ständigen zeitlichen Veränderungen unterliegen und auch die verfügbaren Angaben zur Durchlässigkeit und zur Mächtigkeit des Grundwasserleiters bestenfalls als Näherungswerte anzusehen sind.

Zur Festlegung des k_f -Wertes konnte wie bei früheren Wasserhaushaltsuntersuchungen auf die aus

Tabelle 9: Monats- und Jahressummen der oberirdischen Abflußhöhe (in mm) aus dem Stechlin- und Nehmitzseegebiet, 1958/1995

JAHR	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Σ JAHR
1958	5,5	5,5	8,2	6,8	8,2	6,8	5,5	4,1	2,7	2,7	2,7	4,1	62,8
1959	5,5	4,1	5,5	4,1	4,1	1,4	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	26,1
1960	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1961	16,4	0,0	27,4	43,8	27,4	21,9	9,6	11,0	0,0	0,0	0,0	21,9	163,0
1962	9,8	15,1	16,4	16,4	17,8	21,9	21,9	19,2	16,4	11,0	0,0	0,0	172,5
1963	0,0	10,1	3,8	0,0	8,3	14,4	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,8
1964	0,0	0,0	0,0	14,9	22,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,5	56,3
1965	0,0	0,0	0,0	8,0	16,6	16,8	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,4
1966	22,8	23,3	14,0	9,4	0,0	16,3	26,0	7,9	18,2	9,3	0,0	0,0	147,2
1967	28,6	24,8	26,4	24,6	0,0	2,5	11,9	3,2	0,0	15,8	26,4	23,2	187,4
1968	12,4	21,5	17,3	0,0	15,3	8,6	0,0	1,2	7,4	12,9	13,1	13,2	122,9
1969	13,1	12,5	14,4	2,8	6,6	16,1	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	78,2
1970	15,7	16,2	25,1	26,2	27,9	21,9	4,7	0,0	0,0	0,0	9,0	14,9	161,6
1971	14,2	12,8	14,2	12,7	7,7	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,7
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	3,1	0,5	25,7	5,9	0,0	0,0	13,0	53,0
1973	16,4	18,1	19,0	17,0	14,0	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,9
1974	5,1	14,1	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	37,7
1975	26,4	22,2	5,1	8,0	17,1	14,1	11,5	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	104,7
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977	0,4	13,4	14,9	13,7	8,0	0,0	0,0	11,7	12,2	8,7	0,0	0,0	32,6
1978	7,0	14,7	16,5	16,3	17,2	16,0	14,4	11,2	2,0	0,0	0,0	1,8	69,2
1979	14,8	14,5	14,5	2,2	8,6	4,0	16,2	15,4	11,5	0,0	0,0	1,1	107,8
1980	18,2	16,2	22,9	18,7	17,3	26,3	22,7	0,0	4,6	14,2	0,0	0,0	117,1
1981	25,0	16,2	18,7	16,7	18,4	11,6	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	1,1	102,3
1982	0,0	16,2	17,4	17,2	12,9	23,5	8,6	4,4	11,5	17,5	19,8	26,8	224,3
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4	7,4	0,0	0,0	1,2	2,4	0,0	111,6
1984	0,0	0,0	0,0	13,2	16,0	11,4	7,4	0,0	14,0	11,9	10,5	0,0	84,8
1985	0,0	0,0	0,0	7,5	17,2	16,5	13,6	10,8	8,4	0,7	0,0	0,0	48,0
1986	0,0	0,0	0,0	12,7	25,4	20,9	18,0	15,5	4,7	0,0	0,0	0,0	97,2
1987	0,0	0,0	2,8	16,4	13,9	10,6	0,0	7,5	6,8	0,0	0,0	0,0	58,0
1988	0,0	0,0	7,4	10,0	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,2
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,5
1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0
1992	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1993	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1994	0,0	25,7	32,8	32,8	31,1	27,0	21,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	171,2
1995	10,3	33,0	39,8	37,7	34,4	32,2	11,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	198,7
MIT.	7,0	9,4	10,3	11,0	12,0	10,1	6,7	4,2	3,1	2,8	2,2	4,2	83,0
MAX.	28,6	33,0	39,8	43,8	34,4	32,2	26,0	25,7	18,2	17,5	26,4	26,8	224,3
MIN.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
STR.	9,0	9,9	10,9	11,4	10,1	9,7	7,9	6,5	5,2	5,4	5,9	7,7	61,0

Anpassungsversuchen und Siebanalysen getroffenen Aussagen des hydrogeologischen Gutachtens von RUSITZKA (1957) zurückgegriffen werden. Hiernach ist bei einer erheblichen Streuung der Einzelwerte der Durchlässigkeitsbeiwert zu $k_f = 2,7 \cdot 10^{-4}$ m/s anzusetzen. Im Gegensatz zu den Angaben bei HEITMANN u. a. (1968) wird hierbei nicht mehr zwischen $2,6 \cdot 10^{-4}$ m/s für die südlichen und $2,8 \cdot 10^{-4}$ m/s für die nördlichen Austrittsstellen unterschieden, da eine solche Differenzierung nach den Ergebnissen des Gutachtens nicht gerechtfertigt erscheint.

Ebenso ist die Festlegung der mittleren Mächtigkeit des ungespannten Grundwassers in der oberen Deckschicht nur als angenäherter Wert anzusehen. Hier kann auf die Aussagen des Gutachtens von KUMPKE (1958) Bezug genommen werden, in dem eine Reihe von Profilen zum geologischen Aufbau im Stechlinseegebiet angegeben sind (vgl. Bild 13). Weiterhin sind Angaben über die Tiefenlage der unter den Sanden befindlichen Geschiebemergelschicht von ca. der Hälfte der Grundwasserrohre und einigen weiteren Probebohrungen besonders westlich des Nehmitzsees verfügbar. Eine Auswertung dieser Informationen ergab für den Bereich des nach Norden gerichteten Grundwasseraustritts eine wahrscheinliche mittlere Mächtigkeit des Grundwasserleiters von 33 m und für den nach Süden und Südosten gerichteten Austritt von 31 m. In Anbetracht der relativen Unsicherheit dieser Angaben wurde den Berechnungen des unterirdischen Abflusses ein mittlerer Wert von 32 m zugrunde gelegt. Er wird damit gegenüber den früheren Untersuchungen um 2 m kleiner angenommen.

Für die Austrittsbreite und das Gefälle des Grundwassers lassen sich keine festen Angaben machen. Bereits wenige Probeauswertungen auf der Grundlage von analog zu Bild 14 gezeichneten Karten der Grundwasserstandsverteilung bei besonders hohen und tiefen Wasserständen zeigten eine sehr große Veränderlichkeit dieser beiden Größen. So erreicht die Austrittsbreite bei sehr tiefen Wasserständen im Nordbecken des Stechlinsees bis maximal 2000 m in Richtung Norden und bis 800 m in Richtung Osten, während bei sehr hohen Wasserständen hier überhaupt kein Grundwasser abfließt (vgl. Kapitel 5.3). Das Gefälle schwankt dabei zwischen 0,1 und 1,0 m/km. Auch vom Nehmitzsee in Richtung Südosten zum Roofensee variiert die Austrittsbreite zwischen 1200 m bei hohen und 2200 m bei tiefen Wasserständen mit Gefälleunterschieden zwischen 0,2 bis 0,6 m/km. Lediglich der Ausfluß in Richtung Süden zum Zeutensee erweist sich mit einer Austrittsbreite zwischen 950 und 1200 m und Gefälleunterschieden von 0,7 bis 1,2 m/km als relativ konstant.

Die anhand dieser Beispiele berechneten unterirdischen Abflußspenden ergaben umgerechnet als Jahresabflußhöhe bezogen auf das unterirdische Einzugsgebiet Werte zwischen 15 und 37 mm/a. Dabei wurde berücksichtigt, daß sich die Fläche des Einzugsgebietes zwischen 27,5 km² beim bisher tiefsten und 32,0 km² beim bisher höchsten mittleren Gebietswasserstand bewegt.

Die aus den Testuntersuchungen eindeutig erkennbare Abhängigkeit der unterirdischen Abflußhöhe von der Höhe des jeweiligen Grund- und Seewasserstandes bot somit Anlaß, diese Zusammenhänge eingehender zu untersuchen. Als Zielvorstellung bestand dabei die Entwicklung einer Wasserstands-Abflußbeziehung als Grundlage für die Berechnung des monatlichen unterirdischen Abflusses. Bei Bestehen eines solchen hinreichend genau parametrisierbaren Zusammenhanges ergibt sich dann die Möglichkeit, den Grundwasserfluß zu berechnen, ohne hierzu für jeden einzelnen Monat die Austrittsbreite und das Gefälle bestimmen zu müssen. Dies war notwendig, da die Erarbeitung monatli-

cher Grundwasserverteilungskarten für den gesamten Meßzeitraum ohnehin einen kaum bewältigbaren Arbeitsaufwand darstellte.

Als Grundlage der weiteren Untersuchungen erfolgte anhand der Ganglinie des mittleren Gebietswasserstandes (Bild 22) eine Auswahl von Beispielen mit unterschiedlichen Wasserständen, die so getroffen wurde, daß damit die gesamte Breite des Wasserstandsverlaufs abgedeckt wird und außerdem sowohl Perioden zunehmender als auch gleichbleibender und abnehmender Wasserspeicherung gleichermaßen Berücksichtigung finden. Insgesamt gelangten 16 nach den vorgegebenen Kriterien als repräsentativ anzusehende Stichproben zur Auswahl für die Erarbeitung der Grundwasserverteilungskarten und der daraus zu bestimmenden Angaben der Austrittsbreite, des Gefälles und der jeweiligen Größe des unterirdischen Einzugsgebietes. Daran anschließend erfolgte die Berechnung des unterirdischen Abflusses zunächst getrennt für die vier Austrittsbereiche und dann zusammengefaßt als Gesamtabfluß, bezogen auf die Gebietsfläche in der Dimension mm/a. Die Darstellung auf Bild 24 zeigt einen eindeutigen Zusammenhang mit der mittleren Wasserstandshöhe (W) im Gebiet, die sich gut als Abflußkurve in der Form

$$Q_u = 1247 W^{-0,746} \text{ in mm/a} \quad (6)$$

mit einer Streuung von $\pm 2,2$ mm/a anpassen läßt. Das heißt, bei einem Ansatz des nach Kapitel 5.5 bestimmten Wasserstandes (W) als Jahresmittel in mm Wassersäule über 60 m NN ist die jährliche unterirdische Abflußhöhe, bezogen auf das Einzugsgebiet, leicht nach Gleichung (6) in mm/a zu be-

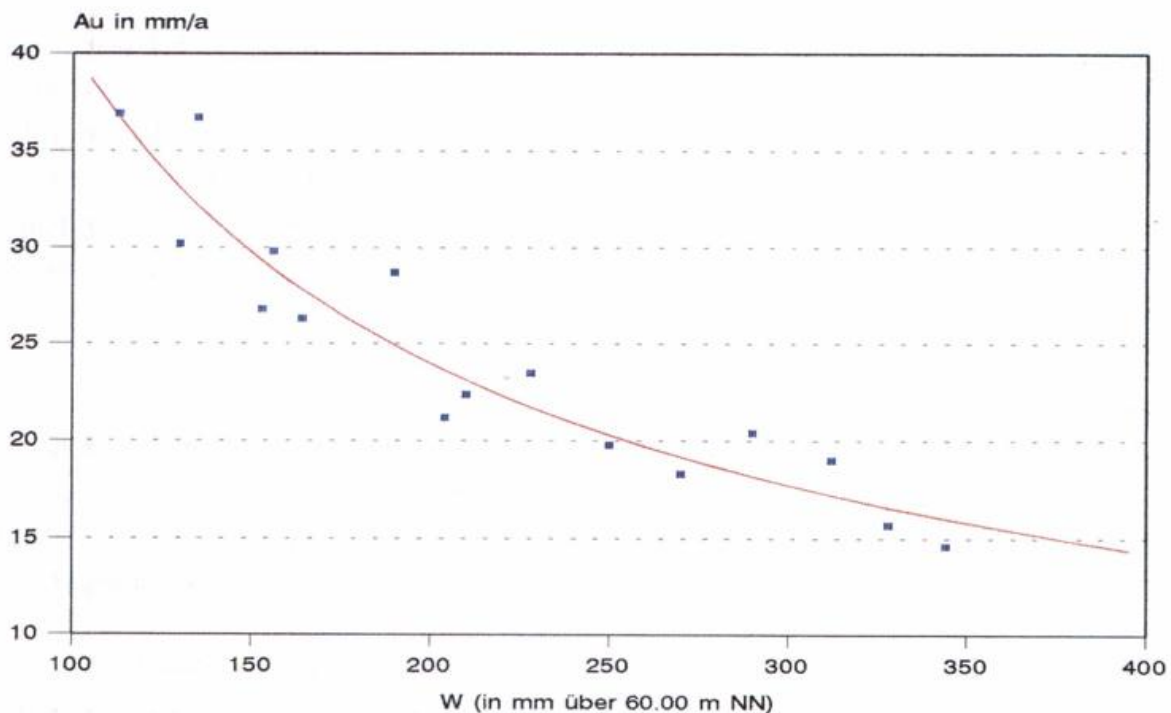


Bild 24: Gebietswasserstand (W) und unterirdische Abflußhöhe (Au) vom Stechlin- und Nehmitzseegebiet

rechnen. Es ergibt sich somit auch für den unterirdischen Abfluß ein eindeutiger Bezug zum Wasserstand, nur daß hier auf Grund der komplizierten Wechselwirkungen zwischen Wasserstandshöhe, Grundwasseraustrittsbreite und Grundwassergefälle die geringsten Abflüsse bei hohem und die größten bei niedrigem Wasserstand auftreten. Bei einer zusammenhängenden Betrachtung mit dem oberirdischen Abfluß ist dies durchaus verständlich, da bei hohen Wasserständen durch die Wehröffnung des Regelbauwerks der Abfluß aus dem Gebiet weitgehend oberirdisch erfolgt, während er bei niedrigen Wasserständen und geschlossenem Wehr ausschließlich unterirdisch verläuft. Hierbei entsteht mit dem Rückgang des Wasserstandes eine Verbreiterung des Grundwasseraustrittsbereiches um über das Doppelte und dementsprechend eine äquivalente Erhöhung des unterirdischen Abflusses. In Anbetracht der erzielbaren Genauigkeit bei der Bestimmung des Gebietswasserstandes ist auch eine angenäherte Berechnung durch den Ansatz von W in cm über 60 m NN vertretbar, wobei dann gilt:

$$Q_u = 227 W^{-0,75} \quad \text{in mm/a.} \quad (7)$$

Für die Berechnung der langjährigen unterirdischen Abflußhöhen mit den in Tabelle 10 enthaltenen Ergebnissen wurde allerdings von Gleichung (6) ausgegangen. Es zeigt sich, daß diese mit einem langjährigen Mittelwert von 21,1 mm/a nur zu einem relativ geringen Teil am Gesamtwasserumsatz des Stechlin- und Nehmitzsees beteiligt sind. Dabei treten über einen großen Teil des Meßzeitraumes nur geringe Abweichungen der Jahressummen von weniger als ± 3 mm vom langjährigen Mittel auf. Das ist eine Größenordnung, die sich auch als Berechnungsfehler ergibt, wenn für die Bestimmung der Ausgangsdaten wie Austrittsbreite, Gefälle usw. wahrscheinliche Unsicherheiten von ± 10 % angenommen werden.

Im Mittel besteht somit ein relativ gleichbleibender unterirdischer Abfluß. Nur bei sehr hohen Wasserständen und dem nach Norden hin weitgehend unterbrochenen unterirdischen Abfluß gehen die Jahreswerte auch auf 17 bis 15 mm/a zurück, während sich bei den sehr tiefen Wasserständen von 1990 bis 1993 und dem nahezu durchgehend geschlossenen Regelbauwerk Abflüsse von über 30 bis maximal 39 mm/a ergeben. Damit sind die positiven Abweichungen erheblich stärker ausgeprägt. Dies ist wahrscheinlich auch eine Folge der Abriegelung der beiden Seen, womit das Gefälle zu den unterhalb liegenden tieferen Grundwasserständen noch verstärkt wird.

6.3 Gesamtabfluß

Durch die Zusammenfassung des oberirdischen und unterirdischen Abflusses ergibt sich die Höhe des Gesamtabflusses aus dem Stechlin- und Nehmitzseegebiet, dessen Langzeitverhalten aus Tabelle 11 zu ersehen ist. Mit einem Mittelwert von 104,2 mm/a ist er relativ gering. So wird im Vergleich hierzu für das Obere Havelgebiet eine langjährige Abflußhöhe von 120 bis 130 mm/a angegeben (GLANDER, 1965).

Primäre Ursache des geringen Gesamtabflusses ist der hohe Anteil von Seen im Gebiet. Hierdurch entsteht ein überdurchschnittlicher Verdunstungsverlust, der im gegebenen Falle noch durch die thermische Belastung des Stechlinsees verstärkt wird. Auf weitere Details wird noch bei der Behandlung der Gesamtwasserbilanz eingegangen.

Tabelle 10: Monats- und Jahressummen der unterirdischen Abflußhöhe (in mm) aus dem Stechlin- und Nehmitzseegebiet, 1958/1995

JAHR	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Σ JAHR
1958	2,1	1,8	1,9	1,8	1,8	1,6	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	21,9
1959	1,8	1,6	1,8	1,7	1,7	1,8	2,0	1,9	2,0	2,2	2,1	2,1	22,7
1960	2,0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	22,7
1961	1,7	1,4	1,5	1,5	1,7	1,7	1,8	1,8	1,7	1,8	1,7	1,7	20,0
1962	1,8	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	21,0
1963	1,8	1,7	1,8	1,8	1,7	1,7	1,9	2,0	1,9	2,0	1,9	1,8	22,2
1964	1,9	1,7	1,8	1,7	1,7	1,6	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8	22,0
1965	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	21,4
1966	1,5	1,4	1,5	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	19,0
1967	1,5	1,4	1,6	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	17,6
1968	1,6	1,4	1,6	1,5	1,5	1,4	1,5	1,6	1,5	1,6	1,5	1,5	18,1
1969	1,5	1,4	1,6	1,5	1,5	1,4	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	18,2
1970	1,5	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,5	17,5
1971	1,5	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,6	1,5	1,5	1,7	1,7	18,9
1972	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	19,0
1973	1,7	1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8	20,9
1974	1,7	1,5	1,7	1,6	1,7	1,6	1,7	1,7	1,6	1,8	1,7	1,7	20,0
1975	1,6	1,4	1,6	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	20,7
1976	2,0	1,6	1,7	1,6	1,7	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	2,1	2,1	22,5
1977	2,1	1,8	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	22,3
1978	1,8	1,6	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,8	21,1
1979	1,7	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	19,2
1980	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	18,2
1981	1,5	1,3	1,5	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	16,8
1982	1,4	1,3	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	16,9
1983	1,5	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,5	1,5	1,7	1,6	1,6	16,9
1984	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	17,6
1985	1,6	1,4	1,6	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	17,8
1986	1,8	1,5	1,7	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,8	2,0	1,9	1,9	19,7
1987	1,7	1,5	1,6	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,9	1,9	20,9
1988	1,8	1,7	1,7	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	2,0	2,0	2,0	21,2
1989	1,9	2,2	2,3	2,2	2,3	2,4	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6	25,8
1990	2,5	2,2	2,3	2,2	2,3	2,4	2,3	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	29,9
1991	2,5	2,1	2,3	2,1	2,2	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,7	2,7	27,9
1992	2,6	2,4	2,4	2,1	2,1	2,1	2,5	2,7	2,7	3,0	3,0	2,8	30,4
1993	2,7	2,2	2,4	2,3	2,1	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	28,8
1994	2,2	1,8	2,0	1,8	1,8	1,8	1,8	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	23,0
1995	1,8	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,1	2,1	22,4
MIT.	1,8	1,6	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	21,1
MAX.	2,7	2,4	2,4	2,3	2,4	2,4	2,5	2,7	2,7	3,0	3,0	2,8	30,4
MIN.	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	16,8
STR.	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	3,4

Tabelle 11: Monats- und Jahressummen der Gesamtabflußhöhe (in mm) aus dem Stechlin- und Nehmitzseegebiet, 1958/1995

JAHR	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Σ JAHR
1958	7,6	7,3	10,1	8,6	10,0	8,4	7,3	5,9	4,5	4,5	4,5	6,0	84,7
1959	7,3	5,7	7,3	5,8	5,8	3,2	2,0	3,3	2,0	2,2	2,1	2,1	48,8
1960	2,0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8	1,9	1,8	1,7	21,9
1961	1,7	1,4	28,9	45,3	29,1	23,6	11,4	12,8	1,7	1,8	1,7	23,6	183,0
1962	18,2	16,7	18,1	18,0	19,4	23,5	23,7	21,0	18,2	12,9	1,9	1,9	193,5
1963	11,6	11,8	5,7	18,0	10,1	16,1	7,3	2,0	1,9	2,0	1,9	1,8	74,0
1964	1,9	1,7	1,8	16,6	24,6	1,7	1,8	2,0	1,9	2,0	1,9	20,4	78,3
1965	1,9	1,7	1,8	9,7	18,3	18,4	11,8	1,8	1,8	1,9	1,6	1,6	166,2
1966	24,5	24,9	15,7	11,0	1,6	17,8	27,5	9,4	19,7	10,9	1,6	1,6	205,0
1967	30,1	26,2	27,9	26,0	1,5	3,9	13,3	4,7	1,5	17,3	27,9	24,7	141,0
1968	13,9	22,9	18,9	1,5	16,8	10,0	1,5	2,7	9,0	14,4	14,6	14,8	96,4
1969	14,7	13,9	16,0	4,3	8,1	17,5	6,2	1,5	1,5	1,6	1,5	9,5	179,1
1970	17,2	17,6	26,6	27,6	29,3	23,3	6,2	1,5	1,5	1,5	10,4	16,4	81,6
1971	15,7	14,2	15,7	14,2	9,3	1,6	2,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	72,0
1972	1,7	1,6	1,7	1,6	6,4	4,6	2,0	2,7	7,4	1,6	1,6	14,6	111,8
1973	18,1	19,6	20,7	18,7	15,7	8,1	1,8	1,7	1,6	1,8	1,7	13,7	57,7
1974	6,8	15,6	8,2	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,6	1,8	1,7	2,0	125,4
1975	28,0	23,6	6,7	9,5	18,6	15,7	13,2	2,1	1,9	2,1	2,0	2,1	22,5
1976	2,0	1,6	1,7	1,6	1,7	1,6	1,8	2,0	14,0	10,6	1,9	1,9	54,9
1977	2,2	1,8	1,9	1,8	9,8	1,8	1,8	1,8	6,4	15,9	1,7	1,8	90,3
1978	2,2	15,0	16,7	15,4	18,7	17,5	16,0	12,8	3,6	1,7	1,7	3,5	136,3
1979	8,7	16,2	18,1	17,8	10,1	5,5	17,7	16,9	13,0	18,9	21,2	28,2	241,1
1980	16,3	16,0	16,1	3,7	18,7	17,5	16,0	12,8	3,6	1,7	1,5	2,6	128,5
1981	19,7	17,5	24,4	28,0	28,6	27,7	24,1	16,9	13,0	18,9	1,4	1,5	101,8
1982	26,4	23,6	20,1	18,1	18,7	12,9	1,4	1,5	1,4	1,5	4,0	1,6	103,6
1983	1,5	17,5	18,8	18,6	19,8	12,7	1,4	1,5	1,5	13,5	12,1	1,6	67,7
1984	1,6	1,4	1,4	14,7	14,3	24,9	10,0	5,9	15,5	1,8	1,8	1,9	95,6
1985	1,6	1,4	1,6	14,7	17,5	13,0	9,0	1,7	10,2	2,7	1,9	1,9	117,9
1986	1,8	1,5	1,7	9,1	18,8	18,1	15,3	12,6	6,6	2,0	2,0	2,0	79,2
1987	1,7	1,5	1,6	14,2	27,0	22,5	19,7	17,3	8,6	2,0	2,6	2,6	51,0
1988	1,8	1,7	4,5	17,9	15,5	12,3	1,7	9,2	2,6	2,6	2,6	2,6	29,2
1989	1,9	1,7	9,3	11,8	9,7	1,9	2,2	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	47,4
1990	2,5	2,2	2,3	2,2	2,3	2,4	2,3	2,6	3,8	3,0	3,0	2,8	30,4
1991	2,5	2,1	2,3	2,1	2,1	2,0	11,6	2,7	2,4	2,4	2,4	2,4	28,8
1992	2,6	2,4	2,4	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	194,2
1993	2,7	2,2	2,2	34,6	32,9	28,8	23,4	2,0	2,0	2,0	1,9	2,1	221,1
1994	2,2	27,5	34,8	34,6	32,9	33,9	13,1	1,9	2,1	2,2	2,1	2,1	104,2
1995	12,1	34,6	41,5	39,4	36,1	33,9	8,5	6,0	4,9	4,7	4,1	6,1	241,1
MIT.	8,9	11,0	12,0	12,6	13,6	11,8	8,5	6,0	4,9	4,7	4,1	6,1	104,2
MAX.	30,1	34,6	41,5	45,3	36,1	33,9	27,5	27,2	19,7	18,9	27,9	28,2	241,1
MIN.	1,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,5	21,9
STR.	8,8	9,8	10,8	11,4	10,0	9,6	7,8	6,5	5,1	5,2	5,7	7,6	59,0

Hinsichtlich des zeitlichen Verhaltens des Gesamtabflusses ist festzustellen, daß dieser zwangsläufig primär durch die große Variabilität des oberirdischen Abflusses geprägt wird. So bewegen sich die Jahressummen zwischen 22,5 und 241,1 mm und die Monatssummen von 1,4 bis 45,3 mm. Dabei werden die kleinen Werte bei ausschließlich unterirdischem Abfluß und die hohen Werte bei lang andauernder Schützöffnung von ≥ 10 cm erzielt. Besonders heraus fallen bei den Monatswerten lediglich der April 1961 mit 45,3 mm unmittelbar nach dem bereits mehrfach erwähnten Öffnen des Regelbauwerks und die Frühjahrsmonate von 1994 und 1995, in denen jeweils ein starker Niederschlagsüberschuß der Wintermonate durch Schützöffnungen von 15 bis 20 cm abgelassen wurde.

Einen Vergleich der Abflußhöhen mit den Gebietsniederschlagshöhen (Kapitel 10.1) zeigt Bild 25 in Form einer Darstellung beider Größen als Verlauf der jährlichen Abweichungen vom langjährigen Mittelwert. Zur besseren Verdeutlichung der Zusammenhänge wurde der Abfluß in überhöhter Form angegeben. Trotz der regulierenden Eingriffe spiegelt das Abflußverhalten deutlich die periodischen Schwankungen des Niederschlages wider, wobei in der Regel eine zeitliche Verzögerung besteht. Positive und negative Abweichungen im Niederschlagsverhalten werden somit über den Prozeß des unterirdischen Zuflusses erst nach 1 bis 2 Jahren am stärksten als Wasserstandsänderungen im Stechlin- und Nehmitzsee wirksam, die dann entsprechende Abflußregulierungen nach sich ziehen. Auszunehmen ist auch hier der starke Abfluß von 1961/62 nach dem vorausgegangenen längeren Aufstau. Außerdem fallen die im Vergleich zum Niederschlag anhaltend niedrigen Abflüsse von 1988 bis 1993 auf. Hier deutet sich an, daß für eine detaillierte Analyse des Abflußverhaltens sicherlich auch die Verdunstungsbedingungen mit in Betracht zu ziehen sind, zumal die gesamte Wasserspei-

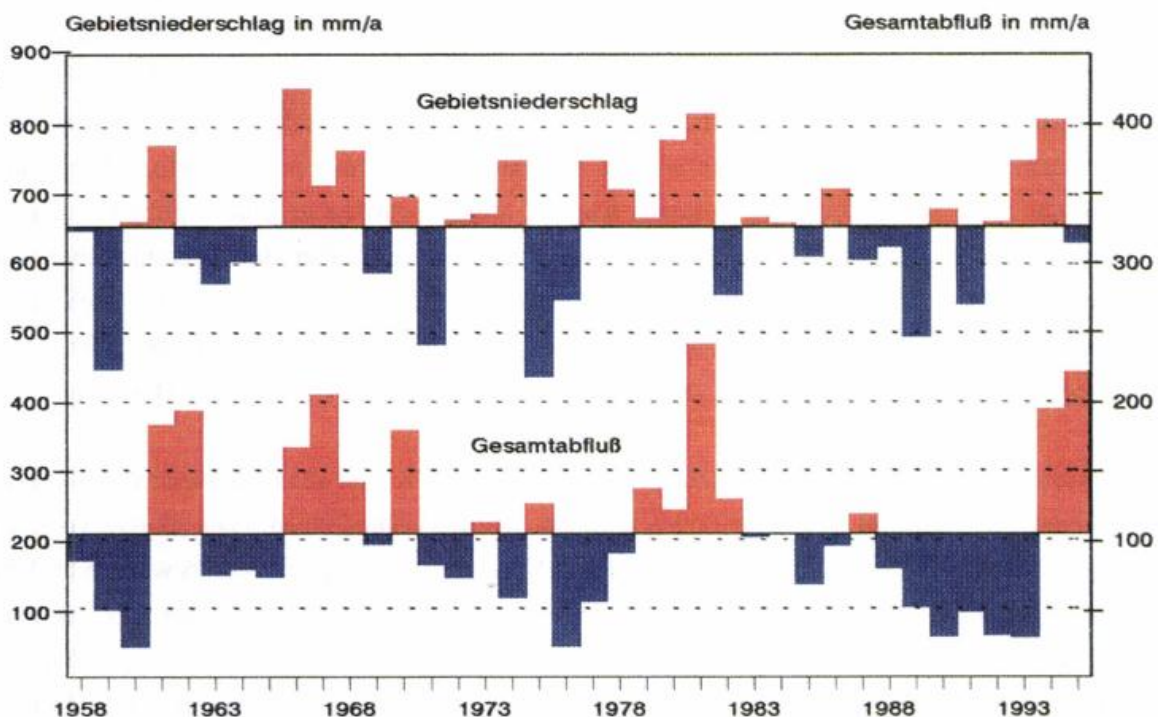


Bild 25: Gang der Jahressummen des Gebietsniederschlags und des Gesamtabflusses vom Stechlin- und Nehmitzseegebiet, 1958/1995

cherung im Gebiet in diesem Zeitraum ebenfalls einen ungewöhnlich starken Rückgang aufweist (vgl. Bild 22).

7. Verdunstungshöhen von der freien Wasseroberfläche

Zu den Schwerpunkten der langjährigen Forschungsarbeiten an der Station Neuglobsow zählen die umfassenden Untersuchungen zur Verdunstungshöhe von der freien Wasseroberfläche. Bereits mit der Einrichtung der Station und der Festlegung ihrer grundsätzlichen Aufgaben war abzusehen, daß von allen Wasserhaushaltskomponenten für diese Größe die stärkste Beeinflussung durch die Inbetriebnahme des Kernkraftwerkes zu erwarten war. Dementsprechend wurde von vornherein auf eine möglichst genaue Bestimmung der Verdunstungshöhe durch direkte Messungen unter weitgehend an die Wasseroberfläche angenäherten Bedingungen orientiert.

7.1 Beschreibung der Meßeinrichtungen

Nach dem Vorbild vorliegender Erfahrungen mit Floßkonstruktionen als Trägerkörper für Verdunstungskessel (BINDEMANN, 1921; FRIEDRICHS, 1938) erfolgten im September 1958 erste Probemessungen und ab Juni 1959 regelmäßige Verdunstungsmessungen auf dem Stechlinsee. Hierzu diente zunächst ein aus 24 röhrenförmigen Eisenblechhohlkörpern zusammengesetztes quadratisches Floß von 10 m Seitenlänge, ausgerüstet mit drei im Mittelteil des Floßes installierten Verdunstungskesseln aus Kupferblech von 4000 cm², 2000 cm² und 1000 cm² Oberfläche und 40 cm Tiefe. Nach zwei Jahren wurde der kleine Kessel durch einen Eisenblechkessel von 2000 cm² Oberfläche und 60 cm Tiefe ersetzt. Zur Erstausrüstung gehörten weiterhin eine Wetterhütte, ein Kontaktanemometer in 60 cm Höhe und ein Hellmann-Niederschlagsmesser. Außerdem befanden sich an den Außenröhren des an den vier Ecken verankerten Floßes zur Dämpfung der Wellen jeweils ca. 0.6 m senkrecht nach unten gerichtete, stabil befestigte Holzgatter. Trotzdem kam es bei höheren Windgeschwindigkeiten häufig zu Meßausfällen durch Vollschwappen der Kessel, weswegen bereits 1962 erste Versuche mit einem weiteren, ebenfalls aus Eisenblechröhren, aber in Dreieckform konstruierten Floß von 15 m Seitenlänge aufgenommen wurden. Bei diesem nur an einer Spitze verankerten Floß befanden sich die Verdunstungskessel in der Mitte der gegenüber dem Verankerungspunkt liegenden Seite. Nach mehreren Stabilisierungsmaßnahmen und dem Auslegen der nicht durch Kessel besetzten dreieckigen Felder mit jeweils unter der Wasseroberfläche angebrachten Holzgattern gelang es, weitgehend ausfallfreie Messungen zu gewährleisten. Eine Gesamtansicht der Meßanlage zeigt Bild 26.

Die Ausrüstung des Dreieckfloßes bestand anfänglich aus einem Kessel aus Eisenblech von 3000 cm² Oberfläche mit Silberbronze gestrichen sowie je einem emaillierten und einem Piacylkessel von 2000 cm² Oberfläche und 60 cm Tiefe. Nach zweijährigen Vergleichsmessungen 1964/65 wurden ab 1966 die Messungen mit dem quadratischen Floß eingestellt. Der weitere Betrieb des Dreieckfloßes erfolgte unter Beibehaltung von drei Kesseln dieses unterschiedlichen Materials zu je 3000 cm² Oberfläche. Eine Wetterhütte und ein Niederschlagsmesser kamen auf dem Dreieckfloß nicht mehr zum Einsatz, da die vom quadratischen Floß gewonnenen Ergebnisse keine signifikanten Unterschiede zu den Daten des nahe am Ufer gelegenen Meßfeldes der Klimastation zeigten (RICHTER, 1965).



Bild 26: Verdunstungsmeßfloß auf dem Stechlinsee

Messungen der Windgeschwindigkeiten erfolgten erst wieder ab 1977 mit einem Kontaktanemometer in 2 m Höhe, nachdem es gelungen war, die Meßübertragung zur Station mittels Funksignale zu gewährleisten. Die anfänglich beim quadratischen Floß praktizierte Übertragung mit einem Kabel war bei dem sich um seine Einpunktverankerung drehenden Dreiecksfloß nicht möglich. Weitere Einzelheiten zu den Meßeinrichtungen und zu den Ergebnissen der Vergleichsmessungen beider Verdunstungsfloße finden sich bei RICHTER (1967 und 1969).

Der Einsatz der Verdunstungskessel unterschiedlichen Materials wurde auch im Routinebetrieb beibehalten, weil die hiermit gemessenen mittleren Verdunstungshöhen eine gute Übereinstimmung mit den Verdunstungsbestimmungen aus Wärmebilanzrechnungen ergaben. Da die Messungen auch zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch in dieser Form betrieben werden, liegt inzwischen eine wohl weltweit einmalig lange Meßreihe der Verdunstungshöhe von einer freien Wasseroberfläche vor. Sie bildete die Basis für mehrere umfassende wissenschaftliche Untersuchungen mit dem Ziel, durch die Anpassung der gemessenen Verdunstungshöhen an beeinflussende meteorologische Größen methodische Grundlagen zur Verdunstungsberechnung zu schaffen. Hierbei ging es einmal sowohl um die Vervollständigung der Meßreihe bei den weiterhin vorkommenden Ausfällen und Verfälschungen von Tageswerten bei starkem Wind oder durch Wasservögel als auch um die rechnerische Ergänzung der Verdunstungshöhe für die Wintermonate, in denen der Meßbetrieb wegen potentieller Eisgefährdung eingestellt wurde. Zum anderen sollte natürlich auch durch die Entwicklung einfacher Verdunstungsbeziehungen die Voraussetzungen zur Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf andere Gewässer unter Nutzung routinemäßig verfügbarer Klimadaten geschaffen werden. Außerdem bietet die lange Meßreihe die ebenso einmalige Gelegenheit, die Verdunstungsverluste eines Sees sowohl vor als auch während und nach der thermischen Belastung durch ein Kernkraftwerk eingehend zu untersuchen.

7.2 Methodische Grundlagen

Eine erste umfassende Auswertung der Messungen vom Stechlinsee erfolgte 1976 unter Einbeziehung der zu diesem Zeitpunkt ebenfalls vorliegenden und nach dem gleichen Prinzip durchgeführten 10jährigen Floßverdunstungsmessungen auf den Talsperren Pöhl und Spremberg (RICHTER, 1977). Hieraus resultiert die für Dekaden- und Monatssummen abgeleitete Beziehung von

$$V = (0,337\Delta e + 0,00057G - 0,036) n, \quad (8)$$

gültig unter Ansatz des mittleren Dampfdruckgradienten (Δe) in hPa, der mittleren Globalstrahlung (G) in J/cm^2 und der Anzahl der Tage (n) des Bezugszeitraumes. Spätere Untersuchungen zum wahrscheinlichen Meßfehler der Verdunstungskessel gegenüber der Verdunstungshöhe von der freien Wasseroberfläche (RICHTER, 1986) ergaben, daß die Benetzung der Kesselwände infolge wellenbedingter Schwankungen des Floßes und die im Mittel etwas höhere Wassertemperatur in den Kesseln verdunstungserhöhend und die verringerte Windgeschwindigkeit über den Kesseln verdunstungsmindernd wirken, wodurch die gemessenen Werte insgesamt um rund 3 % zu hoch sind. Die Berücksichtigung dieser Korrektur ergibt dann

$$V = (0,327\Delta e + 0,00055G - 0,035) n. \quad (9)$$

In dieser Form fand die Verdunstungsbeziehung auch schon bei der Erarbeitung des Datenhandbuches "Verdunstung" flächendeckend für das gesamte Gebiet Nordostdeutschlands Verwendung (RICHTER, 1984). Ihre Gültigkeit setzt eine hinreichend windexponierte Lage der Wasserfläche voraus, da nur unter diesen Bedingungen eine genügend genaue Verdunstungsberechnung ohne Berücksichtigung des Windeinflusses erreichbar ist. Der Grund für diese vereinfachte Berechnungsmethodik ist die im allgemeinen fehlende Windmessung über der freien Wasseroberfläche. Verfahren unter Einbeziehung des Windeinflusses erfordern somit Übertragungen dieser Größe von der nächstgelegenen Klimastation. Das führt in der Regel bei fehlenden Vergleichsmessungen zu größeren statistischen Ungenauigkeiten in der berechneten Verdunstungshöhe, als sie durch die Vernachlässigung des Windeinflusses entstehen, zumal die Windmessungen an Klimastationen unter sehr unterschiedlichen lokalen Gegebenheiten erfolgen, die eine generalisierte Übertragung ohnehin ausschließen.

Bei der Verdunstungsberechnung für kurze Zeiträume wie Tageswerte oder bei einer stark windgeschützten Gewässerlage kann der Windeinfluß nicht mehr vernachlässigt werden. Wegen der stärkeren interdiurnen Variabilität des Windes bzw. des systematisch geringeren Windeinflusses führen in diesen Fällen Verdunstungsformeln unter Einbeziehung der Windgeschwindigkeit zu den genaueren Ergebnissen. Als beste Anpassungen ergaben sich anhand der langjährigen Untersuchungen für Tageswerte

$$V = (0,16 + 0,20v_2^{0.5}) \Delta e \quad (10)$$

und für Dekadenwerte- und Monatswerte

$$V = ((0,20\Delta e v_2^{0,5}) + 0,00074G - 0,084) n . \quad (11)$$

Ihre Anwendung erfordert allerdings die Messung der Windgeschwindigkeit (v_2) in 2 m Höhe über der Wasserfläche oder zumindest eine Reduzierung von der nächstgelegenen Wetterstation mittels gesicherter Übertragungsalgorithmen. Beides war für die Messungen auf dem Stechlinsee gegeben. So befand sich von 1977 bis 1988 ein Kontaktanemometer mit Funkübertragung auf dem Verdunstungsfloß, dessen langjährige Messungen an die Daten vom Windmeßgerät der Klimastation angepaßt wurden. Bei der Anwendung der so gewonnenen Reduktionsbeziehungen ergaben sich allerdings insofern Probleme, als die Meßreihe der Klimastation einzelne Mängel aufweist. Diese entstanden durch Meßausfälle, Geräteauswechslungen und eine ständig zunehmende Windabschattung infolge rundum heranwachsender Bäume, die inzwischen teilweise die Höhe des Windmastes übersteigen. So mußte zusätzlich auf die in sich homogene Windmeßreihe der 25 km entfernt gelegenen Station Neuruppin zurückgegriffen werden, um letztlich wenigstens zu einer vollständigen Reihe von Monatswerten der Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe über der Wasserfläche zu gelangen und damit die notwendigen Voraussetzungen für eine Testung und Anwendung der Gleichung (11) zu schaffen.

7.3 Ergebnisse der Verdunstungsbestimmung

Die Grundlage für die Bestimmung der Verdunstungshöhe von der freien Wasseroberfläche bilden die in der Regel jährlich von April bis Oktober durchgeführten täglichen Messungen mit den drei Floßverdunstungskesseln auf dem Stechlinsee. Zeitlich hiervon abweichende Meßperioden entstanden in einigen Jahren hauptsächlich infolge ungünstiger Witterungsbedingungen oder notwendiger Wartungsarbeiten am Floß. Bei den Messungen kam es durch den Einfluß von starkem Wind und von Wasservögeln zum Ausfall einzelner Tageswerte, deren Ergänzung anhand spezieller, an die einzelnen Kessel angepaßter Beziehungen vom Typ der Gleichung (10) mit Hilfe der jeweils verfügbaren Windmessungen erfolgte. Auf diese Weise liegt eine für die jährlichen Meßperioden vollständige Reihe gemessener und empirisch ergänzter Monatssummen der Verdunstungshöhen vom Stechlinsee von 1959 an vor. Diese wurden zur Anpassung an die freie Wasseroberfläche gemäß den für die Verdunstungskessel des Dreieckfloßes festgestellten Meßfehlern ab 1966 noch um 3 % reduziert. Für die vorausgegangenen Messungen auf dem quadratischen Floß war davon auszugehen, daß sie nach den Vergleichsuntersuchungen von 1964/65 (RICHTER, 1967) um durchschnittlich 7 % unter denen vom Dreieckfloß liegen, hauptsächlich verursacht durch die geringere Verdunstungshöhe von den Kupferkesseln und da die Kessel infolge eines umgebenden Laufsteges eine etwas windgeschütztere Installation aufwiesen. Zur Vereinheitlichung der Meßreihe waren diese Monatssummen somit um 4 % zu erhöhen. Durch diese Korrekturen anhand von Vergleichsuntersuchungen umfaßt die Reihe vom Stechlinsee letztlich 235 gemessene, aufeinander abgestimmte und auf die freie Wasseroberfläche reduzierte Monatssummen der Verdunstungshöhe, deren Verwendung als Referenzwerte sich zwangsläufig auch für weitere Untersuchungen anbietet.

Eine entsprechende Nutzung erfolgte zur Überprüfung der Anpassungsgenauigkeit von Gleichung (9). Diese ergab sowohl unter natürlichen Bedingungen als auch bei thermischer Belastung eine weitgehende Übereinstimmung gemessener und berechneter Monatssummen. Bei thermischer Belastung war allerdings zu berücksichtigen, daß die unter natürlichen Bedingungen problemlose Verwendung des an der Klimastation gemessenen Dampfdrucks (e_L) nicht mehr hinreichend genau ist. So hat die erwärmungsbedingte höhere Verdunstung als Rückwirkung auch einen etwas höheren Dampfdruck (e^*) in 2 m Höhe über der Wasseroberfläche zur Folge. Dies erfordert zur genauen Ermittlung des Dampfdruckgradienten eine Korrektur des Dampfdrucks, welcher nach Vergleichsmessungen über dem Warmwasserstrom des thermisch belasteten Stechlinsees zu $e^* = 1,05 e_L$ anzusetzen ist (RICHTER, 1979). Der Korrekturfaktor gilt in dieser Höhe nur bei voller Kraftwerksleistung und ist bei vermindertem Wärmeeintrag proportional zu reduzieren.

Die Ergebnisse des Vergleichs gemessener und berechneter Monatssummen zeigen über den Gesamtzeitraum eine Abweichung der berechneten Verdunstungshöhen (ΔV_b) von

$$\Delta V_b = -(1,0 \pm 8,4) \text{ mm/Monat} \quad \text{bzw.} \quad \Delta V_b = -(1,1 \pm 9,3) \%$$

Das heißt, bei einer mittleren quadratischen Abweichung (s)

$$s = \sqrt{\frac{\sum (V_g - V_b)^2}{n-1}}$$

der berechneten von den gemessenen Monatssummen in Höhe von $\pm 8,4$ mm oder $\pm 9,3$ % sind die berechneten Monatssummen um durchschnittlich 1,0 mm bzw. 1,1 % zu klein.

Getrennte Berechnungen ergeben für die unbeeinflusste Zeit

$$\Delta V_b = +(0,7 \pm 7,7) \text{ mm/Monat} \quad \text{bzw.} \quad \Delta V_b = +(0,8 \pm 9,1) \%$$

und bei thermischer Belastung

$$\Delta V_b = -(1,8 \pm 8,8) \text{ mm/Monat} \quad \text{bzw.} \quad \Delta V_b = -(1,9 \pm 9,4) \%$$

Demnach wird die Verdunstungshöhe nach Gleichung (9) unter natürlichen Bedingungen geringfügig zu hoch und bei Kraftwerkseinfluß etwas zu klein berechnet, ohne daß sich größere Unterschiede in der statistischen Genauigkeit ergeben.

Auch eine weitere Unterteilung des Zeitraumes der thermischen Belastung in Monate mit voller oder teilweise reduzierter Kraftwerksleistung sowie Stillstandzeiten ergab mit einer gleichbleibenden Anpassungsgenauigkeit und einer maximalen Abweichung von -3 % unter voller Belastung letztlich keine wesentlich höheren Berechnungsfehler. Sie sind auch insofern als geringfügig einzuschätzen, als bei der thermischen Belastung neben der Korrektur des Dampfdrucks der Luft auch noch eine

Übertragung der am Steg der Station gemessenen Monatsmittel der Wassertemperatur auf die gesamte Seeoberfläche nach einer aus Vergleichsuntersuchungen angepaßten Beziehung erforderlich war. Wegen der nicht linearen Abhängigkeit des Sättigungsdampfdrucks von der Wasseroberflächentemperatur müssen somit bei zunehmender Belastung und einem folglich größer werdenden horizontalen Temperaturgefälle auch der Dampfdruckgradient und demzufolge ebenso die Verdunstungshöhe etwas zu klein berechnet werden. In der Tendenz stimmen hiermit die festgestellten Abweichungen überein, wobei die zum Vergleich dienende gemessene Verdunstungshöhe nachweislich für die gesamte Seefläche repräsentativ ist (RICHTER u. a., 1979).

Mit der Ergänzung der in den Wintermonaten fehlenden Verdunstungsmessungen nach Gleichung (9) ist anhand der vorliegenden Vergleichsergebnisse darauf zu schließen, daß für den Stechlinsee eine in sich homogene und weitgehend den realen Bedingungen entsprechende Verdunstungsreihe vorliegt. Indirekt wird dabei auch die Notwendigkeit einer Korrektur des Dampfdrucks bestätigt, sofern dieser von der Klimastation auf die Bedingungen über einer thermisch belasteten Wasseroberfläche übertragen wird. Eine Zusammenstellung der Verdunstungshöhen enthält Tabelle 12. Hierin sind die gemessenen Monatssummen durch Fettdruck hervorgehoben und die thermische Belastung durch rote Zahlen gekennzeichnet. Bedingt durch die Reduzierung der Kesselmessungen auf die freie Wasseroberfläche und die daran anknüpfende Korrektur der Verdunstungsformel weichen die Werte etwas von den früheren Mitteilungen ab (RICHTER u. a., 1979). Sie sind entsprechend ihrer Genauigkeit zunächst nur auf ganze Millimeter gerundet angegeben.

Grundsätzlich anders war bei der Bestimmung der Verdunstungshöhen vom Nehmitzsee vorzugehen. Da von diesem See weder Verdunstungsmessungen noch kontinuierlich erfaßte Wassertemperaturen vorliegen, war eine weitgehende Berechnung beider Größen erforderlich. Hierbei mußte noch zwischen dem Nordbecken und dem Südbecken des Nehmitzsees unterschieden werden, zumal die zwischen beiden Becken bestehende schmale Verbindung mit < 1 m Tiefe nur sehr flach und weitgehend verkrautet ist. Somit findet auch zwischen den beiden Teilen des Sees kein nennenswerter Wasseraustausch statt und alle Auswirkungen des Kraftwerksbetriebes blieben auf das Nordbecken beschränkt. Auf diesen Teil des Nehmitzsees wurden anfänglich im Pentadenrhythmus und später im Dekaden- bzw. Monatsrhythmus kontinuierlich Messungen der Wassertemperatur durchgeführt. Sie bildeten die Grundlage für die Bestimmung der langjährigen Monatswerte der Wasseroberflächentemperatur. Hierzu dienten empirische Anpassungen sowohl an die bis 1977 vollständig vorliegenden Messungen der Wassertemperatur von der unmittelbar unterhalb des Röblinsees gelegenen Fürstenberger Schleuse als auch an die Lufttemperatur. Bei dieser speziell auf das Nordbecken des Nehmitzsees bezogenen Methodik werden genauere Ergebnisse erzielt als dies bei der Verwendung einer allgemeinen Luft-Wassertemperaturbeziehung (NEUBERT, 1985) möglich ist. Entsprechende Anpassungen waren auch insofern erforderlich, als beim Betrieb des Kernkraftwerks noch eine geringe thermische Beeinflussung stattfand und somit nicht durchgehend die für standardmäßige Berechnungen vorauszusetzenden natürlichen Bedingungen vorlagen. Eine ebenfalls getestete Verwendung des Stechlinsees als Vergleichsgewässer erwies sich wegen des stark abweichenden Jahresganges der Wassertemperatur infolge seiner weitaus größeren Tiefe und der starken thermischen Belastung als ungeeignet.

Tab.12: Monats- und Jahressummen der Verdunstungshöhe (in mm)
Stechlinsee, 1958/1995

JAHR	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	SUM
1958	14	14	26	31	28	86	99	94	91	57	41	26	607
1959	12	13	23	33	92	120	119	117	114	79	37	24	783
1960	7	15	23	36	59	106	82	79	79	46	31	28	591
1961	10	7	23	36	56	87	102	67	71	61	40	29	589
1962	12	21	31	30	45	100	73	90	62	38	31	35	568
1963	5	9	21	32	64	119	125	116	78	51	27	39	686
1964	12	22	25	26	62	132	137	107	83	54	29	29	718
1965	18	20	14	21	53	102	99	102	69	57	49	20	624
1966	7	11	45	22	74	92	106	107	81	49	43	23	660
1967	19	15	22	47	96	106	125	142	86	65	50	31	804
1968	18	19	19	60	83	129	136	121	82	54	47	41	809
1969	19	12	32	38	72	110	139	147	100	58	37	43	807
1970	13	11	20	27	59	136	136	139	99	75	41	36	792
1971	27	22	37	49	83	98	129	146	101	70	42	19	823
1972	33	15	34	37	53	84	126	112	78	65	33	34	704
1973	22	18	34	35	55	121	136	120	89	67	39	23	759
1974	16	19	39	69	87	80	119	106	115	78	38	21	787
1975	21	38	28	37	84	128	141	137	97	62	42	20	835
1976	20	14	34	49	95	143	188	123	78	52	40	34	870
1977	23	16	23	37	112	119	125	80	96	43	45	33	752
1978	29	32	29	69	90	119	111	134	76	53	48	42	832
1979	20	27	25	45	86	127	110	125	99	81	41	33	819
1980	33	22	36	35	89	97	100	108	80	68	41	33	742
1981	29	29	17	77	78	100	106	105	67	66	35	31	740
1982	6	19	31	51	75	123	134	139	88	74	46	37	823
1983	18	36	31	37	66	138	172	141	114	80	40	33	906
1984	24	28	47	43	55	79	92	105	80	50	48	37	688
1985	21	19	20	46	97	126	134	114	95	72	55	26	825
1986	29	25	14	29	78	132	142	128	70	44	27	28	746
1987	20	12	22	35	66	65	120	76	76	56	40	35	623
1988	23	26	35	68	121	115	140	136	85	61	44	18	872
1989	25	26	35	66	139	161	168	134	99	60	55	31	999
1990	22	22	35	70	133	86	128	113	86	46	33	29	803
1991	24	19	18	45	59	80	125	113	92	69	30	25	699
1992	14	11	24	32	93	164	151	126	85	65	25	28	818
1993	18	20	30	41	104	108	94	103	59	49	41	17	684
1994	12	20	10	25	79	88	167	141	66	64	25	24	721
1995	25	13	36	35	74	96	152	174	81	42	44	36	808
MIT.	19	19	28	42	79	111	126	118	85	60	39	30	756
MAX.	33	38	47	77	139	164	188	174	115	81	55	43	999
MIN.	5	7	10	21	28	65	73	67	59	38	25	17	568
STR.	7	7	8	15	24	23	25	23	14	12	8	7	96

rot = thermische Belastung

22 = gemessen

22 = berechnet

Weiterhin war beim Nehmitzsee zu beachten, daß dieser relativ schmale und in Nord-Süd-Erstreckung verlaufende See nicht mehr eindeutig die Bedingungen einer hinreichend frei gelegenen Wasseroberfläche erfüllt. Dies zu berücksichtigen ist nur möglich, wenn nach Gleichung (11) die Windgeschwindigkeit in die Verdunstungsberechnungen einbezogen wird. Auch diese Verdunstungsformel wurde zunächst einer umfassenden Testung unterzogen. Sie ergab gegenüber Gleichung (9) noch eine etwas bessere Anpassung an die gemessenen Verdunstungshöhen. So besteht bei einer mittleren quadratischen Abweichung der Einzelmonate von ebenfalls $\pm 8,4$ mm überhaupt keine systematische Differenz mehr, wobei die Summe der berechneten Verdunstungshöhen nur um +17 mm über den in 235 Monaten insgesamt gemessenen 21370 mm liegt. Die Unterteilung in natürliche und thermisch belastete Zeiträume ergibt wie Gleichung (9) etwas zu groß bzw. zu klein berechnete Gesamtverdunstungshöhen in der Größenordnung zwischen +1,5 bis -3 %.

Die Anwendung der Gleichung (11) gewährleistet somit ebenfalls eine sehr präzise Verdunstungsberechnung. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine hinreichend genaue Bestimmung der Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe über der Wasseroberfläche. Beim Stechlinsee lag diese durch die Messungen auf dem Dreieckfloß und deren Ergänzung anhand der Stationen Neuglobsow und Neuruppin vor. Die Ergebnisse der Verdunstungsberechnungen bestätigen indirekt auch die Brauchbarkeit dieser Windmeßreihe.

Bei der Übertragung auf den Nehmitzsee war nun einzuschätzen, inwieweit durch die geschütztere Lage dieses Sees die Windgeschwindigkeit verringert wird. Anhaltswerte hierfür liefern die Vergleiche der Windmessungen vom Stechlinsee und vom Windmast der Klimastation. Diese erfolgten unterteilt nach Windsektoren, um hierdurch für die Messungen auf See die Auswirkungen der jeweiligen Streichlängen des Windes bei den verschiedenen Windrichtungen zu berücksichtigen. Aus den Unterschieden in den ermittelten Reduktionsfaktoren ist für die wesentlich geringeren Streichlängen des Windes über dem Nehmitzsee mit einer gegenüber dem Stechlinsee im Mittel um ca. 25 % geringeren Windgeschwindigkeit zu rechnen. Dies wurde bei der Berechnung der Verdunstungshöhe nach Gleichung (11) als lineare Korrektur berücksichtigt, wobei sich ein Schätzfehler von 10 % zu 3 bis 4 % auf die Verdunstungshöhe auswirkt. Die Ergebnisse der so bestimmten Verdunstungshöhen enthält Tabelle 13. Sie gelten für das Nordbecken des Nehmitzsees und wurden bei den späteren Bilanzierungsuntersuchungen auch für den ebenfalls bei Kernkraftwerksbetrieb etwas beeinflussten relativ kleinen Gerlinsee mit als repräsentativ angenommen. Gegenüber den früheren Mitteilungen von 1979 ergeben sich auch hier geringfügige Unterschiede, die in den überarbeiteten Ausgangsdaten begründet sind.

Von den weiteren Gewässern des Einzugsgebietes wie Nehmitzsee-Südbecken, Dagowsee, Großer und Kleiner Krukowsee, Breutzensee, Steutzensee und Glabatzsee liegen keine speziell zur Verdunstungsbestimmung nutzbaren Messungen vor. In diesem Falle erfolgte die Anwendung des Modells VERSEE, in dem nach Gleichung (9) und einer allgemeinen Luft-Wassertemperaturbeziehung von

$$t_w = 1,06 t_L' + 1,17 \quad (12)$$

gerechnet wurde (NEUBERT, 1985). Hierin ist t_L' das auf einen zurückliegenden Zeitraum erweiterte

Tabelle 13: Monats- und Jahressummen der Verdunstungshöhe (in mm) vom Nehmitzsee-Nordbecken, 1958/1995

JAHR	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Σ JAHR
1958	11	8	25	35	64	100	108	98	82	42	25	9	607
1959	4	10	29	54	107	139	119	111	98	63	24	0	758
1960	0	13	22	57	83	111	96	82	77	39	21	11	612
1961	3	2	33	61	75	100	103	72	81	52	27	5	614
1962	1	15	25	43	73	110	93	86	69	44	22	13	594
1963	6	9	24	37	90	133	136	108	80	47	19	15	704
1964	3	13	22	40	90	133	128	100	72	51	19	10	681
1965	2	12	15	39	75	104	98	97	69	55	23	4	593
1966	3	5	23	37	96	94	107	102	71	43	25	17	623
1967	0	9	30	52	96	107	121	108	69	52	32	9	685
1968	2	13	18	61	78	110	111	109	74	46	27	14	663
1969	0	7	29	34	68	92	115	117	72	40	29	6	609
1970	4	5	17	17	71	126	115	108	80	46	24	23	636
1971	4	10	34	48	91	94	132	128	75	59	27	11	713
1972	14	6	29	40	59	87	95	87	63	42	24	22	568
1973	4	12	28	38	71	118	130	109	78	50	28	6	672
1974	6	10	33	61	88	96	109	92	87	47	25	9	663
1975	8	22	31	43	96	118	124	125	90	46	28	5	736
1976	4	10	19	52	92	121	164	103	70	35	19	17	706
1977	3	4	23	41	105	97	122	86	94	37	32	16	660
1978	15	11	27	59	89	115	103	110	59	40	28	22	678
1979	8	18	19	53	89	143	98	112	84	61	26	18	729
1980	10	10	30	46	104	101	100	102	71	49	27	16	666
1981	7	19	11	77	93	119	118	109	67	47	25	8	700
1982	0	14	21	62	76	108	130	133	86	59	32	23	744
1983	12	19	23	41	70	130	156	125	74	55	31	17	753
1984	13	14	35	65	74	85	91	109	72	45	28	14	651
1985	7	11	12	47	82	102	113	101	73	43	33	10	638
1986	15	18	15	42	92	132	134	123	72	45	22	10	720
1987	15	11	26	43	94	84	118	87	73	53	24	21	649
1988	16	22	32	62	116	86	112	97	67	43	32	12	697
1989	16	21	33	52	110	120	119	99	80	46	37	17	750
1990	14	19	31	70	106	79	109	110	69	42	21	16	686
1991	12	19	24	56	60	79	122	108	88	61	20	8	657
1992	7	5	23	52	100	156	138	127	88	53	17	9	775
1993	6	12	28	72	111	104	90	93	57	47	14	0	634
1994	3	19	13	55	84	92	159	141	66	53	25	8	718
1995	11	12	31	52	84	86	122	144	82	43	26	8	701
MIT.	7	12	25	50	87	108	117	107	76	48	25	12	674
MAX.	16	22	35	77	116	156	164	144	98	63	37	23	775
MIN.	0	2	11	17	59	79	90	72	57	35	14	0	568
STR.	5	5	7	12	15	19	18	16	9	7	5	6	52

Mittel der Lufttemperatur, wobei der Erweiterungszeitraum von der Gewässertiefe abhängt. Eine Beschreibung der Methodik ist in den DVWK-Merkblättern zur Wasserwirtschaft (1996) nachzulesen.

Die Berechnungen erfolgten unter Vorgabe einer mittleren Gewässertiefe von 6 m, was einem gewichteten Mittel zwischen dem Nehmitzsee-Südbecken und dem Dagowsee als den beiden größten verbleibenden Gewässern entspricht. Die Ergebnisse wurden auch in erster Näherung für die restlichen Seen als gültig angenommen, da eine weitere Differenzierung in Anbetracht des geringen Flächenanteils dieser Seen und der Berechnungsgenauigkeit des Modells nicht sinnvoll ist. Fehlerhafte Auswirkungen auf die zu bilanzierende Gesamtverdunstung von den freien Wasseroberflächen des Gebietes sind daraus nicht zu erwarten. Eine Wiedergabe der mit dem Modell berechneten jährlichen Verdunstungshöhen ist mit in Bild 27 enthalten.

Mit dem Vorliegen der langjährigen Verdunstungsreihen von den verschiedenen Gewässern des Stechlin- und Nehmitzseegebietes bietet es sich an, diese Ergebnisse einer abschließenden Betrachtung zu unterziehen. In dieser sind neben dem zeitlichen Verlauf und den aufgetretenen Extremen zwangsläufig die Auswirkungen der thermischen Belastung des als Kühlgewässer genutzten Stechlinsees in den Vordergrund zu stellen. Zum Vergleich der Seen untereinander ist auf die bereits genannte Bild 27 zu verweisen. Der Gang der Jahressummen zeigt in den unbeeinflussten ersten und letzten Jahren einen weitgehend parallelen Verlauf der Verdunstungshöhen, deren Unterschiede im wesentlichen der freien bis stärker geschützten Lage der Gewässer entsprechen.

Ab 1967 steigt die Verdunstungshöhe sprunghaft an und liegt infolge der thermischen Belastung um

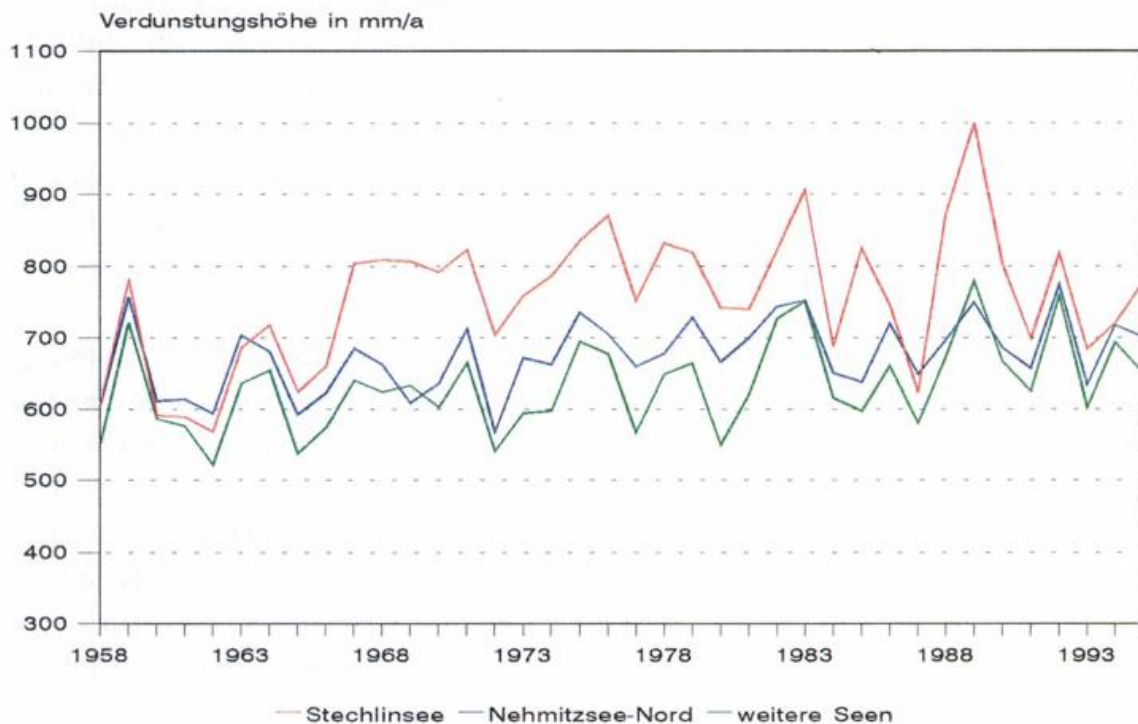


Bild 27: Gang der Jahressummen der Verdunstungshöhe vom Stechlinsee, Nehmitzsee-Nordbecken und den weiteren Seen des Einzugsgebietes, 1958/1995

rund 100 bis maximal > 200 mm/a über der der anderen Seen. Die mehr oder weniger starken Erhöhungen in den einzelnen Jahren sind eine Folge der unterschiedlichen Leistungen und zeitweiligen Stillstandszeiten des Kraftwerks. Besonders deutlich wird dies in den Jahren 1986/87, in denen das Kraftwerk über 18 Monate außer Betrieb war und die Verdunstungshöhe vom Stechlinsee wieder weitgehend den natürlichen Bedingungen entspricht. Relativ konstant bleiben die Unterschiede zwischen dem Nehmitzsee-Nordbecken und den weiteren Seen. Nachweisliche Verdunstungserhöhungen durch die ohnehin wesentlich geringere thermische Belastung des Nehmitzsees sind aus dem langjährigen Verlauf nicht zu erkennen.

Besonders markant hebt sich die Verdunstungshöhe vom Stechlinsee im Jahre 1989 hervor. In diesem Jahre wird die auch anhand der anderen Seen ersichtliche sehr hohe natürliche Verdunstung noch durch eine starke thermische Belastung bei maximaler Kraftwerksleistung gesteigert, was zu einer mit 999 mm äußerst extremen Jahressumme führt. Davon liegen allein die von April bis Oktober gemessenen 827 mm Verdunstungshöhe um 205 mm über dem langjährigen Durchschnitt, während die restlichen Monate nur mit +38 mm vom Mittel abweichen. Unter ähnlichen Bedingungen kam es lediglich 1983 noch zu einer Jahressumme von über 900 mm, während die ebenfalls sehr verdunstungsreichen Jahre 1959 und 1992 außerhalb der Zeit der thermischen Belastung liegen. Sie erreichten allerdings für den Stechlinsee mit 783 mm und 818 mm auch noch Jahressummen, wie sie sonst nur bei Betrieb des Kernkraftwerkes aufgetreten sind.

Bei den anderen Seen bewegen sich die Verdunstungshöhen dieser Extremjahre im Bereich um 750 mm. Weit weniger auffallend im zeitlichen Verlauf sind dagegen die Jahre mit besonders geringen Verdunstungshöhen. Als Minima ergaben sich für den Stechlinsee und für die restlichen Seen 568 bzw. 522 mm im Jahre 1962 und für das Nehmitzsee-Nordbecken ebenfalls 568 mm im Jahre 1972. Im Langzeitverhalten ist sowohl bei den unbeeinflussten als auch bei dem nur unwesentlich belasteten Nehmitzsee-Nordbecken ein eindeutig ansteigender Trend erkennbar. So ist das durchschnittliche Verdunstungsniveau der letzten zehn Jahre gegenüber dem Beginn der Meßreihe um über 50 mm angestiegen. Dieser Trend kann für die Seen in weiten Teilen des Nordostdeutschen Tieflandes als typisch angesehen werden und ist auch anhand weiterer Untersuchungsergebnisse zur Verdunstungshöhe von freien Wasseroberflächen, wie sie im Rahmen von Projekten und Gutachten erarbeitet wurden, zu belegen (RICHTER, 1994, 1995).

Eine quantitative Einschätzung der durch die thermische Belastung verursachten Verdunstungserhöhung läßt sich aus der Gegenüberstellung der Verdunstungshöhen unter natürlichen Bedingungen und bei Betrieb des Kernkraftwerkes ableiten. Im gegebenen Falle erfordert dies einen Vergleich der mittleren Jahressummen von 1958/66 und 1991/94 mit denen des Zeitraumes 1967/90, bei einer gleichzeitigen Überprüfung, inwieweit die bestehenden Unterschiede auch klimatologisch bedingte Ursachen haben können. Die Grundlage hierfür bieten die Verdunstungshöhen der unbeeinflussten Seen des Einzugsgebietes sowie weitere verfügbare Verdunstungshöhen von Gewässern aus der näheren Umgebung. Die von diesen jeweils für beide Perioden zusammengefaßten Verdunstungshöhen enthält Tabelle 14.

Aus den Ergebnissen geht hervor, daß für den Zeitraum der thermischen Belastung des Stechlinsees auch die natürliche Verdunstung etwas höher ist. Dabei wachsen die Differenzen von +3 mm/a beim

Tabelle 14: Vergleich mittlerer Verdunstungshöhen V (in mm/a) ausgewählter Gewässer für die Zeiträume (Z) mit natürlichen Bedingungen oder thermischer Belastung des Stechlinsees

V(Z1) : natürliche Bedingungen, 1958/66 und 1991/94 zusammengefaßt

V(Z2) : thermische Belastung, 1967/90

Gewässer	V(Z1)	V(Z2)	Differenz
Templiner See	709	712	+3
Havel-Oder-Wasserstraße	685	699	+14
Seen im Stechlinseegebiet	619	641	+22
Müritz	617	645	+28
Nehmitzsee-Nordbecken	659	682	+23
Stechlinsee	675	798	+123

Templiner See über +14 mm/a bei der Havel-Oder-Wasserstraße und +22 mm/a bei den unbeeinflussten Seen des Stechlinseegebietes auf +28 mm/a bei der Müritz kontinuierlich nach Norden hin an. Da sich die Ergebnisse vom Stechlinseegebiet gut in dieses natürliche Gefälle einfügen, ist mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß auch die höheren Verdunstungsverluste vom Stechlinsee und vom Nehmitzsee-Nordbecken noch zu rund 22 mm/a auf klimatologische Ursachen zurückzuführen sind. Damit verbleibt über die Zeit des Kraftwerkbetriebes für den Stechlinsee eine effektive Verdunstungserhöhung von durchschnittlich 101 mm/a, während für den nördlichen Teil des Nehmitzsees mit + 1 mm definitiv keine nennenswerte Beeinflussung nachweisbar ist. Bezüglich des Stechlinsees ist zu diesem Ergebnis allerdings noch anzumerken, daß während der 24jährigen Betriebsdauer das Kraftwerk insgesamt 80 Monate wegen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten außer Betrieb war und somit zu 28 % der Zeit keine thermische Belastung stattfand. Abschließend wird noch eine kurze Erläuterung zur innerjährlichen Verteilung der Verdunstungshöhen gegeben. Als Grundlage hierfür sind auf Bild 28 die mittleren Jahrgänge bei thermischer Belastung dargestellt. Sie zeigen, daß die Unterschiede zwischen den Seen auch in den meisten Monaten des Jahres gegeben sind, wobei die erhöhte Verdunstung vom Stechlinsee in den Spätherbst- und Wintermonaten besonders ausgeprägt ist. Dagegen bleiben die Werte im April und Mai hinter denen der anderen Seen zurück. In diesen Monaten reicht somit auch die thermische Belastung nicht aus, die schnellere Erwärmung und die damit verbundene höhere Verdunstung der wesentlich flacheren Seen auszugleichen. Im April zeigen sich in dieser Hinsicht auch noch Auswirkungen auf das Nehmitzsee-Nordbecken, da mit dem Pumpbetrieb des Kraftwerkes das erheblich kühlere Wasser des Stechlinsees auch in diesen See gelangt und hier eine geringere Verdunstung gegenüber den unbeeinflussten Seen verursacht.

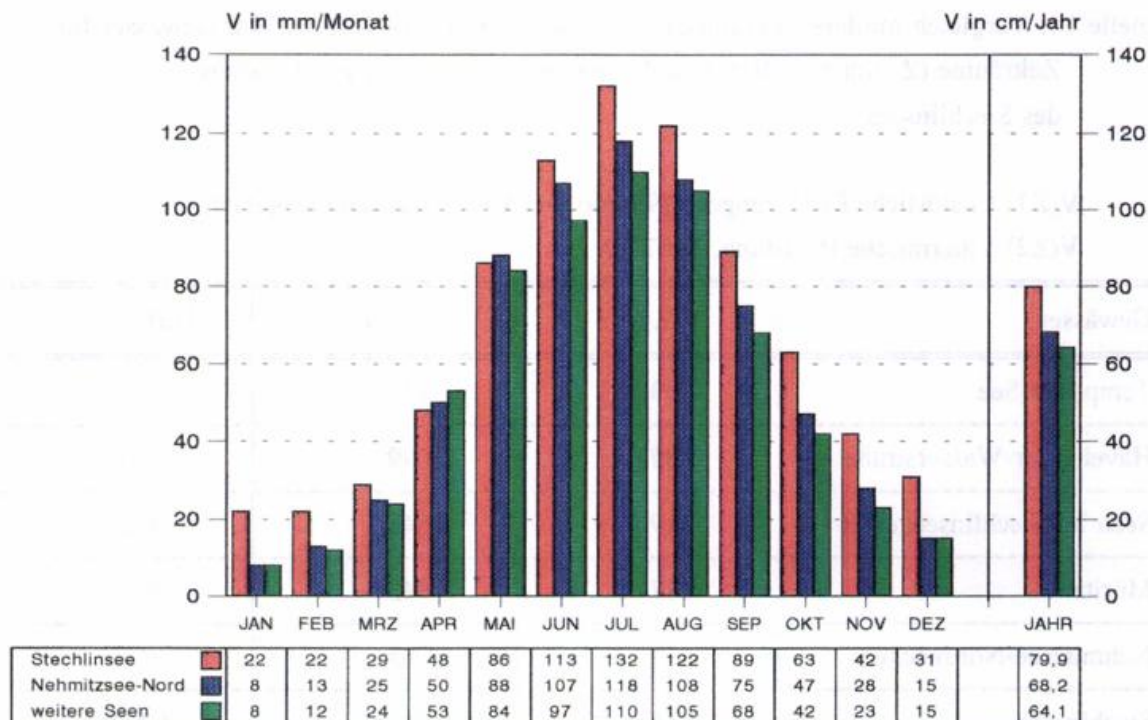


Bild 28: Mittlere Monats- und Jahressummen der Verdunstungshöhe (V) vom Stechlinsee, Nehmitzsee-Nordbecken und den weiteren Seen des Einzugsgebietes im Zeitraum thermischer Belastung, 1967/1990

8. Verdunstungshöhe der bewaldeten Landflächen

8.1 Methodische Grundlagen

Der größte Teil der Niederschlagshöhe vom Stechlin- und Nehmitzseegebiet wird durch die Verdunstung von den nahezu völlig bewaldeten Landflächen umgesetzt. Ihrer Bestimmung kommt somit bei der Bilanzierung des Wasserhaushaltes eine besonders große Bedeutung zu. Da eine direkte Messung dieser flächendeckenden Verdunstungsverluste nicht durchführbar ist, verbleibt als nutzbares Hilfsmittel nur die Anwendung geeigneter Berechnungsverfahren.

Begünstigt durch die Möglichkeiten der modernen Datenverarbeitung ist es speziell in dieser Hinsicht in den letzten Jahren zur Entwicklung mehrerer komplexer Verdunstungsmodelle gekommen, wovon als Beispiele nur VEKOS (KLÄMT, 1988) oder AKWA (GOLF u.a., 1993) genannt werden sollen. Modelle dieser Art gestatten es, den Einfluß der natürlichen Gegebenheiten eines Gebietes auf die Verdunstungshöhe in relativ differenzierter Form zu berücksichtigen. Als primäre Einflußgrößen sind die Art des Bewuchses einschließlich Alter und Bestandsdichte sowie Angaben zur Interzeptions-speicherkapazität, die nutzbare Feldkapazität des Bodens und die Durchwurzelungstiefe zu nennen. Hinweise darauf finden sich unter anderem in der genannten Originalliteratur und in den Merkblättern des DVWK (1996) zur Bestimmung der Verdunstung. Für routinemäßige Berechnungen stellt allerdings besonders bei Waldbeständen die Festlegung zutreffender Modellparameter immer noch ein erhebliches Problem dar. Diesbezügliche Angaben sind bestenfalls als gut angenäherte Mittelwerte

zu betrachten, zumal auch bei einer detaillierten Kenntnis der gebietsspezifischen Standortfaktoren stets noch zu bedenken ist, daß diese selbst bei scheinbar einheitlichen Bewuchs- und Bodenbedingungen noch auf engem Raum stark variieren können.

So ist es in jedem Falle günstig, wenn neben der modellmäßigen Berechnung auch die Möglichkeit besteht, annähernd gesicherte Aussagen noch auf anderem Wege zu gewinnen. Im Falle des Stechlin- und Nehmitzseegebietes sind entsprechende Voraussetzungen aus der Bilanzierung aller anderen Wasserhaushaltsgrößen gegeben, wodurch wenigstens das langjährige Mittel der Verdunstungshöhe von den Landflächen als zusätzliche Information bekannt ist. Somit besteht auch eine gute Grundlage für gezielte Verifikationsuntersuchungen und eine darauf aufbauende Anpassung der Parameter.

Zur Berechnung der Verdunstungshöhe diene das Modell VEKOS, dessen grundsätzliche Konzipierung bei KLÄMT (1988) nachzulesen ist. Als Ausgangsbedingung wird zunächst die potentielle Evapotranspiration (PET) nach einem von TURC (1961) entwickelten Verfahren berechnet. Ergänzend hierzu findet in den Wintermonaten November bis Februar und bei Temperaturen unter 3 °C der Ansatz von IVANOW Anwendung (WENDLING u. MÜLLER, 1984). Da sich die so bestimmte PET auf eine stets hinreichend mit Wasser versorgte Grasfläche bezieht, ist bei ihrer Anwendung auf Waldbestände noch eine Korrektur anzubringen, die nach einem Vorschlag von GOLF (1975) die unterschiedliche Albedo der Bestandsarten in der bei DYCK u. a. (1978) wiedergegebenen Form berücksichtigt.

In der weiteren Anwendung des Modells wird dann die reale Verdunstungshöhe über ein Bodenwasserausschöpfungsmodell berechnet. Als wichtigste Grundlage hierfür ist die maximal nutzbare Feldkapazität in Abhängigkeit von der bestehenden Bodenart festzulegen, die gleichzeitig die Gegebenheiten charakterisiert, unter denen potentielle Verdunstung stattfindet. Ist diese höher als der Niederschlag, so wird dem Boden Wasser entzogen, ohne hierbei den Bedarf vollständig zu kompensieren. Dieser Ausschöpfungsprozeß nimmt mit zunehmender Austrocknung des Bodens immer mehr ab und geht bei Annäherung an den permanenten Welkepunkt gegen Null, was mittels bodenspezifischer Reduktionsfunktionen als Verminderung der potentiellen Evapotranspiration zum Ansatz kommt.

Ebenfalls Bestandteil des Modells ist die Bestimmung der Interzeptionsverdunstung, wofür die Interzeptionsspeicherkapazität der Bestandsart bekannt sein muß. Für die Kiefern- und Buchenwälder des Stechlin- und Nehmitzseegebietes wurde von einer vorgegebenen maximalen Speicherkapazität ausgegangen und daran anknüpfend ein mittlerer Jahresgang in Anlehnung an das AKWA-Modell festgelegt. Dieser Jahresgang ist der jahreszeitlichen Entwicklung des Nadel- und Laubbewuchses angepaßt und als Relativwert zur maximalen Speicherkapazität angegeben. Die Berechnung der Verdunstung des gespeicherten Niederschlagswassers erfolgt dann mit einer höher als die PET angenommenen Intensität, deren energetische Voraussetzung mit einem advektiven Wärmegewinn zu begründen ist.

Der Gesamtaufbau des Modells ist so konzipiert, daß die Verdunstungsverluste durch Transpiration und Interzeption einander ergänzen, wobei immer nur eine der beiden Verdunstungsformen stattfindet und somit Transpiration von befeuchteten Nadeln und Blättern ausgeschlossen ist. Als Eingangsgröße wird in jedem Falle die korrigierte Niederschlagshöhe zugrunde gelegt.

8.2 Ergebnisse der Verdunstungsberechnungen

Zur Anwendung des VEKOS-Modells waren als erstes die gebietsspezifischen Boden- und Bestandsparameter festzulegen. Bereits bei der Beschreibung der hydrogeologischen Bedingungen wurde darauf verwiesen, daß das Gebiet durch glaziale Ablagerungen der letzten Eiszeit geprägt wurde. Untersuchungen des Bodens mittels Siebanalysen ergaben eine Zusammensetzung, die von eingelagerten Steinen über Kies und Sand bis zum Schluff reicht. Den größten Anteil hieran haben mit annähernd 50 % die Mittelsande und mit rund 25 % die Grobsande. Der Rest sind grobe bis feine Kiese und Feinsande, während der Schluffanteil unter 1 % bleibt. Dem angepaßt ist für die nutzbare Feldkapazität mit einem für Sandboden wahrscheinlichen Betrag von 10 mm pro Dezimeter Bodenschicht zu rechnen.

Einer Festlegung der bestandsbezogenen Modellparameter ist zunächst die Einschätzung der Landnutzungsformen voranzustellen. Bestimmender Faktor im Gebiet sind die ausgedehnten Kiefern- und Rotbuchenbestände, die sowohl in Reinkultur als auch als Mischwald auftreten und teilweise mit anderen Baumarten wie Eichen, Birken, Fichten, Lärchen und Douglasien durchsetzt sind.

Die Bedeckung des Gebietes mit diesen Waldbeständen liegt bei 98 % der Landflächen, wovon nach Angaben forstwirtschaftlicher Kartierungen, Satellitenbilddaufnahmen (WINTER, u. a., 1991) und individuellen Gebietskenntnissen ca. 0,55 Anteile Nadelwald und 0,45 Anteile Laubwald anzusetzen sind. Dies stimmt auch noch weitgehend mit den älteren Erhebungen von 1965 überein (HEITMANN u. a., 1969), wenn die dortigen Angaben für Mischwald zu gleichen Teilen dem Laub- und Nadelwald zugeordnet werden.

Die restlichen 2 % der Landflächen sind ca. jeweils zur Hälfte feuchte Wiesen im Bereich des Nehmitz-, Breutzen- und Dagowsees sowie Gärten und kleine landwirtschaftliche Flächen um Neuglobsow einschließlich Ortsteil Dagow. Da die Verdunstungsverluste von diesen Flächen teils über, teils unter denen der Wälder liegen, wird ihr ohnehin geringer Einfluß auf die Gebietsverdunstung weitgehend kompensiert und bedarf keiner gesonderten Berücksichtigung. Dies gilt auch für die versiegelten Flächen der Gehöfte und Straßen Neuglobsows und des Kernkraftwerksgeländes, die selbst bei nach oben gerundeten Annahmen ihrer Größe unter 0,15 % Gebietsanteile bleiben. Damit fällt lediglich der Anteil der Wiesen gegenüber den älteren Angaben geringer aus, da bei der Neubestimmung des Einzugsgebietes der Bereich der Tradenwiesen nicht mehr einbezogen ist.

Die Festlegung der bestandsspezifischen Parameter kann somit auf die Bewuchsarten Kiefern- und Laubwald beschränkt bleiben, zumal eine weitere Differenzierung ohnehin eine mit Modellrechnungen nicht mehr erzielbare Genauigkeit in der Verdunstungsberechnung vortäuschen würde.

Für die Berechnung der Interzeption wurde von einer maximalen Speicherkapazität (I_{max}) von 2,5 mm für Kiefernbestand und 2,0 mm bei Laubwald ausgegangen, wobei sich in der Literatur in dieser Hinsicht kaum definitive Festlegungen finden. Diese Speicherkapazitäten gelten jeweils bei voller Bestandsentwicklung. Phänologisch bedingte Abweichungen werden in Anlehnung an das AKWA-Modell als vorgegebener Jahresgang (Jg) berücksichtigt. Als Summe der interzeptionsmindernden Einflüsse, resultierend aus Baumalter, Entwicklungsstand und ggf. bestehendem Schädigungsgrad, wird bei den Kiefernbeständen von einem mittleren Reduktionsfaktor (F_R) von 0,8 ausgegangen, so daß sich für die jeweils aktuelle Interzeptionskapazität (I_C)

$$I_C = I_{\max} * J_g * F_R \quad (13)$$

als Ausgangsbedingung ergibt. Diese Reduktion erscheint bei den Kiefern angebracht, zumal, besonders im Menzer Forst, aber auch zum Teil in der nordwestlich gelegenen Pelzrümde, ein beträchtlicher Anteil jüngerer Baumbestände gegeben ist. Bei den Laubwäldern handelt es sich dagegen weitgehend um ausgewachsene Bestände, lediglich von einigen kleineren Eichenwäldern durchsetzt, die insgesamt keine Reduktionen im Jahresgang der Speicherkapazität erforderlich machen.

Als weitere wichtige Einflußgröße war die Durchwurzelungstiefe festzulegen, das heißt die Tiefe, aus der der Waldbestand im wesentlichen sein Wasser für die Transpiration aufnimmt. Bodenprofiluntersuchungen ebenso wie bereits eine einfache Betrachtung windbedingt entwurzelter Bäume zeigen, daß sich der Bereich starker Durchwurzelung sowohl bei Kiefern als auch bei Buchen auf die obersten 40 bis 60 cm des Bodens beschränkt. Andererseits haben Profiluntersuchungen aber ebenso ergeben, daß auf Sandböden auch in 3 bis 4 m Tiefe durchaus noch wasserentnahmefähige Wurzeln nachzuweisen sind. Auch die Tatsache, daß die Bestände selbst in extremen sommerlichen Trockenperioden keine größeren Streßerscheinungen zeigen, spricht für die Fähigkeit der Bäume, ihren Wasseranspruch im Bedarfsfalle aus größeren Tiefen decken zu können. Für einfache Verdunstungsmodellrechnungen ist es somit äußerst schwierig, eine definitive untere Entnahmegrenze festzulegen.

Um eine entsprechende Entscheidung treffen zu können, erfolgte zunächst eine Untersuchung, welchen Einfluß die einzelnen Boden- und Bestandsparameter auf die berechnete Verdunstungshöhe haben. Hierzu wurden die langjährigen Mittelwerte der Verdunstungshöhe von den Laub- und Nadelwäldern für eine Reihe von Varianten mit Durchwurzelungstiefen zwischen 1,0 und 1,5 m, einer von 8 bis 12 mm/dm reichenden Feldkapazität sowie Reduktionsfaktoren für die maximale Interzeptionsspeicherkapazität von 0,6 bis 1,0 gerechnet. Die Ergebnisse enthält Tabelle 15.

Trotz einer relativ großen Schwankungsbreite der vorgegebenen Eingangsparameter liegen die berechneten Verdunstungshöhen innerhalb der Grenzen von $\pm 8\%$ Abweichung vom Mittel aller Werte. Den größten Einfluß auf die Variabilität haben hierbei die vorgegebenen Durchwurzelungstiefen, deren relative Veränderungen sich etwa doppelt so stark auf das Berechnungsergebnis auswirken, wie die der nutzbaren Feldkapazität und der Interzeptionsspeicherkapazität. Außerdem ist zu erkennen, daß auch mit unterschiedlich kombinierten Ausgangsbedingungen letztlich übereinstimmende Berechnungsergebnisse erzielbar sind. Hiermit wird zum einen die Sensibilität des Modells verdeutlicht, zum anderen zeigen sich aber auch die möglichen Berechnungsfehler bei unzutreffend gewählten Modellparametern.

Günstige Ausgangsbedingungen bestehen immer dann, wenn zumindest Anhaltswerte über die wahrscheinlich zu erwartende Verdunstungshöhe vorliegen und sei es auch nur in Form langjähriger NAU-Werte. Im Falle des Untersuchungsgebietes sind diesbezüglich mit der in Kapitel 10 behandelten Wasserhaushaltsbilanz gute Voraussetzungen für eine darauf aufbauende Parameterbestimmung gegeben. Ausgehend von der nach dieser Bilanzierung im Mittel zu erwartenden Landverdunstungshöhe von 503,0 mm/a und den bereits festgelegten Modellparametern zur Feld- und Interzeptionskapazität ist mit Bezug auf Tabelle 15 für die Durchwurzelungstiefe ein Betrag von 1,3m anzusetzen,

Tabelle 15: Mittlere Jahressummen der Verdunstungshöhe (in mm) von den Kiefern- und Laubwäldern des Stechlin- und Nehmitzseegebietes in Abhängigkeit von den Boden- und Bestandsparametern, 1958/1995

Bestandsart Kiefernwald

Interzeptionskapazität	0,6(I _{max} * Jg)					0,8(I _{max} * Jg)					1,0(I _{max} * Jg)					
	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	
Durchwurzelungstiefe (in m)																
Feldkapazität 8 mm/dm	466,3	492,3	514,8	471,8	498,6	522,3	475,4	502,9	527,1							
Feldkapazität 10 mm/dm	486,8	518,6	544,9	492,6	525,5	552,7	496,3	530,0	558,8							
Feldkapazität 12 mm/dm	492,3	525,1	551,1	498,6	532,4	560,1	502,9	537,9	567,0							

Bestandsart Laubwald

Interzeptionskapazität	0,6(I _{max} * Jg)					0,8(I _{max} * Jg)					1,0(I _{max} * Jg)					
	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	
Durchwurzelungstiefe (in m)																
Feldkapazität 8 mm/dm	439,7	463,6	483,8	446,0	470,9	492,1	451,2	476,9	498,9							
Feldkapazität 10 mm/dm	459,0	488,0	511,2	465,8	495,8	520,2	471,4	502,6	527,5							
Feldkapazität 12 mm/dm	463,6	493,0	515,3	470,9	501,5	524,8	476,9	508,8	532,8							

gleichbedeutend mit einer maximal ausschöpfbaren Feldkapazität von 130 mm. Bei diesem Ansatz ergibt sich mit dem VEKOS-Modell eine mittlere Verdunstungshöhe von 512,0 mm/a für Nadelwald und 489,8 mm/a für Laubwald sowie entsprechend den Gebietsanteilen beider Bewuchsformen von 502,0 mm/a für die bewaldeten Flächen insgesamt. Sie weicht damit nur um -1,0 mm/a von dem bilanzierten Wert ab.

Eine mögliche geringfügige Änderung eines der Eingangsparameter zum Ausgleich dieser minimalen Differenz wurde in Anbetracht der allen Bilanzgrößen innewohnenden Fehlertoleranz nicht für sinnvoll erachtet. Rein rechnerisch besteht somit über den Zeitraum der 38 Beobachtungsjahre ein offener Restbetrag von 38 mm. Er bedeutet theoretisch, daß der Wassergehalt des Bodens zum Ende der Meßperiode um diesen Betrag höher lag als zu Beginn. Gemessen an dem jährlichen Gang der Ausschöpfung und Wiederauffüllung des Bodenwasservorrats ist dies nur ein geringfügiger Betrag. Für die berechnete Verdunstungshöhe kann somit zunächst für den Gesamtzeitraum von einem anhand der Wasserbilanz des Gebietes hochgradig gesicherten Ergebnis ausgegangen werden.

Die einzelnen Monats- und Jahressummen der berechneten Verdunstungshöhe enthält Tabelle 16. Sie stellen die Zusammenfassung der zunächst getrennt für Kiefern- und Laubwald berechneten Werte zu einer jeweils einheitlich für die Landflächen des Gebietes gültigen Verdunstungshöhe dar. Mit einem Maximum von 597,5 mm im Jahre 1966 und einem Minimum von 385,5 mm im Jahre 1976 bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den extremen Jahressummen, deren Ursachen primär in dem für die Verdunstung verfügbaren Niederschlagsangebot liegen. Ersichtlich werden die Zusammenhänge aus dem Vergleich des Ganges der Jahressummen beider Größen auf Bild 29, die darüber hinaus auch noch die am stärksten verdunstungswirksamen Niederschlagssummen der jeweiligen Sommerhalbjahre (April/September) enthält. Der gesamte Verlauf der dargestellten Größen unterstreicht die prinzipiell zu erwartende Übereinstimmung des Verdunstungsverhaltens mit dem Niederschlagsangebot, allerdings mit einer vergleichsweise geringeren Variabilität der jährlichen Verdunstungshöhen. Sie ergibt sich aus einem energetisch und pflanzenphysiologisch begrenzten Anwachsen der Verdunstung bei großem Niederschlagsüberschuß ebenso wie aus der Kompensation temporärer Niederschlagsdefizite durch die Ausschöpfung des Bodenwassers. In beiderlei Hinsicht sind natürlich besonders die Bedingungen in den verdunstungsreichen Sommermonaten ausschlaggebend, woraus sich auch die letztlich etwas bessere Anpassung der Verdunstungshöhen an das sommerliche Niederschlagsverhalten erklärt. Dabei bleibt allerdings der leicht abfallende Trend der Sommerniederschläge ohne entsprechende Auswirkungen auf die Verdunstung.

Neben diesem generellen Verhalten zeigen sich bei einer detaillierten Betrachtung der Zusammenhänge auch einige erhebliche Unterschiede in der Verdunstungswirksamkeit des Niederschlagsangebotes. Sie sind eine Folge der innerjährlichen Verteilung der Niederschlagshöhen, wie sich leicht anhand einiger Beispiele nachweisen läßt. So stimmen die Niederschlagshöhen von 1976 und 1991 mit 548,4 mm und 541,9 mm nahezu überein, während die Verdunstungshöhen mit 397,0 mm und 503,6 mm weit voneinander abweichen. Ein Blick auf die Monatssummen der Niederschlagshöhen von 1991 zeigt einen der durchschnittlichen Verdunstung gut entsprechenden Jahresgang mit den höchsten Werten im Mai und Juni. Es war praktisch ganzjährig eine hinreichende Wasserversorgung gewährleistet. Im Gegensatz hierzu ist die Niederschlagshöhe von 1976 sehr stark durch die im

Tabelle 16: Monats- und Jahressummen der Verdunstungshöhe (in mm) von den Landflächen des Stechlin- und Nehmitzseegebietes

JAHR	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Σ JAHR
1958	9,0	9,5	15,6	38,6	91,0	99,4	112,9	86,0	53,3	30,7	8,0	6,1	560,1
1959	10,0	6,8	33,2	61,3	83,6	38,9	74,5	59,4	3,6	11,4	5,7	5,2	393,6
1960	6,2	7,6	23,3	46,6	79,2	86,9	90,0	60,2	38,2	21,0	11,1	6,7	477,0
1961	7,0	7,8	35,1	74,5	74,0	120,5	84,8	89,2	55,7	27,3	8,4	8,4	592,7
1962	10,2	11,0	17,9	66,5	69,0	81,4	80,1	66,0	47,2	16,4	9,2	5,1	480,0
1963	4,5	4,9	22,4	47,8	93,5	101,1	71,7	65,9	35,4	34,5	12,4	4,1	498,2
1964	5,2	12,3	14,9	62,2	95,4	108,8	38,8	67,4	55,8	30,4	10,0	6,9	508,1
1965	6,3	7,2	19,8	46,5	90,9	88,9	74,8	50,5	42,9	15,3	8,5	7,2	458,8
1966	4,9	7,7	21,3	53,2	98,2	109,4	112,2	94,3	58,9	26,2	5,1	6,1	597,5
1967	5,1	12,2	35,6	50,7	86,5	94,2	94,6	50,0	50,0	33,1	10,9	7,3	528,9
1968	7,6	8,6	34,8	60,4	85,0	105,4	88,2	42,9	56,1	38,8	9,8	4,8	542,4
1969	3,5	5,0	20,2	49,4	87,2	107,8	62,6	46,7	58,2	21,4	13,8	3,2	479,0
1970	3,9	4,1	10,6	36,9	101,8	86,6	70,9	19,3	52,6	29,6	10,4	8,3	435,0
1971	7,5	10,3	21,3	49,5	94,0	88,7	99,5	29,3	35,1	19,7	12,5	9,7	477,1
1972	5,3	8,4	30,5	49,0	84,2	107,9	105,8	100,6	55,5	22,0	9,9	9,4	588,5
1973	4,2	8,0	26,3	41,4	90,1	85,1	82,6	85,1	36,4	28,9	13,7	6,3	508,1
1974	8,4	11,1	33,9	55,1	77,9	87,9	79,6	79,3	37,5	22,5	12,5	10,5	516,2
1975	15,0	8,7	22,2	50,6	85,5	44,5	52,0	46,3	31,5	21,2	9,3	10,2	397,0
1976	10,1	9,0	16,5	50,7	80,3	83,9	30,1	26,9	37,0	26,0	8,9	6,1	385,5
1977	5,6	6,2	29,4	37,0	102,1	80,8	67,2	95,8	59,4	33,0	14,6	10,1	541,2
1978	8,9	8,1	30,8	45,5	80,5	82,9	70,7	82,2	49,2	43,0	14,4	9,7	525,9
1979	4,7	8,8	25,5	53,3	98,9	88,6	72,0	60,1	26,1	17,7	12,7	14,7	483,1
1980	4,8	7,8	23,0	49,1	91,9	91,9	103,2	95,8	60,7	32,8	9,2	10,3	580,5
1981	6,0	12,3	32,8	63,3	84,0	91,9	70,5	62,1	41,7	31,3	12,7	4,4	513,0
1982	4,0	7,5	35,1	54,8	93,3	89,7	56,4	58,4	24,3	28,5	17,6	8,9	478,5
1983	16,1	8,4	26,2	59,3	88,8	98,7	23,9	42,5	22,3	34,3	11,4	8,3	440,2
1984	9,0	10,3	25,1	57,1	81,3	91,9	91,6	81,9	47,1	34,4	11,9	9,3	550,9
1985	7,1	7,1	21,1	52,9	96,3	82,0	97,6	65,4	44,2	23,2	10,8	11,2	518,9
1986	10,8	7,7	23,2	43,1	102,3	116,0	57,3	58,5	43,4	29,3	13,9	12,5	518,0
1987	8,5	11,9	21,7	61,0	75,5	74,8	84,6	67,6	54,2	25,5	13,9	13,2	512,4
1988	9,6	12,2	23,4	57,8	66,3	70,4	102,4	55,8	27,5	18,8	14,0	13,0	471,2
1989	12,6	18,1	39,4	52,7	94,6	45,6	45,0	56,3	23,1	32,7	9,5	8,7	438,3
1990	14,7	19,6	37,5	58,1	68,9	91,5	60,6	77,9	57,1	32,7	6,7	7,2	532,5
1991	14,8	10,0	31,4	56,6	78,1	89,9	95,4	68,8	29,6	18,0	11,3	11,5	503,6
1992	8,0	11,4	30,5	63,0	107,1	30,3	55,6	68,8	53,0	22,7	11,0	8,1	469,5
1993	15,4	7,1	25,5	68,2	83,5	89,4	83,3	83,3	56,7	33,7	5,5	8,5	564,1
1994	8,4	9,3	28,3	65,1	79,6	97,2	94,7	46,7	54,0	30,1	12,6	8,5	534,5
1995	9,1	12,6	25,8	57,9	78,7	97,3	82,4	25,6	47,2	29,0	7,8	5,4	478,8
MIT.	8,2	9,4	26,1	53,9	86,8	87,5	77,0	63,3	43,7	27,0	10,8	8,3	502,0
MAX.	16,1	19,6	39,4	74,5	107,1	120,5	112,9	100,6	60,7	43,0	17,6	14,7	597,5
MIN.	3,5	4,1	10,6	36,9	66,3	30,3	23,9	19,3	3,6	11,4	5,1	3,2	385,5
STR.	3,5	3,1	6,9	8,7	9,9	19,9	21,8	20,7	13,3	7,0	2,8	2,7	53,1

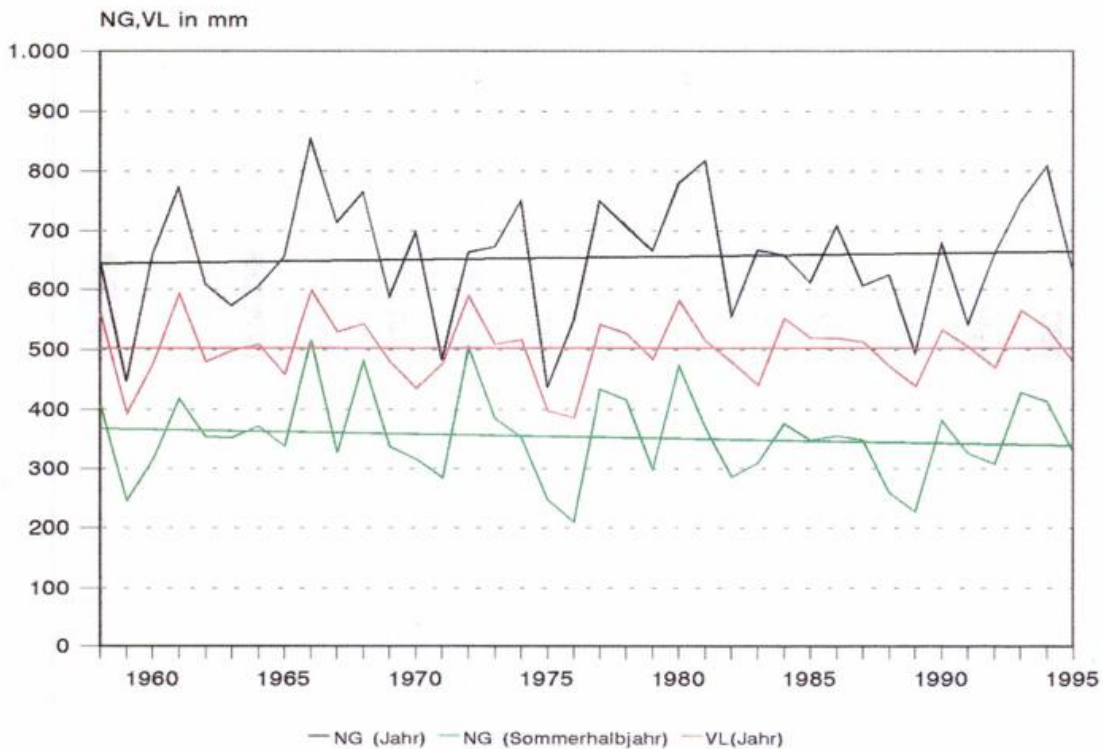


Bild 29: Gang der Jahres- und sommerlichen Halbjahressummen der Gebietsniederschlagshöhe und der Jahressummen der Landverdunstungshöhe, 1958/1995

wesentlichen verdunstungsunwirksame Januarsumme von 150,1 mm geprägt, während geringe Niederschläge von Juni bis August die Verdunstungshöhe stark einschränkten.

Besonders aufschlußreich für die letztlich entscheidende Wirkung der Niederschlagsverteilung ist das Jahr 1971. Obwohl die Niederschlagshöhe sowohl ganzjährig als auch im Sommerhalbjahr wesentlich zu gering ist, erreicht die Verdunstungshöhe mit 477,1 mm einen annähernd durchschnittlichen Betrag, der nur wenig unter dem Jahresniederschlag von 483,0 mm bleibt. Eine Erklärung hierfür liefern die auf Bild 30 dargestellten Monatssummen unter Einbeziehung der Bodenwasservorratsänderung im Durchwurzelungsraum. Letztere läßt sich aus der bilanzierten Vorratsänderung im gesamten Bodenspeicher und der mit dem VEKOS-Modell berechenbaren Versickerung bestimmen (Kapitel 10.3). Wie aus Bild 30 hervorgeht, ergeben sich zunächst bis Mai durchschnittliche Verdunstungshöhen, wobei die zu geringen Niederschläge im April und die mittleren im Mai durch die Ausschöpfung des Bodenwasservorrats ergänzt werden. Danach folgt im Juni mit 132,2 mm der einzige niederschlagsreiche Monat des Jahres, der auch den bereits stark beanspruchten Bodenwasservorrat wieder auffüllt. Somit steht in dem nachfolgenden sehr warmen und trockenen Juli bei wiederum starker Ausschöpfung dieses Vorrates noch hinreichend Wasser für die Verdunstung zur Verfügung. Sie geht erst in den nachfolgenden Monaten bei weiterhin geringen Niederschlägen erheblich zurück. Zum Jahresende herrschen dann wieder annähernd durchschnittliche Bedingungen. So entsteht in einem insgesamt sehr trockenen Jahr allein durch die zum günstigsten Zeitpunkt reichlich verfügbaren Niederschläge nur eine geringe Verminderung der Verdunstungshöhe.

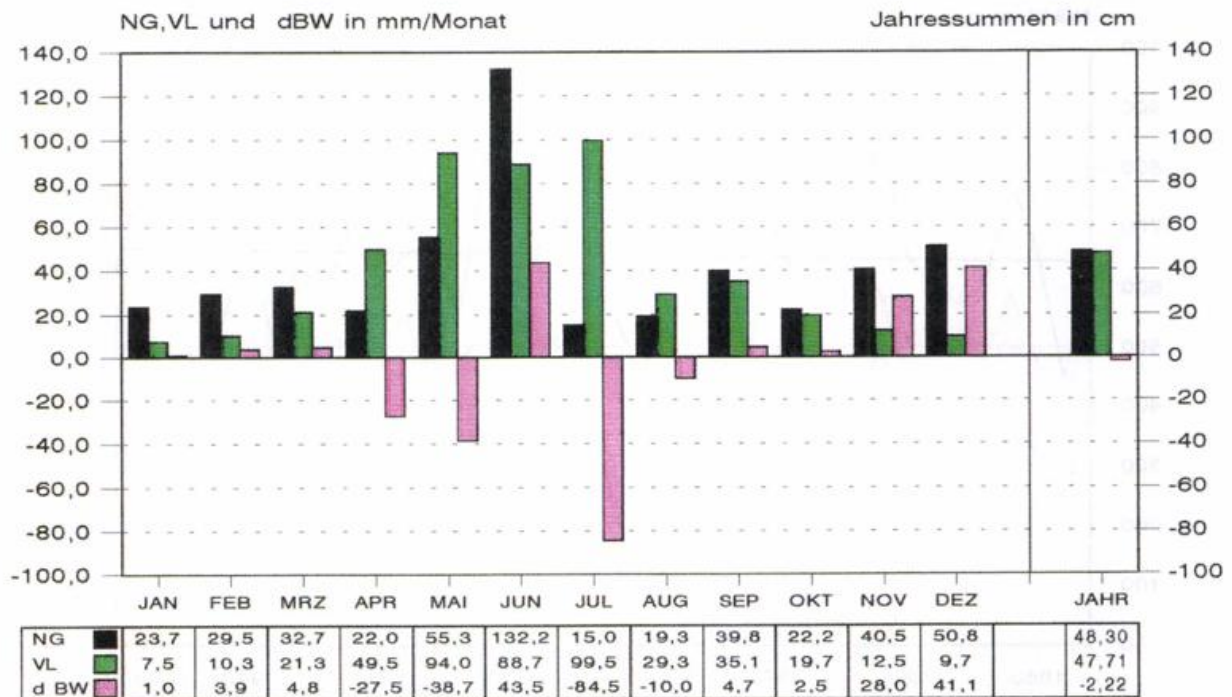


Bild 30: Jahresgang von Gebietsniederschlag (NG), Landverdunstung (VL) und Bodenwasservorratsänderung (d BW) im Durchwurzelungsraum, 1971

Eine abschließende Betrachtung soll den bisher in 6 Jahren aufgetretenen Verdunstungshöhen von > 560 mm/a gelten. Hierfür bestanden gemäß Bild 29 recht unterschiedliche Ausgangsbedingungen mit jährlichen Niederschlagshöhen zwischen 649,0 und 854,0 mm und sommerlichen Halbjahressummen zwischen 408,2 und 515,0 mm. Demnach reichen bei einer annähernd bedarfsgerechten Verteilung offensichtlich die geringen Niederschlagssummen schon für eine so hohe Verdunstung aus, während das darüber hinausgehende Niederschlagsangebot zu keiner wesentlichen Erhöhung der Verdunstung mehr führt. Hierzu fehlen sicherlich auch die energetischen Voraussetzungen, zumal in niederschlagsreichen Jahren auch die potentiellen Verdunstungshöhen geringer sind.

Aus den wenigen erläuterten Beispielen läßt sich erkennen, daß eine zutreffende Bewertung der Verdunstungshöhe von den bewaldeten Landflächen nur aus der detaillierten Betrachtung der Zusammenhänge und Wechselwirkungen mit den Niederschlags- und Bodenfeuchtebedingungen im Verlaufe des Jahres hinreichend genau gegeben werden kann.

9. Bodenwasservorratsänderung

Als letzte noch nicht behandelte Größe des Wasserhaushalts verbleibt die Bodenwasservorratsänderung. Hierunter ist sowohl die in der Durchwurzelungszone als auch im darunter gelegenen Sickerwasserraum stattfindende Änderung des Wassergehaltes zu verstehen. Bei maximalen Flurabständen des Grundwassers von > 25 m und einer durchschnittlichen Lage von 12 m unter Flur besteht im Einzugsgebiet des Stechlin- und Nehmitzsees ein sehr großer Bodenspeicher, dessen zeitlich veränderliche Auffüllung und Ausschöpfung praktisch nicht meßbar ist. Somit kann die

Bodenwasservorratsänderung (dB) definitiv nur als Restgröße aus der Bilanzierung aller anderen Wasserhaushaltsgrößen bestimmt werden. Sie ergibt sich aus dem Gebietsniederschlag (N_G), der anteilig aus der See- und Landflächenverdunstung zusammengesetzten Gebietsverdunstung (V_G), dem Gesamtabfluß aus dem Gebiet (A_G) und der Wasservorratsänderung in den Seen (dS) und im Grundwasser (dG) zu

$$dB = N_G - V_G - A_G - (dS + dG). \quad (14)$$

Eine entsprechende Bilanzierung wurde auf der Basis von Monatswerten durchgeführt. Gemäß Gleichung (14) bezieht sie sich als Restgröße zunächst auf das gesamte Einzugsgebiet und war noch unter Ausklammerung der Seeflächen auf den Anteil der Landflächen umzurechnen, um somit die tatsächliche Höhe der Speicherung in mm Wassersäule zu erfassen. Das Ergebnis ist auf Bild 31 als fortlaufende Summe der Bodenwasservorratsänderung dargestellt. Sie zeigt die Ganglinie als Schwankung um den langjährigen Mittelwert, dessen absoluter Betrag nicht bekannt ist. Es kann somit nur eine Aussage getroffen werden, inwieweit der Wassergehalt des Bodens zum betreffenden Zeitpunkt von der durchschnittlichen Speicherung abweicht, die auf dem Bild als Nulllinie dargestellt ist. Neben gut ausgeprägten Jahresgängen, die primär durch die Ausschöpfung und Wiederauffüllung des oberen durchwurzelten Bodenraumes entstehen, ergeben sich auch einige längerfristige Bodenwasservorratsänderungen. Sie verlaufen gewöhnlich als periodische Schwankungen um den Mittelwert und verbleiben zum überwiegenden Teil in einem Bereich von weniger als ± 150 mm Abweichung vom

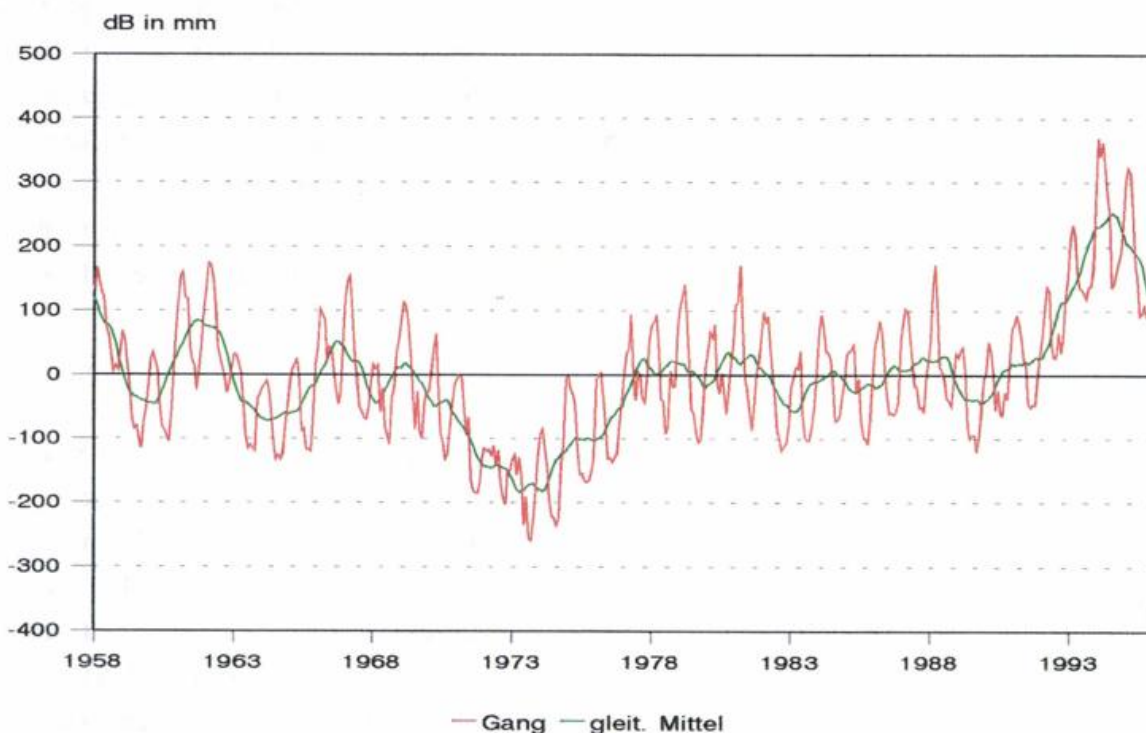


Abb. 31: Gang der Bodenwasservorratsänderung (dB) im Stechlin- und Nehmitzseegebiet, 1958/1995

Mittelwert. Diese relative Konstanz bestätigt indirekt, daß wahrscheinlich auch alle anderen Wasserhaushaltsgrößen, die dieser Bilanzierung zugrunde liegen, in ihrem langzeitlichen Verhalten keine systematischen Fehler aufweisen.

Gemessen an der Mächtigkeit des Speicherraumes ist die mittlere Variabilität des gesamten Bodenwassergehaltes als gering einzuschätzen, zumal bereits in der Durchwurzelungszone jährliche Schwankungen von über 100 mm möglich sind. Temporäre Abweichungen von diesem generellen Verhalten bestehen einmal in einem stärkeren Rückgang des Bodenwassergehaltes mit anschließender Wiederauffüllung in den 70er Jahren sowie in einer kräftigen Anreicherung zum Ende der Meßperiode. Eine Analyse potentieller Ursachen deutet darauf hin, daß eine zwischen 1970 und 1973 aufgetretene Folge von niederschlagsarmen Wintern mit einer demzufolge geringeren Versickerung den Rückgang ausgelöst hat. Der starke Anstieg ist hingegen hauptsächlich auf zwei sehr niederschlagsreiche Winterhalbjahre zurückzuführen, wovon der Winter 1993/94 noch besonders herausragt. So fielen im Dezember und Januar zusammen 235,4 mm Niederschlag, denen im März nochmals 94,1 mm folgten. Daraus ergab sich eine Versickerung von 302,4 mm, die weit über den Summen der anderen Winterhalbjahre liegt. Sie bedingte zwischenzeitlich eine sehr starke Anreicherung des Bodenwassergehaltes, der dann in den nachfolgenden Monaten wieder auf das Ausgangsniveau zurückgeht und im folgenden Jahr nach einem ebenfalls sehr niederschlagsreichen Winter nochmals eine ähnlich große Amplitude aufweist.

Aus der Differenz der größten negativen und positiven Abweichungen vom langjährigen Mittel, jeweils kurzzeitig aufgetreten in den Jahren 1973 und 1994, ergibt sich eine maximale Variationsbreite von rund 630 mm Wassergehalt im Boden. Dieser Betrag wird primär durch die Schwankungen im Jahresgang mitbestimmt, zumal der Unterschied zwischen den Extremen des geglätteten Jahresganges mit 436 mm bereits erheblich geringer ist. Mit diesen Ergebnissen sind zumindest Anhaltswerte über die möglichen Speicherunterschiede im Bodenraum gegeben, deren langzeitliche Veränderungen entsprechend der weitaus größeren Speicherkapazität hauptsächlich im Sickerraum stattfinden. Eine detaillierte Beurteilung des Verlaufs der Bodenwasservorratsänderung ist sicherlich nur aus dem Verhalten aller beeinflussenden Wasserhaushaltsgrößen abzuleiten. Soweit möglich, werden hierzu bei der nachfolgenden Behandlung des Wasserhaushaltes noch einige weitere Hinweise gegeben.

10. Wasserhaushalt

Mit der Bestimmung aller am Wasserhaushalt des Untersuchungsgebietes beteiligten Größen sind die erforderlichen Voraussetzungen für eine umfassende Analyse der im Verlaufe von 38 Beobachtungsjahren stattgefundenen Wasserhaushaltsprozesse gegeben. Als Schwerpunkte einer solchen Untersuchung können neben der Aufstellung langjähriger mittlerer Wasserbilanzen vor allen Dingen Betrachtungen zur zeitlichen Variabilität der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen und der sie bestimmenden Zusammenhänge und wechselseitigen Beeinflussungen genannt werden. Hierzu sind eine ganze Reihe von Teilproblemen zu klären, angefangen vom primären Einfluß von Niederschlag und Verdunstung auf den gesamten Wasserhaushalt über die einzelnen Prozesse der Boden-, Grund- und Seewasserspeicherung bis hin zu den möglichen Auswirkungen des anthropogen gesteuerten ober-

irdischen Abflusses und der thermischen Belastung des Stechlinsees durch das Kernkraftwerk. Als Voraussetzung ist eine detaillierte Aufschlüsselung aller Komponenten anhand einer getrennten Bilanzierung des Wasserhaushaltes für die Land- und Seeflächen vorzunehmen. Nur so lassen sich beispielsweise Ergebnisse zu der aus Niederschlag und Verdunstung verbleibenden Versickerung einschließlich der Boden- und Grundwasserspeicherung sowie des daraus resultierenden unterirdischen Abflusses in den Stechlin- und Nehmitzsee erzielen. In Verbindung mit der Seeverdunstung trägt dies wiederum zur Erklärung des Wasserstands- und Abflußverhaltens von den Seen bei. In Anbetracht der aus 38 Beobachtungsjahren sehr umfangreichen Informationen erschien es geboten, die Interpretation der Ergebnisse auf eine Auswahl repräsentativer Beispiele zum Gesamtverhalten der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen zu beschränken.

10.1 Mittlere Wasserbilanz des Gesamtgebietes

Ausgehend von der einfachen Wasserhaushaltsgleichung gilt für die langjährige Wasserbilanz

$$N_G - A_G - V_G \pm dW_G = 0. \quad (15)$$

Hierin sind N_G der Gebietsniederschlag, A_G der aus ober- und unterirdischem Abfluß zusammengefaßte Gesamtabfluß, V_G die für die Land- und Seeflächen gewichtet gemittelte Gebietsverdunstung und dW_G die Wasservorratsänderung im Gebiet, resultierend aus der Vorratsänderung in den Seen (dS), im Grundwasser (dG) und im Boden (dB).

Für die Bestimmung des Gebietsniederschlages wurde die auf Bild 3 dargestellte mittlere Niederschlagsverteilung des Zeitraumes 1966/90 zugrunde gelegt. Eine Auswertung nach der Isohyetenmethode ergibt für das Einzugsgebiet eine mittlere Niederschlagshöhe von 660,1 mm/a, die definitiv mit dem arithmetischen Mittel von 659,9 mm/a der für das Gebiet repräsentativen Stationen Neuglobsow, Dagow, Beerenbusch, Schönhorn, Neuroofen, Halbinsel KKW, Breutzenwiese und Pelzräume übereinstimmt. Im Vergleich dazu liegt die Station Neuglobsow mit 665,4 mm/a um rund 0,8 % über dem Gebietsmittel. Dieser Unterschied fand für die Jahre vor 1966 und nach 1990, also für die Zeit vor und nach Bestehen des stark verdichteten Niederschlagsmeßnetzes als lineare Korrektur der Meßwerte dieser Station Berücksichtigung. Den auf diesem Wege zum einen aus dem Mittel der acht Stationen und zum anderen als reduzierten Betrag von Neuglobsow bestimmten Gebietsniederschlag des Gesamtzeitraumes enthält Tabelle 17. Danach sind durchschnittlich 654,3 mm Niederschlagshöhe auf das Gebiet gefallen, mit einem Maximum von 854,0 mm im Jahre 1966 und einem Minimum von 436,3 mm im Jahre 1975. Die höchste Monatssumme betrug 150,7 mm im Juli 1980, die geringste lag im September 1959 bei 0,9 mm. Weitere Informationen zum zeitlichen Verhalten sind der Tabelle zu entnehmen.

Der Gesamtabfluß setzt sich summarisch aus dem ober- und unterirdischen Abfluß zusammen und beträgt im langjährigen Mittel 104,2 mm/a, wie aus Tabelle 10 zu entnehmen ist. Weitere Hinweise zum zeitlichen Verhalten finden sich bereits unter 6.3.

Von der Gebietsverdunstung war zunächst nur die Verdunstungshöhe von den Seeflächen (V_s) anteilig bekannt, da die mit dem VEKOS-Modell berechnete Verdunstungshöhe von den bewaldeten Landflä-

Tabelle 17: Monats- und Jahressummen der Gebietsniederschlagshöhe (in mm) vom Einzugsgebiet des Stechlin- und Nehmitzsees, 1958/1995

JAHR	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Σ JAHR
1958	50,2	64,7	20,3	46,5	96,2	57,6	106,7	60,8	40,4	43,6	13,5	48,5	649,0
1959	45,7	4,9	8,1	42,8	37,8	26,4	96,1	40,6	0,9	58,8	37,0	48,2	447,3
1960	58,4	29,6	15,2	32,4	39,5	60,9	93,2	55,5	34,3	78,5	77,3	86,0	660,8
1961	48,5	56,9	54,3	48,4	97,9	62,6	83,6	96,3	29,2	71,1	60,6	63,1	772,5
1962	60,3	62,6	43,4	68,4	46,0	41,8	83,5	70,4	43,9	11,8	36,0	41,0	609,1
1963	28,4	13,6	22,7	53,5	63,0	55,5	60,9	79,6	40,2	38,5	103,3	13,5	572,7
1964	25,0	26,2	29,9	62,0	79,0	70,0	19,1	86,2	55,2	45,8	59,6	46,4	604,4
1965	47,2	37,0	40,0	75,2	74,9	25,3	85,3	29,2	47,6	20,0	78,5	95,3	655,5
1966	45,8	81,8	43,1	68,1	57,3	144,9	130,3	79,9	34,5	19,8	44,7	103,8	854,0
1967	78,9	68,3	70,8	21,8	43,3	77,7	78,5	50,0	55,3	50,3	52,9	66,7	714,5
1968	53,4	13,0	54,4	9,3	142,4	62,6	83,6	34,5	148,0	64,6	67,5	31,9	765,2
1969	39,1	52,3	30,3	56,9	65,6	73,6	11,4	122,0	8,0	18,8	84,8	24,8	587,6
1970	28,6	57,6	70,7	101,3	60,4	34,4	69,7	10,9	68,8	78,1	66,8	50,4	483,0
1971	23,7	29,5	32,7	22,0	55,3	132,2	15,0	19,3	39,8	22,2	40,5	50,8	483,0
1972	21,8	5,3	38,2	48,5	117,6	87,6	150,1	61,4	38,0	17,5	63,9	13,6	663,5
1973	33,9	36,0	14,4	83,1	74,6	19,7	145,3	23,8	38,2	63,2	70,4	69,7	672,3
1974	56,6	29,3	15,9	36,4	39,6	78,2	80,6	69,5	48,8	114,2	50,4	130,7	750,2
1975	48,9	9,8	33,6	47,8	36,2	17,4	63,1	44,9	36,8	28,2	31,4	38,2	436,3
1976	150,1	19,8	32,7	17,2	57,3	32,9	32,9	20,6	48,7	35,6	58,7	42,9	548,4
1977	53,0	51,8	44,4	86,6	34,9	51,2	116,8	103,4	40,9	34,8	64,4	67,4	749,6
1978	42,7	25,8	63,8	9,4	29,8	88,5	42,3	98,3	147,7	32,5	20,7	105,9	707,4
1979	45,0	44,5	78,2	40,4	56,4	46,2	87,9	46,3	20,9	24,9	77,9	97,6	666,2
1980	37,6	51,0	28,5	91,7	25,6	88,9	150,7	82,6	33,3	67,3	68,4	54,1	779,7
1981	78,4	34,0	123,2	16,3	43,4	107,7	65,8	44,0	92,9	100,8	56,4	54,8	817,7
1982	64,4	14,4	68,5	27,7	91,0	63,7	23,1	60,1	19,7	47,3	25,1	50,9	555,9
1983	83,0	37,8	54,4	80,3	137,0	14,6	5,3	45,5	26,4	64,1	53,6	64,6	666,6
1984	88,9	42,0	12,9	34,1	98,1	96,6	55,7	36,3	55,0	44,3	51,8	42,9	658,6
1985	54,3	18,0	34,6	72,2	28,9	112,5	42,3	49,6	43,2	21,9	52,0	82,0	611,5
1986	71,3	23,5	56,1	41,9	77,4	83,7	40,0	66,3	46,1	40,0	36,3	125,7	708,3
1987	43,8	40,5	29,1	41,5	56,6	55,6	89,5	44,3	61,1	20,3	82,1	42,3	606,7
1988	53,3	96,1	78,9	2,5	14,5	82,6	101,3	29,1	27,2	19,7	55,7	63,9	624,8
1989	12,5	36,6	53,7	29,7	24,8	35,0	56,7	65,2	14,5	51,4	53,7	60,3	494,1
1990	37,7	66,3	35,8	30,1	18,4	130,4	27,2	80,5	94,9	24,5	64,8	67,8	678,4
1991	31,2	32,9	27,3	48,4	57,6	89,0	41,8	54,3	34,4	18,3	54,4	52,3	541,9
1992	39,9	52,1	86,9	67,0	35,5	12,6	56,4	112,1	26,4	42,8	83,6	45,0	660,3
1993	78,2	41,0	15,2	25,4	63,2	99,0	86,6	76,4	77,5	36,8	35,3	114,5	749,1
1994	120,9	15,1	94,1	62,4	85,7	95,3	20,7	61,2	87,5	45,7	44,4	75,8	808,8
1995	77,8	71,7	59,7	42,8	35,1	113,2	39,9	31,7	65,7	17,6	38,7	36,5	630,4
MIT.	54,2	39,3	45,2	47,2	60,5	69,1	69,4	59,0	49,3	43,0	55,7	62,4	654,3
MAX.	150,1	96,1	123,2	101,3	142,4	144,9	150,7	122,0	148,0	114,2	103,3	130,7	854,0
MIN.	12,5	4,9	8,1	2,5	14,5	12,6	5,3	10,9	0,9	11,8	13,5	13,5	436,3
STR.	27,0	21,9	25,7	24,5	31,0	34,6	38,8	26,9	31,7	24,2	19,4	28,6	100,3

chen (V_L) auf eine Parameteranpassung unter Bezugnahme auf das langjährige Mittel der bilanzierten Gebietsverdunstungshöhe beruht.

Grundlage dieser Bilanzierung bildet neben dem Gebietsniederschlag und dem Gesamtabfluß die für alle Seen zusammengefaßte Verdunstungshöhe, berechnet als gewichtetes Mittel vom thermisch belasteten Stechlinsee (Tabelle 12), vom Nehmitzsee-Nordbecken (Tabelle 13) und der nach dem Modell VERSEE für die weiteren Seen ermittelten Verdunstungshöhe (vgl. Bild 27).

Entsprechend der Flächenanteile der Seen gilt

$$V_s = 0,627 V(\text{Stechlin}) + 0,162 V(\text{Nehmitz-N.}) + 0,211 V(\text{Sonstige}). \quad (16)$$

Daraus resultiert eine mittlere Verdunstungshöhe aller Seen von 716,9 mm/a. Eine tabellarische Wiedergabe und Interpretation der einzelnen Monats- und Jahreswerte erfolgt nicht, da die aus natürlichen und anthropogen beeinflussten Verdunstungshöhen zusammengefaßten Ergebnisse weder einen eindeutigen Bezug zu den klimatologischen Ausgangsbedingungen noch zu den Auswirkungen der thermischen Belastung gestatten. Die Gültigkeit der gemittelten Verdunstungshöhe erstreckt sich auf die insgesamt 6,80 km² Seeflächen, deren Gebietsanteil 22,0 % beträgt. Für die Gebietsverdunstung folgt daraus

$$V_G = 0,22 V_s + 0,78 V_L . \quad (17)$$

Unter der Annahme einer über den langjährigen Beobachtungszeitraum hin vernachlässigbaren Wasserspeicherung ($dW_G = 0$) ergibt sich dann aus (15) und (17)

$$V_L = (N_G - A_G - 0,22 V_s) / 0,78 \quad (18)$$

und somit eine bilanzierte Verdunstungshöhe der Landflächen von 503,0 mm/a. Sie diene als Zielgröße für die Anwendung des VEKOS-Modells. Dieses ergab mit den in Kapitel 8 erläuterten Parameterfestlegungen eine nahezu völlig übereinstimmende Landverdunstungshöhe von 502,0 mm mit den in Tabelle 16 angegebenen Monats- und Jahreswerten.

Bestandteil dieses Ergebnisses ist die vorgegebene Festlegung der langfristig vernachlässigbaren Wasservorratsänderung im Gebiet, gleichbedeutend mit

$$dW_G = dS + dG + dB = 0 . \quad (19)$$

Nach den Untersuchungsergebnissen zur Wasserspeicherung in den Seen und im Grundwasser (Kapitel 5.5) trifft eine solche Annahme zumindest für diese beiden Komponenten mit insgesamt $\pm 0,0$ mm exakt zu (vgl. Tabelle 8). Das ist in dieser Genauigkeit natürlich als Zufall zu werten, zumal die gemäß Bild 22 im langjährigen Verlauf maximal aufgetretenen Unterschiede in der Grund- und Seewasserspeicherung über 200 mm betragen und somit auch im langjährigen Mittel Vorratsänderungen von einigen mm/a denkbar sind. So würden beispielsweise bei einer gesonderten Bilan-

zierung des 10jährigen Zeitraumes zwischen den 1982 und 1992 aufgetretenen Extremen der Grund- und Seewasserspeicherung die mittlere Vorratsänderung mit rund -20 mm/a eingehen. Auf Grund der langfristig ausgeglichenen Bilanz der Grund- und Seewasservorratsänderung läßt sich nun mit relativ großer Wahrscheinlichkeit auch für die Bodenwasservorratsänderung ein annähernd analoges Verhalten annehmen, zumal diese ebenso wie die beiden anderen Speichergrößen als Ergebnis der vorausgegangenen Niederschlags- und Verdunstungshöhen anzusehen ist. Unter diesem Aspekt ist in der Langzeitbetrachtung die Vernachlässigung der Wasservorratsänderung gemäß Gleichung (15) insgesamt zu vertreten. Rein rechnerisch ergibt sie sich nach

$$dW_G = N_G - A_G - (0,78 V_L + 0,22 V_S) \quad (20)$$

zu +0,8 mm/a. Demnach besteht für das Stechlin- und Nehmitzseegebiet eine im wesentlichen ausgeglichene Bilanz, die auch für die nachfolgenden Ergebnisse einer gesonderten Betrachtung der See- und Landflächen ein hohes Maß an Sicherheit gewährleisten, zumal ein Großteil der Aussagen ohnehin durch die umfangreichen Meßergebnisse gestützt wird.

10.2 Wasserbilanz des Stechlin- und Nehmitzsees

Deutlicher erkennbar werden die im Gebiet ablaufenden Prozesse, wenn der Wasserhaushalt des Stechlin- und Nehmitzsees einerseits sowie der des unterirdischen Einzugsgebietes andererseits einer getrennten Betrachtung unterzogen werden. Die Voraussetzungen hierfür sind durch die detaillierte Erfassung der See- und Grundwasserstände und die separate Bestimmung der Verdunstungshöhen von den See- und Landflächen gegeben. Für den Abfluß kann ohnehin davon ausgegangen werden, daß dieser sowohl oberirdisch als weitgehend auch unterirdisch ausschließlich aus den beiden Seen erfolgt, während der Niederschlag für beide Teilflächen in erster Näherung als gleich hoch angenommen werden kann. Damit lautet die Bilanzgleichung

$$N_G - V'_S - (A_o + A_u)_{\text{Seen}} \pm dS + Z_u = 0. \quad (21)$$

Sie bezieht sich in dieser Form auf alle direkt am ober- und unterirdischen Abfluß beteiligten Seen. Neben dem Stechlin- und Nehmitzsee sind das auch der zwischen beiden liegende Gerlinsee und der in direkter Verbindung mit dem Nehmitzsee-Südbecken stehende Breutzensee, zusammengefaßt mit einer Gesamtfläche von 6,15 km².

Vor der Aufstellung der Wasserbilanz der Seen sind zu den einzelnen Größen in Gleichung (21) noch folgende Hinweise zu geben:

Bezüglich der Verwendung des Gebietsniederschlags als Eingangsgröße in die Wasserbilanz der Seen ist kritisch anzumerken, daß nach der regionalen Niederschlagsverteilung gemäß Bild 3 die Seen mit rund 663 mm/a im Mittel einen geringfügig höheren Niederschlag als das gesamte Einzugsgebiet erhalten. Der Mehrbetrag ist mit 3 mm/a allerdings nur sehr gering und ohnehin nur anhand der Ergebnisse des nicht durchgängig betriebenen verdichteten Meßnetzes quantitativ nachweisbar. Für eine Bilanzierung der Monats- und Jahressummen des Gesamtzeitraumes liegen keine speziell auf die

Seen zu beziehenden Niederschlagsmessungen vor, so daß auch von daher die Verwendung des Gebietsniederschlags gemäß Tabelle 17 erforderlich ist. Eine wesentliche Genauigkeitseinbuße ist dadurch nicht zu erwarten.

Bei der Bestimmung der Verdunstungshöhe von den Seeflächen (V'_s) ist zu beachten, daß abweichend von Gleichung (16) jetzt unter sonstige Seen einige kleinere, wie der Dagowsee oder die Krukowseen, nicht mehr in die Bilanzierung einbezogen sind. Dadurch verändern sich die relativen Flächenanteile entsprechend zu

$$V'_s = 0,693 V(\text{Stechlin}) + 0,179 V(\text{Nehmitz-N.}) + 0,128 V(\text{Sonstige}). \quad (22)$$

In dieser Gleichung wird die geringfügig durch das Kernkraftwerk modifizierte Verdunstungshöhe vom Nehmitzsee-Nordbecken auch für den vom Kühlwasser durchflossenen Gerlinsee angesetzt, während unter Sonstige nur noch das Nehmitzsee-Südbecken und der Breutzensee mit den hierfür nach dem VERSEE-Modell bestimmten Verdunstungshöhen zusammengefaßt sind.

Auch bei der Bestimmung der Abflußhöhe ergeben sich insofern Änderungen, als diese sich jetzt auf eine erheblich kleinere Fläche bezieht. Sie beträgt mit 6,15 km² nur noch rund ein Fünftel der 30,9 km² großen Gebietsfläche, womit sich die Abflußhöhe entsprechend auf das Fünffache gegenüber den Angaben in Tabelle 10 erhöht:

$$(A_o + A_u)_{\text{Seen}} = A_G * Fl(\text{Gebiet}) / Fl(\text{Seen}) = 5,024 A_G. \quad (23)$$

Die Vorratsänderung in den Seen (dS) ist anhand der Wasserstandsmessungen im Stechlin- und Nehmitzsee zu berechnen. Unter Einbeziehung der mit beiden in Verbindung stehenden und sich somit gleich verhaltenden Randseen beträgt sie, den Flächenanteilen entsprechend

$$dS = 0,693 dS(\text{Stechlin}) + 0,307 dS(\text{Nehmitz}). \quad (24)$$

Als einzige nicht direkt bestimmbare Größe des Wasserhaushaltes der Seen verbleibt somit nur der unterirdische Zufluß (Z_u) aus dem Grundwasser, der nun allerdings als Restgröße nach Gleichung (21) zu bilanzieren ist. Er bildet einen wesentlichen Bestandteil des Wasserhaushaltes der neben dem Niederschlag ausschließlich grundwassergespeisten Seen. Über die Höhe und Variabilität dieses unterirdischen Zuflusses und auch aller anderen Größen geben die in Tabelle 18 zusammengestellten Jahresbilanzen Auskunft. Gleichzeitig sind in dieser Tabelle die im nachfolgenden Kapitel behandelten Wasserhaushaltsgrößen für die Landflächen mit angegeben.

In einer Einschätzung der Ergebnisse ist zunächst hervorzuheben, daß die mittlere Verdunstungshöhe von den Seeflächen mit 725,6 mm/a deutlich über der Niederschlagshöhe von 654,3 mm/a liegt. Zum Teil ist dies auf die erhöhte Verdunstung vom Stechlinsee zurückzuführen, die in den 24 Betriebsjahren des Kernkraftwerkes einen Mehrbetrag von durchschnittlich 101 mm/a aufwies. Bezogen auf den Gesamtzeitraum und die Fläche aller Seen bedeutet dies immerhin noch eine Erhöhung des langjährigen Mittelwertes um rund 44 mm/a. Für eine angenommene Bilanzierung ohne thermische

Tabelle 18: Jährliche Wasserbilanzen (in mm) der Land- und Seeflächen des Stechlin- und Nehmitzseegebietes, (Asp in l/skm²) 1958/1995

JAHR	Bilanz der Landflächen										Bilanz der Seeflächen					
	NG	VL'	dBw	S	dBs	dG	AL	Asp	NG	VS'	Ao	Au	ds	Zu		
1958	649,0	559,9	-24,0	113,1	-35,1	17,7	130,5	4,14	649,0	600,1	315,5	110,0	147,3	523,9		
1959	447,3	402,1	19,5	25,7	-81,7	-19,2	126,6	4,01	447,3	770,8	131,1	114,1	-59,9	508,8		
1960	660,8	479,9	1,9	179,0	95,4	19,5	64,1	20,3	660,8	594,2	0,0	110,0	214,9	258,3		
1961	772,5	592,3	5,2	175,0	16,3	15,1	143,6	4,55	772,5	592,1	819,0	100,5	-160,7	578,4		
1962	609,1	481,1	-25,8	153,8	-58,0	4,7	207,1	6,56	609,1	566,8	866,7	105,5	-96,8	833,1		
1963	572,7	501,5	26,6	44,6	-71,9	-18,4	134,9	4,27	572,7	683,1	260,3	111,5	60,0	542,2		
1964	604,4	511,9	-1,4	93,9	-13,3	-9,4	116,6	3,69	604,4	703,4	282,9	110,5	-23,0	469,4		
1965	655,5	460,8	3,3	191,4	58,0	18,2	115,2	3,65	655,5	607,5	258,3	107,5	145,3	463,1		
1966	854,0	596,9	-2,9	260,0	48,0	40,0	172,0	5,45	854,0	642,5	739,6	95,5	69,1	692,7		
1967	714,5	531,8	12,0	170,7	-83,2	23,7	230,2	7,29	714,5	761,8	941,6	88,4	-152,1	925,2		
1968	765,2	544,5	21,9	198,8	42,6	-7,5	163,7	5,19	765,2	759,2	617,5	90,9	-44,2	658,2		
1969	587,6	483,0	-10,0	114,6	-71,3	13,8	172,1	5,45	587,6	749,3	392,9	91,4	45,5	691,5		
1970	697,7	439,4	18,7	239,6	-5,2	9,3	235,5	7,46	697,7	740,0	811,9	87,9	5,8	947,9		
1971	483,0	482,0	-35,1	36,1	-77,6	-37,7	151,4	4,80	483,0	783,1	315,0	95,0	-100,0	610,1		
1972	663,5	587,3	13,5	62,7	-32,5	-8,5	103,7	3,29	663,5	658,8	266,3	95,5	59,8	416,9		
1973	672,3	510,1	32,1	130,1	-11,7	-15,1	156,9	4,97	672,3	722,4	456,7	105,0	18,6	630,4		
1974	750,2	518,3	11,0	220,9	109,5	15,3	96,1	3,05	750,2	740,5	189,4	100,5	105,7	385,9		
1975	436,3	404,7	-32,4	64,0	-88,6	-35,0	187,6	5,94	436,3	799,4	526,1	104,0	-238,9	754,3		
1976	548,4	393,1	38,5	116,8	47,6	-22,0	91,2	2,89	548,4	816,1	0,0	113,0	-14,5	366,2		
1977	749,6	541,9	-9,6	217,3	104,1	19,8	93,4	2,96	749,6	712,0	163,8	112,0	138,4	376,6		
1978	707,4	529,1	-8,8	187,1	25,3	19,6	142,2	4,51	707,4	781,0	347,7	106,0	45,2	572,5		
1979	666,2	487,8	-1,9	180,3	-58,9	41,5	197,7	6,26	666,2	783,1	588,4	96,5	-7,2	794,6		
1980	817,7	279,7	7,8	192,2	-12,1	27,9	150,5	4,77	817,7	703,9	516,5	91,4	73,0	605,1		
1981	555,9	515,8	17,6	284,3	-86,6	-14,1	268,5	8,51	555,9	796,8	1127,0	84,4	-30,9	1079,4		
1982	666,6	448,3	42,8	114,6	35,0	10,2	215,5	6,83	666,6	858,8	560,7	84,9	-20,0	866,5		
1983	658,6	552,6	-12,7	118,7	5,5	-19,4	159,3	5,07	658,6	672,1	423,1	88,4	-63,1	640,6		
1984	611,5	521,0	-33,6	124,1	33,4	-15,1	128,3	4,07	611,5	672,1	431,1	89,4	-16,6	517,4		
1985	708,3	521,7	-20,8	207,4	78,0	-27,6	118,3	3,75	708,3	762,5	241,2	99,0	-15,0	476,2		
1986	606,7	514,2	2,3	90,2	-34,9	-0,6	130,0	4,12	606,7	730,4	375,3	105,0	21,0	523,4		
1987	624,8	476,5	-18,6	166,9	32,2	-5,5	140,2	4,44	624,8	815,3	488,4	104,0	40,8	567,2		
1988	494,1	447,2	22,6	24,3	-65,0	-44,0	140,2	4,22	494,1	926,4	291,4	106,5	-24,0	564,4		
1989	679,4	536,8	2,5	139,9	-28,9	-13,1	133,3	4,22	679,4	764,7	126,6	129,6	-152,0	536,5		
1990	541,9	506,8	-13,2	48,3	-29,7	-11,3	74,1	2,35	541,9	682,2	0,0	146,7	64,8	297,8		
1991	660,3	477,1	7,4	175,8	112,8	-10,3	89,3	2,83	660,3	803,0	0,0	140,2	-18,8	359,7		
1992	749,1	565,1	4,9	179,1	104,2	15,3	73,3	2,32	749,1	803,0	0,0	152,7	-0,8	294,6		
1993	808,8	538,6	3,1	267,1	-19,5	56,0	59,6	1,89	808,8	664,5	0,0	144,7	180,1	240,2		
1994	630,4	483,3	-25,2	172,3	-81,9	-14,7	230,6	7,31	630,4	717,0	860,2	115,6	43,9	927,9		
1995	630,4	483,3	-25,2	172,3	-81,9	-14,7	268,9	8,52	630,4	468,8	998,3	112,5	-167,4	1081,3		
SUM.	24860,0	19208,3	-4,5	5656,2	39,4	+3,4	5613,4	4,68	24860,0	27573,5	15828,5	4046,2	-8,3	22579,9		
MIT.	654,3	505,5	-0,1	148,9	+1,0	+0,1	147,8	4,68	654,3	725,6	416,5	106,5	-0,2	594,1		

Belastung wäre somit die Verdunstungshöhe um diesen Betrag kleiner und dementsprechend der oberirdische Abfluß größer. Damit sind auch Anhaltswerte über den wahrscheinlichen Wasserhaushalt unter natürlichen Bedingungen gegeben.

Die Jahreswerte der Gesamtabflußhöhe ($A_o + A_u$) weisen besonders infolge der Steuerung des oberirdischen Abflusses über das Regelbauwerk sehr große Unterschiede auf. Sie liegen zwischen 110,0 und 1211,4 mm/a, bestimmt durch den fehlenden oberirdischen Abfluß bei der vollständigen Absperrung der Seen im Jahre 1960 und die nahezu durchgehende Schützöffnung im Jahre 1981. Ähnlich hohe Abflüsse bestanden in den Jahren 1967 und 1995, jeweils nach vorausgegangenem sehr niederschlagsreichen Jahren, während die Zeit von 1989 bis 1993 durch die hauptsächlich nur unterirdisch stattfindenden und somit erheblich geringeren Abflüsse bei weitgehend geschlossenem Schütz des Regelbauwerks geprägt ist.

Neben dem Abfluß unterliegen auch die Wasserstandsänderungen und damit die Vorratsänderungen in den Seen einer direkten Beeinflussung durch die Regulierungsmaßnahmen.

Das wird besonders deutlich, wenn trotz höherer Niederschläge das Schütz geschlossen bleibt oder durch eine zu lang anhaltende Schützöffnung übermäßig viel Wasser abgelassen wird. Die Folge davon sind größere Wasseranreicherungen wie 1965 oder 1993 oder stärkere Absenkungen wie 1975 oder 1995. Weiterhin sind hierzu auch der Aufstau und die nachfolgende Absenkung beim Bau des Regelbauwerks 1960/61 zu nennen. Im Vergleich zu den anderen Bilanzgrößen ist die Wasservorratsänderung als relativ klein einzustufen, zumal sie mit einem Anstieg des Wasserstandes von 214,9 mm im Jahre 1960 und einem Abfall von 238,9 mm im Jahre 1975 ihre bisherigen Extreme hatte und in der Mehrzahl aller Jahre weit unter ± 100 mm blieb. Stechlin- und Nehmitzsee haben somit ein sehr ausgeglichenes Wasserstandsverhalten. Es resultiert hauptsächlich aus einem Überschuß an zufließendem Grundwasser, von dem unterirdisch nur relativ wenig und oberirdisch auch nur der nach Ausgleich der höheren Verdunstung verbleibende Rest abfließt. Außerdem wird hierzu sicherlich noch etwas durch die Regulierungen zur Wahrung eines möglichst gleichbleibenden Wasserstandes beigetragen.

Aus den bisher erläuterten Wasserhaushaltsgrößen ergibt sich nun als Restgröße nach Gleichung (21) der unterirdische Zufluß zu den Seen, der mit durchschnittlich 594,1 mm/a nahezu die mittlere Niederschlagshöhe erreicht. Bei der Größe des unterirdischen Einzugsgebietes entspricht dies einer mittleren Abflußspende von 4,68 l/s·km². In den einzelnen Jahren bestehen zum Teil erhebliche Unterschiede mit Werten zwischen minimal 240,2 mm/a und maximal 1079,4 mm/a bzw. zwischen 1,89 l/s·km² und 8,51 l/s·km². Hierbei treten die hohen Zuflüsse weitgehend im Zusammenhang mit hohen oberirdischen Abflüssen auf, während die geringen Zuflüsse bei fehlendem oberirdischen Abfluß zu verzeichnen sind. Auf mögliche Ursachen wird bei der im nachfolgenden Kapitel behandelten Wasserbilanz der Landflächen noch näher eingegangen.

Zum Abschluß der Wasserhaushaltsbetrachtung der Seen wird noch eine kurze Analyse zu den Auswirkungen des Kernkraftwerkbetriebes auf die Wasserstände im Stechlin- und Nehmitzsee gegeben. Generell ist trotz der auf einen gleichbleibenden Wasserstand gerichteten Regulierung des oberirdischen Abflusses im Verlaufe der Jahre ein leicht abnehmender Trend des Wasserstandes zu erkennen, der letztlich durch den ab 1989 klimatisch bedingten starken Rückgang im gesamten Gebiet

bis einschließlich 1992 seinen bisherigen Tiefststand erreichte. Hierzu sind auf Bild 32 die Monatswerte des Wasserstandes beider Seen als Ganglinien aufgetragen. Sie zeigen die zunächst bis zur Errichtung des Regelbauwerks und dem Ausbau des Kanals vom Stechlin- zum Nehmitzsee bestehenden großen natürlichen Unterschiede im Wasserstand und die nach der Fertigstellung dieser Anlagen im März 1961 erfolgte Ausspiegelung. Auch der 1963 unternommene nochmalige Versuch zur Herstellung eines Niveauunterschiedes mit Hilfe des Nadelwehres hebt sich aus den zunächst übereinstimmenden Wasserständen hervor.

Mit Beginn des ersten Probebetriebes des Kernkraftwerks wird dann ab 1966 ein ständig leichter Wasserstandsunterschied zwischen dem Stechlin- und Nehmitzsee erzeugt, der sich je nach Kühlwasserumsatz zwischen 5 bis 15 cm bewegt. Kurzzeitige Stillstandszeiten werden anhand übereinstimmender Monatswerte sichtbar, was besonders gut bei dem vom April 1986 bis Oktober 1987 ausgefallenen Betrieb zu erkennen ist, währenddessen der Nehmitzsee sogar an zwei Meßterminen 1 bis 2 cm höhere Wasserstände aufwies. Nach der Stilllegung des KKW zum Anfang Juni 1990 bestehen wieder durchgehend gleiche Wasserstände.

Besonders auffallend in der Zeit des KKW-Betriebes sind die großen Unterschiede im Sommer 1983 und die extremen Differenzen im Sommer 1989. Als wahrscheinliche Ursache dieses von normalen Bedingungen stark abweichenden Verlaufs ist besonders für 1989 zu vermuten, daß mehrere in den Verbindungskanal gestürzte Bäume und die starke Verunkrautung in dem sehr warmen Sommer zu einer erheblichen Behinderung des Durchflusses führten. Die Folge war eine auf über 40 cm ansteigende Wasserspiegeldifferenz zwischen beiden Seen, was einem Gefälle von rund 20 cm pro Kilome-

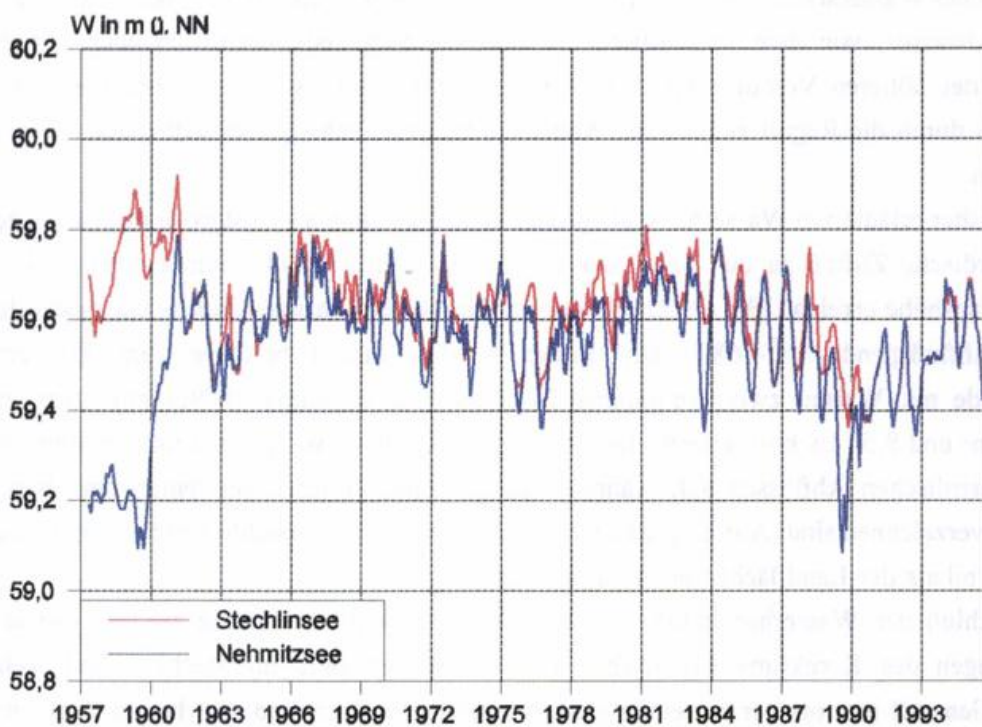


Bild 32: Gang der Monatswerte der Wasserstände (W) vom Stechlin- und Nehmitzsee, 1957/1995

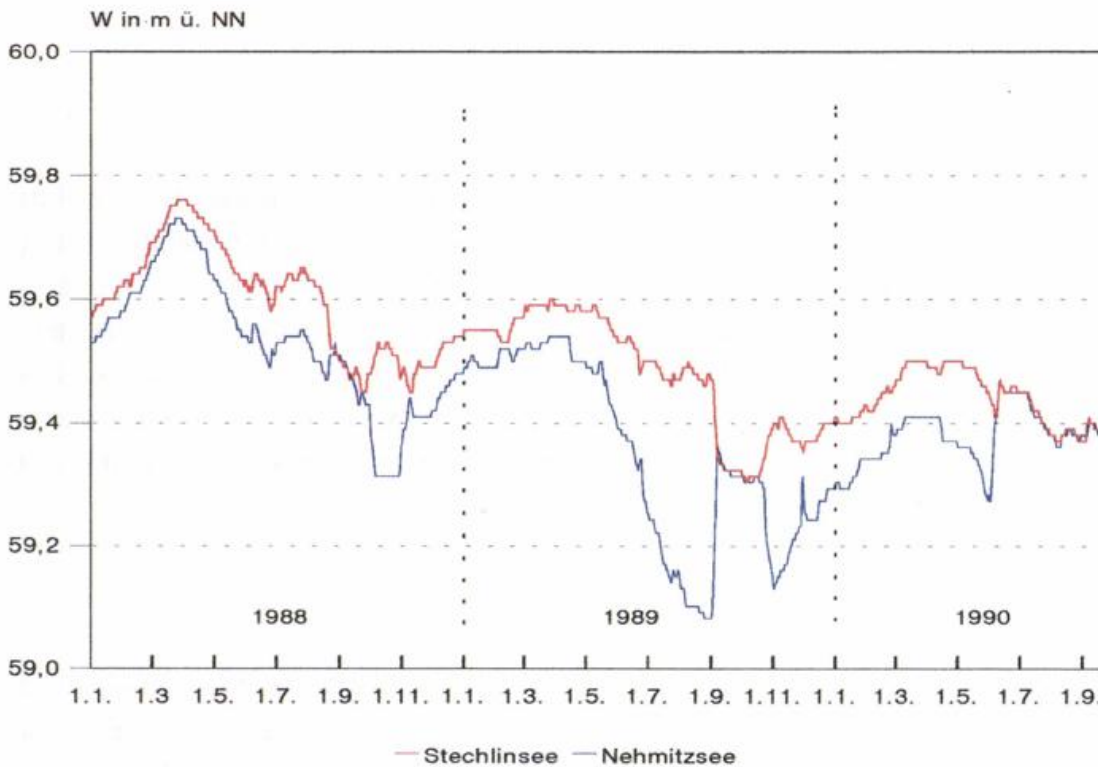


Bild 33: Gang der Tageswerte des Wasserstandes (W) vom Stechlin- und Nehmitzsee, 1988/1990

ter Kanallänge entspricht. Die Entwicklung dieser besonderen Situation zeigt Bild 33 mit dem Gang der Tageswerte des Wasserstandes vom Januar 1988 bis September 1990.

Zunächst bestanden 1988 weitgehend durchschnittliche Wasserstandsunterschiede mit Ausnahme des Monats Oktober, in dem im Anschluß an eine kürzere Stillstandszeit des KKW vorübergehend auch schon eine etwas höhere Differenz von rund 20 cm auftritt. Wesentlich ausgeprägter sind dann die Bedingungen im Sommer 1989. Beginnend im Mai ist infolge des Rückstaus im Kanal bis zum August hin eine kontinuierliche Zunahme des Wasserstandsunterschiedes zwischen beiden Seen auf diesen außergewöhnlichen Betrag von über 40 cm zu verzeichnen, der dann Anfang September durch die Einstellung des Pumpbetriebes innerhalb weniger Tage völlig ausgespiegelt wird. Nach der Wiederinbetriebnahme entsteht wie 1988 nochmals kurzzeitig eine größere Differenz mit nachfolgend durchschnittlichen Unterschieden im Winterhalbjahr. Kurz vor der endgültigen Abschaltung des KKW tritt dann wiederum eine im Mai beginnende Zunahme des Niveauunterschiedes ein. Danach bestehen höchstens noch tageweise Differenzen von 1 cm, die allerdings auch in der Ablesegenauigkeit der Pegel begründet sein können.

10.3 Wasserbilanz der Landflächen

Bei der Bilanzierung des Wasserhaushaltes der Landflächen ist neben der Niederschlags- und Verdunstungshöhe, bezogen auf die Fläche des unterirdischen Einzugsgebietes von Stechlin- und Nehmitzsee, noch die sich daraus ergebende Bodenwasservorratsänderung, die Grundwasserspeicherung und der unterirdische Abfluß zu den Seen zu berücksichtigen. Analog zur Bilanz der Wasser-

flächen gilt

$$N_G - V'_L - dB - dG' - A_L = 0 \quad (25)$$

mit den hierzu bereits in Tabelle 18 angegebenen Jahreswerten. Auch in diesem Falle wird davon ausgegangen, daß der auf die Landflächen gefallene Niederschlag dem Gebietsniederschlag (N_G) entspricht. Für die Verdunstungshöhe von den bewaldeten Landflächen (V'_L) ergeben sich geringfügige Veränderungen gegenüber den Angaben in Tabelle 16, da mit dem Bezug auf das unterirdische Einzugsgebiet auch der Einfluß der kleineren im Gebiet gelegenen Seen wie Dagowsee, Krukowsee u. a. mit zu berücksichtigen ist. Bei einem Flächenanteil von 0,65 km² bzw. 2,6 % ergibt sich unter Ansatz der nach dem Modell VERSEE für unbeeinflusste Gewässer berechneten Seeverdunstung (V_s) eine etwas erhöhte Landflächenverdunstung (V'_L) zu

$$V'_L = 0,974 V_L + 0,026 V_s . \quad (26)$$

Für die Bodenwasservorratsänderung (dB) gelten die bereits bei ihrer Darstellung in Kapitel 9 auf die Fläche des unterirdischen Einzugsgebietes bezogenen Ergebnisse, wobei die mit Hilfe des VEKOS-Modells bestimmbare Versickerung (S) unter Beachtung der Speicherprozesse im oberflächennahen Durchwurzelungsraum noch zu einer getrennten Bestimmung der Bodenwasservorratsänderung in dem zu 1,3 m Tiefe festgelegten Wurzelraum (dB_w) und im darunter gelegenen wesentlich mächtigeren Sickerwasserraum genutzt werden kann. Wiederum unter Berücksichtigung der durch die kleineren Seen geringfügig veränderten Bezugsfläche gilt dann

$$dB_w = N_G - V'_L - S' \quad (27)$$

und daraus folgend für die Vorratsänderung im Sickerraum (dB_s) als Differenz zur bilanzierten Bodenwasservorratsänderung (dB)

$$dB_s = dB - dB_w. \quad (28)$$

Die verbleibende Speicherung im Grundwasser (dG') wird aus den Grundwasserstandsänderungen in den vorflutnahen bis vorflutfernen Teilgebieten auch unter Beachtung der Wasservorratsänderung in den kleineren Seen gemäß der in Kapitel 5.5 erläuterten methodischen Grundlagen berechnet. Somit sind bei der Bilanz der Landflächen sowohl die Verdunstungshöhe als auch die Versickerung und die Grundwasserspeicherung durch die notwendige Einbeziehung der kleineren Seen leicht modifiziert. Als Restgröße der Bilanzgleichung (24) verbleibt der Grundwasserabfluß (A_L) zu den Seen. Dieser ist mit dem bilanzierten Zufluß (Z_w) in Tabelle 17 identisch, wenn bei den Angaben in mm Wassersäule der Bezug zu den unterschiedlich großen Flächenanteilen am Gesamtgebiet beachtet wird. So ergibt sich gemäß dem Verhältnis von 6,15 km² Seeflächen und 24,75 km² Landflächen aus dem durchschnittlich 147,7 mm/a hohen unterirdischen Abfluß von den Landflächen (A_L) ein Wasser-

anstieg in den Seen von 594,2 mm/a. Damit ist auch für die Landflächen eine in sich geschlossene Bilanz des langzeitlichen Wasserhaushaltes gegeben.

Einer Bewertung der Ergebnisse ist einleitend voranzustellen, daß sich die Verdunstungshöhe von den Landflächen durch die Einbeziehung der kleineren Seen lediglich von 502,0 auf 505,5 mm/a erhöht. Wesentliche Auswirkungen auf die Variabilität und den zeitlichen Verlauf ergeben sich dadurch nicht. In dieser Hinsicht kann ebenso wie für den Gebietsniederschlag und die Bodenwasservorratsänderung auf die detaillierten Angaben in den betreffenden vorausgegangenen Kapiteln verwiesen werden.

Einen relativ geringen Einfluß auf den Wasserhaushalt der Landflächen hat die Grundwasservorratsänderung. Bei einer maximalen Speicherung von +56,0 mm in dem sehr niederschlagsreichen Jahr 1994 und einer größten Abnahme von -44,0 mm in dem sehr trockenen und hinsichtlich der Wasserflächen auch extrem verdunstungsreichen Jahr 1989 liegt die jährliche mittlere Schwankung nur bei $\pm 19,3$ mm. Im Vergleich hierzu ändert sich der Bodenwasservorrat von Jahr zu Jahr mit durchschnittlich $\pm 59,2$ mm erheblich stärker und auch die Extreme sind mit +120,6 mm und -130,3 mm um das Zwei- bis Dreifache größer. Ihr Auftreten ist an Jahre mit hoher bzw. geringer Versickerung gebunden, wobei der Rückgang in dem trockenen Jahr 1982 nach einer größeren Anreicherung in mehreren vorausgegangenen niederschlagsreichen Jahren noch besonders markant ausfiel.

Als bilanzierte Restgröße des Wasserhaushaltes der Landflächen verbleibt der Grundwasserabfluß zu den Seen. Er ist in Tabelle 18 sowohl als Abflußhöhe (A_L) in mm/a als auch als unterirdische Abflußspende (A_{sp}) in l/s·km² angegeben. Auf die relativ große Variabilität dieser im Jahresmittel zwischen 1,89 und 8,53 l/s·km² schwankenden Größe wurde bereits bei der Beschreibung der Wasserbilanz der Seen hingewiesen. Zur Klärung der hierfür ausschlaggebenden Ursachen diene zunächst eine Untersuchung, inwieweit sich Zusammenhänge zum Grundwassergefälle nachweisen lassen, zumal dieses von allen möglichen Einflußgrößen die weitaus größte zeitliche Variabilität aufweist. Ausgangspunkt war somit eine Bestimmung des mittleren jährlichen Grundwassergefalles im Einzugsgebiet. Die Grundlage hierfür bildete die langjährige Grundwasserstandsverteilung gemäß Bild 14, anhand derer eine Untergliederung des unterirdischen Einzugsgebietes in 5 Teilgebiete mit annähernd vergleichbarem mittleren Grundwassergefälle vorgenommen wurde. Für jedes dieser Teilgebiete erfolgte zunächst die Berechnung des Gefälles aus der Differenz der Wasserstände an ausgewählten repräsentativen Meßpunkten und daran anschließend als gewichtetes Mittel entsprechend der unterschiedlichen Flächengrößen und Fließlängen eine Berechnung des mittleren jährlichen Grundwassergefalles im Gesamtgebiet. Es bewegt sich zwischen maximal 1,28 m pro km im Jahre 1982 und minimal 0,65 m pro km im Jahre 1993. Die Extreme stimmen somit zeitlich mit den höchsten und niedrigsten Grundwasserständen auf Bild 22 überein, wie auch die zeitlichen Veränderungen des Grundwasserstandes einen äquivalenten Verlauf zum Gebietswasserstand haben. Dies war zu erwarten, da diese mittleren Wasserstandsschwankungen im Gebiet in einem erheblichen Maße von den großen Grundwasserstandsänderungen in den vorflutfernen Bereichen geprägt werden. Auf die damit einhergehenden Veränderungen des Grundwassergefalles wurde bereits im Zusammenhang mit der Beschreibung der Wasserstandsprofile auf den Bild 16 bis 20 eingegangen.

Anhand des Vergleichs zwischen der mittleren Neigung des Grundwasserspiegels im Gesamtgebiet und der unterirdischen Abflußspende war nunmehr das Verhalten beider Größen auf bestehende

Zusammenhänge zu überprüfen. Eine entsprechende Darstellung der Jahreswerte enthält Bild 34. Für den weitaus größten Teil der Beobachtungsjahre besteht danach eine deutliche Abhängigkeit der bilanzierten Abflußspende vom Grundwassergefälle, die sich gegebenenfalls durch eine Funktionskurve anpassen läßt. Auch der hierbei etwas überproportionale Anstieg der Abflußspende erscheint verständlich, zumal sich bei den höheren Grundwasserständen und dem damit größeren Gefälle auch der Bereich des Grundwasserzuflusses zu den Seen erheblich vergrößert. In diesem Zusammenhang ist an die Ausführungen zur stark veränderlichen Austrittsbreite des unterirdischen Abflusses in Kapitel 6.2 zu erinnern.

Abweichend von diesem Ergebnis liegen in einigen Jahren die Abflußspenden deutlich höher. Sie treten immer dann auf, wenn durch lange Schützöffnungen sehr große oberirdische Abflüsse erzeugt werden, die in den meisten Fällen weit über der Niederschlagshöhe des betreffenden Jahres liegen. Bei diesen stark anthropogen beeinflussten Bedingungen wird offensichtlich auch der vorflutnahe Grundwasserspeicher erheblich mit beansprucht, was dann als stark überhöhte Grundwasserspende zum Ausdruck kommt. Hier wird der primäre Einfluß des Grundwassergefalles auf die Abflußspende durch Rückwirkungen des gesteuerten Abflusses auf den vorflutnahen Grundwasserbereich überlagert. Hinweise hierauf ergeben sich auch aus dem Verhalten des Wasserstandes in den seenahen Grundwasserrohren. Ein Beispiel hierzu liefert auf Bild 35 der zeitliche Ausschnitt des Wasserstandsganges vom Stechlinsee und den Rohren 14 und 40. Letztere liegen einmal im annähernd niveaugleichen Grundwasserbereich zwischen dem Stechlin- und Nehmitzsee und zum anderen in dem von Südosten her zufließenden Grundwasserstrom oberhalb des Stechlinseewasserspiegels. Bei einem Wasserstands-

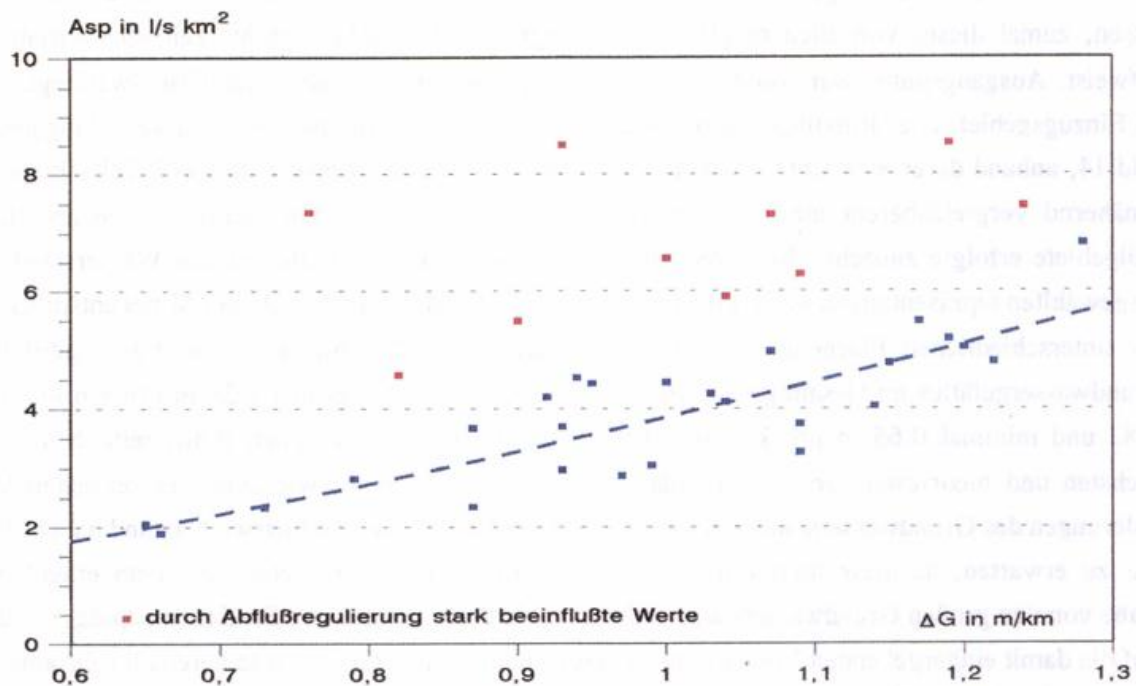


Bild 34: Unterirdische Abflußspende (Asp) und mittleres Grundwassergefälle (ΔG) im Stechlin- und Nehmitzseegebiet, Jahresmittel 1958/1995

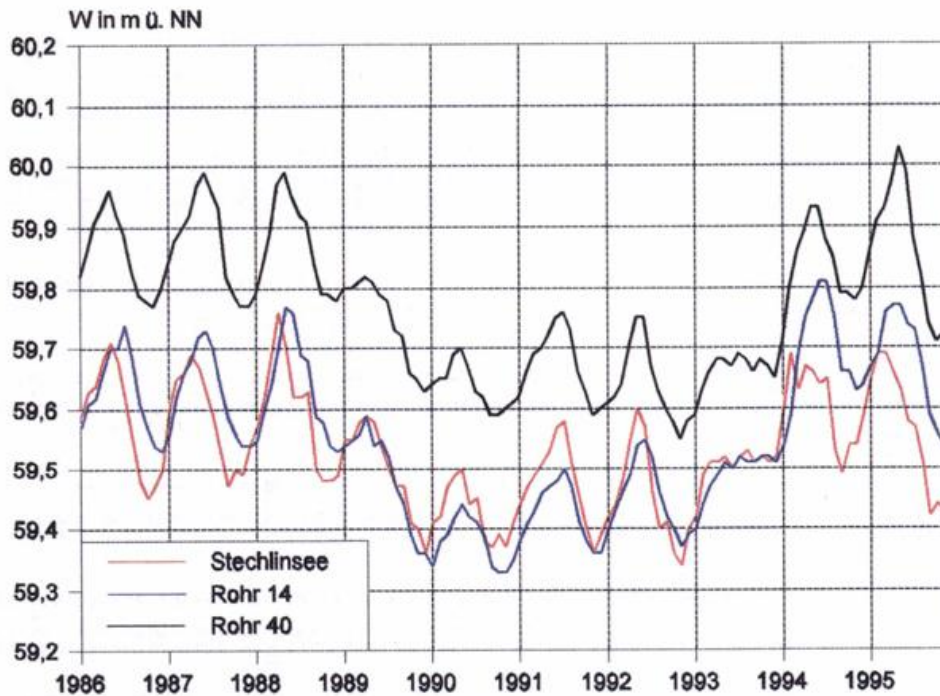


Bild 35: Gang der Monatswerte des Wasserstandes (W) im Stechlinsee und in den Grundwasserrohren 14 und 40. 1986/1995

unterschied von 20 bis 30 cm besteht in beiden Grundwasserrohren ein weitestgehend paralleler Verlauf, der dem des Stechlinsees mit einer Verzögerung von ein bis zwei Monaten nahezu völlig übereinstimmend folgt. Hervorzuheben wären hierzu noch die vom regelmäßigen Gang etwas abweichenden Jahre 1993/94, in denen zunächst 1993 hohe Sommerniederschläge die sonst in dieser Jahreszeit übliche Abnahme verhindern und anschließend die extrem hohen Winterniederschläge einen besonders starken Anstieg verursachen. Dieser wird beim Stechlinsee durch das Öffnen des Schützes vom Regelbauwerk bereits im Februar 1994 unterbrochen, während er beim Grundwasser wegen des außergewöhnlichen Niederschlagsdargebotes noch weitere drei Monate anhält, um dann wieder in den übereinstimmenden Verlauf einzupegeln. Insgesamt zeigt der Vergleich, daß hier mit geringer Zeitversetzung eindeutige Wechselwirkungen zwischen den Seen und dem vorflutnahen Grundwasser-raum bestehen müssen, die auch zwangsläufig Auswirkungen auf die unterirdische Abflußspende haben. Dabei ist die Parallelität im Gang des auch oberhalb vom Seespiegelniveau gelegenen vorflutnahen Grundwasserstandes noch ausdrücklich zu betonen.

Quantitativ lassen sich die Zusammenhänge verdeutlichen, wenn eine Bilanzierung des gesamten Wasserhaushaltes für Monatswerte vorgenommen wird. Als Beispiel sollen hierfür die Jahre 1992/94 mit ihren zum Teil sehr außergewöhnlichen Niederschlagsereignissen dienen, deren monatliche Wasserhaushaltsgrößen getrennt nach Land- und Seeflächen in Tabelle 19 zusammengestellt sind.

Bei durchgehend geschlossenem Schütz des Regelbauwerks besteht bis November 1993 ein kontinuierlicher unterirdischer Abfluß von den Landflächen. Er hat einen gut ausgeprägten Jahresgang mit deutlich höheren Werten in den Sommermonaten. Damit verläuft die unterirdische Abflußspende

Tabelle 19: Monatliche Wasserbilanzen (in mm) der Land- und Seeflächen des Stechlin- und Nehmitzseegebietes, 1992/1994

JAHR MONAT	Bilanz der Landflächen							Bilanz der Seeflächen						
	NG	VL'	dBw	S	dBs	dG	AL	NG	VS'	Ao	Au	dS	Zu	
1992	Jan	39,9	8,0	11,8	20,1	15,9	2,9	1,3	39,9	12,0	0,0	13,1	20,0	5,2
	Feb	52,1	11,3	1,2	39,6	34,1	4,0	1,5	52,1	9,4	0,0	12,1	40,0	9,4
	Mrz	67,0	30,4	1,6	54,9	40,7	5,4	4,8	86,9	24,2	0,0	12,1	70,0	19,4
	Apr	35,5	62,7	-11,8	16,1	2,8	5,3	8,0	67,0	38,3	0,0	10,6	50,0	31,9
	Mai	12,6	107,1	-73,7	2,1	-4,8	-3,6	10,5	35,5	96,0	0,0	10,6	-30,0	41,1
	Jun	56,4	33,5	-20,9	0,0	0,7	-13,5	12,8	12,6	161,2	0,0	10,6	-110,0	49,2
	Jul	112,1	57,6	42,1	0,0	0,6	-11,7	11,1	56,4	146,5	0,0	12,6	10,0	42,7
	Aug	26,4	70,0	-27,3	0,0	-3,8	-5,1	8,9	112,1	124,8	0,0	13,6	-50,0	36,3
	Sep	42,8	53,7	19,6	0,0	-2,9	-2,5	5,4	26,4	84,8	0,0	13,6	-50,0	22,0
	Okt	83,6	23,2	66,4	6,0	0,0	-3,6	3,3	42,8	60,7	0,0	15,1	-20,0	12,3
	Nov	45,0	11,2	-0,2	36,9	31,7	2,9	2,3	45,0	23,1	0,0	14,1	60,0	14,2
	Dez	78,2	15,2	2,8	60,2	49,4	6,2	4,6	78,2	14,3	0,0	13,6	70,0	19,7
1993	Jan	41,0	7,2	0,8	33,0	25,5	5,6	1,9	41,0	17,4	0,0	11,1	20,0	7,5
	Feb	15,2	25,5	-10,3	0,0	-7,1	0,7	6,4	15,2	29,1	0,0	12,1	0,0	26,0
	Mrz	25,4	68,3	-42,9	0,0	-11,9	0,3	11,6	25,4	50,4	0,0	11,6	10,0	46,6
	Apr	63,2	84,3	-21,1	0,0	-3,6	-5,9	9,5	63,2	106,9	0,0	12,1	-20,0	35,8
	Mai	87,4	87,4	11,6	0,0	-13,1	-3,5	9,6	99,0	105,4	0,0	12,1	20,0	38,5
	Jun	89,2	89,2	-2,6	0,0	-3,6	-2,8	6,8	86,6	91,9	0,0	12,1	10,0	27,4
	Jul	76,4	83,3	-6,9	0,0	-1,1	-2,2	3,9	76,4	98,8	0,0	12,1	-20,0	14,5
	Aug	77,5	56,4	21,1	0,0	-3,4	-3,2	0,2	77,5	57,1	0,0	12,1	-10,0	1,7
	Sep	36,8	33,9	2,9	0,0	-1,0	-2,5	3,5	36,8	47,6	0,0	12,1	-10,0	12,9
	Okt	35,3	5,7	29,6	0,0	-3,9	-0,9	4,8	35,3	32,8	0,0	12,1	10,0	19,6
	Nov	114,5	8,5	20,1	85,9	77,8	11,1	-3,0	114,5	12,8	0,0	12,1	80,0	-9,6
	Dez	120,9	8,3	3,1	109,5	97,7	15,3	3,5	120,9	9,6	0,0	11,1	90,0	-10,2
1994	Jan	15,1	9,4	0,1	5,6	-27,2	10,5	-2,2	15,1	19,2	129,1	19,0	-53,8	88,4
	Feb	94,1	28,0	2,0	64,1	19,6	14,0	30,5	94,1	11,2	164,7	10,0	125,6	
	Mrz	62,4	64,8	-31,7	29,3	-12,1	7,9	33,5	62,4	34,1	164,7	9,0	135,4	
	Apr	85,7	79,7	6,0	0,0	-40,3	6,5	33,8	85,7	80,4	156,2	9,0	136,8	
	Mai	95,3	96,8	-1,5	0,0	-32,1	-2,5	34,6	95,3	87,8	135,7	9,0	137,9	
	Jun	20,7	96,7	-76,0	0,0	-33,9	-5,6	39,5	20,7	166,2	108,5	9,0	155,4	
	Jul	61,2	48,8	12,4	0,0	-5,7	-5,8	11,5	61,2	139,1	0,0	10,0	-40,0	
	Aug	87,5	54,0	33,5	0,0	-13,4	4,1	9,3	87,5	64,6	0,0	10,0	37,1	
	Sep	45,7	30,5	15,2	0,0	-3,8	-2,1	5,9	45,7	59,5	0,0	10,0	0,0	
	Okt	44,4	12,9	31,5	0,0	-14,4	4,6	9,8	44,4	25,1	0,0	9,5	50,0	
	Nov	75,8	8,7	8,6	58,5	46,1	9,1	3,3	75,8	20,2	1,0	9,5	60,0	
	Dez													

umgekehrt proportional zur Boden- und Grundwasservorratsänderung, die entsprechend der Versickerung eine Zunahme in den Wintermonaten und eine Abnahme in den Sommermonaten aufweisen.

Eine erste auffallende Abweichung von diesem gleichmäßigen Verhalten ergibt sich im Dezember und Januar 1993/94. Die sehr hohen Niederschläge dieser Monate führen zu einer großen Versickerung und Speicherung im Boden und zu einem negativen unterirdischen Abfluß, gleichzusetzen mit einem Rückstrom von Wasser aus den Seen in den vorflutnahen Grundwasserraum. Dies ist in Anbetracht des unmittelbar mit dem Niederschlag im Vergleich zum Grundwasser schneller ansteigenden Seewasserstandes durchaus plausibel, zumal die Ganglinie vom Grundwasserrohr 14 auf Bild 35 zeigt, daß zu diesem Zeitpunkt das Grundwasserniveau zumindest im Gebiet zwischen dem Stechlin- und Nehmitzsee unter dem der Seen liegt und auch im nachfolgenden Anstieg zunächst stark zurückbleibt. Dies ändert sich mit dem Öffnen des Schützes Anfang Februar 1994. Bei nunmehr starkem oberirdischen Abfluß fällt der Seespiegel und es entsteht ein großer unterirdischer Zufluß in die Seen. Trotzdem hält der Grundwasseranstieg wegen der hohen Versickerung noch bis Mai an, obwohl in dieser Zeit bereits ein großer Teil des aus Niederschlag und Bodenwasservorratsänderung verfügbaren Wassers für den Ausgleich des Seewasserandrückganges verbraucht wird.

Mit dem Schließen des Schützes gegen Ende Juli geht der unterirdische Zufluß unmittelbar auf das zuvor bestandene Niveau zurück und auch der im Juli/August infolge sehr hoher Verdunstung von den Wasserflächen noch tief abgesunkene Seewasserstand füllt sich allmählich wieder auf. Ebenso wird die im Juli bei 96,7 mm Verdunstungshöhe von den Landflächen und nur 20,7 mm Gebietsniederschlag entstandene starke Ausschöpfung des Bodenwassers in der Durchwurzelungszone nachfolgend wieder ausgeglichen.

Auch diese Ergebnisse der Bilanzierung weisen darauf hin, daß zwischen den Seen und dem vorflutnahen Grundwasserraum mit großer Wahrscheinlichkeit Wasseraustauschprozesse stattfinden, die in ihrer Wirkung den vom Gefälle abhängigen kontinuierlichen Grundwasserzustrom überlagern. Dieser hat bei unbeeinflussten Bedingungen einen ausgeprägten Jahresgang, dessen sommerliches Maximum zu einer gewissen Kompensation der in dieser Zeit höchsten Verdunstungsverluste von den Seeflächen durch entsprechend nachfließendes Grundwasser führt. Eine deutliche Verstärkung erfährt dieser Effekt bei überhöhtem oberirdischen Abfluß, da hierzu offensichtlich auch die vorflutnahen Grundwasserspeicher in einem erheblichen Maße mit beansprucht werden. Weitere Details dieser Wechselwirkungen ließen sich sicherlich aus einer differenzierteren Betrachtung des Grundwassers in den vorflutnahen und vorflutfernen Bereichen erzielen. Entsprechende Prozeßanalysen erfordern jedoch speziell auf das Grundwasser ausgerichtete Untersuchungen, die weit über den Rahmen einer in der vorliegenden Arbeit angestrebten wasserhaushaltsmäßigen Langzeitbetrachtung des Untersuchungsgebietes hinausgehen.

10.4 Mittlere Jahresgänge der Wasserhaushaltsgrößen

Eine abschließende Übersicht zum Wasserhaushalt des Stechlin- und Nehmitzseegebietes vermittelt die Zusammenstellung der mittleren Jahresgänge aller Wasserhaushaltsgrößen in Tabelle 20. Sie bezieht sich sowohl auf das Gesamtgebiet als auch auf eine getrennte Betrachtung der Land- und See-

Tabelle 20: Mittlerer Jahresgang der Wasserhaushaltsgrößen des Stechlin- und Nehmitzseegebietes (in mm/Flächeneinheit), 1958/1995

I. bezogen auf das Gesamtgebiet (30,9km²)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Gebietsniederschlag	NG	54,2	39,3	45,2	47,2	60,5	69,4	59,0	49,3	43,0	55,7	62,4	654,3
Gebietsverdunstung	VG	9,6	11,0	26,1	52,1	85,5	86,7	74,1	51,7	33,0	15,8	11,7	549,2
Gebietsabfluß	AG	8,9	11,0	12,0	12,6	11,8	8,5	6,0	4,9	4,7	4,1	6,1	104,2
Grundwasservorratsänderung	dG	3,6	2,5	3,0	1,8	-0,9	-4,2	-4,8	-2,4	-0,8	1,7	3,3	0,1
Seewasservorratsänderung	dS	4,8	1,7	2,6	1,4	-1,8	-5,2	-6,1	-2,8	-0,8	5,5	6,3	-0,1
Bodenwasservorratsänderung	dB	27,3	13,1	1,5	-20,7	-35,9	-16,4	-10,2	-2,1	6,9	28,6	35,0	0,9

II. bezogen auf die Landflächen (24,75km²), NG wie I.

Landverdunstung	VL'	8,2	9,5	26,0	53,9	86,7	87,8	64,3	44,3	27,4	11,1	8,4	505,5
dB im Wurzelraum	dB _w	6,6	0,6	-3,3	-19,5	-30,2	-19,3	-5,3	4,6	13,9	38,3	22,3	-0,1
Versickerung	S'	39,4	29,2	22,5	12,8	4,0	0,6	0,0	0,4	1,7	6,3	31,7	148,9
dB im Sickerraum	dB _s	27,5	15,7	5,2	-6,3	-14,8	-13,4	-7,4	-7,2	-5,3	-2,6	21,4	1,0
Grundwasservorratsänderung	dG	4,5	3,1	3,7	2,3	-1,1	-3,4	-6,0	-3,0	-1,0	2,1	4,1	0,1
Grundwasserabfluß	AL	7,4	10,4	13,6	16,8	19,9	17,4	13,4	10,6	8,0	6,8	6,2	147,8

III. bezogen auf die Seen mit oberirdischem Abfluß (6,15km²), NG wie I.

Seeverdunstung	Vs'	15,4	17,2	26,6	44,9	80,9	108,5	113,6	81,4	55,5	34,7	24,6	725,6
Abfluß oberirdisch	Ao	35,4	47,1	51,7	55,2	60,0	50,7	21,0	15,4	14,0	11,1	21,0	416,5
Abfluß unterirdisch	Au	9,1	8,1	8,8	8,3	8,5	8,3	9,1	9,1	9,6	9,4	9,4	106,5
Seewasservorratsänderung	dS	23,7	8,6	12,7	6,8	-9,1	-28,5	-30,6	-14,1	-4,0	27,8	32,2	-0,2
Grundwasserzufluß	Zu	29,4	41,7	54,6	68,0	79,8	69,9	54,1	42,5	32,1	27,3	24,8	594,1

flächen. Daraus resultieren in den Angaben einiger Größen wiederum unterschiedlich hohe Beträge, da sie in den Teilbilanzierungen auf unterschiedlich große Flächen bezogen werden. Den entsprechenden Untersuchungen liegen anteilig 6,15 km² Seeflächen mit oberirdischem Abfluß und 24,75 km² Landflächen mit eingelagerten kleinen Seen zugrunde. Zum Ergebnis der Berechnungen lassen sich noch folgende Erläuterungen geben:

Für die Niederschlagshöhe bleibt die Unterteilung des Gebietes ohne Auswirkungen, da diese als flächendeckende Wassereinnahmegröße unabhängig von der betrachteten Flächeneinheit in alle Bilanzierungen in gleicher Höhe eingeht. Ihr innerjähriger Verlauf entspricht einer Doppelwelle mit höheren Werten in den Sommer- und Wintermonaten und geringeren in den Übergangsperioden. Dabei tritt das höchste Monatsmittel im Juli mit 69,4 mm und das niedrigste im Februar mit 39,3 mm auf.

Einen eindeutigen Jahresgang hat dagegen die Gebietsverdunstung mit Werten zwischen 91,9 mm im Juli und 9,6 mm im Januar. Die hohe Jahressumme von 549,2 mm resultiert aus dem mit 22 % sehr großen Anteil von Seeflächen am Gesamtgebiet. Hierin enthalten sind auch die bereits in Kapitel 7.3 ausführlicher erläuterten rund 101 mm Verdunstungserhöhung durch die thermische Belastung des Stechlinsees.

Als Folge der hohen Verdunstung ist der Gesamtabfluß aus dem Gebiet mit 104,2 mm relativ gering. Sein trotz Regulierung bestehender Jahresgang wird ausschließlich vom oberirdischen Abfluß bestimmt. Mit Werten von 10 bis 12 mm treten die größten monatlichen Abflußhöhen von März bis Juni auf. Sie entsprechen damit einer in dieser Jahreszeit am häufigsten vorgenommenen Schützöffnung des Regelbauwerks als Folge des winterlichen Seewasseranstieges. Zwischen der zu dieser Zeit aus der Differenz von Niederschlag und Verdunstung gegebenen größten Wasserbereitstellung und den höchsten Abflüssen besteht somit ein durchschnittlicher Zeitverzug von rund drei Monaten. Dazwischen liegen die Speicherungen im Boden sowie im Grundwasser und in den Seen. Durch ihre getrennte Angabe werden die unterschiedlichen Anteile dieser drei Speichermedien am mittleren Jahresgang der Wasservorratsänderung im Gebiet deutlich. Mit einer Jahresamplitude von rund 112 mm ist hierbei die Speicherung im Boden um das Fünf- bis Siebenfache größer als im Grundwasser und in den Seen. Der größte Teil des durch Rücklage und Aufbrauch bestimmten Jahresumsatzes findet somit in der rund 12 m mächtigen Bodenschicht statt. Dabei haben die Rücklage mit +44,7 mm im Dezember und der Aufbrauch mit -38,6 mm im Mai ihre jeweils höchsten Monatswerte.

Bei der separaten Bilanzierung des Wasserhaushaltes der Seen fallen zunächst die weit über der Niederschlagshöhe liegenden Wasserverluste durch Verdunstung und Abfluß als charakteristisches Merkmal auf. So werden allein durch die Verdunstungshöhe von 725,6 mm/a über 70 mm mehr abgegeben, als durch Niederschlag hinzukommt. Auch unter der Annahme unbeeinflusster Bedingungen für den Stechlinsee bleibt noch ein kleineres Defizit bestehen, zumal dessen thermische Belastung für die Seen insgesamt nur zu einer mittleren Verdunstungserhöhung von rund 44 mm/a führte.

Für den gesamten Wasserhaushalt der Seen ist dieses Defizit allerdings unbedeutend, da sie in einem starken Maße durch Grundwasser aus dem unterirdischen Einzugsgebiet gespeist werden. Mit durchschnittlich 594,1 mm/a erreicht dieser Zufluß annähernd den Betrag der mittleren jährlichen Niederschlagshöhe, wodurch letztlich für den ober- und unterirdischen Abfluß noch 523,0 mm/a

verbleiben. Bemerkenswert ist, daß hierbei durch höhere Zuflüsse im Sommer und geringere im Winter zumindest ein Teil der infolge Verdunstung und gesteuertem Abfluß zu erwartenden Seewasserstandsschwankungen ausgeglichen wird. So bleibt bei einem Jahresgang des Grundwasserzuflusses mit maximal 79,8 mm im Mai und minimal 26,5 mm im Dezember die mittlere Jahresamplitude der Wasservorratsänderung in den Seen mit rund 112 mm nur sehr klein. Dieser Effekt weist ebenso wie die bereits anhand Tabelle 19 erläuterten aktuellen Monatsbilanzen auf eine unmittelbare Wechselwirkung zwischen den Seen und dem vorflutnahen Grundwasserraum hin.

Bei den Landflächen wird der Wasserhaushalt im wesentlichen durch das unterschiedliche jahreszeitliche Verhalten von Niederschlag und Verdunstung geprägt. Während in den Sommermonaten der gesamte Niederschlag und noch ein Teil des Bodenwasservorrats für die Verdunstung verbraucht wird, besteht im Mittel von September bis März ein Wasserüberschuß, der nach Wiederauffüllung des Bodenspeichers versickert und letztlich als Grundwasserabfluß in die Seen gelangt. Modifiziert wird dieser Prozeß durch den jahreszeitlichen Gang der Boden- und Grundwasserspeicherung, wobei erstere wiederum mit Hilfe der Versickerung nach Gleichung (27) und (28) noch in eine Vorratsänderung im Wurzelraum und im Sickerraum zu unterteilen ist.

Unter Einbeziehung der Grundwasservorratsänderung verbleibt dann als bilanzierbare Restgröße des Wasserhaushaltes der Landflächen gemäß Gleichung (24) der Grundwasserabfluß (A_L), der wiederum bei Beachtung der unterschiedlich großen Bezugsflächen mit dem Grundwasserzufluß zu den Seen identisch ist. Damit liegt eine vollständige Bilanzierung des Wasserhaushaltes vom Stechlin- und Nehmitzseegebiet vor. Sie zeigt, daß trotz der komplizierten geologischen Bedingungen und der damit verbundenen Unsicherheiten speziell hinsichtlich der unterirdischen Wasserhaushaltsprozesse auf der Grundlage eines umfangreichen Beobachtungsmaterials sehr zuverlässige Aussagen über das Verhalten der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen vom langjährigen Mittel bis hin zu aktuellen Monatswerten gewonnen werden können. Damit ist ein umfassender Einblick in die Dynamik des Wasserhaushaltes eines norddeutschen Endmoränengebietes gegeben. Der prägende Einfluß von Niederschlag und Verdunstung bewirkt dabei neben den Jahresgängen auch längerfristige periodische Wasservorratsänderungen, deren primäre Zusammenhänge nachfolgend einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

11. Langzeitliche Schwankungen im Wasserhaushalt

Bereits aus der Darstellung des langzeitlichen Verhaltens der Niederschlagshöhe (Bild 10) und der Grund- und Seewasserstände (Bild 16 bis 20) geht hervor, daß die Wasserhaushaltsgrößen im Laufe der Beobachtungszeit deutliche periodische Schwankungen aufweisen. Charakteristisch sind bei allen Größen zwei ausgeprägte Maxima zum Ende der 60er und zu Beginn der 80er Jahre sowie die niedrigen Werte sowohl zu Beginn und zum Ende der Meßperiode als auch zwischen den beiden Maxima. Es erscheint somit naheliegend, dieses Verhalten auf bestehende Zusammenhänge zu untersuchen. Zielstellung ist hierbei, die Wasserstandsschwankungen und damit die zeitlichen Änderungen von Rücklage und Verbrauch im Gebiet mit Hilfe hydroklimatologischer Ausgangsgrößen auf statistischem Wege anzupassen, und damit u. a. Grundlagen für die Ergänzung von Meßausfällen oder rückwirkende Betrachtungen zu gewinnen. Als entsprechende Ausgangsgrößen

sind neben der Niederschlagshöhe hauptsächlich die Wasserbilanz der Land- und Seeoberflächen zu nennen. Hierunter ist einmal die aus dem Gebietsniederschlag abzüglich der Verdunstung von den Landflächen verbleibende und letztlich über die Versickerung zur Grundwasserneubildung führende Wassermenge und zum anderen die aus der Differenz von Gebietsniederschlag und anthropogen unbeeinflusster Seenverdunstung verbleibende Wassermenge zu verstehen. Wie noch gezeigt wird, kommt hierbei den Differenzen $(N_G - V_L)$ und $(N_G - V_S)$ die größere Bedeutung zu, wobei anstelle der Bilanz der Landflächen auch die nach dem VEKOS-Modell berechnete Versickerung Anwendung finden kann. Quantitativ sind beide Größen gleich, nur daß die Versickerung (S) als Restgröße aus $(N_G - V_L)$ noch durch die innerjährliche Variabilität der Bodenwasservorratsänderung jahreszeitlich modifiziert wird.

11.1 Anpassung mittels linearer Einfachregressionen

Bereits ein einfacher Vergleich des zeitlichen Auftretens von Maxima und Minima im Gang der betrachteten Wasserhaushaltsgrößen zeigt, daß zwischen der Niederschlagshöhe und den parallel verlaufenden Bilanzgrößen einerseits und den Grund- und Seewasserständen andererseits erhebliche zeitliche Verzögerungen bestehen, die in den langperiodischen Schwankungen annähernd einer Phasenverschiebung von 2 bis 4 Jahren entsprechen. Zur Ableitung einfacher Regressionsbeziehungen, welche die gegebenen Wasserstände (W_i) jeweils als Funktion einer der Ausgangsgrößen (A_i) gemäß

$$W_i = f(A_i) \quad \text{mit } A_i = N_G; (N_G - V_L); (N_G - V_S) \text{ oder } S \quad (29)$$

ausweisen, war es somit zunächst erforderlich, einen zeitlich übereinstimmenden Gang der periodischen Änderungen herzustellen. Als geeignete Methode hierfür erwies sich die rückwirkende Mittelung der Ausgangsgrößen. Das heißt, der aktuelle Wasserstand wird zu dem über einen bestimmten zurückreichenden Zeitraum gemittelten Betrag der als unabhängige Variable gewählten Wasserhaushaltsgröße in Beziehung gesetzt. Dieser für jede Meßstelle unterschiedlich lange Zeitraum ergibt sich, indem die Anzahl der zurückliegend einbezogenen Monate so lange schrittweise erweitert wird, bis die beste Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Wasserständen festzustellen ist. Im Ergebnis bedeutet dies, daß der aktuelle Wasserstand jeweils dem mittleren Wasserangebot eines vorangegangenen Zeitraumes angepaßt wird, dessen aus der Korrelationsanalyse bestimmte Länge im folgenden als optimale Anpassungszeit bezeichnet wird.

Dementsprechende Berechnungen erfolgten für den Verlauf des Wasserstandes (W_i) von allen Meßstellen, also für 47 Grundwasserrohre und 16 Seen, zunächst als lineare Regressionsbeziehung nach

$$W_i = a + b \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \quad (30)$$

mit A_i als Ausgangsgröße gemäß (29) und n als Anzahl der Monate des jeweils optimalen Anpassungszeitraumes. Weiterhin wurden zur Testung möglicher Verbesserungen auch die quadratischen Regressionsbeziehungen

$$W_i = a + b_1 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i + b_2 \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \right)^2$$

(31)

abgeleitet. Einer Erläuterung der Ergebnisse kann vorangestellt werden, daß die Ableitung linearer oder quadratischer Regressionsbeziehungen für keine der untersuchten Meßreihen zu signifikanten Unterschieden in der erzielbaren Anpassungsgenauigkeit führte, wobei sich die Anzahl der jeweils geringfügig besseren Ergebnisse mit der einen oder anderen Variante die Waage hält. Es ist somit prinzipiell ausreichend, lineare Anpassungen an die Ausgangsgrößen vorzunehmen. Sie bildeten die Grundlage für eine umfassende Analyse des langzeitlichen Wasserstandsverhaltens. Unter Beachtung der wesentlichsten Aspekte wie Anpassungsgenauigkeit, optimale Anpassungszeit oder Wahl der besten Anpassungsgröße ergeben sich definitiv für alle Meßreihen mehr oder weniger unterschiedliche Ergebnisse. Trotzdem sind eine Reihe typischer Gemeinsamkeiten wie auch einheitlicher Abweichungen im Gesamtverhalten festzustellen.

Ein erster allgemeiner Vergleich aller gemessenen und berechneten Wasserstandsgänge führt zu dem Schluß, daß mit den gewählten Ausgangsgrößen in jedem Falle eine angenäherte Simulation des langzeitlichen Wasserstandsverhaltens möglich ist. Abgesehen vom Gebietsniederschlag, dessen alleinige Verwendung immer die etwas schlechteren Anpassungsergebnisse liefert, unterscheiden sich die erzielbaren Anpassungsgenauigkeiten für die drei bilanzierten Größen nur gering. Je nach Lage der Meßstelle liefert die eine oder andere Variante die etwas besseren Ergebnisse. Hierbei werden bei einigen Seen und den meisten der vorflutnahen Grundwasserstandorte mit ohnehin geringeren langzeitlichen Wasserstandsschwankungen Anpassungen mit einer Reststreuung von weniger als 10 cm erreicht, während diese für die vorflutfernen Standorte mit großen Langzeitschwankungen meist über 20 cm bleiben.

Standortbezogene Anpassungsunterschiede hinsichtlich der jeweils gewählten Ausgangsgröße bestehen hauptsächlich zwischen den Bilanzen der Land- und Seeflächen, wobei neben den meisten Seen auch ein großer Teil der Grundwasserstände besser mit der Bilanz der Seeflächen simuliert werden. Hierauf wird weiter unten noch ausführlicher eingegangen. Weitgehend unerheblich sind dagegen die Ergebnisunterschiede zwischen der Verwendung der Versickerung und der Differenz ($N_G - V_L$). Auch hier liefert teils die eine, teils die andere Ausgangsgröße geringfügig bessere Anpassungen, die sich jedoch in keinem Fall signifikant unterscheiden. Somit können sich die weiteren Untersuchungen auf die etwas einfacher bestimmbare Bilanz der Landoberfläche beschränken, und eine zusätzliche Behandlung der Versickerung als Ausgangsgröße ist nicht erforderlich.

An dieser Stelle ist allerdings noch auf eine Besonderheit hinzuweisen, die speziell auf Grundwassermeßstellen im vorflutfernen Bereich und auf Standorte im östlich am Stechlinsee vorbeifließenden Grundwasserstrom mit jeweils großen Grundwasserstandsschwankungen zutrifft. Für diese Meßstel-

len, an denen außerdem ein großer Grundwasserflurabstand vorliegt, erweist es sich als zweckmäßig, die Wasserbilanz des unmittelbar vorausgegangenen Zeitraumes außer Betracht zu lassen und die optimale Anpassungszeit erst zu einem mehrere Monate zurückliegenden Zeitpunkt (n_x) zu beginnen. Es gilt dann

$$W_i = a + b \frac{1}{n - n_x} \sum_{i=n_x}^n (N_G - V_L)_i \quad (32)$$

was bedeutet, daß unter den gegebenen Umständen die aktuellen Wasserumsätze an der Landoberfläche für die bestmögliche Simulation des Grundwasserstandsganges unerheblich sind. Zutreffend ist dies für die Grundwassermeßstellen 3 und 7 sowie 35 bis 38 und 42, bei denen durch die Vernachlässigung der ersten 9 bis 13 zurückliegenden Monate eine Verbesserung der Anpassungsgenauigkeit um rund 15 % erzielt wird. Der Beginn des optimalen Anpassungszeitraumes liegt somit um durchschnittlich ein Jahr zurück.

Prinzipiell gleiche, aber nicht so ausgeprägte Ergebnisse lassen sich noch für einige weitere Meßstellen östlich des Stechlinsees finden. Sie ergeben allerdings bei nur 2 bis 4 rückwirkend zu vernachlässigenden Monaten keine nennenswerte Verbesserung. Damit bleibt gemäß der Lage der genannten Grundwasserrohre dieser zeitlich versetzte optimale Anpassungszeitraum auf das höher gelegene Grundwasserniveau südöstlich des Stechlinsees beschränkt (vgl. Bild 14). Er ist auch nicht für das nordwestlich des Stechlinsees gelegene Rohr 12 nachzuweisen, obwohl hier hinsichtlich des Grundwasserniveaus und der Wasserbilanz der Oberfläche die gleichen Bedingungen vorliegen. Wahrscheinlich lassen sich die Ursachen dieses unterschiedlichen Verhaltens insgesamt nur unter Einbeziehung der hydrogeologischen Bedingungen erklären, wofür allerdings keine hinreichenden Detailkenntnisse vorliegen.

Bereits weiter oben wurde kurz auf die einerseits bessere Anpassung des Wasserstandsganges an die Wasserbilanz der Landflächen ($N_G - V_L$) und andererseits an die der Seeflächen ($N_G - V_S$) hingewiesen. Eine Analyse dieser Gegebenheiten zeigt, daß sich hierfür eindeutige Zuordnungen zu den unterschiedlichen Grundwasserbedingungen des Untersuchungsgebietes finden lassen. So ergeben sich für alle Seen und Grundwassermeßstellen des unterirdischen Einzugsgebietes und des Gebietes mit unterirdischem Abfluß aus dem Stechlin- und Nehmitzsee die besseren Anpassungen an die Bilanz der Seen ($N_G - V_S$). Dagegen ist für die Meßstellen im höher gelegenen Grundwasserniveau südöstlich des Stechlinsees und im Gebiet des östlich vorbeifließenden Grundwassers die bessere Anpassung an die Bilanz der Landflächen zu verzeichnen. Ausnahmen hiervon bilden der Peetschsee, der Dagowsee und das Rohr 3. Über die Lage aller Meßstellen gibt Bild 14 Auskunft.

Die wichtigsten Unterschiede im Grundwasserverhalten beider Bereiche liegen darin, daß im unterirdischen Einzugsgebiet das Grundwasser mit einem zeitlich wechselnden Gefälle in den als Vorfluter fungierenden Seen zusammenfließt und von dort ober- und unterirdisch abgegeben wird, während der östlich vorbeifließende Grundwasserstrom trotz der Niveauschwankungen ein relativ gleichbleibendes Gefälle aufweist. Hierin voll eingebettet ist der Peetschsee (Bild 18), bei dem

folglich auch die Wasserbilanz der Landflächen den stärkeren Einfluß ausübt. Ebenso ist das Rohr 3 von der Lage und dem großen Flurabstand des Grundwassers her stärker dem hochgelegenen Grundwasserniveau zuzuordnen. Dagegen resultiert das abweichende Verhalten des Dagowsees aus dem anfänglich noch bei höherem Wasserstand bestehenden Abfluß zum Stechlinsee, womit eine gewisse Wasserstandsregulierung gegeben ist und somit auch das Anpassungsergebnis an die natürliche Wasserbilanz etwas verfälscht wird.

Ein Vergleich der Ergebnisse beider Ausgangsvarianten ergibt für die Seen Reststreuungen von rund 14 bzw. 11 cm und für die Grundwasserrohre im und unterhalb des Einzugsgebietes von 12 bzw. 10 cm mit den jeweils besseren Anpassungen an die Bilanz der Seeflächen. Für die restlichen Meßstellen liefert die Bilanz der Landflächen mit durchschnittlich 18 gegenüber 25 cm Reststreuung deutlich bessere Ergebnisse. Hinweise auf die Ursachen lassen sich in einem etwas voneinander abweichenden Gang sowohl der beiden Bilanzgrößen als auch der Wasserstandsganglinien finden. Zunächst ist festzuhalten, daß die optimalen Anpassungszeiten bei relativ großen Unterschieden zwischen den einzelnen Meßstellen im Mittel bei rund 6 Jahren für die Bilanz der Seeflächen und bei rund 7 Jahren für die Bilanz der Landflächen liegen. Dementsprechend wurde für (N_G-V_S) eine über 72 Monate und für (N_G-V_L) eine über 84 Monate rückwirkend übergreifende Mittelung vorgenommen und jeweils einer im prinzipiellen Verhalten vergleichbaren Meßstelle im und außerhalb des Einzugsgebietes gegenüber gestellt. Zur Auswahl gelangten die Grundwasserrohre 13 nordwestlich vom Stechlinsee und 6 südlich des Peetschsees. Sie sind in Bild 36 und 37 zusammen mit der jeweils besser angepaßten Bilanz wiedergegeben. In beiden Fällen besteht eine auffallend gute Parallelität im Gang der verglichenen Größen. Andererseits lassen sich aber auch die ausschlaggebenden Unterschiede zwischen den beiden Bilanzgrößen erkennen. Hervorzuheben sind in dieser Hinsicht die jeweiligen Extreme. So liegen bei der Bilanz der Seeflächen die beiden Maxima etwa gleich hoch, aber der Rückgang zu dem Minimum von 1993 fällt erheblich stärker aus als der vorangegangene. Demgegenüber ist bei der Bilanz der Landflächen das Maximum von 1992/94 etwas höher, während die Minima ein annähernd gleiches Niveau aufweisen.

Darüber hinaus bestehen auch Unterschiede in der zeitlichen Andauer der Extreme, was bei den Maxima von 1992 durch den wesentlich früheren Beginn des Rückgangs in der Bilanz der Seeflächen besonders markant ausgeprägt ist. Annähernd äquivalente Unterschiede haben nun auch die zum Vergleich ausgewählten Ganglinien der Grundwasserstände, was letztlich die Erklärung für die jeweils etwas besseren oder schlechteren Anpassungsergebnisse an die Bilanz der See- oder Landflächen für die Standorte im oder außerhalb des Einzugsgebietes liefert. Natürlich fallen diese Unterschiede besonders im Übergangsbereich nicht immer so deutlich aus und auch innerhalb der beiden Gebiete bestehen je nach Entfernung vom Vorfluter oder Flurabstand des Grundwassers Abweichungen, zumal die optimalen Anpassungszeiten ebenfalls mehr oder weniger von den in beiden Beispielen für die Bilanz fest vorgegebenen mittleren Zeiträumen differieren. Trotzdem ist das Verhalten der Grundwasserstände für die meisten Meßstellen des unterirdischen Einzugsgebietes als relativ einheitlich einzuschätzen. Lediglich die Rohre 3 und 12 weichen hiervon lagebedingt stark ab. Während sich alle anderen Meßstellen in einem Grundwasserniveau befinden, das im Mittel nur höchstens 55 cm über dem Wasserspiegel des Stechlin- und Nehmitzsees liegt und somit hydraulische

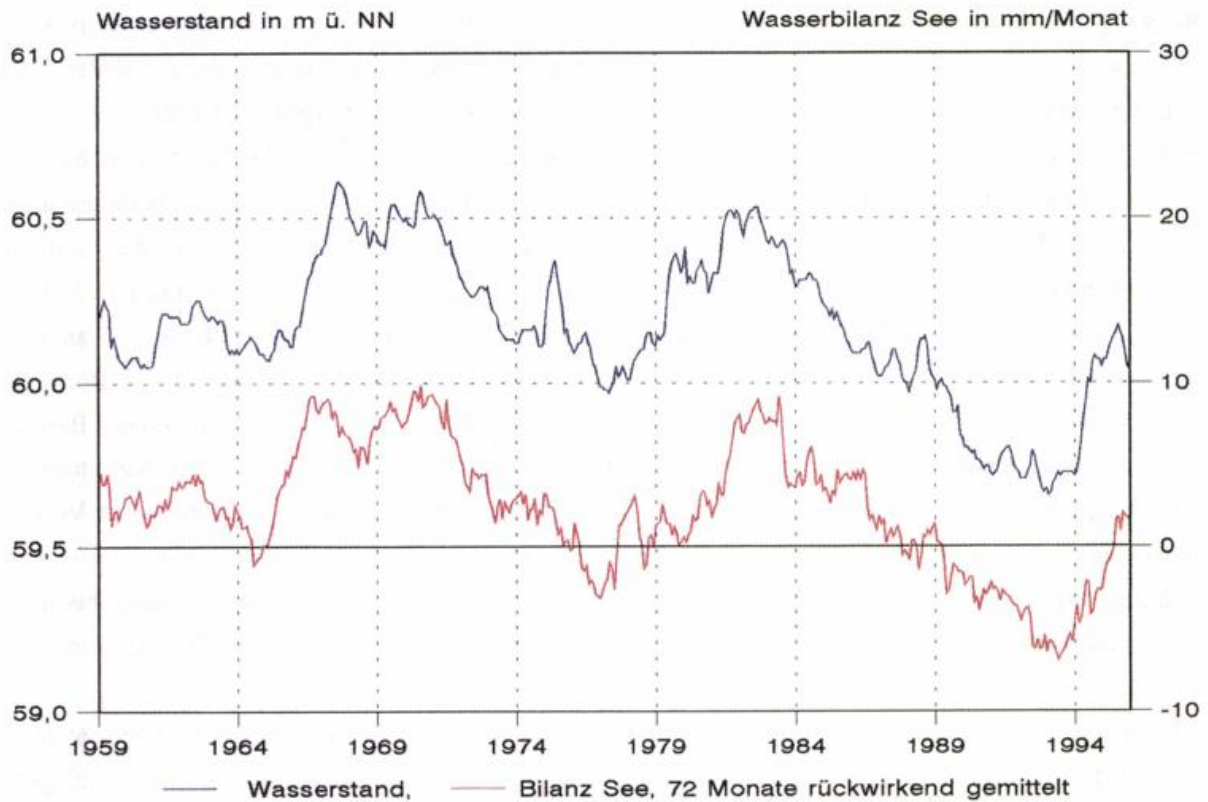


Bild 36: Gang der Wasserbilanz der Seeoberfläche (NG - VS) und des Wasserstandes im Grundwasserrohr 13, 1959/1995

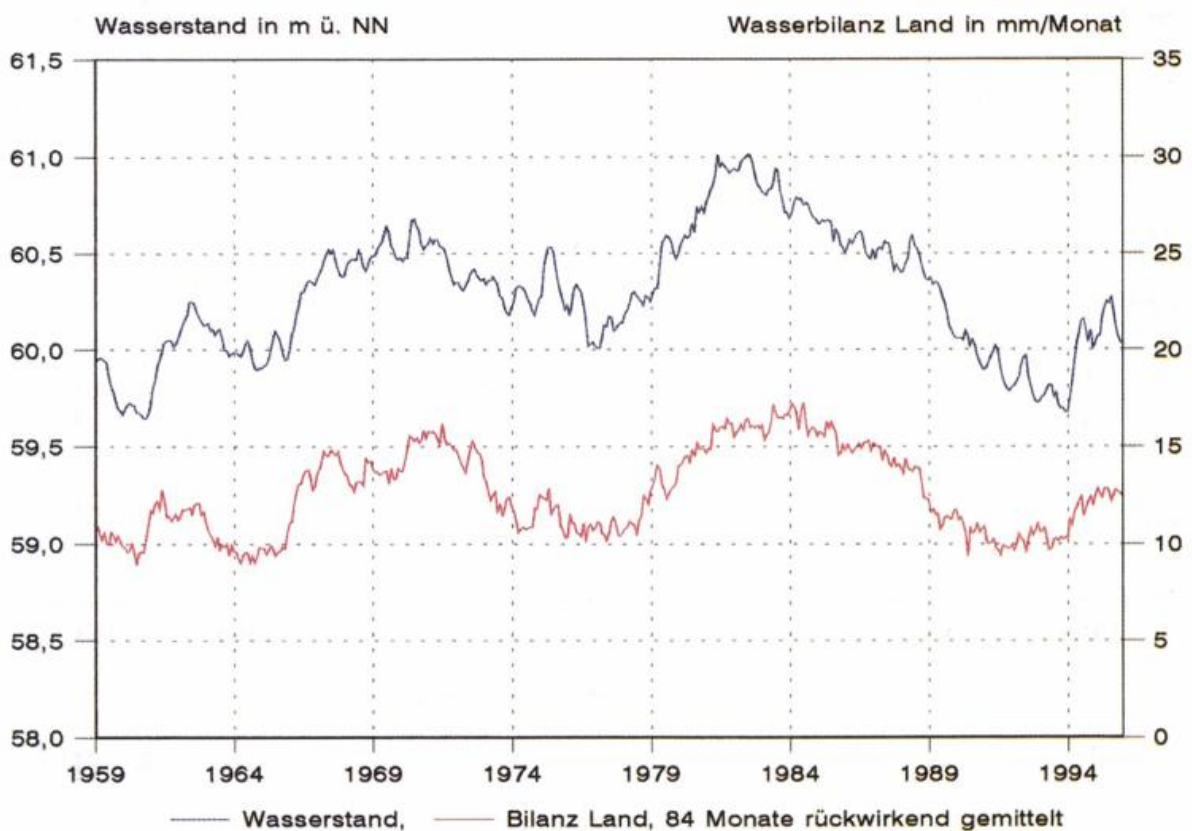


Bild 37: Gang der Wasserbilanz der Landoberfläche (NG - VL) und des Wasserstandes im Grundwasserrohr 6, 1959/1995

Rückwirkungen durchaus denkbar sind, ist der durchschnittliche Grundwasserstand in Rohr 3 um 1,7 m und im Rohr 12 sogar um 3,1 m höher. Hier sind Rückwirkungen somit auszuschließen. Der entsprechend zu erwartende stärkere Einfluß der Bilanz der Landflächen ergibt sich allerdings nur für Rohr 3, während für Rohr 12 auch die bessere Anpassung an die Bilanz der Seeflächen besteht. Letztere resultiert hauptsächlich aus dem hier ebenfalls sehr starken Rückgang des Wasserstandes nach 1982. Er stellt auch den wesentlichen Unterschied zum Wasserstandsgang in den anderen vorflutfernen Standorten südöstlich des Stechlinsees dar, wie anhand des Vergleichs mit den Rohren 3 und 37 auf Bild 38 gezeigt wird. Nach einem über lange Zeit annähernd gleichen Verlauf an allen drei Meßstellen erfolgt ab 1983 ein erheblich stärkerer Rückgang des Wasserstandes in Rohr 12. Offensichtlich wird der im Nordwesten des Stechlinsees bestehende, aber wesentlich kleinere Bereich mit hohem Grundwasserstand durch die lang anhaltende trocknere Periode bedeutend stärker abgebaut als der im Südosten. Ein ebenso schnellerer Aufbau nach 1993 deutet sich an. Speziell dieser Verlauf führt dann auch zu der insgesamt besseren linearen Anpassung an die in diesem Zeitraum ebenso prägnant ausgeprägte Bilanz der Seeflächen, ohne daß hierfür direkte wasserhaushaltsbedingte Zusammenhänge vorliegen können. Insgesamt ist für diese Meßstelle mit einer Reststreuung von 29,0 cm die weitaus schlechteste Anpassung gegeben.

Als Beispiele für die wesentlichsten Ergebnisse der statistischen Analyse des Wasserstandsverhaltens sind in Tabelle 21 für zwei Seen und für je zwei im und außerhalb des Einzugsgebietes gelegene Grundwassermeßstellen die berechneten Reststreuungen der bestmöglichen Anpassung an die vier Ausgangsgrößen und die statistischen Parameter der linearen Regressionsbeziehung zu der am besten

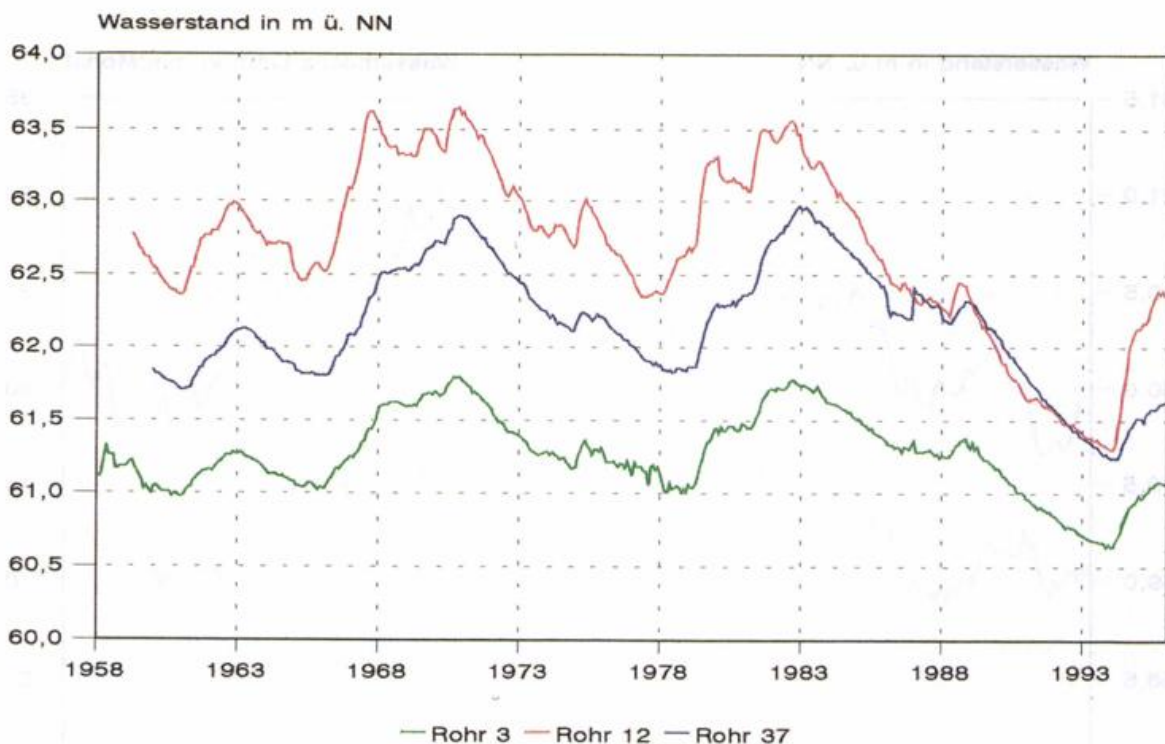


Bild 38: Gang der Grundwasserstände in den Rohren 3, 12 und 37, 1958/1995

angepaßten Ausgangsgröße zusammengestellt.

Tabelle 21: Ergebnisse der linearen Anpassung des Wasserstandsganges ausgewählter Meßstellen an die Ausgangsgrößen Gebietsniederschlag (N_G), Bilanz der Landflächen (N_G-V_L), Versickerung (S) und Bilanz der Seeflächen (N_G-V_S) mit den Parametern optimale Anpassungszeit (Z), Korrelationskoeffizient (k), Koeffizienten (a, b) der Gleichung (30) und Streuung (s) der gemessenen Wasserstände um den langjährigen Mittelwert.

Meßstelle	Reststreuung (in cm)				Parameter der besten Anpassung				
	N_G	N_G-V_L	S	N_G-V_S	Z	k	a	b	s
Glietzensee	16,8	16,9	16,7	15,3	70	0,851	59,04	0,062	29,2
Tietzensee	13,9	13,1	13,4	8,1	54	0,933	59,12	0,037	22,3
Grundwasserrohr 2	8,9	8,4	8,4	7,0	57	0,838	59,93	0,022	12,8
Grundwasserrohr 13	16,7	16,2	16,0	10,1	71	0,894	60,05	0,051	22,5
Grundwasserrohr 6	19,7	14,6	14,2	25,2	90	0,900	58,55	0,137	32,5
Grundwasserrohr 37	23,0	22,6	22,0	27,8	84	0,850	60,27	0,149	41,8

Sie repräsentieren im wesentlichen die wichtigsten Merkmale der Anpassungsergebnisse. Zu nennen sind die bei dem Vergleich der Ausgangsgrößen einmal nur geringen Unterschiede in den Reststreuungen, wie beim Glietzensee und Rohr 2, und die zum anderen etwas größeren, wie bei Rohr 6 und 37, oder die auffallend bessere Anpassung an eine bestimmte Ausgangsgröße, wie an die Bilanz der Seeflächen beim Tietzensee oder an die Bilanz der Landflächen beim Rohr 6. Alle Beispiele zeigen auch die Gleichwertigkeit in der Verwendung der Versickerung und der Bilanz der Landflächen. Weiterhin sind die Unterschiede in der erzielbaren Anpassungsgenauigkeit für vorflutnahe Standorte mit geringen Wasserstandsschwankungen (Rohr 2) und für vorflutferne Standorte mit großen Wasserstandsschwankungen (Rohr 37) zu ersehen, wie sie sich gleichfalls in den Streuungen um den langjährigen Mittelwert widerspiegeln.

Die optimalen Anpassungszeiten bewegen sich zwischen 54 und 90 Monaten und die insgesamt recht hohen Korrelationskoeffizienten unterstreichen in jedem Falle die engen Zusammenhänge zwischen den untersuchten Größen. Bei den Koeffizienten der Regressionsbeziehungen wird a durch die mittlere Grundwasserstandshöhe mitbestimmt und repräsentiert gewissermaßen einen Basiswasserstand über NN, auf den sich die Schwankungen als abhängige Variable von der Ausgangsgröße beziehen, deren Intensität durch b beschrieben wird. Es handelt sich somit zwangsläufig um gebietsspezifische Beziehungen, deren Parameter in der vorliegenden Form nicht übertragbar sind.

Neben dem Nachweis prinzipieller Simulationsmöglichkeiten, deren Nutzung sich unter anderem zur Ergänzung von Meßausfällen anbietet, lassen sich auch Abweichungen im langzeitlichen Gang verdeutlichen, deren Ursachen direkt oder indirekt auf anthropogene Eingriffe in den Wasserhaushalt zurückgehen. Ein Beispiel hierfür liefert Bild 39 mit dem gemessenen Gang der Wasserstände vom Dagowsee und vom Rohr 26. Beim Dagowsee bestand zunächst über einen Graben ein geringer unge-

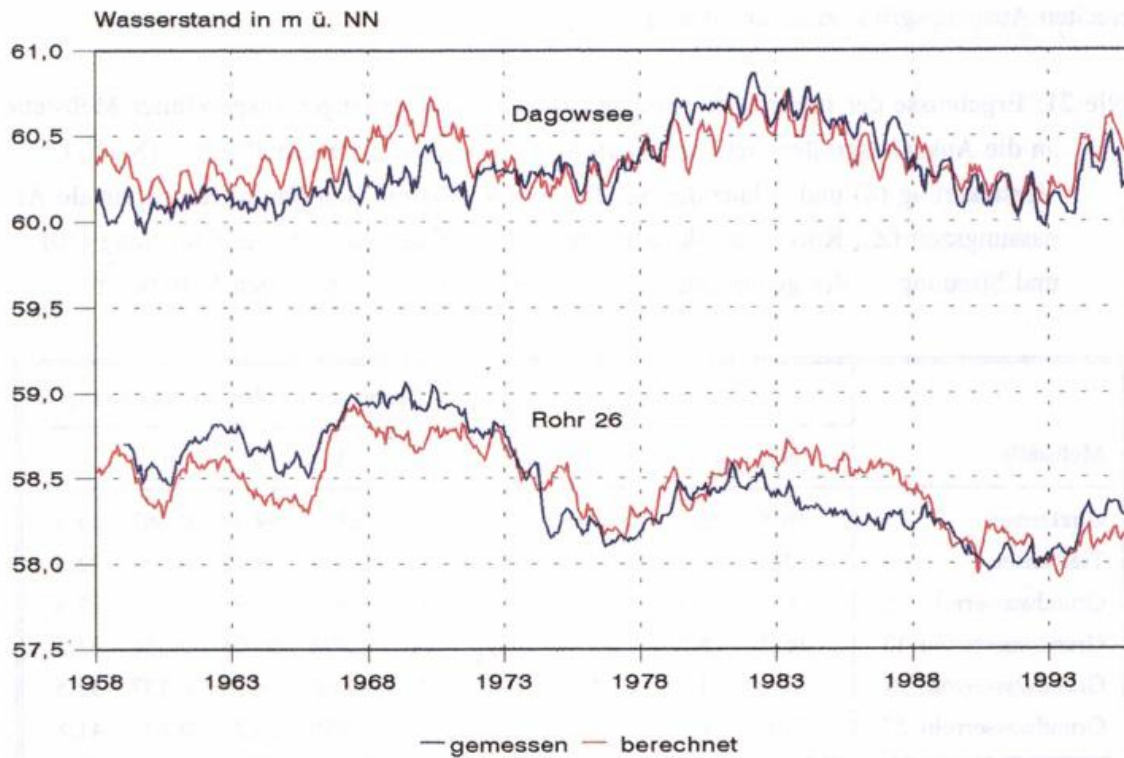


Bild 39: Gemessener und berechneter Gang des Wasserstandes vom Dagowsee und vom Grundwasserrohr 26, 1958/1995

regelter oberirdischer Abfluß zum Stechlinsee, wodurch ein höherer Anstieg des Wasserstandes verhindert wurde. Mit dem Bau einer hochreichenden Absperrung im Jahre 1975 wurde dieser Abfluß völlig unterbunden und der Gang des Wasserstandes entspricht danach allein dem aus Niederschlag und Verdunstung zu erwartenden Verhalten vergleichbarer Meßstellen. Demzufolge stimmen ab diesem Zeitpunkt auch die gemessenen und berechneten Werte gut überein, während zuvor die systematisch niedriger liegenden gemessenen Wasserstände die nivellierende Wirkung des Abflusses verdeutlichen. Der berechnete Gang zeigt hier das wahrscheinliche Verhalten ohne oberirdischen Abfluß.

Als nicht eindeutig interpretierbar erweist sich der von allen anderen Meßstellen abweichende Gang im Grundwasserrohr 26. Dieses Rohr befindet sich am Rande der nördlich vom Stechlinsee gelegenen Wiesen am kleinen Boberowsee. Es liegt somit im Bereich des nach Norden hin gerichteten unterirdischen Abflusses. Durch den Vergleich des Grundwasserstandsganges mit den berechneten Werten wird der bereits in Kapitel 5.4 zum Profil II erläuterte starke Rückgang des Grundwasserniveaus hervorgehoben, der eindeutig nicht aus der Bilanz von Niederschlag und Verdunstung resultiert. So liegt der gemessene Wasserstand vor dem Rückgang systematisch über und danach weitgehend unter den wasserhaushaltsmäßig zu erwartenden Werten. Ein qualitativ ähnlicher Verlauf im Grundwasser-austrittsbereich südlich des Nehmitzsees deutet auf eine Umstellung des gesamten Wasserhaushaltsregimes unterhalb des Stechlin- und Nehmitzsees hin, der ursächlich im Zusammenhang mit den veränderten Wasserstands- und Abflußbedingungen beider Seen stehen könnte.

11.2 Anpassungen mittels linearer Zweifachregressionen

Da die Ergebnisse der einfachen linearen Anpassung an die Wasserbilanz der Land- und Seeoberflächen sehr differenziert von einer deutlich besseren Eignung der einen oder anderen Anpassungsgröße bis hin zur Gleichwertigkeit der beiden Varianten reichen, wurde abschließend getestet, inwieweit durch die gleichzeitige Verwendung beider Bilanzgrößen eine weitere Verbesserung zu erzielen ist. Als am zweckmäßigsten erwies sich hier die Ableitung einer linearen Beziehung in der Form

$$W_i = a + b_1 \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} (V_G - V_L)_i + b_2 \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} (N_G - V_S)_i . \quad (33)$$

Die wiederum für alle See- und Grundwasserstände durchgeführten Berechnungen ergaben erwartungsgemäß in jedem Falle eine höhere Anpassungsgenauigkeit als bei allen getesteten linearen Einfachregressionen. Gegenüber dem hiervon jeweils besten Ergebnis liegen die Verbesserungen mehrheitlich bei einer Verringerung der Reststreuung zwischen 10 und 20 % und erreichen für einige Meßstellen Beträge von mehr als 30 bis 40 %. Für die in Tabelle 21 ausgewählten Beispiele liegt die Reststreuung der besten Anpassung jetzt für den Glietzen- und Tietzensee bei 9,1 bzw. 7,4 cm, für die Rohre 2 und 13 bei 5,6 und 8,6 cm und für die Rohre 6 und 37 bei 13,0 und 19,8 cm. Die erzielte Verbesserung ist somit dann besonders groß, wenn, wie im Falle des Glietzensees, die einzeln angepaßten Bilanzen keine wesentlichen Genauigkeitsunterschiede ergaben.

Insgesamt ist zu schlußfolgern, daß es in dem mit vielen Seen ausgestatteten Untersuchungsgebiet zur Simulation der Wasserstände immer zweckmäßig ist sowohl die Wasserbilanz der Landflächen als auch die der Seeflächen einzubeziehen.

Für die jeweils besten Anpassungen ergeben sich wie bei den linearen Einfachregressionen sehr unterschiedliche Regressionskoeffizienten und optimale Anpassungszeiträume. Trotzdem finden sich auch hier Meßstellen, bei denen die Parameter gemäß Gleichung (33) sehr ähnlich sind. Sie betreffen einmal den Stechlin- und Nehmitzsee einschließlich der zwischen beiden Seen gelegenen Grundwasserrohre sowie zum anderen die sich nach West-Nordwest und Ost-Südost erstreckenden Bereiche, in denen sich die Zusammenhänge jeweils mit zunehmender Vorflutferne relativ übereinstimmend ändern, ohne daß sich hierfür Ansätze einer generellen Verallgemeinerung finden lassen. Angesichts der differenzierten hydrogeologischen Bedingungen war dies auch nicht zu erwarten.

Was mit den Untersuchungen gezeigt werden sollte, ist die prinzipielle Möglichkeit einer Simulation des langzeitlichen Wasserstandsganges mit Hilfe sehr einfacher empirisch-statistischer Beziehungen. Sie liefern mit Bezug zur rückwirkend betrachteten Wasserbilanz der Land- und Seeflächen eine Anpassung der monatlichen Wasserstände mit einer Reststreuung, die bei den meisten Seen und vorflutnahen Standorten unter 10 cm bleibt und nur unter den ungünstigsten Bedingungen mit großen Wasserstandsschwankungen Werte um 20 cm erreicht. Die Verfügbarkeit genauer Niederschlags- und Verdunstungsdaten wird hierbei zwangsläufig vorausgesetzt.

Einen Eindruck von den Ergebnissen der Wasserstandsberechnungen liefern Bild 40 und 41, auf denen die gemessenen und berechneten Wasserstandsganglinien vom Glietzensee und dem Grundwasserrohr 37 dargestellt sind. Zum Vergleich ist auch die jeweils bessere Anpassung an eine der beiden Bilanzgrößen mit aufgenommen. Die Wahl fiel auf den Glietzensee, der neben dem Peetschsee als einziger eine bis 1958 bzw. 1959 rückwirkend ergänzte Meßreihe hat, die keinen anthropogenen Beeinflussungen unterliegt, und auf das Rohr 37, da hieran das am schwierigsten anzupassende charakteristische Verhalten starker Grundwasserstandsschwankungen im vorflutfernen Bereich gezeigt werden kann.

Für beide Beispiele ergibt sich die bessere Anpassung mittels linearer Zweifachregressionen hauptsächlich durch die genauere Simulation der Extreme. Beim Glietzensee trifft dies besonders auf den tiefen Wasserstand von 1959/60 und die jeweiligen Anstiege zu den hohen Wasserständen um 1970 und 1982 zu. Andererseits sind auch einige temporär etwas schlechtere Übereinstimmungen nicht auszuschließen. Bedeutend größer sind die Ungenauigkeiten beim Rohr 37, zumal der vorflutferne Grundwasserstandsgang im Gegensatz zu den Bilanzgrößen keinen Jahresgang aufweist. Dadurch variiert der berechnete Gang wesentlich stärker als der gemessene. Außerdem ergeben sich Abweichungen im zeitlichen Auftreten der Extreme, die durch die Verwendung linearer Zweifachregressionen nur teilweise ausgeglichen werden. Am deutlichsten sind die Verbesserungen bei der Simulation des hohen Wasserstandes um 1970/71 und des starken Rückganges bis 1994. Da sich insgesamt die gleichen Ungenauigkeiten auch bei der Anpassung der anderen Standorte im hoch gelegenen Grundwasserniveau südöstlich des Stechlinsees ergeben, ist zu schlußfolgern, daß unter diesen Bedin-

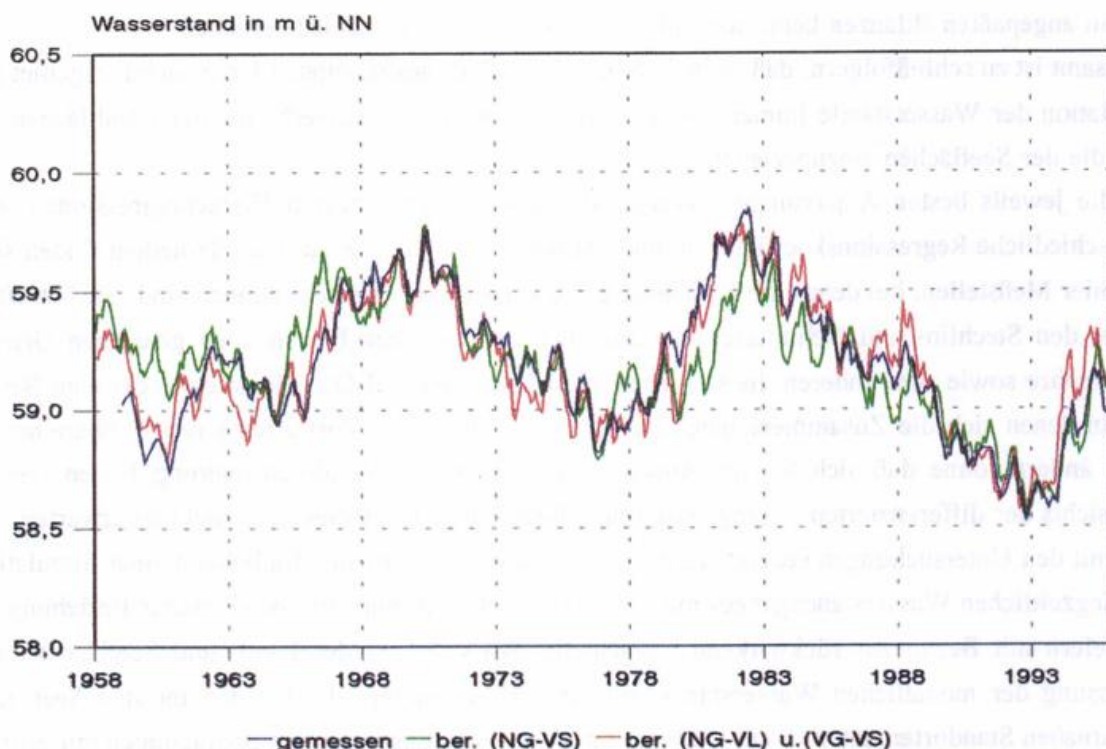


Bild 40: Gemessener und berechneter Gang des Wasserstandes vom Glietzensee, 1958/1995

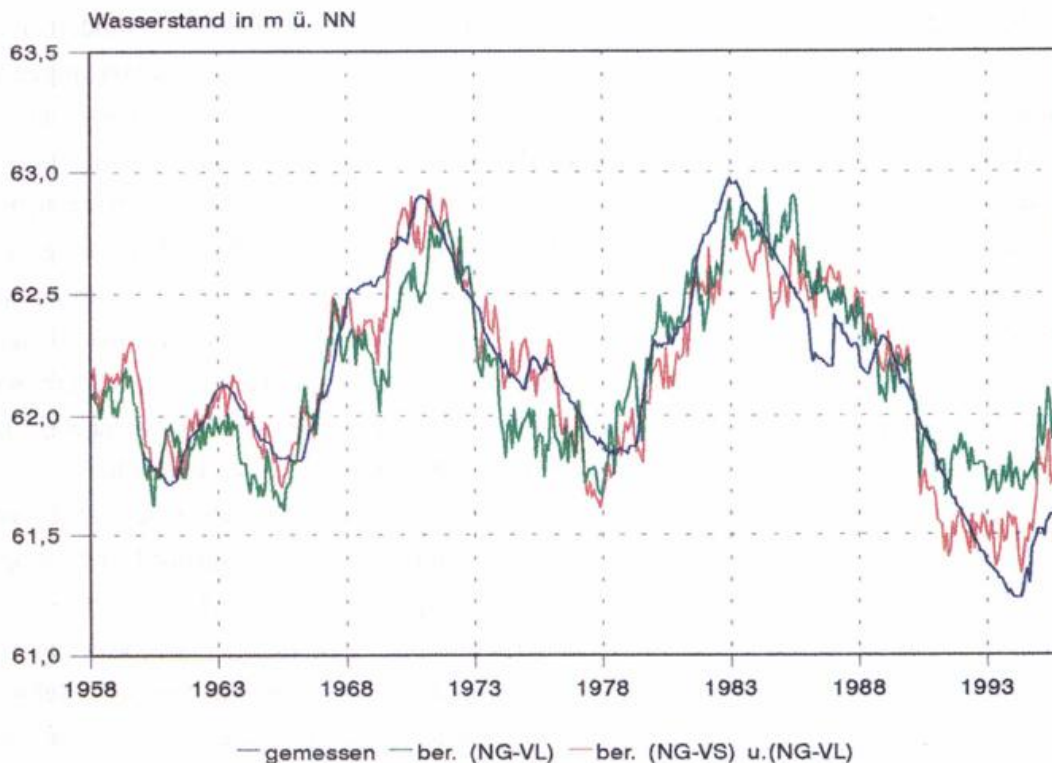


Bild 41: Gemessener und berechneter Gang des Wasserstandes vom Grundwasserrohr 37, 1958/1995

gungen neben der Wasserbilanz noch einige grundwasserspezifische Prozesse mitbestimmend sind, die zwangsläufig mit den einfachen Anpassungsmethoden nicht mit erfaßt werden. Beide Beispiele repräsentieren in etwa das Spektrum, in dem sich die einzelnen Anpassungsergebnisse bewegen. Abschließend ist noch auf den Rückgang des Wasserstandes im Rohr 37 von Februar 1986 bis Januar 1987 um rund 20 cm hinzuweisen, der sich wasserhaushaltmäßig nicht erklären läßt. Er findet sich völlig übereinstimmend bei Rohr 35 wieder (Bild 18) und ist auch bei Rohr 38 und 42 noch in abgeschwächter Form erkennbar. Die wahrscheinliche Ursache hierfür sind Grundwasserabsenkungen im Zusammenhang mit vorbereitenden Untersuchungen zum Bau einer zentralen Wasserversorgung für Neuglobsow.

11.3 Langzeitsimulationen

Mit dem Vorliegen gut angepaßter Wasserstandsbeziehungen gemäß Gleichung (33) stellt sich zwangsläufig die Frage, inwieweit die Untersuchungsergebnisse auch für eine weiter zurückreichende Betrachtung geeignet sind. Erforderlich ist hierfür natürlich die Verfügbarkeit klimatologischer Eingangsinformationen für die Zeit, in der im Stechlin- und Nehmitzseegebiet noch keinerlei Messungen erfolgten. Für den Niederschlag wurden die Grundlagen mit der Ableitung der bis 1901 zurückreichenden langen Reihe (Kapitel 4.6) geschaffen. Gleich lange Reihen liegen auch für die erforderlichen Klimadaten zur Verdunstungsberechnung vor, die aus dem Vergleich der Messungen von Neuglobsow mit den seit 1893 bestehenden Stationen von Potsdam und Waren bestimmt wurden. Auch bezüglich der im Einzugsgebiet bestehenden Bewuchsbedingungen kann anhand forstwirt-

schaftlicher Informationen angenommen werden, daß sich diese seit Beginn dieses Jahrhunderts nicht grundsätzlich verändert haben. Damit sind in dieser Hinsicht alle notwendigen Voraussetzungen für eine angenäherte Langzeitsimulation des Wasserstandsverhaltens im Untersuchungsgebiet gegeben. Als weitere Anforderung ist die Auswahl geeigneter Meßstellen zu treffen, die für eine weit zurückreichende Berechnung des Wasserstandsganges auch ein den realen Bedingungen entsprechendes Ergebnis erwarten lassen. Problematisch ist dies hinsichtlich der Tatsache, daß mit den anfänglichen baulichen Maßnahmen im Einzugsgebiet der Wasserspiegel des Stechlinsees um rund 20 cm gesenkt und der des Nehmitzsees um rund 30 cm angehoben wurde, was sicherlich nicht ohne Auswirkungen auf das umgebende Grundwasserniveau blieb. Berechnungen auf der Grundlage des nachfolgend gemessenen Wasserstandsverhaltens sind somit für die vorausgegangene Zeit von vornherein mit mehr oder weniger großen systematischen Abweichungen vom tatsächlichen Verlauf behaftet. Die Auswahl von Meßstellen für die Langzeitsimulation fiel somit auf das Gebiet des östlich vorbeifließenden Grundwassers, in dem nach vorliegenden Kenntnissen ein weitgehend anthropogen unbeeinflusstes Verhalten angenommen werden kann. Als Beispiele sind auf Bild 42 die Ergebnisse für den Peetschsee und das Grundwasserrohr 30 dargestellt. Sie zeigen die bis 1909 zurückberechneten Wasserstände einschließlich des Vergleichs mit den bis 1958 zurückvervollständigten Meßwerten. Eine bis 1901 zurückreichende Berechnung war wegen des Bezuges auf den vorausgegangenen optimalen Anpassungszeitraumes nicht möglich. Grundlage der Berechnungen bildeten die für beide Meßstellen abgeleiteten Bestimmungsgleichungen. Sie lauten für den Peetschsee

$$W_{Peetsch} = 57,819 + 0,141 \frac{1}{95} \sum_{i=1}^{95} (N_G - V_L)_i + 0,017 \frac{1}{64} \sum_{i=1}^{64} (N_G - V_S)_i \quad (34)$$

und für das Grundwasserrohr 30

$$W_{R30} = 59,476 + 0,135 \frac{1}{83} \sum_{i=1}^{83} (N_G - V_L)_i + 0,006 \frac{1}{18} \sum_{i=1}^{18} (N_G - V_S)_i \quad (35)$$

Obwohl sich beide Gleichungen sowohl in den Koeffizienten als auch in den optimalen Anpassungszeiten stark unterscheiden, ergeben sie einen gut übereinstimmenden Verlauf der berechneten Wasserstandsganglinien. Zumindest von daher kann davon ausgegangen werden, daß hiermit das tatsächliche Verhalten weitgehend richtig wiedergegeben wird. Es besteht somit eine hinreichende Grundlage für die Bewertung des 38jährigen Meßzeitraumes im Vergleich zum Langzeitverhalten. Zunächst ist festzustellen, daß der Verlauf keinen Trend aufweist. Grundsätzliche Veränderungen im Wasserhaushalt sind somit nicht zu erkennen. Auch die seit Beginn der Messungen aufgetretenen Extreme erweisen sich nicht als besonders markant, sondern als Bestandteil des charakteristischen

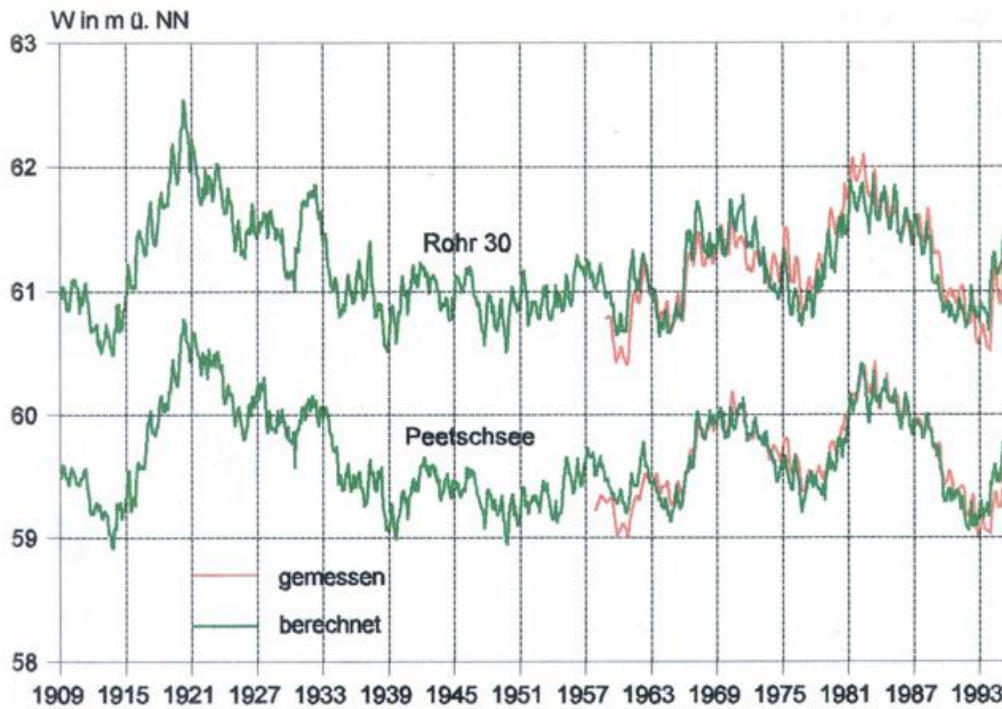


Bild 42: Gemessener und berechneter Gang der Wasserstände (W) vom Peetschsee und vom Grundwasserrohr 30, 1909/1995

Verhaltens im langzeitlichen Wasserstandsgang. Am auffallendsten ist das Wasserstandsmaximum um 1920, das sowohl in der Höhe als auch in der Andauer die ebenfalls sehr hohen Werte von 1981/82 übertrifft. Nach den Erfahrungen des letzten hohen Wasserstandes müßten somit auch zu diesem Zeitpunkt die Tradenwiesen schon einmal völlig unter Wasser gestanden haben. Auch der extreme Rückgang bis zum Jahre 1993 erweist sich keinesfalls als einmalige Besonderheit, vielmehr ist davon auszugehen, daß nach den hohen Wasserständen der 20er Jahre von ca. 1935 bis 1965 ein durchgehend niedriger Wasserstand herrschte, und auch vor dem Anstieg zum Maximum um 1920 war ein sehr tiefer Stand zu verzeichnen.

Diesen Aussagen liegt natürlich das langzeitliche Verhalten von Niederschlag und Verdunstung zugrunde. Ähnlichkeiten zeigen sich schon im Vergleich zum Niederschlag (Bild 10), der neben den Schwankungen der letzten 30 Jahre auch ein Minimum um 1911, die hohen Werte in den 20er Jahren und durchgehend etwas niedrigere Werte zwischen 1935 und 1965 erkennen läßt. Auffallendste Abweichung ist dabei, daß sich das besonders hohe Niederschlagsangebot von Mitte bis Ende der 20er Jahre nur als sekundäres Maximum im Wasserstandsgang bemerkbar macht. Erkennbare Ursachen hierfür zeigen sich bei der Darstellung der langzeitlich zurückberechneten Wasserbilanzen der Land- und Seeflächen auf Bild 43, denen wie bei Bild 36 und 37 wiederum die rückwirkend übergreifende Mittelung von 72 bzw. 84 Monaten zugrunde liegt. Sie unterstreichen auch die im Gebiet östlich des Stechlinsees dominierende Rolle der Wasserbilanz der Landflächen. Ebenso geht hieraus hervor, daß der besonders hohe Wasserstand um 1920 aus dem Zusammenwirken von Niederschlag und Verdunstung resultiert. So liegt die mittlere Niederschlagshöhe von 1911 bis 1919

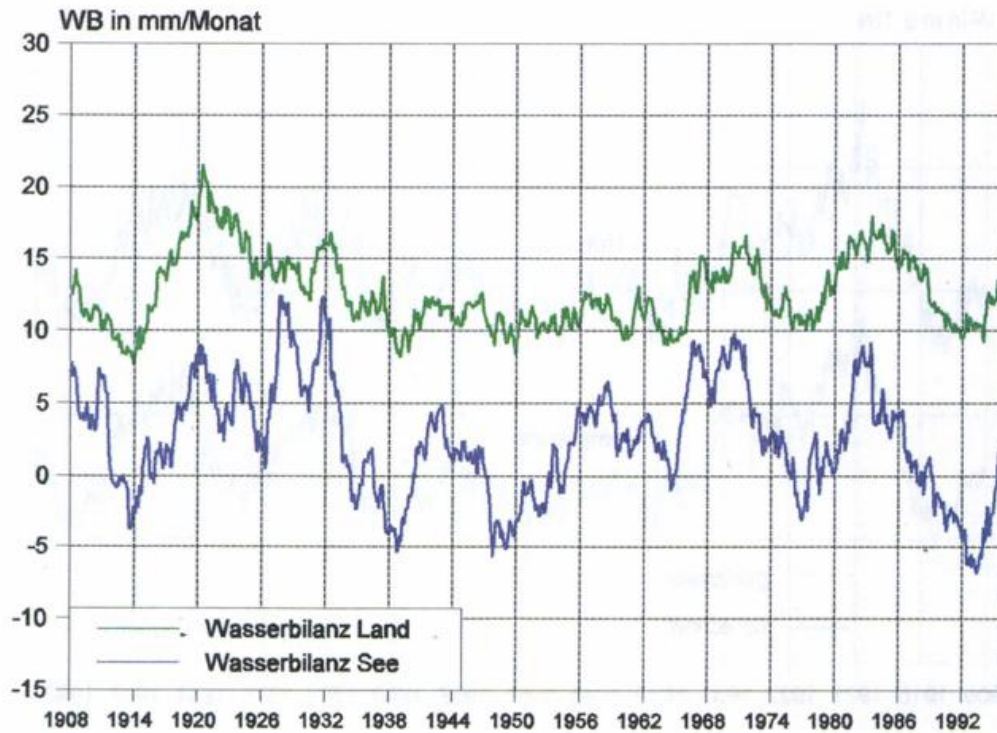


Bild 43: Langjähriger Gang der rückwirkend gemittelten Wasserbilanz (WB) von den Land- und Seeoberflächen, 1908/1995

mit 672 mm/a gegenüber den 705 mm/a von 1920/27 zwar deutlich niedriger, aber die Verdunstungshöhe weist umgekehrt mit 445 zu 519 mm/a noch erheblich größere Unterschiede auf. Somit besteht in der Bilanz mit +227 gegenüber +186 mm/a zur Zeit des Wasseranstieges auch ein weitaus größerer Wasserüberschuß.

Die Ursachen werden allerdings noch deutlicher, wenn für diese Zeiten das Verhältnis von Sommer- und Winterniederschlag einmal näher betrachtet wird. So entfallen im Zeitraum 1911/19 nur 305 mm der mittleren Jahressumme auf das Sommerhalbjahr und 367 mm auf das Winterhalbjahr. Dagegen ist im Zeitraum 1920/27 der Sommerniederschlag mit 427 mm erheblich größer und der Winterniederschlag beträgt nur durchschnittlich 277 mm. Das bedeutet für den ersten Zeitraum ein Überwiegen des Niederschlags in der Zeit der Grundwasserneubildung und im zweiten ein hohes Niederschlagsangebot in der Zeit, in der der größte Teil durch Verdunstung verbraucht wird. Hieran zeigt sich, daß neben der Höhe von Niederschlag und Verdunstung auch deren innerjährliche Verteilungen einen großen Einfluß auf die Prozesse der Wasserspeicherung und des Wasseraufbrauchs und somit auf das Grund- und Seewasserstandsverhalten ausüben.

So erklärt sich auch der starke Wasseranstieg von 1914 bis 1920 aus der besonders hohen Grundwasserneubildung, während die nachfolgend noch höheren Niederschläge durch ihr überwiegendes Auftreten in den Sommermonaten in dieser Hinsicht nicht so stark wirksam werden. Es ist allerdings hinzuzufügen, daß sich derart extreme unmittelbar aufeinander folgende Unterschiede der innerjährlichen Niederschlagsverteilung in ihrer modifizierenden Wirkung auf den Wasserhaushalt nur in diesem Zeitraum der langen Reihe finden. Generell werden die Wasserstandsschwankungen primär

von der wechselnden Höhe des Niederschlages bestimmt. Eine detaillierte Betrachtung der daraus resultierenden Speicherprozesse macht es allerdings erforderlich, auch ihre jahreszeitliche Verteilung mit in Betracht zu ziehen. Im Falle des Maximums von 1920 bilden sie die eigentliche Erklärung für die hierzu beitragende geringe Verdunstungshöhe und die somit besonders hohe Wasserbilanz der Landflächen. Damit ist auch für das speziell zu diesem Zeitpunkt berechnete Wasserstandsmaximum eine wasserhaushaltmäßig begründete Ursache gegeben.

Zu den berechneten Ganglinien wäre noch anzumerken, daß besonders die hohen und tiefen Wasserstände in ihrem tatsächlichen Auftreten kurzzeitig noch etwas extremer ausfallen können. Beispiele dieser Art zeigen sich auf Bild 42 beim Grundwasserrohr 30 für den hohen Wasserstand von 1981/82 und für die niedrigen Werte von 1960/61 und 1992/93. Auch der tiefe Wasserstand des Peetschsees von 1960/61 kann hierzu gezählt werden. In allen Fällen lagen die gemessenen Extreme höher bzw. tiefer als die berechneten. Gleiche Effekte sind natürlich auch für die vorausgegangene Zeit ohne Messungen anzunehmen. Die Ursachen hierfür finden sich in der angewandten Berechnungsmethodik. So werden zwar einerseits durch die rückwirkend übergreifende Mittelung der Bilanzen die langzeitlichen Wasserstandsschwankungen gut angepaßt, andererseits werden aber auch kurzfristig auftretende starke Abweichungen etwas nivelliert. Dadurch können speziell solche Extreme im tatsächlichen Gang des Wasserstandes stärkere Auswirkungen hinterlassen, als sie mit der angewandten Berechnungsmethodik nachzuvollziehen sind.

Ein besonders anschauliches Beispiel hierfür stellt das große Wasserdefizit von 1959/60 dar. Es fällt in eine Periode von annähernd durchschnittlichen Bilanzen, wodurch die tatsächlichen Auswirkungen der kurzfristigen Trockenheit auf den Wasserstand durch den Bezug auf langfristig gemittelte Bilanzen nur in abgeschwächter Form nachvollzogen werden. Das bedeutet letztlich, daß die jeweils über den gesamten Meßzeitraum geltenden optimalen Anpassungszeiten wahrscheinlich je nach Wasserstand und Verteilung des Wasserdargebotes zeitlich etwas variieren und im Falle von 1959/60 sicherlich eine etwas kürzere Reaktionszeit bestanden hat. Gleiche Auswirkungen lassen sich auch als Folge des extrem trockenen Jahres 1911 annehmen. In einer Gesamtbewertung der Berechnungsergebnisse sollte auch auf diese möglichen Abweichungen hingewiesen werden, ohne daß hiermit ein in seinen wesentlichen Zügen richtig simulierter Verlauf des Wasserstandes in Frage gestellt wird. Ergänzend zu dem auf Bild 42 dargestellten Ergebnis ist für den Beginn dieses Jahrhunderts anhand der vorliegenden Niederschlags- und Verdunstungsberechnungen ein mittlerer Wasserstand im Niveau der 1909 beginnenden Ganglinie anzunehmen. Einschließlich dieser Einschätzung besteht somit durch die rückwirkende Simulation für den gesamten Zeitraum dieses Jahrhunderts ein vollständiger Überblick über das wahrscheinliche Wasserstandsverhalten in einem ungestörten Grundwasserleiter des nordbrandenburgischen Endmoränengebietes. Es zeigt sich identisch mit dem Wasserstandsgang eines hierin im ungehinderten Wasseraustausch eingebetteten Sees.

12. Schlußbemerkungen und Ausblick

Mit der Aufarbeitung der langjährigen Untersuchungen zum Wasserhaushalt des Stechlin- und Nehmitzseegebietes liegen sehr detaillierte Ergebnisse über die zeitliche Variabilität und die wechselseitige Beeinflussung aller am Wasserumsatz eines mit vielen Seen durchsetzten nordbrandenburgi-

schen Endmoränengebietes vor. Trotz relativ komplizierter hydrogeologischer Bedingungen eines ober- und unterirdisch nur wenig übereinstimmenden Einzugsgebietes konnten anhand des sehr umfangreichen Datenmaterials sowohl qualitativ als auch quantitativ weitgehend zuverlässige Aussagen getroffen werden. Damit stellen die erarbeiteten Reihen aller Wasserhaushaltsgrößen auch eine zusätzliche Grundlage für die Testung und Verifikation verallgemeinerter Modellrechnungen dar.

Zu Beginn der Untersuchungen bestand ein vom Stechlinsee zum Nehmitzsee weisendes Gefälle von rund 50 cm mit teils oberirdischem, teils unterirdischem Abfluß und einem insofern weitgehend eigenständigen Wasserhaushaltsregime beider Seen. Mit dem Ausbau des Polzowkanals und der Anlage des Regelbauwerks wurde eine ständige Ausspiegelung zwischen beiden Seen hergestellt und der Wasserhaushalt erfordert somit eine einheitliche Betrachtung. Er wird ausschließlich durch das im Mittel 30,9 km² große unterirdische Einzugsgebiet geprägt, während das mit 42,3 km² wesentlich größere scheinbare oberirdische Einzugsgebiet besonders in dem anteilmäßig großen Bereich der östlich gelegenen Tradenwiesen von Natur aus ein eigenständiges Verhalten aufweist. Rückwirkungen auf den Stechlin- und Nehmitzsee sind von hier aus nur möglich, wenn der in früheren Zeiten vom Ostufer des Dagowsees zu den Tradenwiesen hin angelegte und inzwischen weitgehend verschüttete Entwässerungsgraben wieder ausgehoben wird. Damit könnte ein Teil des hier unterirdisch von Südost nach Nordwest fließenden Grundwassers oberirdisch in den Dagowsee und von hier aus zwangsläufig in den Stechlinsee abgeleitet werden, was allerdings nicht ohne nachteilige Folgen für die Wasserqualität des Stechlinsees bliebe.

Die bestimmende Größe im Wasserhaushalt ist die Niederschlagshöhe, die bei einem Gebietsmittel von 654,3 mm/a liegt und einen leichten Anstieg um rund 20 mm/a von Westen nach Osten aufweist. Der größte Teil hiervon wird durch die Verdunstungshöhe von den Land- und Seeflächen verbraucht, deren langjährige Mittelwerte 502,0 mm/a und 716,9 mm/a betragen, was eine mittlere Gebietsverdunstung von 549,2 mm/a ergibt.

Speziell die Verdunstungshöhe von den Seeflächen ist hierbei mit von der erhöhten Verdunstung des über 24 Jahre thermisch belasteten Stechlinsees geprägt. Ohne die für diesen Zeitraum festgestellte effektive Verdunstungserhöhung von 101 mm/a ergibt sich für die Seen insgesamt ein mittlerer Verdunstungsverlust von 677,3 mm/a und somit eine Gebietsverdunstung von 540,6 mm/a. Damit ist anzunehmen, daß der Gesamtabfluß aus dem Gebiet unter ausschließlich natürlichen Bedingungen um 8,7 mm größer ist. Die Auswirkungen des Kernkraftwerkbetriebes auf den Wasserhaushalt des gesamten Stechlin- und Nehmitzseegebietes waren somit relativ gering und blieben im wesentlichen auf die veränderten Temperatur- und Verdunstungsbedingungen des Stechlinsees beschränkt.

Die Speicherprozesse werden hauptsächlich von der aus dem Gebietsniederschlag und der Verdunstungshöhe der Landflächen verbleibenden und letztlich zur Grundwasserneubildung führenden Versickerung von durchschnittlich 152,3 mm/a geprägt. Im unterirdischen Einzugsgebiet fließt das Grundwasser zum Stechlin- und Nehmitzsee und von hier aus nach Kompensation der aus Verdunstung und Niederschlag bestehenden Verluste ober- und unterirdisch ab. Bezogen auf die beiden Seen ist der Zufluß aus dem Grundwasser mit durchschnittlich 594,1 mm/a annähernd so groß wie die Niederschlagshöhe, d.h., Stechlin- und Nehmitzsee werden zu rund 48 % aus dem Grundwasser

gespeist.

Die weiteren Seen im und außerhalb des Einzugsgebietes haben keinen oberirdischen Abfluß. Ihr Wasserhaushalt wird neben Niederschlag und Verdunstung ausschließlich vom Grundwasserverhalten bestimmt. Von der Lage her sind sie als freiliegendes Grundwasser oder sogenannte Grundwasserblänken zu bezeichnen, zumal sie sich jeweils in einem zum nächstgelegenen Vorfluter hin geneigten Grundwasserstrom befinden. Hieraus resultiert auch ihr den zeitlichen Änderungen des Grundwasserstandes angepaßtes Verhalten.

Insgesamt bestehen im Verlaufe des 38jährigen Untersuchungszeitraumes markante Grund- und Seewasserstandsschwankungen, die sich weitgehend in Übereinstimmung mit den zeitlichen Veränderungen des Gebietsniederschlages und der Verdunstungshöhe von den Land- und Seeoberflächen befinden. Ihre Bilanzierung liefert eine wesentliche Grundlage für die langzeitliche Simulation der Wasserstandsgänge und somit ein wichtiges Hilfsmittel für die Ergänzung längerfristiger Meßausfälle und die rückwirkende Berechnung des Wasserstandsverhaltens. Außerdem unterstreichen die festgestellten Zusammenhänge ausdrücklich, daß die vielfältigen Folgeerscheinungen der teils erheblichen Wasserstandsunterschiede in den langzeitlichen Änderungen von Niederschlag und Verdunstung eine ganz natürliche Erklärung finden. Hierzu sind die Überflutungen der Tradenwiesen ebenso zu zählen wie die Austrocknung weiter Uferbereiche der primär grundwassergeprägten Seen. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden aber ebenso eine Grundlage zur Entscheidungsfindung, inwieweit künftig durch vorbeugende oder regulierende Maßnahmen speziell bei Extremsituationen in den natürlichen Wasserhaushalt des Gebietes eingegriffen werden sollte. Als besondere Probleme sind hierbei die Drainage der Tradenwiesen, die temporäre Abflußsteuerung vom Dagowsee zum Stechlinsee und die generelle Regulierung des oberirdischen Abflusses am Regelbauwerk zu nennen. Eine Wiederherstellung der Verbindung zum Dagowsee in die Tradenwiesen ist prinzipiell nicht ratsam, zumal hierdurch die Auswirkungen sehr hoher Wasserstände ohnehin nur etwas abgeschwächt, aber nicht verhindert werden können. Außerdem stellt ein solcher Entwässerungsgraben eine erhebliche Verfälschung des natürlichen Wasserhaushaltes dar und bedarf einer ständigen Wartung. Zur Regulierung des Wasserstandes vom Dagowsee sollte eine feste Absperrung dienen, die frühestens bei einem Wasserstand von 60,70 m über NN zu einem Abfluß in den Stechlinsee führt. Ebenso könnte der gegenwärtig über das Zugwehr des Regelbauwerks manuell gesteuerte oberirdische Abfluß aus dem gesamten Einzugsgebiet durch eine fest installierte Staustufe im Niveau von 59,70 m über NN ersetzt werden. Mit entsprechenden Einrichtungen ist nach den Ergebnissen der langjährigen Untersuchungen sowohl beim Dagowsee als auch beim Stechlin- und Nehmitzsee in besonders gefährdeten Uferbereichen ein unerwünschtes Überfluten zu vermeiden und ansonsten kann der gesamte Wasserhaushalt des Gebietes ohne weitere anthropogene Eingriffe seinem natürlichen Selbstlauf überlassen werden.

Danksagung

Die Bearbeitung des Projektes erforderte umfangreiche Datenbereitstellungen, statistische Auswertungen und Ergebnispräsentationen. Für die Durchführung dieser Arbeiten sage ich den Mitarbeitern B. Haberecht, W. Neubert und A. Sager meinen herzlichen Dank. Gleichzeitig bedanke ich mich bei den Beobachtern der Station Neuglobsow, die durch ihre langjährige gewissenhafte Datensammlung die Grundlage für die Durchführung dieses Projektes geliefert haben.

Literatur

ADW der DDR: Das Rheinsberg-Fürstenberger Seengebiet

Reihe: Werte unserer Heimat, Bd. 25, Akademie-Verlag Berlin, 1974

Bindemann, H.: Die Verdunstungsmessungen auf und an dem Grimnitzsee und am Werbellinsee

Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands. Besondere Mitteilungen Bd. 3 Nr. 3,
Berlin 1921

Buchwitz, H.: 1. und 2. Teilgutachten zum Wasserhaushalt Stechlin- und Nehmitzsee

Met. u. Hydrol. Dienst d. DDR, Hauptamt für Hydrologie Berlin, Oktober 1960
(unveröff.)

Buchwitz, H.: Die Entwicklung und der neueste Stand der Forschung auf dem Gebiet der physikali-
schen Limnologie mit Beispielen aus der Arbeit am Großen Stechlinsee

Ein Beitrag zur Forschungsgruppentagung IX "Hydrologie" in Neuglobsow/Stechlinsee
Met. u. Hydrol. Dienst d. DDR, Hauptamt für Hydrologie Berlin, April 1961
(unveröff.)

Buchwitz, H.: Vorläufiges Gutachten über die zu erwartenden Temperaturverhältnisse des Großen
Stechlin- und Nehmitz-Sees bei verschiedenen technischen Bedingungen

Met. u. Hydrol. Dienst d. DDR, Hauptamt für Hydrologie Berlin, Juli 1961
(unveröff.)

Busch, K. F. u. Krätschmar, H.: Messungen der Grundwasserfließrichtung an einem einzigen Pegel-
rohr mit Hilfe radioaktiver Nukleide am Beispiel des Stechlinsees

WWT, Nr. 16, H. 7/8, 1966

Busch, K. F. u. Luckner, L.: Geohydraulik

VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 2. Aufl. Leipzig 1973

Dornbusch, W.: Zur Messung der Zirkulation im Stechlinsee

Gerl. Beitr. Geophys. 78, H. 6, 1969

DVWK: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen

Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 238/1996

Dyck, S. u. a.: Angewandte Hydrologie, Teil 2

VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1978

- Friedrich, W.: Messungen der Verdunstung von freien Wasserflächen sowie von bewachsenen und unbewachsenen Böden
VI. Balt. Hydrol. Konf. Berlin, Ber. 16, 1938
- Glander, H.: Die Obere Havel in geographisch-hydrologischer Sicht
Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, Math.-Nat. R. XVI, H. 6, 1965
- Golf, W.: Auswertung von Wärmehaushaltsmessungen zur Ermittlung der Verdunstung von Waldbeständen
Z. Meteorol. Bd. 25, H. 2, 1975
- Golf, W., Luckner, K. u. Münch, A.: Berechnung der Waldverdunstung im Wasserhaushaltsmodell AKWA
Meteorol. Z., N. F. 2, 1993
- Heitmann, M. L. u. Schubert, H.: Der Stechlinsee - ein hydrometeorologisches Forschungsgebiet
WWT, 15, H. 11, 1965
- Heitmann, M. L.: Die physikalisch-chemischen Verhältnisse im Stechlin- und Nehmitzsee
Limnologica, Bd. 5, H. 3, 1967
- Heitmann, M. L., Richter, D. u. Schumann, D.: Der Wärme- und Wasserhaushalt des Stechlin- und Nehmitzsees
Abh. Meteorol. Dienst der DDR, Nr. 96, Bd. XII, 1969
- Heitmann, M. L.: Ein Beitrag zum Energieumsatz in einem Binnensee, dargestellt am Beispiel des Stechlinsee
Diss. Karl-Marx-Universität Leipzig 1970 (unveröff.)
- Heitmann, M. L.: Ein Beitrag zur Turbulenz des Tiefenwassers im Stechlinsee
Z. Meteorol., Bd. 21, H. 5-7, 1970
- HfH: 1. bis 10. Gutachten über die meteorologischen und hydrologischen Verhältnisse für das Gebiet des Großen Stechlinsees
Met. u. Hydrol. Dienst d. DDR, Hauptamt für Hydrologie Berlin, 1958 bis 1965
(unveröff.)
- Klämt, A.: Konzipierung eines Nutzer-orientierten Modells zur Berechnung aktueller Monatssummen der Gebietsverdunstung unter Berücksichtigung der Art der Landnutzung
Acta hydrphysica 32, Berlin 1988

- Knoll, W.: Eine Temperaturmeßboje mit drahtloser Meßwertübertragung
WWT, Nr. 26, H. 3, 1976
- Krausch, H.-D.: Nachrichten über Abfluß und Seespiegeländerungen des Stechlinsee-Gebietes
Limnologica Bd. 1, H. 3, 1962
- Kupke, H.: Hydrogeologisches Gutachten über die geologische Struktur des Großen Stechlinsees im Hinblick auf die Beurteilung der Beeinflussung durch das zweite Grundwasserstockwerk
Zentraler Geol. Dienst d. DDR, Berlin, 1958 (unveröff.)
- Malitz, G.: Ergebnisse regionalklimatologischer Untersuchungen langer Reihen von Monatssummen der Niederschlagshöhe
Z. Meteorol., Bd. 41, H. 2, 1991
- Marquardt, G.: Physikalischer und chemischer Vergleich von vier Seen
Diplomarbeit, Humboldt-Universität Berlin, 1967 (unveröff.)
- MHD: Klimaatlas der DDR
Herausgegeben vom Meteorologischen und Hydrologischen Dienst der DDR,
Berlin 1953
- Neubert, W.: Richtlinie zur Bestimmung der Wassertemperatur
Arbeitsmappe Gutachtenerteilung des MD der DDR, Teil III - 22, 1985 (unveröff.)
- Neubert, W.: Ein empirisches Modell zur Bestimmung vertikaler Temperaturstrukturen von stehenden Binnengewässern für das Norddeutsche Tiefland
Acta hydrophysica 35, H. 3, Berlin 1991/92
- Richter, D.: Die Verdunstung von der freien Wasserfläche. Ein Beitrag zur Frage der Ermittlung der Verdunstung natürlicher Seeflächen am Beispiel des Großen Stechlinsees
Diss. Karl-Marx-Universität Leipzig, August 1965 (unveröff.)
- Richter, D.: Einige Ergebnisse von Untersuchungen mit Landverdunstungskesseln
WWT, Nr. 15, H. 11, 1965
- Richter, D.: Results of comparison measurements made with floating pans on Lake Stechlin
Publ. IASH, Nr. 70, 1966

- Richter, D.: Ergebnisse von Vergleichsmessungen mit Floßverdunstungskesseln auf dem Stechlinsee
WWT, Nr. 17, H. 7, 1967
- Richter, D. u. Wiedrich, R.: Die Sichttiefen im Stechlin- und Nehmitzsee
Limnologica, Bd. 5, H. 3, 1967
- Richter, D.: Empirische Zusammenhänge zwischen Windgeschwindigkeit und Oberflächenwellen auf
Binnenseen
WWT, Bd. 18, H. 8, 1968
- Richter, D.: About the Problem of the Determination of Shortperiod Evaporation Amounts
Publ. IASH, Nr. 78, 1968
- Richter, D.: Ein Beitrag zur Bestimmung der Verdunstung von freien Wasserflächen, dargestellt am
Beispiel des Stechlinsees
Abh. Meteorol. Dienst der DDR, Nr. 88, Bd. XI, 1969
- Richter, D.: Der Wärmehaushalt eines 20m²-Verdunstungskessels
Forschungsbericht, MD d. DDR, Berlin, 1970 (unveröff.)
- Richter, D.: Gebietsverdunstung und Wärmehaushalt
Forschungsbericht 5401-0817-018, MD d. DDR, FIH Berlin, Dez. 1971 (unveröff.)
- Richter, D.: Vergleichende Betrachtung verschiedener Methoden zur Bestimmung der Verdunstung
von freien Wasserflächen
Z. Meteorol., Bd. 25, H. 2, 1975
- Richter, D.: Erste Ergebnisse von Vergleichsmessungen zwischen international gebräuchlichen Ver-
dunstungskesseltypen
Z. Meteorol., Bd. 25, H. 4, 1975
- Richter, D.: Zur einheitlichen Berechnung der Wassertemperatur und der Verdunstungshöhe
von freien Wasserflächen auf statistischer Grundlage
Abh. Meteorol. Dienst d. DDR, Nr. 119, Bd. XVI, 1977
- Richter, D., Neubert, W. u. Klämt, A.: Temperatur und Wärmehaushalt des thermisch belasteten
Stechlin- und Nehmitzsees
Abh. Meteorol. Dienst d. DDR, Nr. 123, Bd. XVI, 1979

- Richter, D.: "Verdunstung" in: Klimadaten der Deutschen Demokratischen Republik - Ein Handbuch für die Praxis; Reihe B, Band 6
MD d. DDR, HAK Potsdam, 1984
- Richter, D. u. Koschel, R.: Hydrometeorology of the Lake Stechlin Area
in: Lake Stechlin, a Temperate Oligotrophic Lake
Monographiae Biologiae, Vol. 58
Dr. W. Jung Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster, 1985
- Richter, D.: Zur Korrektur gemessener Verdunstungshöhen mit Floßverdunstungskesseln
Anlage 2 zum Forschungsbericht 16/24/10: "Untersuchungen zum Strahlungs- und Wärmeumsatz an freien Wasseroberflächen"
MD d. DDR, FIH Berlin, Oktober 1986 (unveröff.)
- Richter, D.: Methodische Grundlagen zur Bestimmung der Albedo und der langwelligen Ausstrahlung von der freien Wasseroberfläche sowie der langwelligen Gegenstrahlung der Atmosphäre
Z. Meteorol. Bd. 38, H. 4, 1988
- Richter, D.: Statistische Untersuchungen zum mittleren und extremen Verhalten von Niederschlagsereignissen
Z. Meteorol., Bd. 39, H. 6, 1989
- Richter, D.: Analyse des Langzeitverhaltens hydrometeorologischer Größen am Beispiel der 100jährigen Meßreihe von Potsdam 1893/1992
Hydrometeorologisches Spezialgutachten im Auftrag der Landesanstalt für Großschutzgebiete Brandenburgs
DWD/ZHEA Berlin, 1994 (unveröff.)
- Richter, D.: Niederschlags- und Verdunstungshöhen der Mecklenburgischen Oberseen
Amtliches meteorologisches Gutachten im Auftrage des Staatlichen Amtes für Umwelt und Natur Lübs
DWD/ZHEA Berlin, Februar 1995 (unveröff.)
- Richter, D.: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers
Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194, Offenbach 1995
- Richter, D.: Klimatologische Beschreibung des Gebietes der Havel-Oder-Wasserstraße
Amtliches meteorologisches Gutachten im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde
DWD/Referat HM2, Berlin, Oktober 1995 (unveröff.)

- Rusitzka, R.: Hydrogeologisches Gutachten über das Objekt 1748/II Stechlinsee
Zentraler Geol. Dienst d. DDR, Berlin, 1957 (unveröff.)
- Schulze, O.: Eisverhältnisse des Stechlin- und Nehmitzsees während der Winterhalbjahre 1961/62 bis
1964/65
Bes. Mitt. Gewässkd. Jahrbuch der DDR, Nr. 7, 1967
- Schumann, D.: Zur Definition, Verbreitung und Entstehung der Binnenentwässerungsgebiete
Geograph. Berichte Nr. 46, Bd. 11, Nr. 1, 1968
- Schumann, D.: Über den Verbleib des Niederschlags und das Verhalten des Grundwassers in Binnen-
entwässerungsgebieten
WWT Nr. 18, H. 4, 1968
- Schumann, D.: Erste Ergebnisse einer Wasserhaushaltsuntersuchung im Norddeutschen Jung-
moränengebiet
WWT, Bd. 20, 1970
- Schumann, D.: Die Beziehung zwischen Niederschlagshöhe und Wasserstandsänderung in oberirdisch
abflußlosen Seen des Norddeutschen Tieflandes
WWT, Bd. 22, 1972
- Schumann, D.: Annual Variation of Seepage of Lakes in the Moraine Area of the German Demo-
cratic Republic
Publ. IASH, Nr. 109, 1973
- Turc, L.: Évaluation des besoins en eau d'irrigation évapotranspiration potentielle
Ann. Agron. Paris 12, 1961
- Wendling, U. u. Müller, J.: Entwicklung eines Verfahrens zur rechnerischen Abschätzung der
Verdunstung im Winter
Z. Meteorol. 34, H. 2, 1984
- Winter, R. u. Beckel, L.: GEO Satellitenbildband Atlas Deutschland
RV Reise- und Verkehrsverlag GmbH, 6. Auflage, 1993