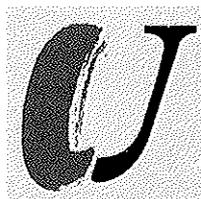


Studien und Tagungsberichte
Band 3

Das Trockenjahr 1992 im Land Brandenburg



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG



Studien und Tagungsberichte
Band 3

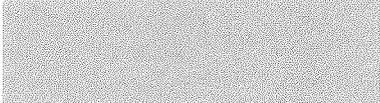
Das Trockenjahr 1992 im Land Brandenburg

Eine Modellbetrachtung
aus wasserhaushaltlicher Sicht



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG





Impressum

Studien und Tagungsberichte
Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg

Herausgeber:
Landesumweltamt Brandenburg
Referat Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Berliner Straße 21 - 25
14467 Potsdam

Gesamtherstellung:
Märker · Wildpark-West

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

Das Trockenjahr 1992 im Land Brandenburg

– Eine Modellbetrachtung aus wasserhaushaltlicher Sicht –

Meike Gierk, Eckhardt Jungfer

Vorwort

Mit dem Land Brandenburg verbindet sich überwiegend die Vorstellung von reizvollen Landschaften, Wäldern, zahlreichen Seen, Flüssen und Bächen. Märkische Seen, Spreewald, Oderbruch, Havelland, Fläming und Schorfheide sind auch heute für Natur- und Heimatfreunde der Inbegriff von Naturreichtum und Heimatgeschichte.

Die Landesnatur Brandenburgs ist im wesentlichen durch Ablagerungen und Schmelzwässer der Eiszeiten gestaltet. Elster-, Saale- und Weichseleiszeit formten ein pleistozänes Flachlandrelief, bei dem häufig vermoorte Niederungen mit flachwelligen Grundmoränenplatten und girlandenförmig verlaufenden Endmoränen abwechseln. Sandig-kiesige Aufschüttungen im Vorfeld der Gletscher sowie Urstromtäler unterschiedlicher Dimension vervollständigen das Bild der glazialen Serie.

In Fläming, Niederlausitz und auch Prignitz, die den Gletschern der vorletzten Eiszeit ihre Bildung verdanken, hat die Nacheiszeit von mehr als 100 000 Jahren ausgereicht, ein ausgereiftes Entwässerungsnetz entstehen zu lassen.

Nördlich davon liegt der Jungmoränenbereich, der erst 20 000 Jahre v.h. eisfrei wurde. Erkennbar ist dies vor allem am unausgereiften Entwässerungsnetz, an zahlreichen Seen, wassergefüllten Schmelzwasserrinnen und vollgelaufenen Toteislöchern.

Generelles Kennzeichen beider Landschaftstypen, der Jung- wie der Altmoränenlandschaft, ist ein Flachrelief mit geringen Höhenunterschieden, das entsprechend kleine Fließgeschwindigkeiten und damit einen geringen Wasseraustausch verbunden mit reduzierter Selbstreinigungskraft der Gewässer nach sich zieht. Trotz der großen Anzahl an Seen und seiner ca. 30 000 km Flußläufe kann Brandenburg somit nicht als hydrologisch begünstigt angesehen werden.

Negativ verstärkt wird die hydrologische Situation noch durch die klimatischen Bedingungen. Im Gegensatz zu weiten Gebieten im Westen der alten Bundesländer liegt Brandenburg bei einer Gegenüberstellung von Niederschlag und Verdunstung jenseits der klimatischen Trockengrenze. Nachteilig

wirkt sich das vor allem für die Landwirtschaft aus, die klimatisch gesehen schon in Normaljahren einen Fehlbetrag von ca. 200 mm Jahresniederschlag beklagt.

Bezieht man noch die negative Bodenstruktur mit ihrer geringen Wasserhaltekapazität in die Betrachtung ein, dann wird deutlich, daß zur klimatischen Aridität noch eine bodenbedingte hinzu kommt. Viel zu schnell sickert das Niederschlagswasser in die Tiefe und steht so der Vegetation nicht in wünschenswertem Umfang zur Verfügung.

Wasser ist Lebensgrundlage und für das Gedeihen von Lebensgemeinschaften unverzichtbar. In seiner Verantwortung für Gesellschaft und Umwelt erwächst dem Menschen daraus die Verpflichtung, Wasser in jeglicher Form zu schützen, und das der Natur durch Menschenhand entnommene Wasser in einem ordnungsgemäßen Zustand der Natur zurückzugeben.

Ein wirksamer Schutz der Ressource Wasser kann aber nicht isoliert von anderen weltweiten Maßnahmen zum Schutz der Erde und ihrer Atmosphäre stattfinden. Zu eng sind die Verflechtungen der Ressourcen untereinander, als daß eine separierte Betrachtungsweise gerecht würde.

Vorbemerkung

Das Land Brandenburg, im Volksmund auch des Heiligen Römischen Reiches „Streusandbüchse“ genannt, ist durch eine besondere klimatische Situation gekennzeichnet. Es gehört zur mitteleuropäischen Kontinentalklimazone und zählt zu den Gebieten Deutschlands mit den geringsten Niederschlägen.

A. PENCK definierte bereits 1910 die allgemeine Trockengrenze. Ihre kartographische Umsetzung gelang erst HENNING und HENNING im Jahr 1976, als sie mit der genauen Fixierung ihrer Lage Regionen negativer Jahreswasserbilanz von denen mit positiver Jahreswasserbilanz räumlich trennten.

Thematische Karten auf der Basis Niederschlag/Verdunstung zeigen deutlich, daß das Land Branden-

burg jenseits der Trockengrenze, also im ariden Bereich liegt.

Wie trocken es in Brandenburg in den einzelnen Jahren tatsächlich ist, geht aus diesen Darstellungen nicht hervor. Deshalb wird im folgenden anhand von vier Standorten, verteilt über das Land Brandenburg, die tatsächliche Trockenheit exemplarisch für das Trockenjahr 1992 untersucht.

Einleitung

In Hydrologie und Hydrometeorologie unterscheidet man drei Verdunstungsbegriffe:

Gewässerverdunstung

- Verdunstung freier Wasserflächen,

Landverdunstung

- Verdunstung inhomogener Landflächen

und

Gebietsverdunstung

- Gesamtverdunstung eines sich aus Wasser- und Landflächen zusammengesetzten Gebietes.

Die Zusammenhänge zwischen Verdunstung und Niederschlag definierte *PENCK* (1910) in den Gleichungen

humides Klima: $N - V > 0$ und

arides Klima: $N - V < 0$.

Daraus präziserte er die allgemeine Trockengrenze mit $N = V$. Sie existiert als theoretische, in Raum und Zeit veränderliche Linie, die allerdings räumlich nicht exakt fixierbar ist. Eher stellt sie einen abgegrenzten Saum dar.

In diesen Beziehungen ist jedoch nicht berücksichtigt, daß zum gegebenen Niederschlagsaufkommen auch das während der Überschußzeiten im Boden gespeicherte Wasser als Input den Pflanzen in defizitären Zeiten zur Verfügung steht.

Die für hydroklimatologische Untersuchungen relevante Größe ist die potentielle Landschaftsverdunstung. Die mittels Klimadaten als Differenz aus Niederschlag und potentieller Landschaftsverdunstung berechnete Wasserbilanz wird durch Hinzufügen des Begriffes „klimatologisch“ charakterisiert.

Die klimatologische Trockengrenze (Begriff nach *LAUER* und *FRANKENBERG*, 1981) dagegen definiert eine Landschaft in Raum und Zeit mit

$N = pLV$ (pLV = potentielle Landschaftsverdunstung),

d.h. als Gleichgewicht zwischen potentieller Landschaftsverdunstung und Niederschlagsaufkommen, wenn das Bodenspeicherwasser dabei unberücksichtigt bleibt.

Klimatologisch gilt ein Gebiet in Raum und Zeit als humid, wenn $N > pLV$ und als arid, wenn $N < pLV$.

Durch die Einbeziehung von Angaben zur Erdoberfläche, wie beispielsweise Bodenarten und Bodenkrusten, konnte die Wasserbilanz von Landschaften nach Landschaftserscheinungen dargestellt und demzufolge eine „landschaftsökologische Trockengrenze“ kartiert werden.

Problematisch bei der Fixierung dieser Grenze auf der Grundlage gemessener Klimadaten nach Raum und Zeit waren die Verdunstungsmessungen, die selbst in der heutigen Zeit noch in ungenügender Anzahl vorliegen.

Gleichermaßen bedarf die Verdunstungsberechnung einer Vielzahl von Parametern, die nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen oder nur für einzelne Standorte gemessen worden sind.

Vor Jahrzehnten ermittelte man für die Darstellung der Trockengrenze den Ariditätsindex (*DE MARTONNE*, 1926), in dem anstelle der Verdunstung die Temperatur herangezogen wurde. Heutzutage benutzt man hingegen Verdunstungsformeln, die zunächst die Verdunstung von Wasser ausdrücken und dann abgewandelt zur Berechnung der Verdunstung von Landschaften führen.

Aktuelle Situation 1992

Das Jahr 1992 war im Vergleich zu den bisher bestimmten langjährigen Mittelwerten (Jahresreihe 1951 – 1980) bei meist überdimensionaler Sonnenscheindauer zu warm. Nach den Ergebnissen der Flächenmittel des Niederschlages war es sowohl im Norden als auch im Osten zu trocken, in den übrigen Gebieten Deutschlands zu naß. Im gesamtdeutschen Raum wurde das durchschnittliche „Niederschlags-Soll“ gerade überboten.

Die Jahresmittelwerte der Lufttemperatur lagen zwischen $-3,5^{\circ}\text{C}$ (Alpengipfel) und 12°C (Breisgau, Ortenau, Niederrhein). Im Weser-Ems-Gebiet, im Rhein-, Nahe-, Lahntal, in Abschnitten des Saar-Moseltales, im Raum Hamburg und in einem 100 km breiten, von der Hunte über die Aller, den Mittellandkanal, die Elbe, Berlin – Leipzig nach Cottbus verlaufenden Streifen, wurden mehr als 10°C gemessen. In den übrigen Teilen Deutschlands konnten 10°C , im Mittelgebirgsraum (ab 600 m) sowie auf den höchsten Erhebungen der Alpen 6°C nicht erreicht werden.

An den Küsten, in den höheren Mittelgebirgen und in den Alpen gab es weniger als 25 Sommertage. In Feldberg/Schwarzwald und auf der Zugspitze kamen Sommertage nicht vor.

Mehr als 50 Tage wurden

- rheinaufwärts ab Wesel bis zum Bodensee,
- donauabwärts ab Ingolstadt sowie an den meisten dort einmündenden Nebenflüssen,

- in München,
- teilweise an Werra, Leine und Weser,
- an der Aller sowie
- verbreitet zwischen Mecklenburger Seenplatte und Thüringer Wald – Lausitzer Gebirge (Havelland 80 Tage)

ermittelt. Die übrigen Gebiete hatten im Durchschnitt 25 bis 30 Sommertage.

Frosttage gab es weniger als 25, insbesondere an der Nordsee und örtlich am Niederrhein verbreitet. Mehr als 100 Tage Frost hatten die höheren Mittelgebirge östlich vom Rhein, die Alpen und Teile des Alpenvorlandes. Mehr als 150 Frosttage wurden auf den höchsten Gipfeln der Mittelgebirge und in den Hochlagen der Alpen gezählt.

Die prozentualen Anteile der Niederschlagshöhen an den mehrjährigen Mittelwerten ergaben ca. 66% (östlicher Oder–Spree–Kanal, Nordostoberfranken) bis 172% (Rhön). Weniger als 100% wurden dagegen ermittelt:

- an den Küsten,
- örtlich im Weser–Ems–Raum,
- in kleineren Gebieten von Hamburg und der Altmark bis Hannover,
- am Harznordrand,
- verbreitet von der Mecklenburger Seenplatte über das östliche Brandenburg bis zum Erzgebirge,
- teilweise im Mittelgebirgsraum
- im Alpenvorland und
- in den Alpen östlich des Lech.

In den übrigen Gebieten wurden 100 % und mehr errechnet.

Hinsichtlich des prozentualen Anteils am Flächenmittel des Niederschlags wiesen der äußerste Norden und auch der Osten ein Defizit von 1 bis 8% zum langjährigen Mittelwert auf. In Bayern ist der Durchschnittswert erreicht worden, in den übrigen Gebieten Deutschlands wurde das prozentuale Flächenmittel um 1 bis 6% überschritten. Das Flächenmittel für die Länder Sachsen–Anhalt, Brandenburg und Berlin betrug 561 mm. Das sind 99% des langjährigen Mittelwertes.

Das Jahr 1992 wird vom Deutschen Wetterdienst als insgesamt geringfügig zu naß (101% = 771 mm) eingeschätzt.

Die Situation in Brandenburg

Gilt diese Beobachtung auch für das Land Brandenburg? Der Bevölkerung wird der Sommer 1992 sicher als „Jahrhundertsummer“ in Erinnerung bleiben. Nahezu mediterrane Verhältnisse bestimmten die Sommermonate, in denen extreme Hitze mit minimalen Niederschlägen korrespondierte.

Im Bereich des öffentlichen Lebens hatte dieser extreme Zustand, außer hitzebedingten Gesundheitsbelastungen, relativ geringe Auswirkungen.

Im Gegensatz dazu reagierten Vegetation und Landschaft viel auffälliger. Die Wachstumsphasen der Pflanzen verkürzten sich – die Folgen für die Landwirtschaft der „Streusandbüchse“ waren verheerend. Die Getreideerträge gingen, verglichen mit den Jahren 1986 – 1991, im Durchschnitt um 22% zurück.

Auch die Forstwirtschaft hatte durch eine Vielzahl an Waldbränden, bei denen insgesamt über 2.000 ha Flächen zerstört wurden, erhebliche Verluste zu verzeichnen. Totalverluste gab es insbesondere bei Neuanpflanzungen von Kiefern– und Fichtenbeständen.

In den Gewässern kam es häufiger als in den Vorjahren zu Fischsterben mit beträchtlichen Verlusten des Fischbestandes (z. B. Teltowkanal). Auch Einschränkungen im Schifffahrtsbereich, insbesondere auf der Oder, waren die unvermeidliche Folge.

Als Repräsentativmeßstellen wurden für die Modellierung die Wetterstationen Angermünde, Cottbus, Neuruppin und Potsdam ausgewählt. Durch diese Auswahl ist gewährleistet, daß eine vergleichsweise Aussage über die gesamte Fläche Brandenburgs getroffen werden kann.

Die Jahressummen der Niederschläge differieren auf Grund der Lage der Stationen, einschließlich Bodenart und –bewuchs, teilweise erheblich.

Im Land Brandenburg sind im Zeitraum 1988 bis 1991 die Niederschläge in den Monaten Januar bis Mai im Vergleich zu langjährigen Mittelwerten (Jahresreihe 1951–1980) relativ gering. Dieser Trend wird auch aus den Abbildungen 1 bis 4 ersichtlich. (Bemerkung zu Abb. 3: In den Monatlichen Witterungsberichten wurde für die Meßstelle in Neuruppin im Januar 1990 keine mittlere Niederschlagsmenge angegeben.)

Im Jahr 1992 ist hingegen eine gänzlich andere Situation zu verzeichnen. Die Niederschlagsverteilung im Land Brandenburg entspricht in keiner Weise der Verteilung nach dem langjährigen Mittelwert. Insbesondere gibt es erhebliche Abweichungen hinsichtlich des Verlaufes im Zeitraum März bis August.

In Angermünde und Neuruppin sind die Niederschlagssummen der Monate Januar bis März mit Schwankungen zwischen 20 und 60 mm, im Gegensatz zu den Standorten Cottbus und Potsdam mit Schwankungen zwischen 30 und 95 mm, relativ gering. In Neuruppin liegen die Niederschlagsmengen in den Monaten Februar, März und April über den Werten des langjährigen Mittels, in Angermünde dagegen betrifft dies nur den Monat März des Jahres 1992.

Abb. 1 Niederschläge der Station Angermünde 1990 - 1992

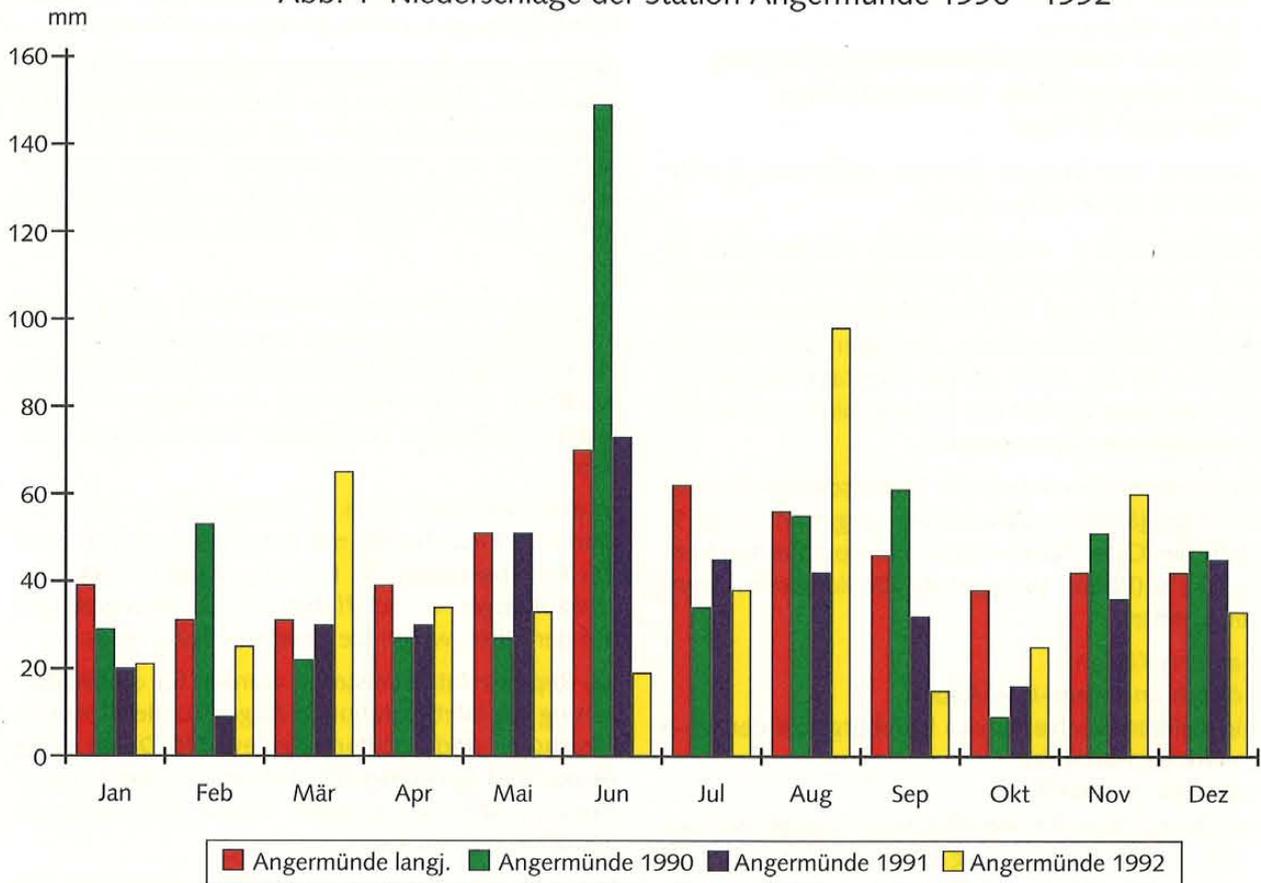


Abb. 2 Niederschläge der Station Cottbus 1990 - 1992

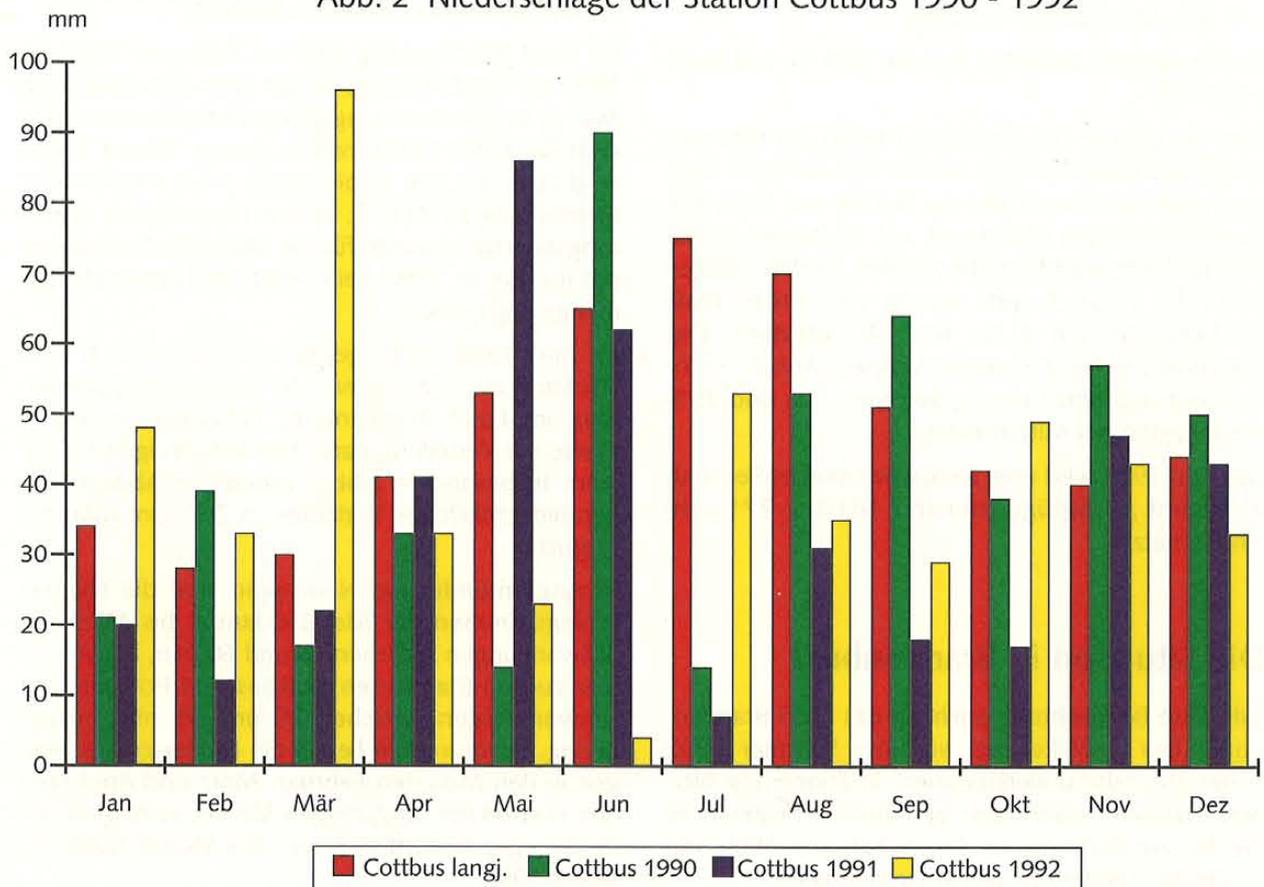


Abb. 3 Niederschläge der Station Neuruppin 1990 - 1992

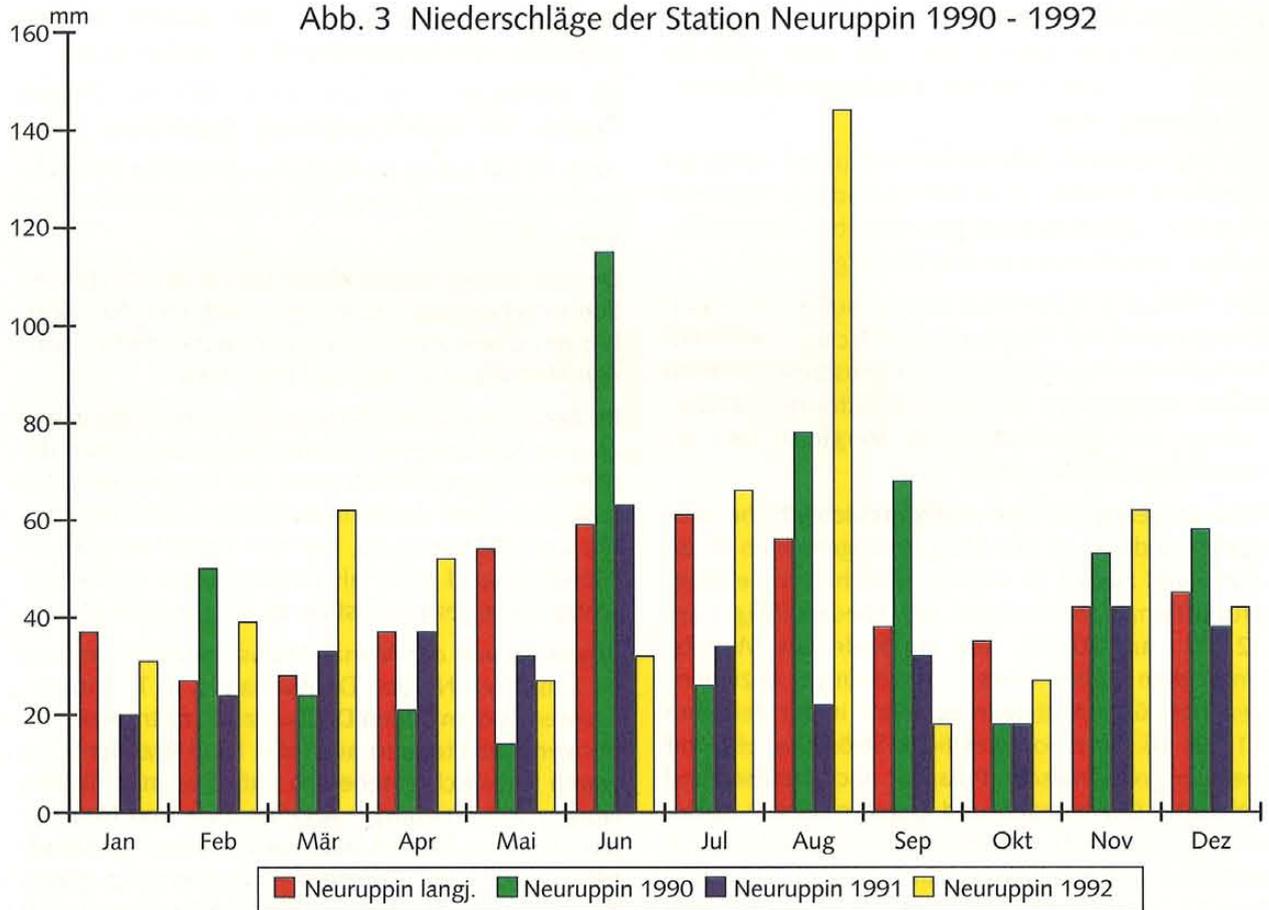
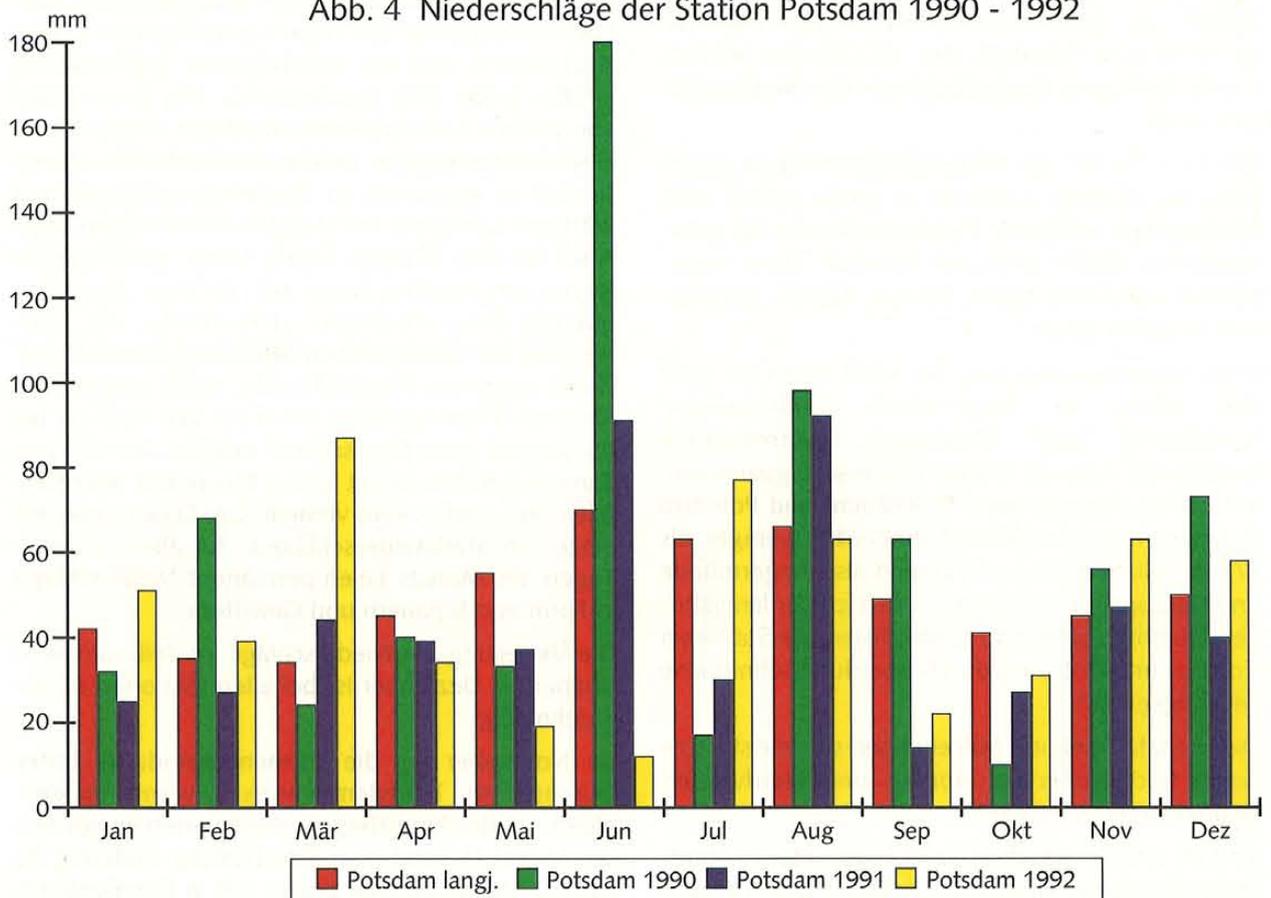


Abb. 4 Niederschläge der Station Potsdam 1990 - 1992



In Cottbus und Potsdam liegen die Niederschlagsmengen bis zum Monat März, also auch schon im Januar, im Vergleich mit den langjährigen Mittelwerten eindeutig höher.

Der Monat Januar war nach den Monatswerten bei überdurchschnittlicher Sonnenscheindauer allgemein zu warm. Das vieljährige Flächenmittel des Niederschlags wurde jedoch in Brandenburg erreicht.

Der Februar hingegen war nur im äußersten Süden Deutschlands bei überdurchschnittlicher, ansonsten bei unterdurchschnittlicher Sonnenscheindauer zu warm. Hinsichtlich der Flächenmittel des Niederschlags war Brandenburg im Vergleich mit der langjährigen Reihe zu naß.

Auch in bezug auf eine unterdurchschnittliche Sonnenscheindauer ist der März im allgemeinen als zu warm und zu naß zu werten. Ursache für die überproportionale Nässe sind die Niederschläge am 12./13., am 20./21. und am Ende des Monats. Unter dem Einfluß eines zum Nordmeer abziehenden Tiefs über Mitteleuropa setzte in der Zeit vom 11. bis 16. eine nordwestliche Strömung ein, mit welcher grönländische Polarluft nach Deutschland gelangte. Den Norden und Osten erreichte später arktische Polarluft. Die mitgeführten Frontsysteme brachten verbreitet Regen und Schauer. Zwischen dem 17. und 21. war eine westliche Strömung wetterbestimmend. Atlantische Störungen drangen bis zum Süden Deutschlands vor und verdrängten mit milder oder kühler Meeresluft die hier lagernde grönländische Polarluft. Am 19./20. des Monats wurde dann ganz Deutschland von den Niederschlägen erfaßt.

Die Ursache für die Niederschlagsmengen gegen Ende des Monats waren bis in große Höhen über Mitteleuropa reichende Tiefdrucksysteme mit grönländischer, später arktischer Polarluft. Diese verursachten verbreitet Regen, Schnee, Regen-, Schnee- und Graupelschauer.

Vom Gesamtniederschlag für 1992 fielen bis April des Jahres in Angermünde (Jahressumme $N=466\text{mm}$) und Neuruppin (Jahressumme $N=602\text{mm}$) mehr als $1/3$ der Niederschlagssummen, in Cottbus (Jahressumme $N=479\text{mm}$) und Potsdam (Jahressumme $N=556\text{mm}$) eindeutig weniger als $1/3$ der Niederschläge. Während also Angermünde und Neuruppin im Frühjahr im Bereich der langjährigen Durchschnittswerte lagen, fielen die Stationen Cottbus und Potsdam durch überdurchschnittliche Feuchtigkeit auf.

Die Monate April und Mai erwiesen sich meist als zu warm und, außer im Norden und Nordwesten Deutschlands, zu trocken.

Im Juni sah die Situation ähnlich aus. Nur in Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, im Saar-

land, Baden-Württemberg und Bayern war es gegenüber den langjährigen Mittelwerten zu naß.

Als eindeutig zu trocken kann man die übrigen Gebiete, also auch Brandenburg, bezeichnen.

Auch im Juli war es im Norden und Westen Deutschlands vorwiegend warm und trocken, im Süden und Osten zu naß.

Der September zeigte sich bei überdurchschnittlicher Sonnenscheindauer zu trocken, während der Oktober mit überwiegend unterdurchschnittlicher Sonnenscheindauer zu kalt und feucht war.

Im Zeitraum Mai bis Oktober des Jahres 1992 liegen an allen Standorten in Brandenburg die Summen der Niederschläge erheblich unter den langjährigen Mittelwerten. Zwei Ausnahmen bilden jedoch Neuruppin und Angermünde, wo rein mengenmäßig im Monat August mehr als das Doppelte an Niederschlag zu verzeichnen ist als im langjährigen Mittel.

Allgemein war der Monat August zu warm und nur im äußersten Norden Deutschlands, in Thüringen, Sachsen und im Süden Deutschlands zu trocken. Die übrigen Gebiete, also auch das Land Brandenburg, waren statistisch gesehen zu naß. Das mag für den Norden Brandenburgs, Angermünde und Neuruppin, zutreffen, für den Süden des Landes – die Standorte Cottbus und Potsdam – gilt allerdings genau das Gegenteil. Die hohen Niederschläge lassen sich wie folgt erklären.

Im Zeitraum vom 18. bis 22. verlagerte sich eine Luftmassengrenze aus dem Voralpengebiet in den Küstenraum und die nachfolgende Subtropikluft erfaßte große Teile Deutschlands. Vor einer später von Westen heranziehenden Kaltfront entstand eine Gewitterkonvergenz, welche rasch ostwärts abzog, so daß es verbreitet zu Starkniederschlägen und kräftigen Gewittern mit Hagel und Orkanböen kam. Auch an den übrigen Tagen traten gebietsweise Regen und Regenschauer auf. Ab dem 23. überquerten dann atlantische Tiefausläufer mit einer westlich bis südwestlichen Strömung Deutschland. Dabei wurde im Wechsel kühle, milde und warme Meeresluft herangeführt, die in der Zeit vom 26. bis 28. August ganz Deutschland erfaßte. Am 31. zog dann eine Kaltfront mit kühler Meeresluft über Mitteleuropa, und es kam verbreitet zu Dauerregen mit einzelnen Starkniederschlägen. An allen anderen Tagen des Monats fielen permanent Niederschläge in Form von Schauern und Gewittern.

Die Verteilung der Niederschläge im Zeitraum September bis Dezember ist bei allen Stationen relativ gleichmäßig.

Im November lag die Sonnenscheindauer unter Durchschnitt. Trotzdem war es zu warm. Im Vergleich mit den langjährigen Mittelwerten erwies sich der Monat November in Brandenburg eindeutig als zu naß. Der Dezember zeigte sich in Brandenburg,

Abb. 5 Niederschläge Station Angermünde 1992

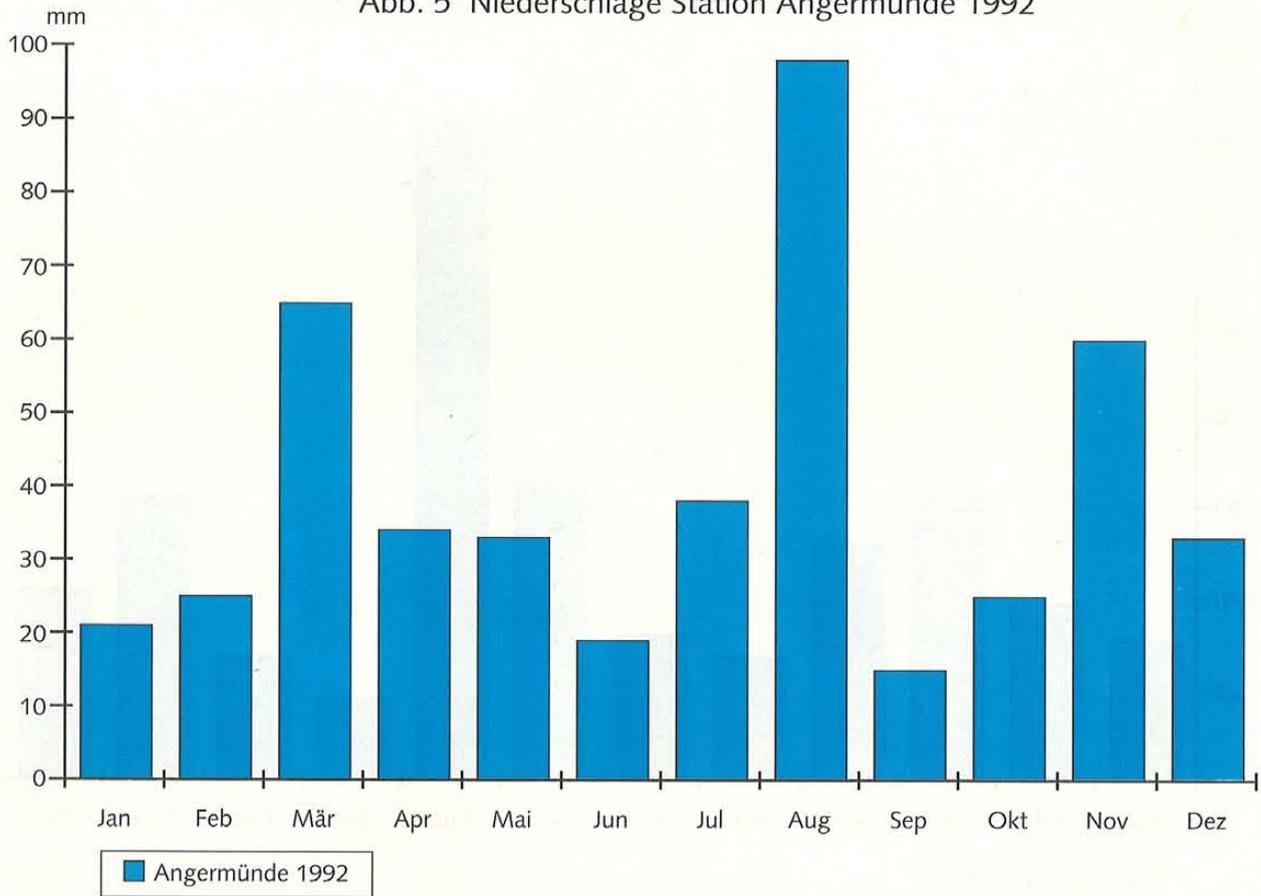


Abb. 6 Niederschläge Station Cottbus 1992

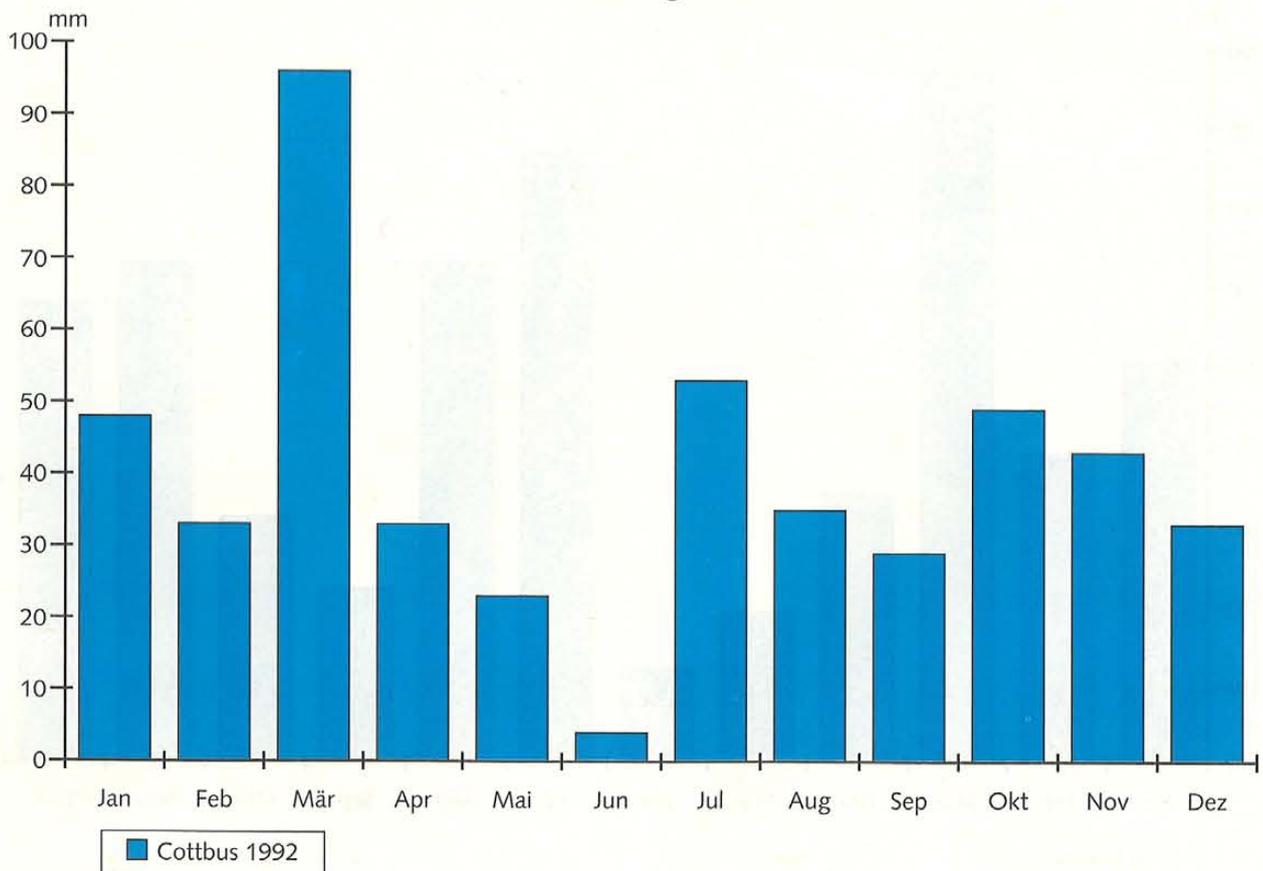


Abb. 7 Niederschläge Station Neuruppin 1992

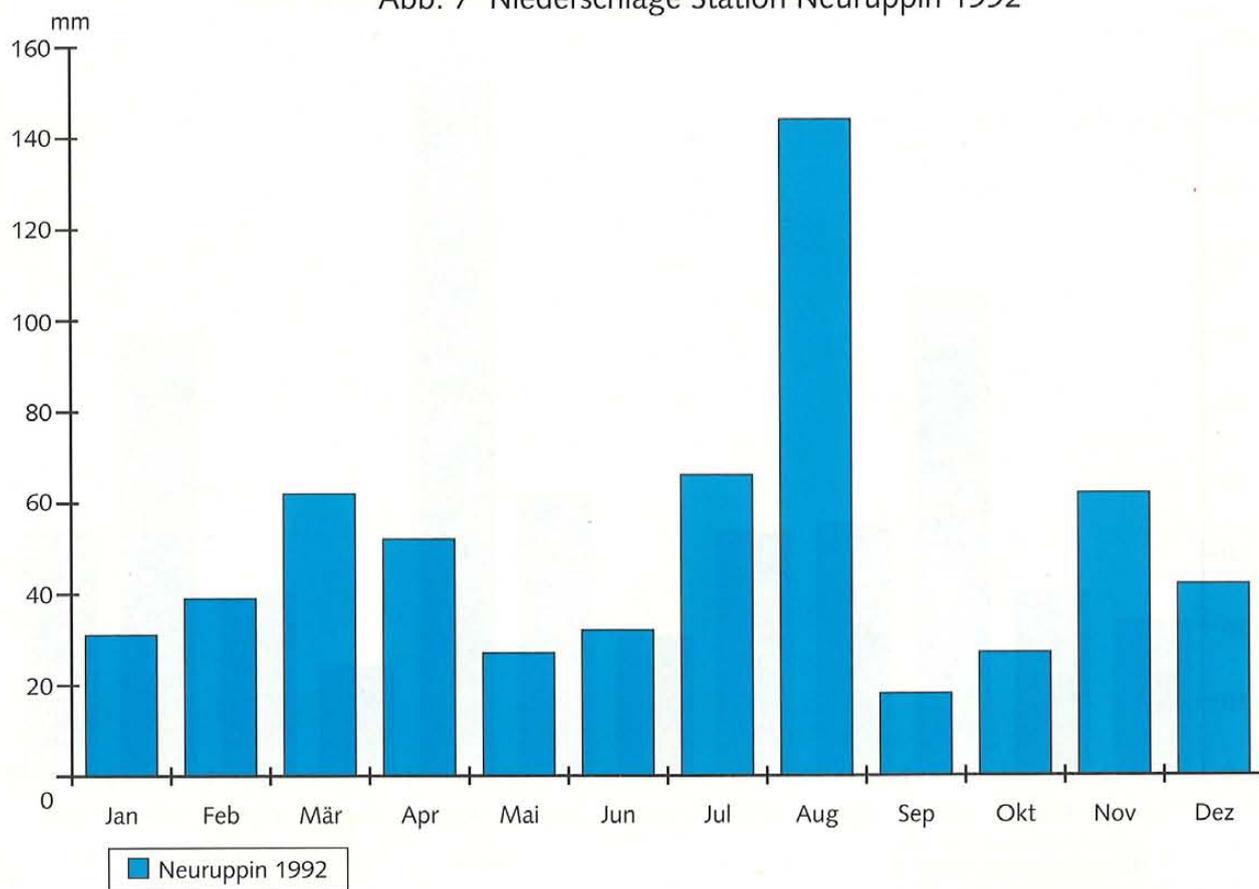
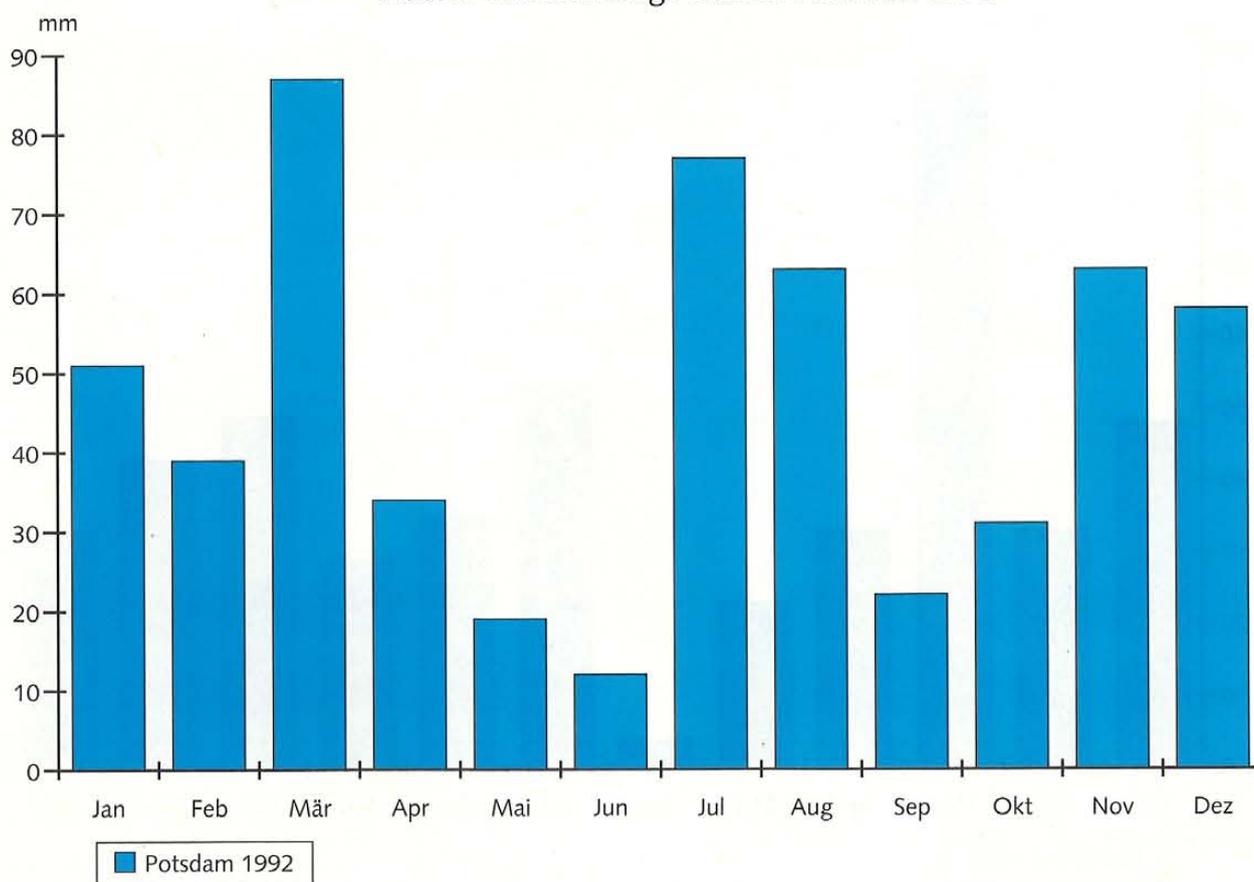


Abb. 8 Niederschläge Station Potsdam 1992



wie auch in Berlin und Sachsen-Anhalt, ebenfalls zu warm und zu feucht, alle übrigen Gebiete Deutschlands eher zu trocken.

In den Abbildungen 5 bis 8 sind die dargestellten Situationen gut nachvollziehbar.

Kurzbeschreibung der gewählten Standorte

(Geographische Angaben)

Angermünde

Die Station liegt im Bereich einer welligen Platte (+ 55 mNN) im Nordwesten der Stadt, südlich des Ortes Kerkow an der B 198. Das Gelände in der unmittelbaren Umgebung ist flach und mäßig nach Südwesten zu einer flachen Senke mit Wasserstau hin geneigt und allseitig offen. Im Norden grenzt ein Gartengrundstück mit Büschen und Bäumen an das Meßfeld. Ansonsten überwiegt in der unmittelbaren Umgebung der Station in allen Richtungen Ackerland. Die Station ist repräsentativ für den Nordosten Brandenburgs.

Cottbus

Die Stadt Cottbus liegt im Niederungsgebiet (+ 69 mNN) der Spree. Am Nordwestrand der Stadt befindet sich die Station.

Das sie umgebende Gelände ist eben und überwiegend mit Büschen und Bäumen bewachsen. Lokal ist Ackerland vorhanden. Weiter im Westen und Südwesten erstrecken sich ausgedehnte Braunkohle-Bergbaugelände.

Neuruppin

1 km vom Südrand des Stadtgebietes (+ 38 mNN) entfernt, steht die Station am westlichen Ufer des Ruppiner Sees. Das Gelände in der unmittelbaren Umgebung ist flach, steigt aber dann nach Westen hin leicht an. Im Westen bis Südwesten der Station wechseln Gartenland und Umland mit Baumgruppen und Gebüsch. Im Nordosten schließt sich eine feuchte, z. T. sumpfige Wiese an. 20 m östlich der Meßstation beginnt die Wasserfläche des Ruppiner Sees.

Potsdam

Am Südrand der Stadt (600 m vom Stadtrand entfernt; + 81 mNN) findet man schließlich die Station am Nordwesthang des Telegraphenberges. Das Meßfeld liegt innerhalb eines größeren, im Süden der Stadt anschließenden Waldgebietes mit vorherrschend Kiefernforsten. Es befindet sich auf einer Lichtung, umgeben von Mischwald. Das Gelände in der unmittelbaren Umgebung ist flach mit mäßig

geneigten Anteilen – nach Westen bis Nordwesten zum Templiner See bzw. zur Havel um ca. 50 m abfallend, nach Süden stärker ansteigend.

Zu Wetterlagen und örtlichen Wettererscheinungen ergeben sich an den Stationen Angermünde, Neuruppin und Potsdam keine Besonderheiten. Lediglich an der Station Cottbus wird die Wetterlage durch nicht quantifizierbare Emissionen, verursacht durch ein 3,5 km entfernt befindliches Heizkraftwerk und die Kraftwerke Jänschwalde (14 km nordöstlich), Vetschau (15 km westlich) und Lübbenau (25 km westlich bis nordwestlich), beeinflusst.

Untersuchungsmethodik – Grundlagen und Beschreibung des Modells

Um das Maß der Trockenheit bzw. Feuchtigkeit bestimmen zu können, bedarf es eines Modells, das einen Vergleich der vier ausgewählten Stationen miteinander sowohl unter genormten als auch unter tatsächlichen Standortbedingungen erlaubt.

Dazu ist es notwendig, die Wasserhaushaltskomponenten

Niederschlag,
Bodenspeicherwasser,
aktuelle Landschaftsverdunstung und
Überschußwasser

zu bilanzieren. Die Prozesse des horizontalen ober- und unterirdischen Wassertransportes durch oberflächenwassernahe Grund- und Stauwasserzonen werden an dieser Stelle zur Vereinfachung nicht berücksichtigt. Darüber hinaus wird eine gleichmäßige Verteilung von Verdunstung, Niederschlag und Infiltration standardisiert angenommen. In praxi ist dieser genormte Zustand jedoch sehr selten der Fall.

Sowohl die Messung als auch die Berechnung der potentiellen Landschaftsverdunstung sind unter normalen Umständen mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Wenn Messungen durchgeführt werden, sind dazu aufwendige Lysimeteranlagen nötig, um den tatsächlichen Werten der Verdunstungshöhe hinlänglich näher zu kommen.

Dagegen besteht bei Berechnungen (PENMAN, 1963) die Schwierigkeit darin, die notwendigen Ausgangsdaten (z. B. Strahlungs-, Temperatur-, Luftfeuchte- und Winddaten) bereitzustellen.

Dem hier angewendeten Modell liegt eine empirische Formel von PAPADAKIS (1966) zugrunde. Er geht davon aus, daß sich die Verdunstung an der Verdunstungsoberfläche proportional zum Sättigungsdefizit verhält. Als Ausgangsdaten werden lediglich die mittleren täglichen Tagesminimum- und -maximumtemperaturen benötigt.

Zugrunde gelegt wurde die Beziehung

$$pV = 7,5 (E_{\max} - E_{\min-2})$$

- mit pV – potentielle Verdunstung in mm/Monat,
 E_{\max} – Sättigungsdampfdruck bei der mittleren täglichen Maximumtemperatur in mm Hg und
 $E_{\min-2}$ – Sättigungsdampfdruck bei der mittleren täglichen Minimumtemperatur in mm Hg.

Jeder Boden kann in Abhängigkeit von seiner Bodenart (Körnung und Gefüge) nur eine bestimmte Menge an Wasser – die Haftwassermenge – aufnehmen. Diese Haftwassermenge, die entgegen der Schwerkraft festgehalten werden kann, nennt man Feldkapazität. Den Pflanzen ist es aber nicht möglich, diese Wassermenge vollständig zu nutzen. Die Saugspannungskräfte sind in der Regel dazu nicht ausreichend, so daß ein bestimmter Rest an Feuchte immer im Boden verbleibt – die Bodenfeuchte jenseits des permanenten Welkepunktes. Die Differenz

mit S_{pn} bzw. S_{pn-1}

- WK
 N
 pLV

e

- Wassergehalt des Bodens zum Zeitpunkt n bzw. n-1, wobei $S_{p0} = WK$,
 - Wurzelraumkapazität,
 - Niederschlagsmenge in mm,
 - potentielle Landschaftsverdunstung und
- = 2,718282.

Unter potentieller Landschaftsverdunstung wird im allgemeinen die Wasserabgabe eines Gebietes der dort entsprechend vorhandenen Pflanzendecke verstanden, wenn sowohl für die Evaporation von freiem Boden bzw. möglichen Wasserflächen als auch für die Transpiration der Pflanzen genügend Boden- und Oberflächenwasser zur Verfügung steht. Der anfängliche Bodenwassergehalt ($S_{p(0)} = WK$) wird aufgrund von empirischen Werten abgeschätzt. SCHMIEDECKEN (1978) (andere Ergebnisse sind dazu bisher nicht bekannt) bietet dazu eine entsprechende Tabelle an.

Wurzelraumkapazität in mm

Bodenart	Gemüse	Kartoffeln Rüben	Grasland Sträucher	Bäume	Wald
Sand	25	60	50	150	250
Lehmiger Sand	45	100	90	220	300
Sandiger Lehm	55	130	110	250	350
Lehm	70	160	130	300	400
Toniger Lehm	60	140	120	250	350
Ton	50	120	100	200	300

(Quelle: Schmiedecken, 1978)

aus dem Wassergehalt bei Feldkapazität und der Bodenfeuchte beim permanenten Welkepunkt ist demnach die Menge an pflanzenverfügbarem Wasser.

Den größten Anteil davon beziehen die Pflanzen aus den oberen Bodenhorizonten. In diesem Fall wird dafür eine Schöpftiefe von 1 m angenommen. Damit ergibt sich die Menge an pflanzennutzbarem Wasser (Wurzelraumkapazität) aus der Menge an pflanzenverfügbarem Wasser multipliziert mit der Bodentiefe (Wurzelraum).

Um den sich ändernden Bodenwassergehalt zu berechnen, wird die Formel von PFAU (1966) / SCHMIEDECKEN (1978) herangezogen:

$$S_{pn} = \frac{S_{pn-1}}{(pLV-N)_n} - \frac{WK}{e}$$

e

Für mitteleuropäische Breiten wird dabei Wassersättigung bereits im Januar angenommen. Das wäre der Normalfall. Wenn allerdings der Vorjahresniederschlag nicht ausreicht, den Boden bis zur Wurzelraumkapazität aufzufüllen, kommt es zu Berechnungsfehlern.

In Extremfällen müßte dann ein Approximationsverfahren (PFAU, 1966) durchgeführt werden.

Für S_p werden die Werte am Ende des jeweiligen Zeitraumes n, hier Monate, eingesetzt.

Vergleich der Standorte unter genormten Bedingungen

In den folgenden Abbildungen ist die klimatische Wasserbilanz, berechnet nach SCHMIEDECKEN (1978), für die Standorte Angermünde, Cottbus, Neuruppin und Potsdam dargestellt.

Grundlegendaten für die Berechnung sind die

- Niederschlagsmengen N in mm,
- mittlere tägliche Maximumtemperatur T_{max} in °C und
- mittlere tägliche Minimumtemperatur T_{min} in °C.

Es wurden berechnet:

- potentielle Landschaftsverdunstung pLV in mm,
- Sickerwasser S in mm,
- aktuelle Landschaftsverdunstung in mm und
- aktuelle Bodenfeuchte $S_{p(n)}$ in mm.

Bei den Szenarien 1 und 2 wurden die Standortvoraussetzungen

- Bodenart und
- Bodenbewuchs standardisiert.

Da aktuelle Bodenschätzungen flächendeckend für das Land Brandenburg zur Zeit noch nicht vorliegen, wurden sowohl Bodenart als auch Bodenbewuchs in Anlehnung an die Standortbeschreibungen des Deutschen Wetterdienstes festgelegt und die Wurzelraumkapazität unter Berücksichtigung der Werte von *SCHMIEDECKEN* (1978) bestimmt.

SZENARIO 1

Für das Szenario 1 wurden die Prämissen für alle vier Standorte wie folgt normiert:

- Bodenart: Sand
- Bodenbewuchs: Anpflanzungen mit Rüben oder Kartoffeln.

Danach ergibt sich eine Wurzelraumkapazität von 60 mm.

Der Kurvenverlauf der aktuellen Bodenfeuchte ist während des Jahresablaufes jeweils bei den Meßpunkten Potsdam und Cottbus identisch. Die Bodenfeuchte sinkt von April bis September permanent ab – verläuft sogar gegen Null. Erst ab Oktober, wenn $N > pLV$ ist, steigt die aktuelle Bodenfeuchte allmählich an. Ein Sickerwasserstrom stellt sich hingegen erst im Dezember ein.

Dagegen sieht der Kurvenverlauf in Angermünde und Neuruppin, zumindest in den Sommermonaten, verschieden aus. Die aktuelle Bodenfeuchte sinkt nur bis Juli, denn im August sind an beiden Standorten, im Gegensatz zu Cottbus und Potsdam, stärkere Niederschläge zu verzeichnen, die allerdings nur in Neuruppin dazu ausreichen, einen Sickerwasserstrom zu bilden. Die Bodenfeuchte hat hier bereits im August das akkumulierte Defizit wieder aufgeholt und den Ausgangswert vom Monat Januar erreicht. Im September sinkt sie dann, aufgrund von $N < pLV$, wieder ab, um im Oktober und November den Ausgangswert des Monats Januar erneut zu erreichen.

Für alle vier Positionen spiegeln die Graphiken (Abb. 9 bis 12) eindeutig wider, daß die jeweils aktuelle Bodenfeuchte vom Januar im Dezember wieder erreicht werden würde.

Abb. 9 Station Angermünde 1992

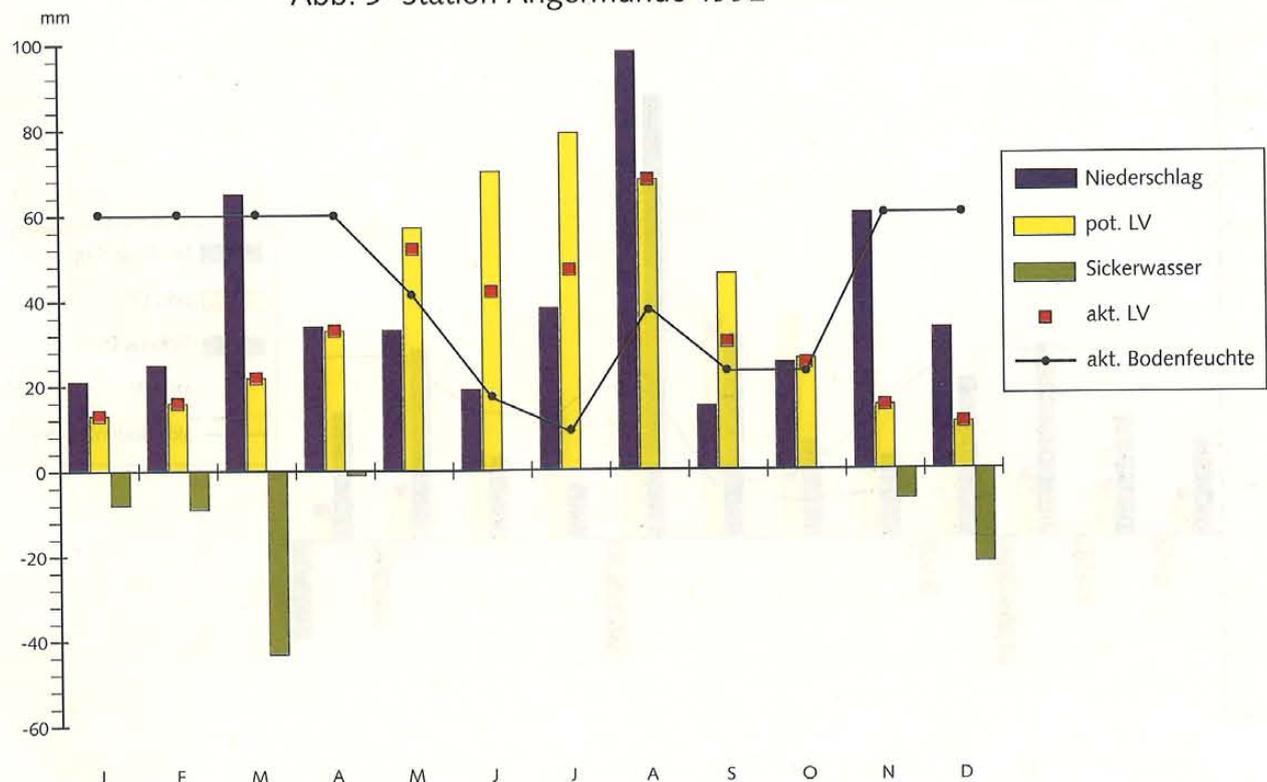


Abb. 10 Station Cottbus 1992

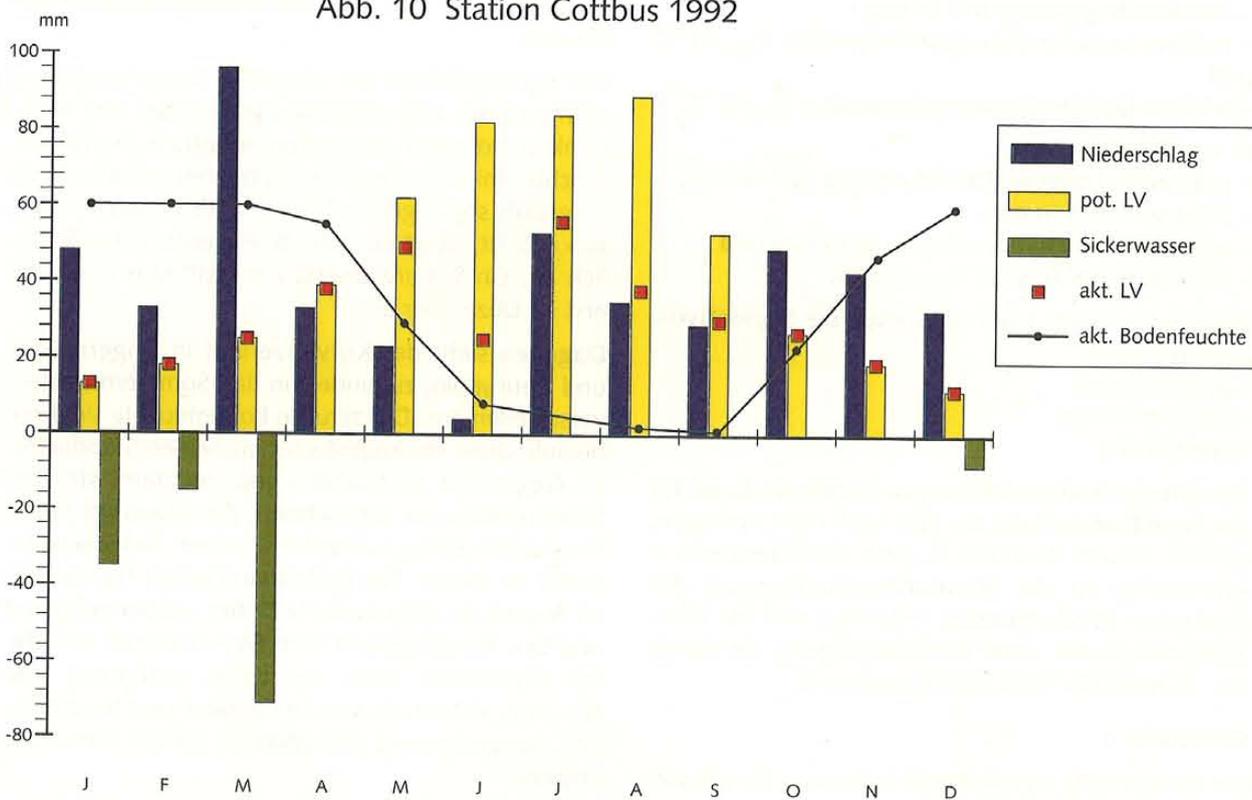


Abb. 11 Station Neuruppin 1992

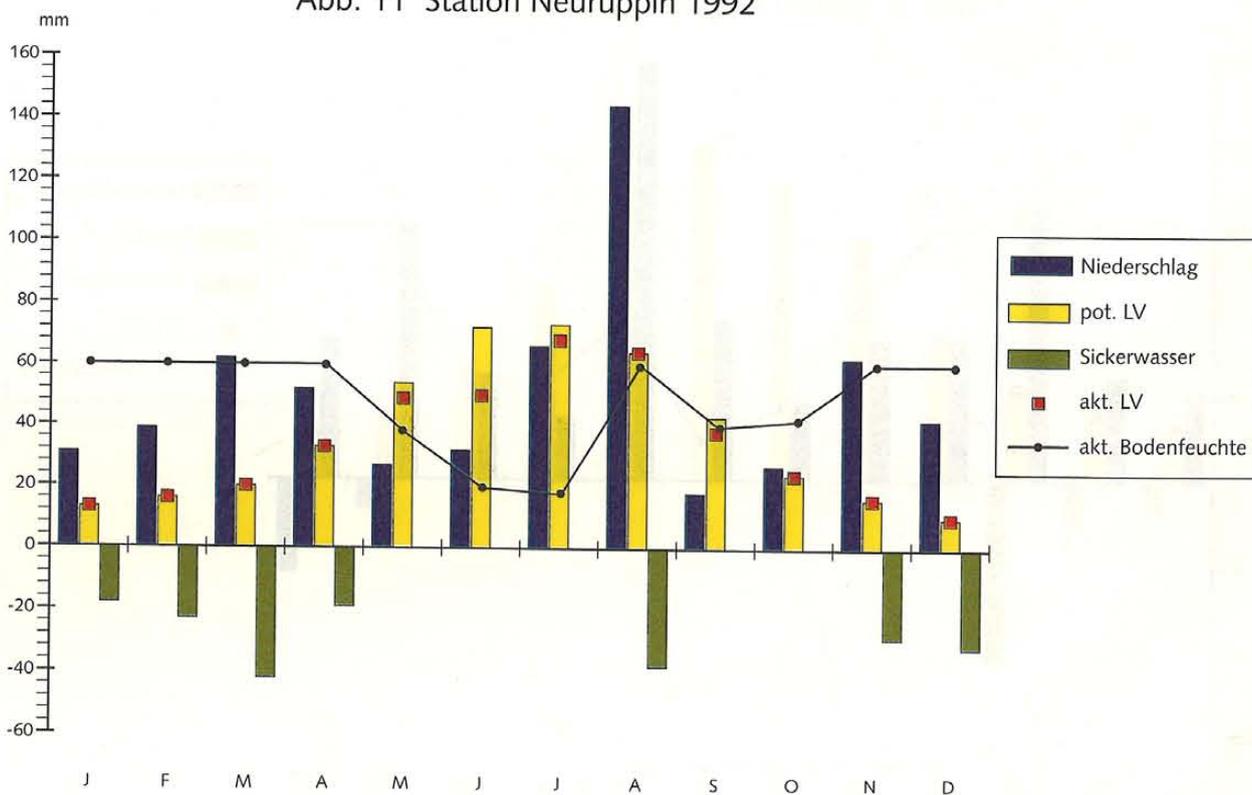
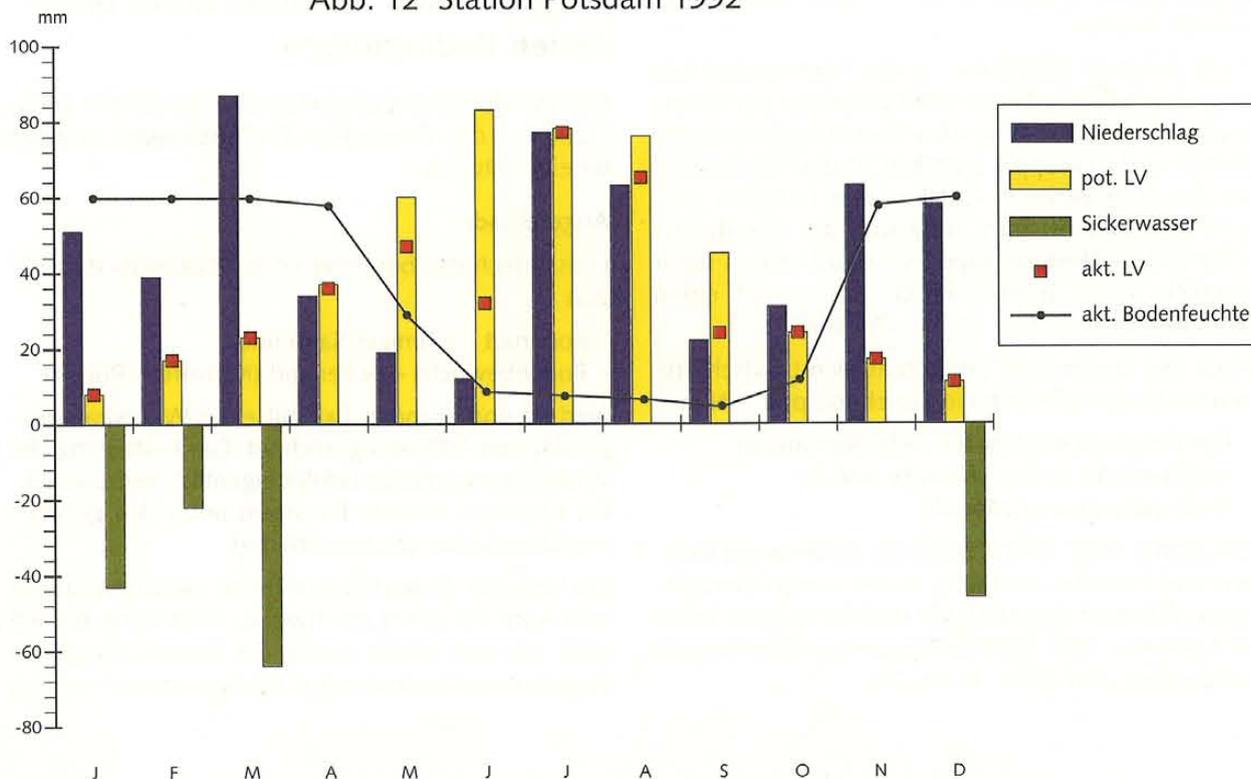


Abb. 12 Station Potsdam 1992



Das heißt, daß trotz extremer Trockenheit in den Sommermonaten am Ende des Jahres (Dezember) ein gewisser Anteil an Sickerwasser im Boden vorhanden ist. Dieser Sickerwasseranteil differiert jedoch bei den Standorten erheblich. Während in Angermünde, Neuruppin und Potsdam der Sickerwasseranteil zwischen 20 und 40 mm liegt, ist in Cottbus im Dezember nur ein Anteil von 8 mm zu verzeichnen. Allerdings ist in Cottbus dieses Kontingent im Monat März mit 70 mm vertreten – im Gegensatz dazu liegt er bei allen anderen Meßpunkten zwischen 40 und 60 mm.

Man muß dabei berücksichtigen, daß die Berechnung der aktuellen Bodenfeuchte zu Beginn des Jahres entscheidend davon abhängig ist, ob im Dezember des Vorjahres Wassersättigung erreicht worden ist bzw. wie hoch der Bodenwassergehalt gewesen war (siehe auch Erläuterung bei der Beschreibung des Berechnungsmodells).

Aus den Berechnungen der potentiellen Landschaftsverdunstung geht hervor, daß diese für fünf bis sechs Monate des Jahres 1992 größer als der Niederschlag ist. Schlußfolgernd ergibt sich, daß laut Definition der klimatischen Trockengrenze (PENCK, 1910), das Land Brandenburg zumindest 1992 tatsächlich zu den Gebieten mit überdurchschnittlicher Trockenheit gehört. Es ist demnach klimatisch betrachtet dem Bereich des ariden Klimas zuzuordnen (Abb. 9 bis 12).

SZENARIO 2

Im Szenario 2 wurden die Annahmen für die gewählten Standpunkte wie folgt festgelegt:

Bodenart: Ton

Bodenbewuchs: Gemüse.

Danach ergibt sich eine Wurzelraumkapazität von 50 mm.

Aus dem Kurvenverlauf des Kriteriums der aktuellen Bodenfeuchte ist ein gleichmäßiger Verlauf jeweils für die Standorte Angermünde und Neuruppin sowie für Cottbus und Potsdam zu erkennen.

In Cottbus und Potsdam sinkt die anfängliche Bodenfeuchte von April bis September ständig ab – verläuft sogar gegen Null. Ab Oktober ist dann wieder ein leichter Anstieg zu erkennen, der sich bis Dezember fortsetzt. In Potsdam war schon im November der ursprüngliche Bodenwassergehalt erreicht, hingegen in Cottbus erst im Dezember. Durch überdurchschnittliche Niederschläge in diesen Monaten kann hier sogar im Dezember – in Potsdam bereits im November – Grundwasser neu gebildet werden. Bei den Standorten in Angermünde und Neuruppin sank die aktuelle Bodenfeuchte dagegen nur bis Juli, stieg dann kurzfristig im August durch überdimensionale Niederschlagsmengen relativ stark an und fiel danach wiederum in Angermünde bis Oktober, in Neuruppin nur bis September ab. Im Dezember war dann an beiden Standorten die

ursprüngliche aktuelle Bodenfeuchte vom Januar erreicht worden.

Trotz extremer Trockenheit in den Sommermonaten kann am Ende des Jahres 1992 wiederum ein Sickerwasserstrom gebildet werden. Dieser liegt in Angermünde und Neuruppin zwischen 20 und 30 mm und an den Standorten in Cottbus und Potsdam zwischen 20 und 50 mm. Aufgrund der überdurchschnittlichen Niederschläge im August war es sogar möglich, in Neuruppin in diesem Monat einen Sickerwasserstrom von 42 mm zu bilden.

Nach den Ergebnissen zur potentiellen Landschaftsverdunstung ergibt sich die Beziehung $pLV > N$ in

Cottbus und Potsdam für sechs Monate, in Angermünde für fünf Monate und in Neuruppin für vier Monate

des Jahres 1992. Damit fallen die Gebiete um Cottbus und Potsdam eindeutig in den ariden Klimabereich, während Angermünde und Neuruppin selbst im trockenen Jahr 1992 dem humiden Klimabereich zuzuordnen sind (Abb. 13 bis 16).

Vergleich der Standorte unter quasi realen Bedingungen

Die Standortbedingungen an den gewählten Meßstationen des Deutschen Wetterdienstes wurden bereits erläutert.

Angermünde

Hinsichtlich der beschriebenen Standortbedingungen

Bodenart – lehmiger Sand und
Bodenbewuchs – Ackerland (Kartoffeln/Rüben)

wird im vorliegenden Fall mit einer Wurzelraumkapazität von 100 mm gerechnet. Die Festlegung der Wurzelraumkapazität erfolgt eigentlich recht subjektiv, ist jedoch unseres Erachtens unter den gegebenen Umständen so gerechtfertigt.

Die aktuelle Bodenfeuchte bleibt zwischen Januar und April auf gleichem Niveau, sinkt dann bis Juli stark ab und erhält durch die Niederschläge im August einen bedeutenden Anstieg. Danach erfolgt

Abb. 13 Station Angermünde 1992

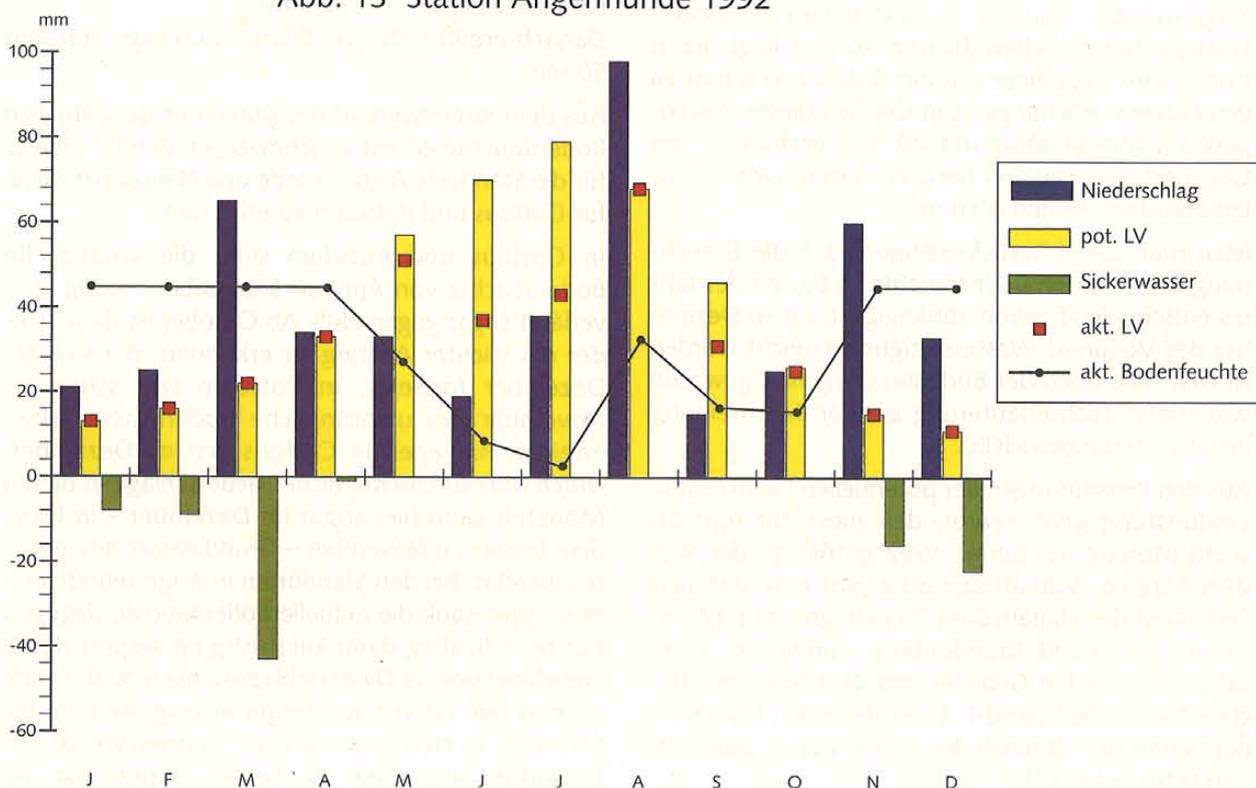


Abb. 14 Station Cottbus 1992

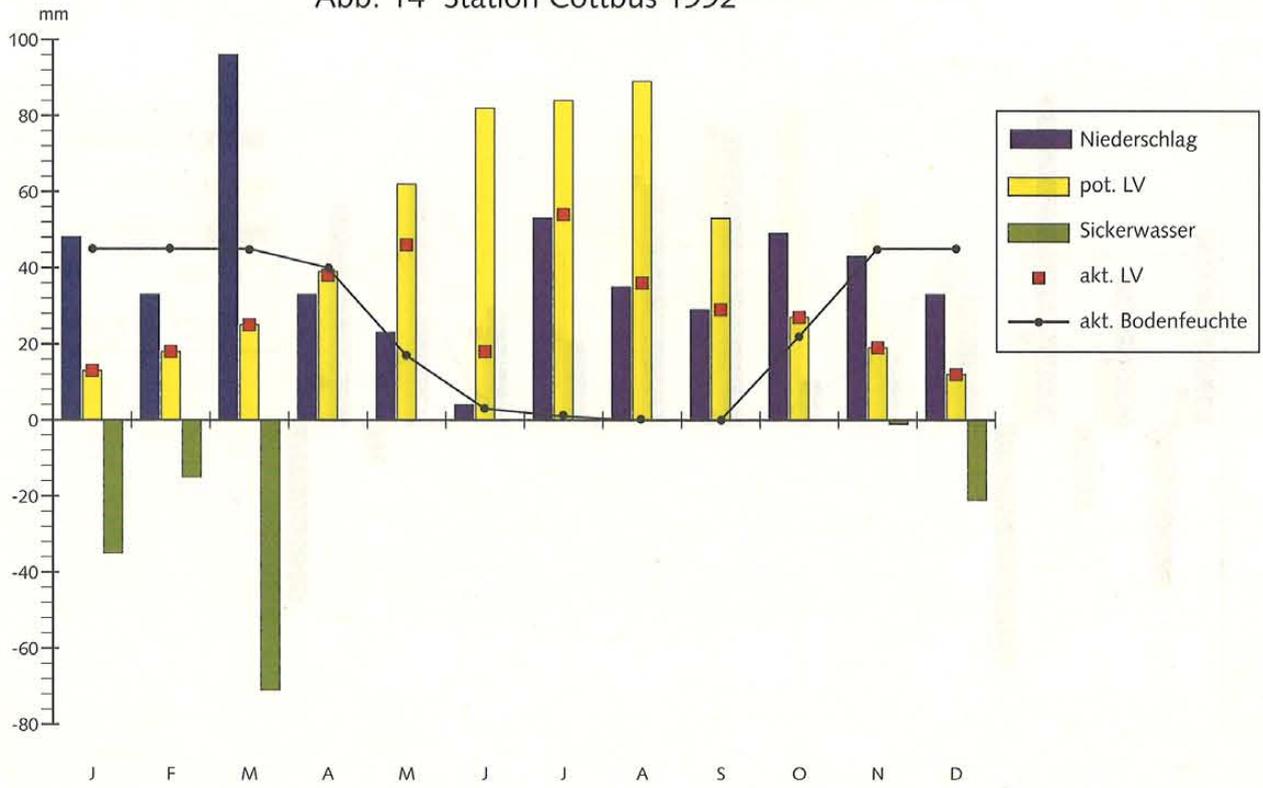


Abb. 15 Station Neuruppin 1992

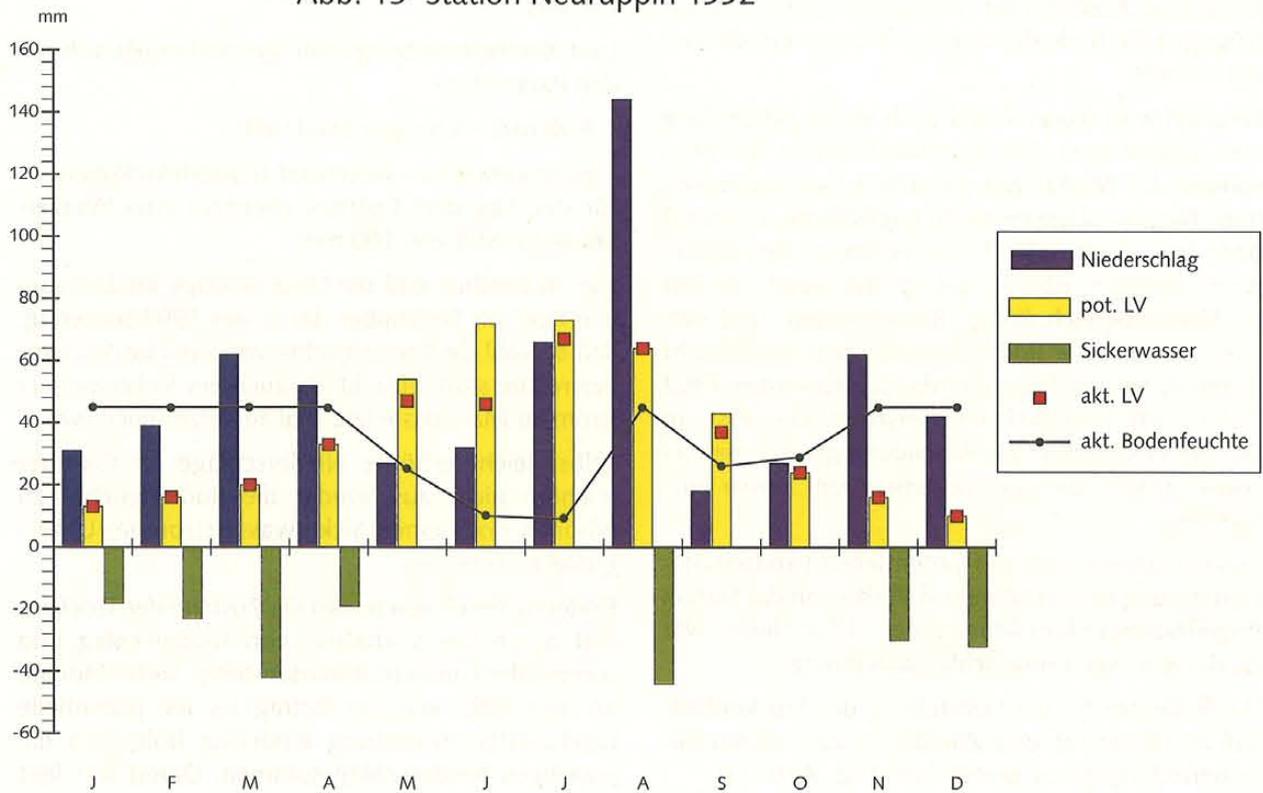
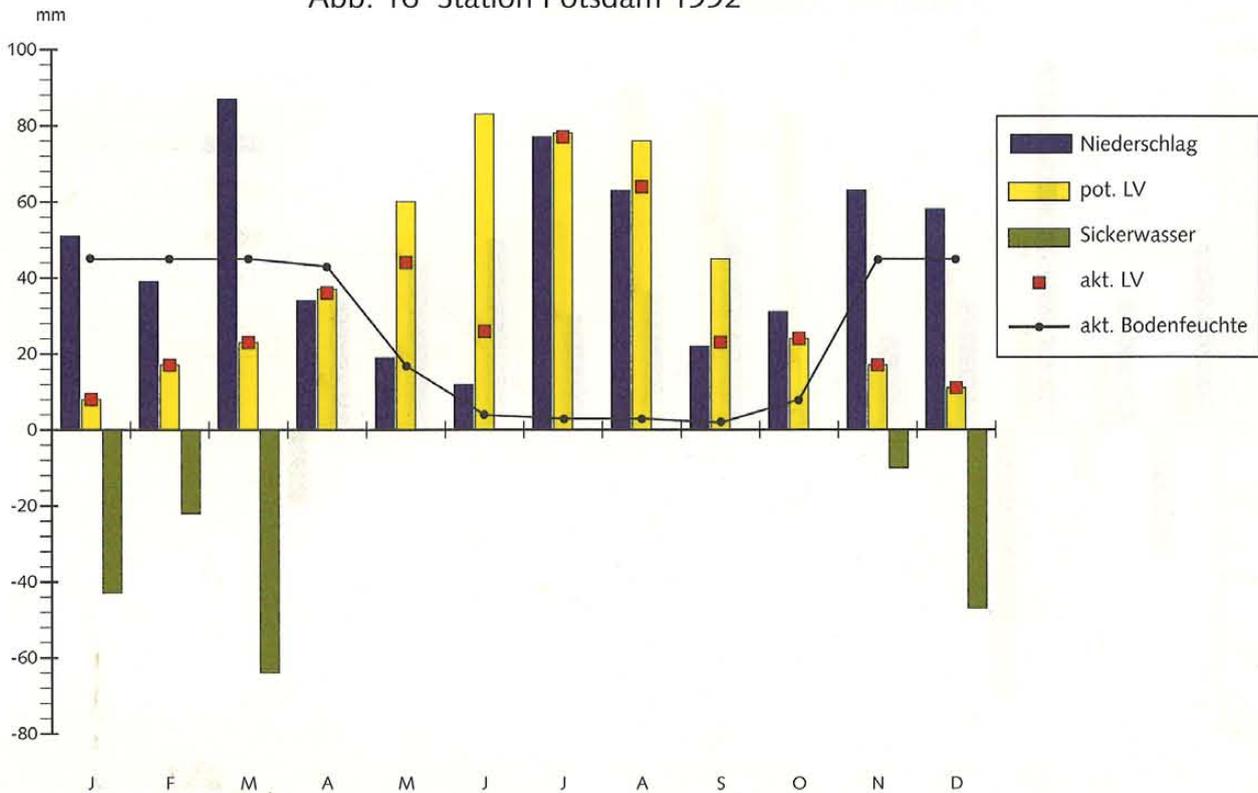


Abb. 16 Station Potsdam 1992



ein leichtes Absinken bis Oktober. Im Dezember war hingegen die Bodenfeuchte des Monats Januar wieder erreicht.

Deutlich wird dieser Trend auch in der Darstellung zum Sickerwasser. Der Sickerwasserstrom ist insbesondere im Monat März durch außergewöhnlich hohe Niederschläge erheblich angestiegen. Es erfolgt dann jedoch ein sehr starkes Absinken des Sickerwassergehaltes, obwohl die Aprilniederschläge fast im Normalbereich (lange Reihe) liegen, und sich auch die aktuelle Bodenfeuchte substantiell nicht geändert hat. Im Zeitraum Mai bis November 1992 stellte sich kein Sickerwasserstrom ein. Erst im Dezember kommt es zur Ausbildung geringer Sickerwasserströme, die in etwa denen vom Januar entsprechen.

Aus der Berechnung der potentiellen Landschaftsverdunstung ist zu erkennen, daß diese an der Station Angermünde in fünf Monaten des Jahres höher war als das jeweilige Niederschlagsaufkommen.

Das bedeutet für die Feststellung der Trockenheit, daß in diesem Fall eine Zuordnung zum ariden Klimabereich durchaus gerechtfertigt ist (Abb. 17).

Cottbus

Laut Kurzbeschreibung vom Standort ergibt sich mit den Parametern

Bodenart – lehmiger Sand und

Bodenbewuchs – Ackerland (Kartoffeln/Rüben) für den Standort Cottbus ebenfalls eine Wurzelraumkapazität von 100 mm.

Hier in Cottbus sind die Niederschläge im Zeitraum von April bis September des Jahres 1992 so gering, daß sowohl die Bodenfeuchte von April bis September relativ stark absinkt als auch ein Sickerwasserstrom im März das letzte Mal zu verzeichnen war.

Selbst leicht erhöhte Niederschläge ab Oktober reichten nicht aus, weder die Bodenfeuchte zu erhöhen noch einen Sickerwasserstrom im Untergrund zu erzeugen.

Eindeutig beschrieben wird der Zustand der Trockenheit durch das Verhältnis von Niederschlag und potentieller Landschaftsverdunstung. Sechs Monate im Jahr 1992 war der Betrag für die potentielle Landschaftsverdunstung eindeutig höher als die jeweiligen Niederschlagssummen. Damit war laut

Abb. 17 Station Angermünde 1992

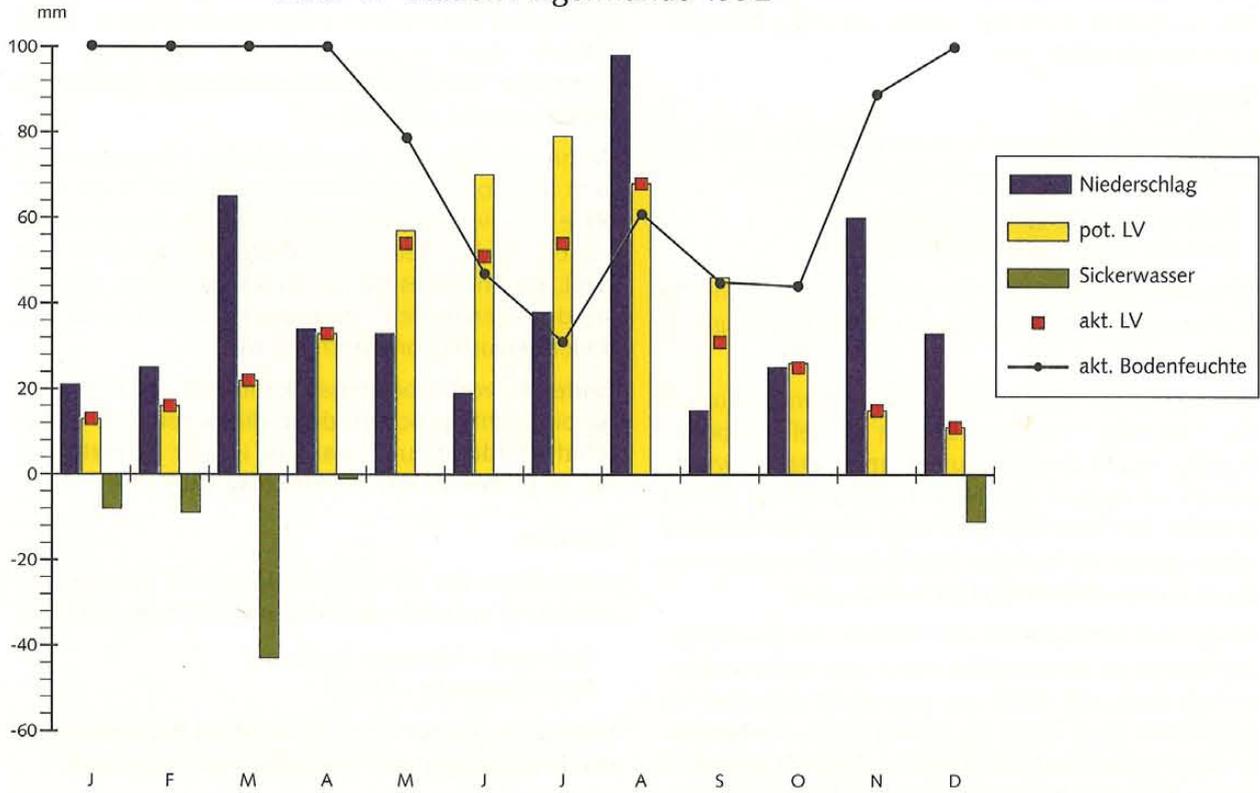
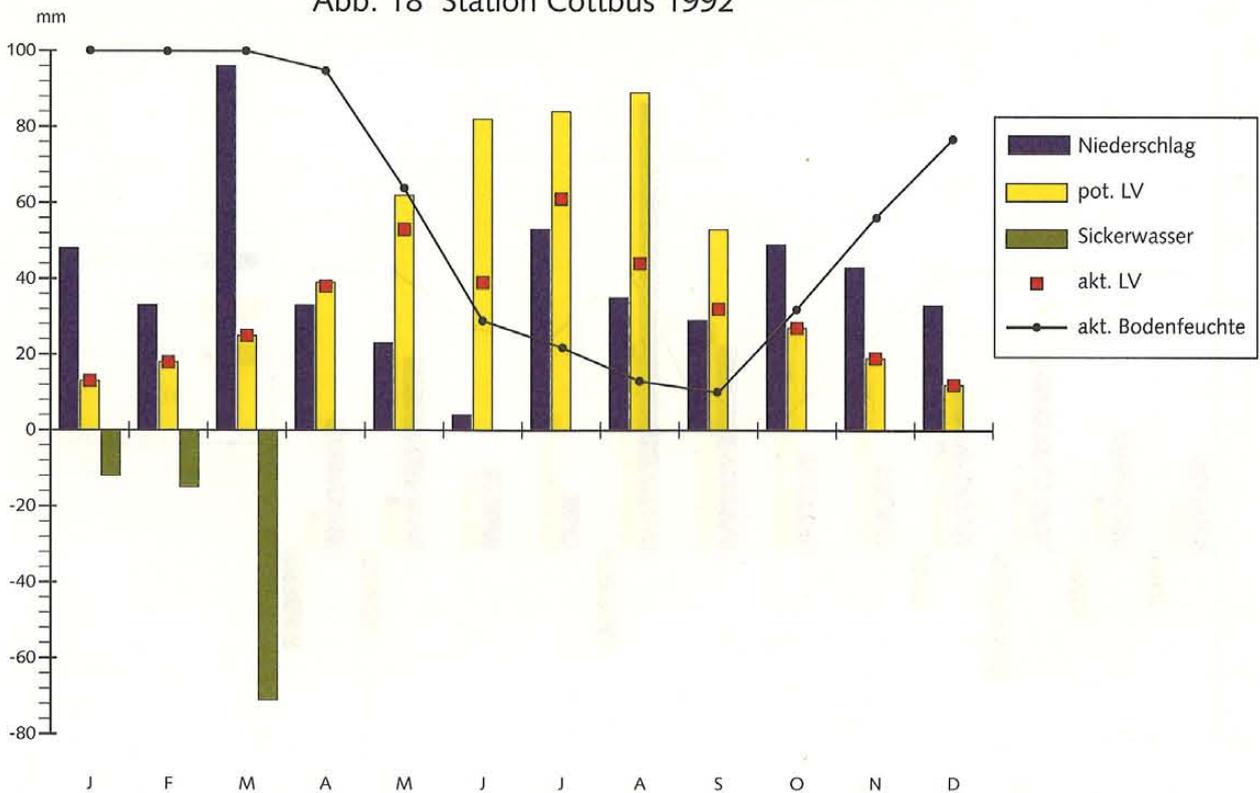


Abb. 18 Station Cottbus 1992



Penck'scher Definition der klimatologischen Trockengrenze auch hier schon der aride Klimabereich erreicht (Abb. 18).

Neuruppin

Die Wurzelraumkapazität an dieser Station läßt sich am besten mit 90 mm beschreiben, das heißt

- Bodenart – lehmiger Sand und
- Bodenbewuchs – Grasland/Sträucher.

Klimatisch gesehen sind hier in Neuruppin ähnliche Bedingungen wie beim Standort Angermünde gegeben.

Extrem hohe Niederschläge im Monat August (ca. 140 mm) bewirkten bei der aktuellen Bodenfeuchte einen Anstieg auf 90 mm. Damit wurde bereits im August das Niveau des Monats Januar erreicht. Die Bodenfeuchte sinkt dann bis Oktober relativ gering ab, hat aber bereits im November wieder den Bodenfeuchtegehalt vom August.

Interessant ist weiterhin der Verlauf des Sickerwasserstromes im Jahreszyklus 1992. Die Sickerwassermenge steigt bis März an, verringert sich aber im April. Und zwar sinkt sie, obwohl sich die Niederschläge gegenüber März nicht erheblich geändert haben, und gleichermaßen die aktuelle Bodenfeuchte gegenüber März sogar konstant blieb.

Wie in Angermünde erfolgten auch hier im August Niederschläge, die die aktuelle Bodenfeuchte bis

zum Anfangswert des Monats Januar anstiegen ließen und sogar einen Sickerwasserstrom in Gang setzten. Auch in den Monaten November und Dezember war die Sickerwassermenge problemlos wieder erreicht worden.

Wenn man die pLV des Standortes Neuruppin mit dem Standort in Angermünde vergleicht, kann man ohne Schwierigkeit feststellen, daß sie, wie auch die Verteilung der Niederschläge über das gesamte Jahr zeigt, ein ähnliches Verhalten dokumentiert, obwohl an den genannten Standorten unterschiedlicher Bodenbewuchs vorherrschend ist.

Eindeutig von Trockenheit kann man im Fall Neuruppin nicht sprechen, denn die potentielle Landschaftsverdunstung war nur in vier Monate des Jahres größer als der Niederschlag (Abb. 19).

Potsdam

Hinsichtlich der Wurzelraumkapazität fiel die Entscheidung auf eine Annahme von 300 mm, das heißt

- Bodenart – lehmiger Sand und
- Bodenbewuchs – Wald.

Klimatisch gesehen sind am Standort Potsdam ähnliche Bedingungen wie in Cottbus vorherrschend.

Im Verhältnis zum langjährigen Mittelwert fallen die Niederschlagsmengen gering aus. Es ist auch kein erheblich höherer Niederschlag im Sommer (wie bei Angermünde und Neuruppin) erkennbar.

Abb. 19 Station Neuruppin 1992

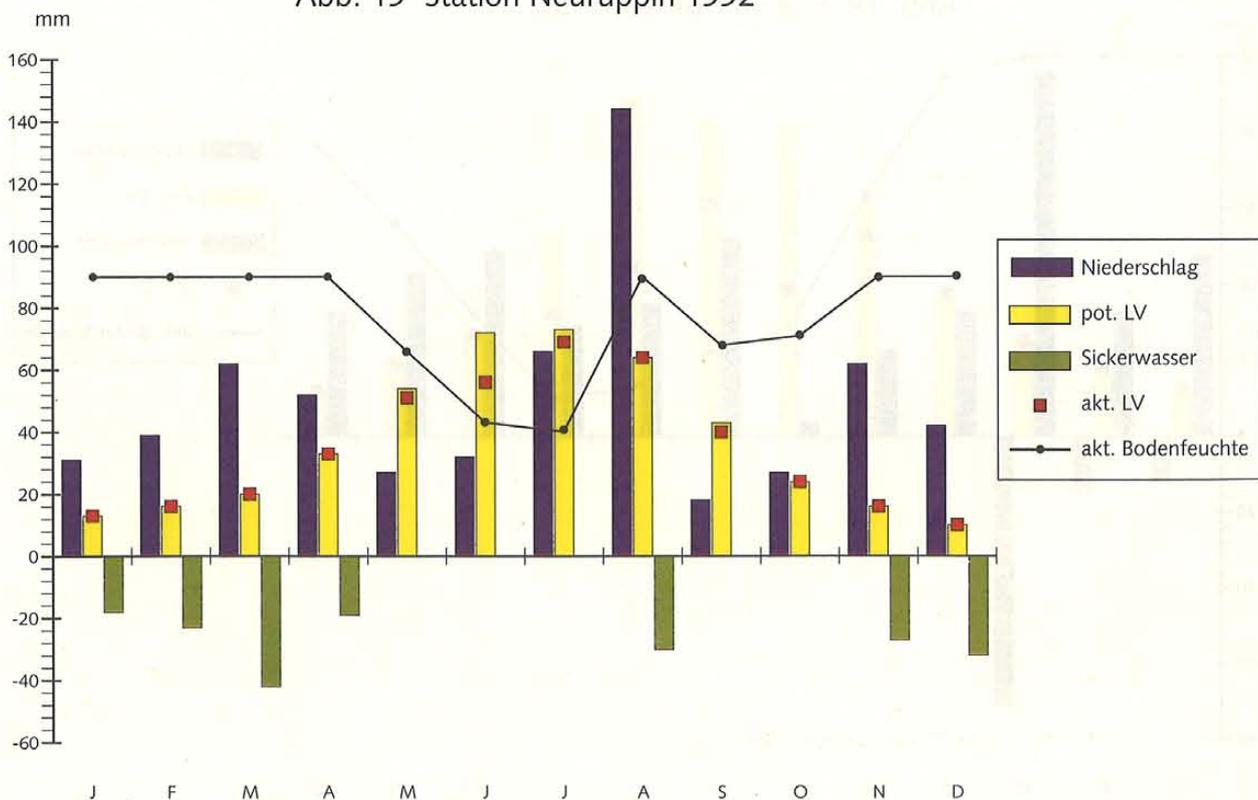
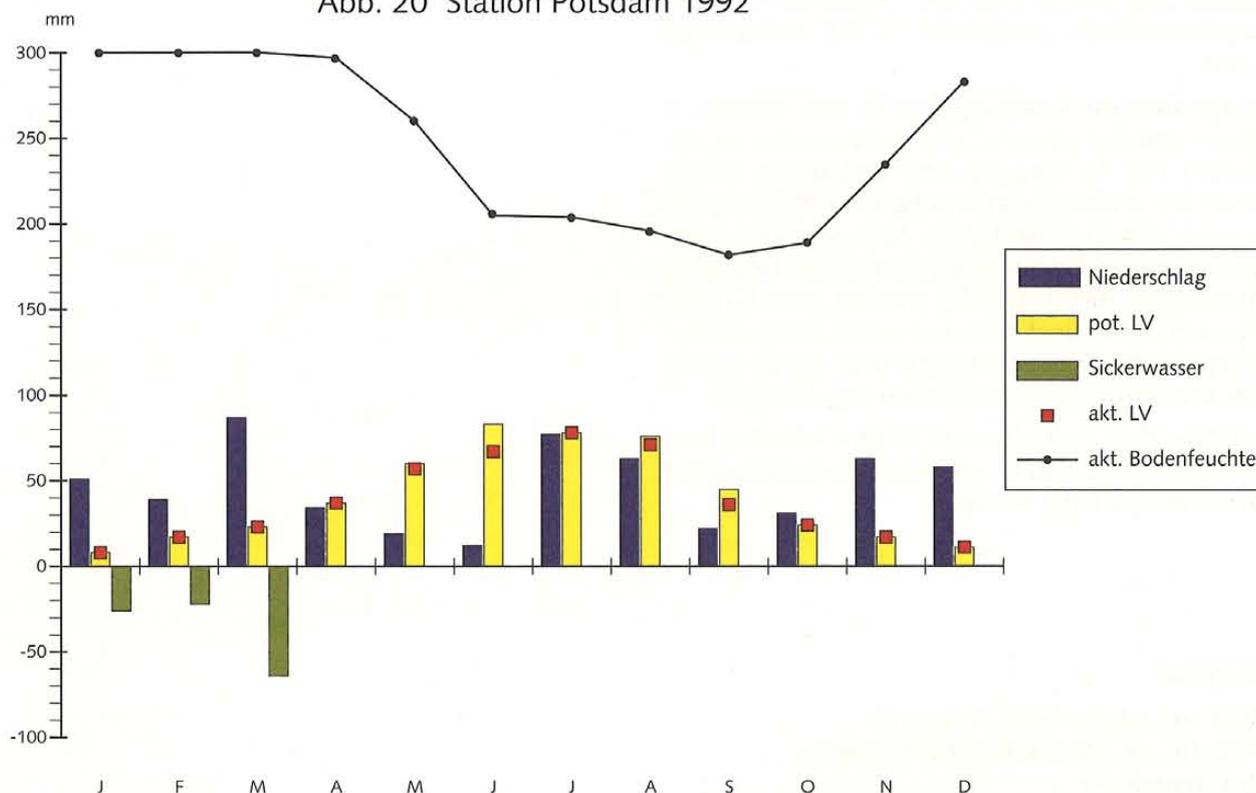


Abb. 20 Station Potsdam 1992



Im Gegensatz zu den Standorten Angermünde, Cottbus und Neuruppin ist der Anteil der aktuellen Bodenfeuchte mit 300 mm (Wald) etwa dreimal so groß. Damit ist sie auch im Jahresverlauf generell höher als bei den anderen Standorten. Daraus kann man schlußfolgernd ableiten, daß die verfügbare Wassermenge bei Waldbewuchs trotz geringer Niederschlagshöhen und geringem Sickerwasserstrom im Zeitraum von Januar bis März relativ hoch ist.

Die aktuelle Bodenfeuchte erreicht aber trotzdem auch hier, wie in Cottbus, am Ende des Jahres 1992 nicht den Anfangswert des Monats Januar.

An der Station Potsdam muß man ebenfalls von sechs ariden Monaten ausgehen, so daß hier gleichfalls von extremer Trockenheit gesprochen werden kann (Abb. 20).

Schlußfolgerungen

1. Klimatisch betrachtet zeigen jeweils die Standorte Potsdam und Cottbus sowie Angermünde und Neuruppin ein ähnliches Verhalten, obwohl bei gleicher Bodenart immer unterschiedlicher Bodenbewuchs vorliegt.
2. Die Niederschläge im Norden des Landes reichten aus, die Bodenfeuchtedefizite im August auszugleichen. In Neuruppin wurde sogar Grundwasser neu gebildet.

3. Die Standorte Potsdam und Cottbus waren deutlich trockener als der Norden des Landes Brandenburg. Brandenburg zerfällt also 1992 in zwei Teile, in den feuchten Norden und die trocknere Mitte bzw. den trockneren Süden.

4. Bei Zugrundelegung realer Gegebenheiten hat der Herbstniederschlag in Potsdam nicht ausgereicht, den Bodenwassergehalt unter Wald (Schöpftiefe 300 mm) wieder aufzufüllen.

5. Der geringste Grundwasserzugewinn aller vier Stationen wurde für Potsdam festgestellt.

6. Im Land Brandenburg war das Jahr 1992 arid, allerdings nicht überall gleichermaßen. Dieses Fazit wird sowohl durch die Ergebnisse aus den angenommenen Szenarien als auch aus den ermittelten Resultaten unter realen Standortbedingungen deutlich. Die Hauptursache der Trockenheit liegt in den zu geringen Niederschlägen im Verhältnis zur Temperatur.

Zusammenfassend soll nochmals betont werden, daß die nach der Methode von Schmiedecken durchgeführten Modellrechnungen nicht dahingehend interpretiert werden dürfen, daß in Brandenburg ein der Sahara ähnliches Klima gegeben ist.

Vielmehr sollen die Modellbetrachtungen des Jahres 1992 zeigen, wie unterschiedlich die Trockenheit in den einzelnen Regionen des Landes Brandenburg

ausfiel und welche Rolle die Vegetation über die unterschiedliche Schöpftiefe bei der Betrachtung spielt.

Auch wenn die Trockengrenze als theoretische, in Raum und Zeit variable Linie zu betrachten ist, die zudem den Höhepunkt ihrer Bedeutung bereits Mitte des Jahrhunderts überschritten hatte, erscheint es uns doch von Wichtigkeit, nochmals darauf hinzuweisen, daß Brandenburg als einziges deutsches Bundesland auch langfristig gesehen jenseits dieser Trockengrenze liegt. Dies unterstreicht die Bedeutung, die der Wasserwirtschaft über die Steuerung des Wasserhaushaltes in Brandenburg zukommt.

Muß sie doch im Gegensatz zu allen anderen Bundesländern mit einem permanenten landesweiten Wasserdefizit fertig werden.

Verfasser

Dipl.-Ing. Meike Gierk, Referentin

*Prof. Dr. rer. nat. habil. Eckardt Jungfer,
Abteilungsleiter*

Landesumweltamt Brandenburg

Abteilung Gewässerschutz und Wasserwirtschaft

Berliner Straße 21 - 25 · 14467 Potsdam

Literatur

DEUTSCHER WETTERDIENST – WETTERAMT
POTSDAM:

Kurzbeschreibung der Wetterstationen im Land
Brandenburg.

–In: Vorschriften und Betriebsunterlagen Nr. 8

DEUTSCHER WETTERDIENST – WETTERAMT
POTSDAM (1993):

Monatliche Witterungsberichte des Jahres 1992 für
die Bundesrepublik Deutschland.

HENNING, I.; HENNING, D. (1976): Die klimatologi-
sche Trockengrenze.

–In: Meteorologische Rundschau, Heft 29, S.142–151

HENNING, I.; HENNING, D. (1984):

Die klimatologische Wasserbilanz der Kontinente.
Ein Beitrag zur Hydroklimatologie.

–In: Münstersche Geographische Arbeiten, Heft 19,
S. 9–16 und S. 69–79

FRANKENBERG, P. (1985):

Zum Problem der Trockengrenze.

–In: Geographische Rundschau, Jg. 37, Heft 7,
S. 350–358

LAUER, W.; FRANKENBERG, P. (1981):

Untersuchungen zur Humidität und Aridität von
Afrika. Das Konzept einer potentiellen Landschafts-
verdunstung.

–In: Bonner Geographische Abhandlungen, Heft 66

LAUER, W.; FRANKENBERG, P. (1985):

Versuch einer geökologischen Klassifikation der Kli-
mate.

–In: Geographische Rundschau, Jg. 37, Heft 7,
S. 359–365

PAPADAKIS, J. (1966):

Climates of the World and their Potentialities.
Buenos Aires

PENCK, A. (1910):

Versuch einer Klimaklassifikation auf physiogeogra-
phischer Grundlage.

–In: Sitz.-Ber. Kgl. Preuß. Akademie der Wissen-
schaften Berlin, Phys.–Math. Kl. 12, S. 236–246

PENMAN, H.L. (1963):

Vegetation and Hydrology – Techn. Comm. 53,
Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden

PFAU, R. (1966):

Ein Beitrag zur Frage des Wassergehaltes und der
Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlich genutz-
ter Böden im Raume der EWG.

–In: Meteorologische Rundschau, 19, S. 33–46

SCHMIEDECKEN, W. (1978):

Die Bestimmung der Humidität und ihrer Abstufun-
gen mit Hilfe von Wasserhaushaltsberechnungen
– ein Modell.

–In: Colloquium Geographicum, Bd. 13, S. 136–159

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1

Niederschläge der Station Angermünde 1990–1992

Abb. 2

Niederschläge der Station Cottbus 1990–1992

Abb. 3

Niederschläge der Station Neuruppin 1990–1992

Abb. 4

Niederschläge der Station Potsdam 1990–1992

Abb. 5

Niederschläge Station Angermünde 1992

Abb. 6

Niederschläge Station Cottbus 1992

Abb. 7

Niederschläge Station Neuruppin 1992

Abb. 8

Niederschläge Station Potsdam 1992

Szenario 1

Abb. 9

Station Angermünde 1992

Abb. 10

Station Cottbus 1992

Abb. 11

Station Neuruppin 1992

Abb. 12

Station Potsdam 1992

Szenario 2

Abb. 13

Station Angermünde 1992

Abb. 14

Station Cottbus 1992

Abb. 15

Station Neuruppin 1992

Abb. 16

Station Potsdam 1992

Quasi reale Bedingungen

Abb. 17

Station Angermünde 1992

Abb. 18

Station Cottbus 1992

Abb. 19

Station Neuruppin 1992

Abb. 20

Station Potsdam 1992

