

4. Diskussion

Diese Arbeit hat verschiedene NAO-Index-Datenreihen mit dem Niederschlag, der Verdunstung und der Klimatischen Wasserbilanz an den Standorten Mannheim und Beerfelden verglichen. Des Weiteren wurde der mittlere hessische Niederschlag mit den NAO-Indices verglichen.

Hierfür wurden alle Daten verschiedenartig aufbereitet. So standen fünf verschiedenen NAO-Index-Datenreihen zur Verfügung (CRU-Azoren, CRU-Gibraltar, CPC, Mittelwert und Median), die jeweils auf vier Arten zeitlich gemittelt wurden (Mittelwert über einzelnen Monate, sowie über den Winter, das Quartal 1 bzw. das Winterhalbjahr).

Die Niederschlags-, Verdunstung- und KWB-Daten wurden auf drei Arten zeitlich aufsummiert (jahreszeitenweise, quartalsweise und halbjahresweise). Der mittlere hessischen Niederschlag wurde zusätzlich noch monatsweise aufsummiert.

Ziel war es den erwarteten Zusammenhang zwischen den NAO-Index-Datenreihen und den Niederschlagsdatenreihen zu beweisen. Des Weiteren sollte eine Auswahl getroffen werden, welche der vielen möglichen Datenreihen-Kombinationen am besten korrelieren. Und letztendlich sollte entschieden werden, ob der NAO-Index als Optimierungsfaktor der WETTREG-Daten geeignet ist.

Die durchgeführten Analysen führen zu folgenden Ergebnissen:

1. Datenauswahl NAO-Index: CRU-Gibraltar-Datenreihe oder CPC-Datenreihe

Bei den durchgeführten Korrelationen sind die beiden NAO-Index-Datenreihen, die die höchsten Korrelationskoeffizienten aufweisen, die CRU-Gibraltar-Datenreihe und die CPC-Datenreihe. Sie korrelieren überwiegend besser mit den hydrologischen Parameter als die Mittelwert- oder die Mediandatenreihen, die sich aus den drei Einzelreihen ergeben (vergleiche Tab. 3 und Tab. 4). Als Ausdruck der Nordatlantischen Oszillation eignen sich die CRU-Gibraltar-Daten und die CPC-Daten am besten für weitere hydrologische Untersuchungen.

2. Datenaufbereitung: Flächiger Mittelwert

Der NAO-Index korreliert besser mit dem großflächigen hessischen Niederschlagsmittel als mit den Einzelstationsmesswerten (vergleiche Tab. 2 bis Tab. 5 und siehe Tab. 6).

Das Gebiet von Hessen gehört insgesamt zum warm-gemäßigten Regenklima der mittleren Breiten. Mit überwiegend westlichen Winden werden im klimatologischen Mittel das ganze Jahr über feuchte Luftmassen vom Atlantik herangeführt, die zu Niederschlägen führen. Durch die topographische Struktur des Landes mit seinen Mittelgebirgen, die verschiedene, flache Landschaften einschließen, wird das Klima stark strukturiert. Für den Niederschlag ist die Lage der Gebirge relativ zur Haupt-Windrichtung von Bedeutung. Im Luv der Berge (dem Wind zugewandte Seite) wird durch die erzwungene Hebung der Luft verstärkt Wolkenbildung und Niederschlag ausgelöst, im Lee der Gebirge (dem Wind abgewandte Seite) lösen sich die Wolken durch das Absinken der Luft auf und es entstehen relativ trockene Gebiete.

Während ein hoher oder niedriger Jahresniederschlag abhängig von der Topographie ist, hängt der Jahresverlauf des Niederschlags von den Wetterlagen ab. Auf diese Wetterlagen wirkt sich die NAO aus.

Bei Einzelstationen spielen die regionalen Gegebenheiten eine große Rolle. Die Korrelation mit dem NAO-Index ist gering.

Bei den mittleren, hessischen Niederschlägen handelt es sich um flächige Mittelwerte. Lokal auftretende Störeffekte, die sich nur an einzelnen Stationen ereignen, werden heraus gemittelt.

3. Datenaufbereitung: Zeitlicher Mittelwert bzw. zeitliche Aufsummierung über drei bis sechs Monate

Der NAO-Index korreliert besser mit dem Niederschlag, wenn der NAO-Index längerfristig gemittelt ist und der Niederschlag längerfristig aufsummiert ist (vergleiche Tab. 4 mit Tab. 5 und siehe Tab. 6).

Zeitlich gesehen ist eine Mittelung bzw. Aufsummierung der Daten über drei bis sechs Monate sinnvoll. Bei dieser längerfristigen Mittelung werden selten oder kurzzeitig auftretende Störeffekte heraus gemittelt.

Eine Ausweitung auf mehr als sechs Monate ist nicht sinnvoll. Beim NAO-Index ist der Grund dafür, dass die NAO nur im Winter ihre charakteristischen Schwankungen zeigt und während dieser Zeit das Wetter in Europa am stärksten beeinflusst. Beim Niederschlag ist es nicht sinnvoll, weil sich aus der Monatskorrelation ergibt, dass sich der NAO-Index zeitnah (nach einigen Wochen) auf den Niederschlag auswirkt. Der Mittelungszeitraum des NAO-Index sollte in etwa mit dem Aufsummierungszeitraum des Niederschlags übereinstimmen.

4. Datenaufbereitung: Gleitendes Mittel über drei Jahre

Werden die beiden jeweiligen Korrelationskurven als gleitendes Mittel über drei Jahre angezeigt, vereinheitlichen sich die Kurvenverläufe.

Ein gleitender Mittelwert verringert die in einer Datenreihe vorhandene Variation. Die Datenreihe wird geglättet. Maxima und Minima werden abgeschwächt und weniger ausgeprägt dargestellt (siehe Abb. 27, Abb. 28 und Abb. 29). Andererseits ist bei einer langen Zeitreihe (in dieser Arbeit über einen Zeitraum von 30 Jahren; 1971 – 2000) ein gleitender Mittelwert über nur drei Jahre dazu geeignet den charakteristischen Verlaufs der jeweiligen Zeitreihe beizubehalten.

Der NAO-Index soll einerseits dazu dienen die Klimaparameter, die WETTREG simuliert, in ihren Maxima und Minima stärker auszuprägen. Andererseits soll durch ihn die mehrjährige Periodizität, insbesondere in der Frequenz von etwa drei Jahren verbessert werden.

Unter Berücksichtigung dieser beiden Ziele ist die Verwendung eines gleitenden Mittels über drei Jahre ein guter Kompromiss um beiden gerecht zu werden.

5. Zusammenhang: lineare Abhängigkeit des Niederschlags, der Verdunstung und der KWB vom NAO-Index

Beim hessischen Niederschlag (Abb. 19) und bei der Verdunstung an den Stationen Mannheim und Beerfelden (Abb. 17 und Abb. 21) zeigt sich ein proportionaler Zusammenhang zwischen diesen Klimaparametern und dem NAO-Index. Ein hoher positiver NAO-Index führt somit zu vermehrten Niederschlägen und vermehrter Verdunstung.

Bei der klimatischen Wasserbilanz an den Stationen Mannheim und Beerfelden zeigt sich ein antiproportionaler Zusammenhang mit dem NAO-Index (siehe Abb. 18 und Abb. 22). Ein hoher positiver NAO-Index führt zu einer verminderten Klimatischen Wasserbilanz.

6. Niederschlag: Wirkung des NAO-Index auf den Niederschlag mit wenigen Wochen Zeitverzögerung

Bei den hessischen Monatskorrelationen (Tab. 5) wird deutlich, dass der NAO-Index weitgehend im gleichen Monat, demnach höchstens wenige Wochen später, Wirkung auf den Niederschlag hat. Im Januar, Februar und März ist eine unmittelbare Wirkung zu verzeichnen. Im November und Dezember tritt die Wirkung mit etwa einem Monat Zeitverzögerung auf.

Zu (b1) - nämlich sommerliche Temperaturen und Sonnenscheindauer - kann keine Aussage gemacht werden. Ein positiver winterlicher NAO-Index geht in der Theorie einher mit hohen Niederschlagsraten während des gleichen Zeitraums (b2).

Ein positiver winterlicher NAO-Index kann somit über den Niederschlag als eine Ursache unter anderen zu hohen sommerlichen Verdunstungsraten führen. Diese hohen sommerlichen Verdunstungsraten können (neben niedrigen sommerlichen Niederschlagsraten) zu niedrigen oder gar negativen sommerlichen Klimatischen Wasserbilanzen führen.

Es scheint somit physikalisch erklärbar, dass ein positiver winterlicher NAO-Index mit einer negativen sommerlichen KWB einhergeht und sich der Winter-NAO-Index antiproportional zur Sommer-KWB verhält.

10. ENSO:

Kein Zusammenhang zw. negativen Korrelationsphasen der Niederschlagskorrelationen und ENSO-Jahren

Bei allen Niederschlagskorrelationen treten während der 70er Jahre antiproportionale Phasen auf, die in gegenläufigen Kurvenverläufen sichtbar werden (siehe Abb. 24 bis Abb. 29). Diese Phasen verringern die jeweiligen Korrelationskoeffizienten. Sie führen innerhalb einer Korrelation zu einem niedrigeren Korrelationskoeffizienten, als wenn die Korrelation ab einem späteren Zeitpunkt durchgeführt würde.

Der Vergleich der positiven und negativen Korrelationsphasen mit den ENSO-Jahren (Abb. 35 bis Abb. 37) wurde unternommen um möglicherweise eine Erklärung für die antiproportionalen Phasen zu erhalten. Es ist jedoch kein Zusammenhang zwischen diesen antiproportionalen Phasen und den ENSO-Jahren zu erkennen.

Wären bei dem Vergleich z.B. während der 70er Jahre die El-Niño-Phasen mit den negativen Korrelationen zusammengefallen, ab den 80er Jahren hingegen die La-Niña-Phasen, so wäre ein Zusammenhang sichtbar geworden, dem am Anfang der 80er Jahre eine systematische Änderung widerfährt. Damit hätten die antiproportionalen Phasen mit der ENSO erklärt werden können.

Der durchgeführte Vergleich ist so angelegt, dass nur überprüfbar ist, ob die ENSO immer den gleichen Effekt hat. Wenn die ENSO allerdings einen instationären Effekt auf das europäische Wettergeschehen hat (vergleiche S.21), dann sagt diese Graphik darüber nichts aus. Ein instationärer Effekt kann mit dieser Analyse nicht nachgewiesen werden. Das Ergebnis schließt somit die Annahme, dass die ENSO einen Effekt auf die Wettersituation in Europa hat, nicht aus.

Weitere Untersuchungen zur Erklärung der antiproportionalen Phasen während der 70er Jahre wurden aus Zeitgründen nicht durchgeführt.

11. Optimierungsfaktor: NAO-Index als Optimierungsfaktor geeignet

Unter Berücksichtigung der Punkte 1. bis 9. lässt sich sagen, dass zwischen dem NAO-Index und den getesteten hydrologischen Parameter ein linearer Zusammenhang besteht. Es ist somit theoretisch möglich die hydrologischen Parameter über den NAO-Index in Form einer mathematischen Gleichung auszudrücken. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Streuung der Werte um den linearen Trend mit einer solchen Formulierung nicht wiedergegeben wird. Die durchgeführten Auswertungen lassen jedoch trotzdem den Schluss zu, dass der NAO-Index als Optimierungsfaktor für die hydrologischen Parameter in Frage kommt.

5. Ausblick

Das Gesamtziel ist die von WETTREG simulierten Niederschlagsdaten hinsichtlich ihrer Maxima und Minima sowie der mehrjährigen Periodizität besser darzustellen um somit eine verbesserte Simulation des zukünftigen Klimas zu erhalten.

Die vorliegende Arbeit hat den ersten Schritt auf dem Weg zum Gesamtziel geleistet. Aus dem hier dargelegten Zusammenhang des NAO-Index mit den hydrologischen Parametern ergibt sich, dass der NAO-Index als Optimierungsfaktor für die simulierten hydrologischen Zeitreihen, sowohl für Simulationen der Vergangenheit (Validierungszeitraum), als auch für Simulationen der Zukunft (Szenarien) geeignet ist.

1. Korrelation weiterer hydrologischer Parameter mit dem NAO-Index

Der nächste Schritt zur Erreichung des übergeordneten Zieles ist die Korrelation der Messdaten der Grundwasserneubildung (GWN) mit den NAO-Index-Datenreihen. Der Untersuchungszeitraum sollte weiterhin von 1971 – 2000 gewählt werden, um mit den hier vorgelegten Ergebnissen konsistent zu sein.

2. Korrelation der Simulationsdaten aus WETTREG mit dem NAO-Index

Ergeben sich auch bei der GWN-Korrelation hohe Korrelationskoeffizienten, so kann eine Korrelation der simulierten WETTREG-Daten der hydrologischen Parameter mit den NAO-Index-Datenreihen für den gleichen Untersuchungszeitraum durchgeführt werden.

3. Identifizierung eines Optimierungsfaktors

Die Ergebnisse der Korrelation der Simulationsdaten sollten mit den Ergebnissen der Korrelation der Messdaten verglichen werden um einen Optimierungsfaktor zu identifizieren.

Der Faktor soll eine mathematische Funktion in Abhängigkeit vom NAO-Index sein.

Über ihn geht der NAO-Index ein zweites Mal in die WETTREG-Daten mit ein um die Extremwerte und die mehrjährige Periodizität der durch WETTREG simulierten Zukunftsdaten der hydrologischen Parameter besser darzustellen.

4. Beurteilung der verbesserten, von WETTREG simulierten Zukunftsdaten und Entwicklung von Anpassungsstrategien

Ist es unter Punkt 1 bis 3 geglückt einen Optimierungsfaktor herauszuarbeiten, so besteht die berechtigte Hoffnung, dass mit Hilfe dieses Optimierungsfaktors das prognostizierte regionale Klima der Zukunft realitätsgetreuer dargestellt wird und die Wirkungen von Veränderungen der hydrologischen Parameter auf den Wasserhaushalt besser beurteilt werden können.

Auf Grundlage dieser Beurteilung könnte eine integrierte Bewirtschaftung der Wasserressourcen und die Entwicklung von Anpassungsstrategien vorangetrieben werden um der Verantwortung für die Sicherung der zukünftigen regionalen Wasserversorgung gerecht zu werden.

Das Klima ist keine Konstante und eine Veränderung nicht gleich eine Katastrophe – zumindest, wenn sich die Folgen in einem überschaubaren Rahmen halten lassen und eine Anpassung gelingt.