

## **4 Diskussion**

### **4.1 Korrelation der GW-Ganglinien**

Die GW-Messstationen wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt: Erstens unterliegen sie keiner Beeinflussung durch Grundwasserentnahmen. Zweitens sind die Messdaten für den gewählten Zeitraum verfügbar. Der Vergleich der Grundwasserganglinien der vier Messstationen zeigt sehr gute Korrelationen. Nur eine Station (Bauschheim), die am

weitesten entfernt von den anderen drei Stationen liegt, zeigt etwas größere Abweichungen. Dennoch ist auch bei dieser Station eindeutig zu erkennen, dass die Ganglinie ähnlich wie die drei weiteren Ganglinien, verläuft. Man kann also davon ausgehen, dass die Grundwasserstationen in Hessen in gewissem Maße miteinander korrelieren.

Ein Mittel der Grundwasserstände über ganz Hessen lässt sich kaum sinnvoll realisieren. Die Messstationen und die Grundwasserkörper unterliegen vielen unterschiedlichen Einflüssen und Gegebenheiten. Dazu gehören z.B. die Art des Bodens und die Stärke der wasserungesättigten Zone, welche beide die Sickergeschwindigkeit beeinflussen. Dazu zu gehören aber auch anthropogene Einflüsse, d.h. z.B. Grundwasserentnahmen- oder absenkungen. Ein Hessenmittel der Grundwasserstände wäre also ein sehr ungenauer Trend. Ein Hessenmittel wäre dennoch für weitere Untersuchungen wünschenswert, da die korrigierten Niederschläge nur als Hessenmittel verwendet werden können und deshalb auch die anderen Kenngrößen als Hessenmittel verwendet werden sollten.

Die Vorgehensweise dieser Arbeit erlaubt es, einen Trend abzuschätzen und ein Mittel der Mittelwertabweichungen von vier Grundwassermessstellen zu erstellen. Für eine weitergehende Projektion müsste weitere Gebietsmittel aus einigen Stationen erstellt werden. Aufgrund der Korrelationen der GW-Stände ist das möglich, müsste jedoch in weitergehenden Untersuchungen bestätigt werden.

## **4.2 Korrelation der KWB mit den GW-Ganglinien**

Die Korrelationen zwischen den KWB-Werten und den GW-Ganglinien war sehr hoch. Zwar mussten erst einige Aufbereitungsschritte erfolgen, aber die Korrelation ist eindeutig. Die Verschiebung der Grundwasserkurve um sechs Monate trifft die Verschiebung zwar ungefähr, allerdings variiert die Verschiebung teilweise um ein bis drei Monate. Diese Variabilität wurde bei der Verschiebung nicht berücksichtigt, da sie relativ gering ist. Durch die Mittelung der vier Grundwasserganglinien wurden die unterschiedlichen Zeiträume, bis sich Niederschlagsereignisse auf das Grundwasser auswirken, verringert.

## **4.3 Regressionsanalyse**

Mit der Regressionsanalyse wurde der Zusammenhang der klimatischen Wasserbilanz und der Grundwasserstände in Form einer mathematischen Gleichung ermittelt und ausgedrückt. Diese Gleichung ermöglicht, wie erwartet, die Abschätzung zukünftiger Grundwasserstände. Daher kann die Regressionsanalyse durchaus als „Erfolg“ gewertet werden. Dabei ist allerdings Folgendes zu beachten: Die Grundwasserstände der vier betrachteten Messstationen wurden gemittelt. D.h. es wurde mit einem Trend, ermittelt aus einer Auswahl an Messstationen, eine Formel entwickelt, um einen Trend für die Zukunft zu erkennen. Wie die Ergebnisse der Regressionsanalyse zeigen, ist es nur sinnvoll, die zweite ermittelte

Formel für die Abschätzung zu verwenden, die anhand von Jahresmittelwerten der Daten des Zeitraums von 1971 bis 2000 erstellt wurde.

Ein weiterer erwähnenswerter Punkt ist das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgeraden. Mit einem Wert von 0,46 ist es zwar akzeptabel und für die Bestimmung zukünftiger Werte durchaus als geeignet zu betrachten, jedoch stellt es auch einen zusätzlichen Ungenauigkeitsfaktor dar.

Kritisch betrachtet werden muss an dieser Stelle auch der zugrunde liegende Referenzzeitraum von nur dreißig Jahren. Die Grundwasserganglinien zeigen durchaus eine mehrjährige Variabilität. Die betrachteten dreißig Jahre zeigen diese Variabilität zwar, jedoch muss man berücksichtigen, dass die Zeitspanne nicht unbedingt ausreicht, um diese Variabilität in der Abschätzung für die Zukunft wiederzugeben. Ein mindestens 60 Jahre umfassender Referenzzeitraum könnte die Darstellung dieser Variabilität verbessern. Zusammengefasst bedeutet dies, dass mit den hier ermittelten Formeln nur ein ungefährer Trend für die Zukunft abgeschätzt werden kann.

#### **4.4 Projektion**

Die KWB-Werte, die hier genutzt wurden, um anhand der ermittelten Formel die Grundwasserstände zu bestimmen, sind natürlich, da sie Zukunftswerte sind, projiziert, d.h. statistisch ermittelt und mit vielen Ungenauigkeiten bzw. Schätzungen behaftet. Hinzu kommt, dass, wie die Untersuchungen zeigen, nur die Ermittlung eines Jahresmittelwertes zukünftiger Grundwasserstände sinnvoll ist, d.h., dass nur ein Trend abgeschätzt werden kann.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die Abschätzung aus den korrigierten WETTREG-Niederschlagsdaten einen stärker negativen Trend ergibt, als die Abschätzung aus den unkorrigierten WETTREG-Niederschlagsdaten. Eine mögliche Erklärung ist, dass die Projektion des NAO-Index einen leicht negativen Trend mit einer Steigung von -0,0004 aufweist. Dies bedeutet weniger Niederschlag und in der Folge niedrigere Grundwasserstände.

Die Abschätzung der Grundwasserstände zeigt höhere Extrema und stärker ausgeprägte Mehrjährigkeiten als die Abschätzung mit den unkorrigierten Niederschlagsdaten. Dies lässt darauf schließen, dass die Abschätzung mit den korrigierten Niederschlagsdaten statistisch plausibler ist.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die hier ermittelten Trendabschätzungen zwar relativ großen Ungenauigkeiten unterliegen, sie jedoch statistisch gesehen durchaus als plausibel und belastbar eingeschätzt werden können. Im Endeffekt kann allerdings nur die Zukunft zeigen, inwieweit diese Projektionen der Realität nahe kommen.

## 5 Ausblick

Diese Arbeit ist ein Schritt, um mit Hilfe des korrigierten Niederschlags Projektionen hydrologischer Kenngrößen zu verbessern. Dabei wurden Grundwasserstände von vier ausgewählten Stationen untereinander auf Korrelationen überprüft. Mittels einer Regressionsanalyse wurden daraufhin die Grundwasserstände für die Zukunft projiziert.

Diese Untersuchungen können auf die anderen Grundwassermessstellen ausgeweitet werden. Zum einen müsste geprüft werden, ob und wie stark Grundwasserganglinien in Hessen miteinander korrelieren. Daraufhin könnte man für offensichtlich zusammenhängende Gebiete bzw. die Grundwassermessstellen der Gebiete Mittelwerte bilden und gebietsweise die Grundwasserstände für die Zukunft projizieren und einen Trend abschätzen.

Des Weiteren wurde ein Vergleich angestellt, inwieweit sich die Korrektur der projizierten Niederschlagswerte auf die Abschätzung der Grundwasserstände auswirkt. Dieser Ansatz kann weiterverfolgt werden, indem die in dieser Arbeit gezeigten Auswirkungen der NAO-Korrektur bei der hessenweiten Untersuchung überprüft werden.

In den weiteren Untersuchungen müsste der erstellte Mittelwert der KWB über Hessen (1971-2000) optimiert werden, indem bisher nicht abrufbare Daten bestehender Klimastationen hinzugefügt werden.

Die Betrachtung anderer Modelle, wie z.B. das ebenfalls statistische Modell „Star2“ würde neue Erkenntnisse und einen interessanten Vergleich erbringen. Z.B. könnte man die hier mit WETTREG erstellten Abschätzungen für die vier Grundwassermessstationen auch mit „Star2“ ermitteln. Aus dem Vergleich und der Verbindung dieser beiden Ergebnisse könnte man ggf. präzisere Abschätzungen gewinnen.

Auch eine Ausweitung des Referenzzeitraums würde sich positiv auf neue Ergebnisse auswirken. Mehrjährige Variabilitäten der Grundwasserstände könnten so auch in der Abschätzung bestimmt werden.

Zusätzlich könnte man, um die Korrelation der klimatischen Wasserbilanz und der Grundwasserganglinien noch deutlicher zu machen, die gleitenden Mittelwerte über größere Zeiträume als fünf Monate bilden.

Folgend können mithilfe dieser neuen Untersuchungen die Auswirkungen der Veränderungen des Grundwasserstandes untersucht werden. Dabei können die Auswirkungen bezüglich der Nutzung des Grundwassers an sich sowie bezüglich der Nutzung der Landflächen untersucht werden. Denkbar sind auch Auswirkungen auf Fauna und Flora, im Sinne von Beeinträchtigungen, Verdrängung oder, im Gegenteil, die Schaffung neuer Lebensräume und Möglichkeiten zur Nischenfindung, die zu untersuchen wären.

Auf Grundlage dieser Arbeit werden im hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie weiterführende Untersuchungen in Richtung Projektion von Grundwasserständen durchgeführt. Weitere Ganglinien, vor allem im hessischen Ried, sollen untersucht werden.