

Ergebnisse österreichischer Aktivitäten im Internationalen Hydrologischen Programm (IHP) 1981–1990			Redaktion: Walter Kollmann & Albert Daurer		
G	Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.	ISSN 0253-097X ISBN 3-912-300312-84-2	Band 14	S. 61–69	Wien, Februar 1993

Zeitliches Verhalten des Grundwasserspiegels in Österreich*)

Von ALFRED PAUL BLASCHKE, PETER HAAS & JOHANN REITINGER**)

Mit 5 Tabellen

*Österreich
Grundwasser
Wasserwirtschaft
Wasserversorgung
Trinkwasser
Grundwassernutzung*

Inhalt

Zusammenfassung	61
Abstract	61
1. Einleitung und Problemstellung	62
2. Ausgangspunkt, Grundlagen und vorbereitende Arbeiten	63
2.1. Datengrundlage	63
2.2. Datenerhebung, Eingabe und Korrektur	64
2.3. Auswahl der Hard- und Software	64
3. Datenbearbeitung	64
3.1. Datenbeschreibung und Ergänzung	64
3.2. Faktorenanalyse	64
3.3. Clusteranalyse	64
4. Ergebnisse der Clusteranalyse	65
5. Kritische Betrachtung der angewandten Methodik	68
6. Schlußfolgerung	68
Literatur	68

Zusammenfassung

Aufbauend auf die Grundwasserstandsmessungen des Hydrographischen Dienstes wurde mit Hilfe der Clusteranalyse das zeitliche Verhalten des Grundwasserspiegels in Österreich untersucht.

Für den in erster Linie bearbeiteten Zeitabschnitt von 1963 bis 1983 zeigte sich, daß im Osten Österreichs (Niederösterreich und Burgenland) bei etwa drei Viertel der Meßstellen ein Absinken des Grundwasserspiegels (meist im Dezimeterbereich, zum Teil aber auch darüber) festzustellen ist. Im übrigen Österreich, wo allerdings teilweise eine sehr geringe Meßstellendichte vorhanden ist, ist die Zahl der Meßstellen mit einer absinkenden Tendenz des Grundwasserstandes zum Teil deutlich geringer, zum Teil gleich jener mit gleichbleibendem Grundwasserstand.

Temporal Behaviour of Groundwater Level in Austria

Abstract

Space-time trends of groundwater heads in Austria were analysed by subjecting data provided by the Hydrographic Service to cluster analysis.

The main focus of the study was on the 1963 to 1983 period. In eastern Austria (Lower Austria and Burgenland) about 75 % of the wells exhibit a decrease of heads which, generally, is in the order of a few decimeters. The remaining aquifers in Austria show a less definite trend. Also, the results are based on a lower network density. In some regions the number of wells with decreasing heads balances the number of those with stationary characteristics while in other regions wells with decreasing heads are less numerous.

*) Bericht zum Forschungsprojekt HÖ 32 „Grundwasser Österreich“.

**) Anschrift der Verfasser: Dipl.-Ing. Dr. techn. ALFRED PAUL BLASCHKE, Ao. Univ.-Prof. Dr. techn. JOHANN REITINGER, Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. PETER HAAS, Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, Technische Universität Wien, Karlsplatz 13/223, A-1040 Wien.

1. Einleitung und Problemstellung

Auslösendes Moment für die Durchführung des Forschungsprojektes „Grundwasser Österreich“ waren zwei Feststellungen:

- In einigen Grundwassergebieten im Osten Österreichs zeigte sich – unterschiedlich stark ausgeprägt – seit etlichen Jahren eine Abnahme des Grundwasserstandes.
- Außerdem erbrachten einschlägige Bearbeitungen, daß etwa ab dem Beginn der 60er Jahre im Osten Österreichs die Niederschlagstätigkeit gegenüber den vorangegangenen Jahrzehnten in einem nachweisbaren Ausmaß zurückgegangen ist.

Diese Feststellungen werfen mehrere Fragen auf:

- Beschränkt sich die festgestellte Abnahme des Grundwasserstandes auf bestimmte Gebiete in Österreich?
- Inwieweit ist ein konformes Verhalten des Grundwasserspiegels in den einzelnen Grundwassergebieten Österreichs feststellbar?
- Lassen sich Zeitpunkte angeben, ab denen ein bestimmter Trend im Grundwasserstand nachzuweisen ist oder zu dem eine ziemlich plötzliche Veränderung eintrat?
- Können Ursachen für das längerfristige Verhalten des Grundwasserstandes angegeben werden? Kann insbesondere der erwähnte Niederschlagsrückgang für die – zumindest teilweise festgestellte – abnehmende Tendenz des Grundwasserspiegels verantwortlich sein?

Dem Grundwasser kommt speziell in Österreich aus den nachstehend angeführten Gründen große Bedeutung zu. Die getroffenen Feststellungen und die daraus sich ergebenden Fragestellungen haben daher eine nicht zu unterschätzende Tragweite.

Der Bedarf an Trinkwasser wird in Österreich in überwiegenderem Maße aus dem Grundwasser gedeckt. In sehr vielen Fällen ist aber auch die gewerbliche Wirtschaft auf einen Wasserbezug aus dem Grundwasser angewiesen. Schließlich ist der steigende Bedarf für die landwirtschaftliche Bewässerung aus dem Grundwasser anzuführen.

Neben diesen anthropogenen Ansprüchen an das Grundwasser darf – keinesfalls zweitrangig – die Bedeutung des Grundwassers für das Tier- und Pflanzenleben an der Erdoberfläche außer Acht gelassen werden. In diesem Zusammenhang ist auf die Beeinflussung des Wassergehaltes in der für die Pflanzenwurzeln maßgebenden ungesättigten Bodenzone durch die Höhenlage des Grundwasserspiegels und auf die Speisung der Oberflächengewässer aus dem Grundwasser hinzuweisen.

Das Grundwasser hat somit maßgebenden Einfluß auf grundlegende Vorgänge auf der Erdoberfläche und Veränderungen im Grundwasserhaushalt können sich daher äußerst nachteilig auf diese Vorgänge auswirken. Da der Grundwasserstand einen wesentlichen Parameter für den Grundwasserhaushalt darstellt, stellte sich somit die Aufgabe, durch die Analyse der in Österreich seit Jahren durchgeführten Beobachtungen des Grundwasserstandes zu versuchen, die oben angeführten Fragen zu beantworten.

Bei der Behandlung der Frage nach einem eventuell österreichweiten Absinken des Grundwasserspiegels ergab sich die Notwendigkeit zur Auseinandersetzung mit den nachstehend angeführten Gesichtspunkten:

- Es besteht zwar derzeit in Österreich eine große Zahl von Grundwassermeßstellen (2674 Meßstellen, Stand 1991), viele der Meßstellen werden jedoch noch nicht sehr lange beobachtet. Besonders unangenehm für die angestrebte Untersuchung ist dabei der Umstand, daß in vielen Gebieten Österreichs erst verhältnismäßig spät eine flächenhaft verteilte Beobachtung des Grundwasserspiegels durch den Hydrographischen Dienst begann. Um trotzdem wenigstens im bescheidenen Umfang die Verhältnisse in Österreich darzustellen, wurde ein zweigeteiltes Untersuchungsprogramm mit folgender Vorgangsweise durchgeführt:
- In einer ersten Untersuchung fanden alle Meßstellen Berücksichtigung, die zumindest seit 1963 durchgehend beobachtet werden. Die Wahl dieses Zeitpunktes hat zwei Gründe:
 - Ab diesem Jahr stand eine etwas größere Anzahl von Meßstellen für die Untersuchung zur Verfügung.
 - Die Meßreihen beginnen vor den extrem nassen Jahren 1965/66. Die in diesen Jahren verbreitete deutliche Hebung des Grundwasserstandes hätte scheinbare Tendenzen im Grundwasserstand vortäuschen können, wenn die Bearbeitung erst mit diesen nassen Jahren oder kurz danach begonnen hätte.

Tabelle 1.
Durch den Hydrographischen Dienst beobachtete Grundwassergebiete in Österreich.

Gebietsnummer des Hydrographischen Dienstes	Name des Gebietes	Bundesland
0003	Rheintal und Untere Bregenzerach	V
0004	Walgau	V
0020	Unterinntal	T
0030	Unteres Salztal	S
0095	Nördliches Eferdinger Becken	OÖ
0096	Südliches Eferdinger Becken	OÖ
0122	Welser Heide	OÖ
0143	Nördliches Linzer Feld	OÖ
0154	Südliches Linzer Feld	OÖ
0173	Ennstal	OÖ
0177	Nördliches Machland	OÖ
0178	Südliches Machland	NÖ
0185	Ybbstal	NÖ
0186	Ybbs-Scheibe	NÖ
0188	Pöchlarn-Feld	NÖ
0190	Piellachtal	NÖ
0195	Traisental	NÖ
0200	Nördliches Tullner Feld	NÖ
0205	Südliches Tullner Feld	NÖ
0224	Marchfeld	NÖ, W
0250	Südliches Wiener Becken	NÖ, W
0264	Hainburger Pforte	NÖ
0276	Marchtal	NÖ
0288	Heideboden	B
0309	Parndorfer Platte	B
0313	Wulkatal	B
0318	Seewinkel	B
0331	Raabtal	B, St
0340	Feistritztal	B, St
0341	Ilztal	B, St
0360	Aichfeld	St
0361	Murboden	St
0364	Mittleres Murtal	St
0375	Mürztal	St
0378	Murdurchbruchstal	St
0380	Grazer Feld	St
0390	Leibnitzer Feld	St
0400	Unteres Murtal	St
0425	Gailtal	K
0435	Rosental	K
0445	Jauntal	K

- In einer zweiten Untersuchung fanden nur bereits vor 1963 mehrere Jahre lang beobachtete Meßstellen Berücksichtigung. Dadurch mußte zwar in Kauf genommen werden, daß noch weniger Grundwassergebiete für eine Bearbeitung zur Verfügung standen und die Meßstellendichte weiter zurückging, andererseits aber doch etwas längere Beobachtungsreihen zu Aussagen herangezogen werden konnten.
- Die Bearbeitung unterschiedlich langer Bearbeitungsreihen eines Grundwassergebiets bot auch die Möglichkeit, folgende Frage zu untersuchen: können mit Hilfe von einzelnen länger beobachteten Meßstellen in einem Grundwassergebiet kürzere Meßreihen verlängert werden? Dahingehende Untersuchungen zeigten jedoch, daß eine mehrjährige Verlängerung einer Meßreihe mit Hilfe einer anderen, über etliche Jahre näherungsweise parallel gehenden Meßstelle leicht zu nicht vertretbaren Ergebnissen führen kann. Datenergänzungen wurden daher nur im geringeren, unbedingt notwendigen Umfang vorgenommen (für die Ergänzung einzelner fehlender Jahresmittelwerte), keinesfalls erfolgte eine Verlängerung von Meßreihen um eine größere Anzahl von Jahren.
- Von den insgesamt mit Stand 1983 beobachteten 41 Grundwassergebieten (siehe Tabelle 1 ist nur in 23 Gebieten die Zahl der länger beobachteten Meßstellen ausreichend groß, um damit eine Aussage für den Zeitabschnitt seit 1963 vorzunehmen. Die in diesem Forschungsprojekt bearbeiteten Gebiete sind aus Tabelle 2 zu entnehmen. Für die Bearbeitung wurden in zwei Fällen Grundwassergebiete zusammengefaßt. Es waren dies im einen Fall das Gebiet Rheintal – Untere Bregenzerach und der Waigau, im anderen Fall der Seewinkel und die Parndorfer Platte.
- Nur in 11 Grundwassergebieten ist eine ausreichend größere Zahl von bereits vor 1963 länger beobachteten Meßstellen gegeben (siehe ebenfalls Tabelle 2).
- Wegen der bereits aufgezeigten Unzulässigkeit, mit Hilfe von Vergleichsmeßstellen andere Datenreihen über größere Zeitabschnitte nach „rückwärts“ zu verlängern, konnten vereinzelt vorhandene deutlich längere Jahresreihen (Beobachtungsbeginn z.B. in den 20er Jahren) leider nicht herangezogen werden. Es erschien nicht gerechtfertigt, Einzelsonden als charakteristisch für ein ganzes Grundwassergebiet anzusehen, und es bestünde die Gefahr, aus dem Verhalten von solchen Einzelsonden allgemein nicht zutreffende Schlüsse zu ziehen.
- Da zu Beginn der Bearbeitung für das gegenständliche Forschungsprojekt nur die Grundwasserstandswerte bis 1983 zur Verfügung standen, erstreckt sich somit die eine Untersuchung lediglich auf den 21-jährigen Zeitabschnitt von 1963 bis 1983. Die maximale Datenlänge für die Untersuchung längerer Jahresreihen beträgt 36 Jahre.
- Die prinzipiellen Schwierigkeiten bei der Bearbeitung lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Meßstellendichte von länger beobachteten Grundwasserbeobachtungseinrichtungen ist in manchen Teilen Österreichs sehr gering (bzw. sind in Tirol keine länger beobachteten Meßstellen vorhanden), weiters ist eine Extrapolation von Datenreihen nur sehr beschränkt möglich, sodaß selbst die vorgenommene 100 %ige Nutzung des Datenmaterials des Hydrographischen Dienstes nur in einem flächenmäßig bescheidenen Rahmen Aussagen zuließ.

2. Ausgangspunkt, Grundlagen und vorbereitende Arbeiten

2.1. Datengrundlage

Als Datengrundlage dienen die Jahresmittelwerte der Meßwerte aller Grundwassermeßstellen des Hydrographischen Dienstes, welche mindestens seit 1963 durchgehend beobachtet wurden. Im vorigen Abschnitt kam bereits zum Ausdruck, daß nur in einem Teil der im Jahr 1983 beobachteten 41 Grundwassergebiete auch ältere Beobachtungseinrichtungen vorhanden waren. Dadurch standen für die Bearbeitung der „kurzen“ Reihen (Beobachtungsbeginn 1963) nur 23 Grundwassergebiete mit insgesamt 671 Grundwassermeßstellen und für die „langen“ Reihen (Beobachtungsbeginn vor 1963) nur 11 Grundwassergebiete mit 307 Meßstellen zur Verfügung.

2.2. Datenerhebung, Eingabe und Korrektur

Nach der Erhebung der beim Hydrographischen Zentralbüro vorhandenen Unterlagen über die Grundwasserstände für die Jahre vor 1966 erfolgte die Abspeicherung in einer für die Bearbeitung geeigneten Form. Die Werte nach 1966 stellt das Hydrographische Zentralbüro in digitaler Form zur Verfügung. Nach Integration mittels kleiner Hilfsprogramme erfolgte die Eingabe und nachträgliche Visualisierung (speziell für die Erken-

Tabelle 1.
Für die Untersuchungen verwendete Grundwassergebiete in Österreich.

Name des Gebietes	Gebietsnummer		Bundesland
	seit 1963 in größerem Umfang beobachtet	vor 1963	
Rheintal u. Untere Bregenzerach	0003	-	V
Waigau	0004	-	V
Nördliches Eferdinger Becken	0095	-	OÖ
Südliches Eferdinger Becken	0096	0096	OÖ
Welser Heide	0122	0122	OÖ
Südliches Linzer Feld	0154	-	OÖ
Nördliches Machland	0177	0177	OÖ
Südliches Machland	0178	0178	NÖ
Ybbstal	0185	-	NÖ
Ybbscher Scheibe	0186	-	NÖ
Nördliches Tullner Feld	0200	0200	NÖ
Südliches Tullner Feld	0205	0205	NÖ
Marchfeld	0224	0224	NÖ,W
Südliches Wiener Becken	0250	0250	NÖ,W
Hainburger Pforte	0264	-	NÖ
Marchtal	0276	-	NÖ
Heideboden	0288	-	B
Parndorfer Platte	0309	-	B
Seewinkel	0318	0318	B
Grazer Feld	0380	0380	St
Leibnitzer Feld	0390	-	St
Unteres Murtal	0400	-	St
Gailtal	0425	0425	K

nung offensichtlicher Datenfehler) der großen Datenmenge mit einer eigens entwickelten Software.

2.3. Auswahl der Hard- und Software

Zur Durchführung der Datenvorbereitung diente ein am Institut vorhandener PC (Olivetti M20), wobei damals dafür die erwähnte eigene Software (zum damaligen Zeitpunkt war keine geeignete Software erwerbbar) entwickelt werden mußte. Für die Berechnung stand die Statistiksoftware BMDP des Rechenzentrums der Technischen Universität zur Verfügung. Die statistischen Berechnungen erfolgten an der Digitalrechenanlage des Rechenzentrums, wofür die Rohdaten auf diese Rechenanlage übertragen und vorher durch kleine Rechenprogramme entsprechend aufbereitet werden mußten. Zur Darstellung der Ergebnisse war es erforderlich, geographische Informationen über die einzelnen Grundwassergebiete durch Digitalisieren von Teilen der Österreichkarte 1 : 50.000 zu erhalten. Mit Hilfe eines entwickelten Graphikprogrammes konnten die Ergebnisse (Clusterzuordnungen) in Kombination mit den Geographiedaten auf einen Plotter ausgegeben werden. Diese Graphikroutinen wurden auf einer Workstation in FORTRAN realisiert.

3. Datenbearbeitung

3.1. Datenbeschreibung und Ergänzung

Im nächsten Schritt mußte festgestellt werden, inwieweit das Datenmaterial von Lücken durchsetzt war, da die angewandten Programme des BMDP-Paketes nur die Bearbeitung von vollständigen Datensätzen erlauben. Die Suche nach fehlenden Daten erfolgte mit Hilfe des Programmes BMDPAM („description and estimation of missing data“).

Dieses Programm erlaubt durch die sehr übersichtliche Darstellung der Daten eine sinnvolle Festlegung des Anfangs- und des Endzeitpunktes von Zeitreihen. Weiters können fehlende Werte im Datensatz mit Hilfe des Programmes numerisch geschätzt werden.

Aus den fünf verschiedenen zur Verfügung stehenden Algorithmen für die Datenergänzung wurde die Methode „two step“ gewählt, bei der die beiden ähnlichsten Meßreihen von Sonden des untersuchten Gebiets für die Schätzung des fehlenden Wertes herangezogen werden (MAHLER, 1986, S. 17ff.).

3.2. Faktorenanalyse

Als erste Untersuchungsmethode wurde die Faktorenanalyse (BMDP4M) angewendet. Bei der Faktorenanalyse wird versucht, die Auswirkungen der verschiedenen Einflüsse auf die einzelnen Meßstellen durch Faktoren zum Ausdruck zu bringen.

Das Hauptproblem bei der Anwendung der bei der Faktorenanalyse gewonnenen Ergebnisse liegt darin, daß bei jeder einzelnen Meßstelle mehrere Faktorladungen (zu den einzelnen Faktoren) ausgewiesen werden. Eine Aufteilung der Meßstellen auf Teilgebiete kann somit nur durch willkürliches Festsetzen der Grenzen für die Faktorladungen

stattfinden. Im Gegensatz dazu werden bei der Clusteranalyse die einzelnen Meßstellen eindeutig einem bestimmten Cluster zugeordnet. Unter anderem aus diesem Grund kam für die weitere Untersuchung ausschließlich die Clusteranalyse zur Anwendung.

3.3. Clusteranalyse

Bei der Clusteranalyse sind zwei prinzipiell unterschiedliche Methoden möglich: einerseits die stufenweise Verknüpfung aller in einem Datensatz enthaltenen Zeitreihen zu einem großen Cluster und andererseits die Aufspaltung des gesamten Datensatzes in Untergruppen mit ähnlichem Verhalten. Für die zwei Methoden stehen zwei Programme zur Verfügung.

Die erste Methode (mit Programm BMDP2M) erwies sich für die gegebene Aufgabenstellung als nicht zweckmäßig, sodaß mit Hilfe des Programmes BMDPKM die zweite Methode zur Anwendung kam.

Dabei wurden zwei grundsätzlich unterschiedliche Wege beschritten:

- Ausgangsdaten für die anzustellenden Clusteranalysen waren jeweils nur die Meßwerte der Meßstellen eines Grundwassergebiete, jedes Gebiet wurde für sich alleine analysiert.
- Als Ausgangsdaten dienten die Meßwerte sämtlicher Meßstellen in Österreich, unabhängig, welchem Grundwassergebiet sie zuzuzählen sind. Alle Meßdaten wurden zugleich einer Clusteranalyse unterzogen.

Als erster Schritt bei der Clusteranalyse (BMDPKM) wurde dem Rechenprogramm die Aufteilung der Grundwasserganglinien eines Gebiets in drei Cluster vorgegeben. Diese erste Dreiteilung führt bei den meisten Gebieten zu einer Aufteilung in Cluster mit großen, mittleren und kleinen Schwankungen des Grundwasserstandes. Entsprechend den Eigenheiten der einzelnen Gebiete kam es dann zu einer weiteren Unterteilung dieser drei Cluster in „Unter“-Cluster, wobei beim Verfahren nach dem Programm BMDPKM die Zahl der „Unter“-Cluster vorgegeben ist. Das Kriterium für die Zahl der „Unter“-Cluster wird aus Versuchen mit unterschiedlicher Anzahl von „Unter“-Clustern gewonnen. Darin liegt der Hauptnachteil der Cluster-Analyse, da die endgültig zu wählende Zahl der „Unter“-Cluster nur durch die „händische“ Kontrolle der Ergebnisse des versuchsweisen Ansatzes der Zahl der „Unter“-Cluster gewonnen werden kann. Diese händische Kontrolle ist sehr zeitaufwendig und außerdem ist bei diesem Arbeitsschritt eine gewisse Willkür nicht ganz ausschließbar.

Diese Vorgangsweise, zunächst eine Dreiteilung der zu bearbeitenden Fälle vorzunehmen, erwies sich als unbedingt notwendig, da bei der Clusteranalyse (im Gegensatz zur Faktorenanalyse) die absolute Größe der Schwankungen einer Zeitreihe für die Zuordnung zu einem Cluster eine dominante Rolle spielt. Nur wenn Grundwasserganglinien mit annähernd gleich großen Schwankungen zu Gruppen (Cluster) zusammengefaßt sind, können andere Charakteristika (z. B. Tendenzen) herausgearbeitet werden.

Bei manchen Gebieten war allerdings die Größe der Schwankungen so einheitlich, daß der vorgenannte Effekt nicht auftrat. Bei diesen Gebieten erfolgte die Aufteilung auf charakteristische Cluster ohne vorherige Teilung in drei Größenklassen.

Für die Clusteranalyse nach BMDPKM läßt sich somit eine einheitliche Vorgangsweise angeben: Die Zahl der für

die Charakterisierung erforderlichen „Unter“-Cluster der drei ersten „Haupt“-Cluster mußte in jedem einzelnen Fall speziell untersucht werden. Dafür waren die Zahl der Fälle der „Haupt“-Cluster und deren Differenziertheit maßgebend.

4. Ergebnisse der Clusteranalyse

Zunächst ist festzustellen, daß die räumliche Verteilung der länger beobachteten Grundwassermeßstellen (beobachtet mindestens seit 1963) in Österreich äußerst ungleichmäßig ist. Diese Uneinheitlichkeit kommt durch folgende Zusammenstellung deutlich zum Ausdruck:

Österreich	GW-Gebiete	Cluster	GW-Meßstellen	% (GW-Meßstellen)
West	1	6	15	2,2
Mitte	8	19	133	19,8
Nordost	8	44	421	62,8
Südost	3	8	41	6,1
Süd	1	3	61	9,1
Summe	21	80	671	100,0

Noch deutlicher kommt diese ungleichmäßige Verteilung bei noch länger beobachteten Grundwassermeßstellen im österreichischen Bundesgebiet aus der nachstehenden Zusammenstellung zum Ausdruck. Hier ist die Zahl jener Cluster bzw. der dafür als Grundlage dienenden Grundwassermeßstellen zusammengestellt, bei denen bereits aus der Zeit vor 1963 ausreichend Daten für eine Bearbeitung vorliegen:

Österreich	GW-Gebiete	Cluster	GW-Meßstellen	% (GW-Meßstellen)
West	0	0	0	0
Mitte	4	13	91	29,6
Nordost	4	26	161	52,5
Südost	1	3	27	8,8
Süd	2	6	28	9,1
Summe	11	48	307	100,0

Bei dieser Einteilung wurden die Grundwassergebiete auf folgende Art zu Großeinheiten zusammengefaßt:

Österreich West:	Rheintal, Untere Bregenzerach und Walgau
Österreich Mitte:	Nördliches Eferdinger Becken Südliches Eferdinger Becken Welser Heide Südliches Linzer Feld Nördliches Machland Südliches Machland Ybbstal Ybbscher Scheibe
Österreich Nordost:	Nördliches Tullner Feld Südliches Tullner Feld Marchfeld Südliches Wiener Becken Hainburger Pforte Marchtal Heideboden
Österreich Südost:	Parndorfer Platte und Seewinkel
Österreich Süd:	Grazer Feld Leibnitzer Feld Unteres Murtal Gailtal

An Hand der gebietsweisen Bearbeitung der Grundwasserstände ab 1963 lassen sich folgende charakteristische Verhaltensweisen des Grundwasser-

standes feststellen (alle Aussagen beziehen sich auf Jahresmittel des Grundwasserstandes):

- Fast in allen Grundwassergebieten bewirkten die äußerst niederschlagsintensiven Jahre 1965 und 1966 Grundwasserhochstände. Nur in einigen der insgesamt 80 Cluster waren nachher näherungsweise gleichhohe (15 Cluster) oder sogar höhere (11 Cluster) Jahresmittelwerte des Grundwasserstandes feststellbar. In den überwiegenden Fällen waren in den Folgejahren die Grundwasserstände deutlich tiefer. Bei Grundwassergebieten, die seit Anfang der 50er Jahre beobachtet werden, sind vor den Jahren 1965/66 fallweise höhere Grundwasserstände nachweisbar.
- Bei 24 Clustern (mit etwas unter einem Drittel aller bearbeiteten Meßstellen) zeigt sich, meist seit den Jahren 1965/66, eine dauernd fallende Tendenz des Grundwasserstandes. Von dieser seit 1965/66 durchgehend fallenden Tendenz sind alle Großeinheiten – außer Österreich Mitte – betroffen. Besonders auffällig ist jedoch die sehr große Zahl der Meßstellen mit dieser Tendenz im Marchfeld. Zum Teil beträgt der Rückgang des Grundwasserspiegels nur wenige Dezimeter, in seltenen Fällen mehrere Meter. Die Cluster, die seit den Jahren 1965/66 ein mehr oder minder stetiges Fallen zeigen, sind zur Gruppe A1 zusammengefaßt. Der Gruppe A1 gehören insgesamt 204 Meßstellen an (siehe Tabelle 3).
- Die Clusterganglinien der 17 Cluster (mit 222 Grundwassermeßstellen, Tabelle 3), die nach 1965 während einiger Jahre eine gut erkennbare Abnahme des Grundwasserspiegels (mit einem nachfolgend näherungsweise gleichbleibenden Grundwasserstand) zeigen, wurden zur Gruppe B1 zusammengefaßt.
- Bei 32 Clustern (Gruppe C1 mit 213 Meßstellen, Tabelle 3) ist weder eine steigende noch eine fallende Tendenz des Grundwasserstandes feststellbar. Im Südlichen Wiener Becken ist zwar die absolute Zahl der Meßstellen mit dem Verhalten der Gruppe C1 am größten, relativ (Verhältnis der Sondenzahl mit Ganglinien der Gruppe C1 zur Gesamtsondenzahl der jeweiligen Großeinheit) ist die Zahl der Cluster dieser Gruppe aber in den Großeinheiten West, Mitte und Süd am größten.
- In 7 Clustern von Österreich ist ab einem bestimmten Jahr deutlicher ein plötzlicher Anstieg des Grundwasserstandes feststellbar. Ursache sind meist Staumaßnahmen an der Donau. Dieser Gruppe D1 sind 32 Meßstellen zuzuzählen (Tabelle 3).

Weiters ist noch die Frage zu beleuchten, ob die für 11 Grundwassergebiete vorgenommene Bearbeitung längerer Beobachtungsreihen (dafür konnten Clusterganglinien beginnend zwischen 1948 und 1960 erstellt werden) zu unterschiedlichen Aussagen gegenüber der Bearbeitung 1963 bis 1983 geführt haben.

Es zeigte sich dabei nur in drei Fällen, daß durch ein größeres, bereits zu einem früheren Zeitpunkt beginnendes Datenmaterial eine andere Schlußfolgerung zu ziehen war, als der Datensatz 1963 bis 1983 an Aussagemöglichkeit bot. Und zwar konnte durch die etwas längere Datenreihe in zwei Fällen eine fallende Tendenz des Grundwasserstandes festgestellt werden (gegenüber einer gleichbleibenden Höhenlage in der kürzeren Datenreihe), in einem Fall zeigte sich eine stark fallende Tendenz gegenüber einer lediglich deutlich fallenden Tendenz.

Die Unterschiede zwischen den beiden Arbeitsschritten (Bearbeitung der Datenreihe 1963 bis 1983 und der etwas längeren Datenreihe) sind somit nicht sehr ins Gewicht

fallend. Der Grund dafür liegt in dem Umstand, daß die „längeren“ Datenreihen meist auch noch zu kurz sind, um in jeder Weise abgesicherte Aussagen über Tendenzen im Grundwasserstand machen zu können.

Auch die Cluster der längeren Datenreihen wurden in vier Gruppen eingeteilt, wobei allerdings zwei dieser Gruppen jeweils zusätzlich unterteilt wurden (siehe Tabelle 4).

Gruppe A2

Entsprechend Gruppe A1 ab 1965 bis Bearbeitungsende fallend (mit 12 Clustern und etwas mehr als einem Fünftel aller bearbeiteten Meßstellen).

Untergruppe A2.1

Bis 1965 eher gleichbleibende Grundwasserstände (52 Meßstellen).

Gruppe A2

Untergruppe A2.2

Bereits vor 1965 fallend (14 Meßstellen).

Gruppe B2:

Entsprechend der Gruppe B1 nach 1965 einige Jahre gut erkennbar fallend, dann näherungsweise gleichbleibend (mit 16 Clustern und fast einem Drittel aller beobachteten Meßstellen).

Gruppe B2:

Untergruppe B2.1

Bis 1965 eher gleichbleibende Grundwasserstände (92 Meßstellen).

Gruppe B2

Untergruppe B2.2

Bereits vor 1965 fallend (3 Meßstellen).

Gruppe C2

Über den gesamten Bearbeitungszeitabschnitt nahezu gleichbleibend (mit 17 Clustern und fast der Hälfte aller beobachteten Meßstellen, nämlich 139 Meßstellen).

Gruppe D2

Plötzlicher, ausgeprägter Anstieg innerhalb des Bearbeitungszeitabschnittes (mit 3 Clustern und nur 7 Meßstellen).

Hinsichtlich der Zuordnung der einzelnen Cluster zu den Gruppen A bis D ist noch folgende Bemerkung anzuschließen: Durch verschiedene Einflüsse (wie z. B. die Naßjahre 1954 oder 1965/66) wird der

Tabelle 3.
Ergebnisse der gebietsweisen Bearbeitung, beginnend ab 1963 (Arbeitsschritt 1).

Name des Gebietes	Gebietsnummer	Anzahl der Grundwassermeßstellen in Gruppe			
		A1	B1	C1	D1
Rheintal u. Untere Bregenzerach und Walgau	0003 + 0004	4	4	7	-
Nördliches Eferdinger Becken	0095	-	-	1	14
Südliches Eferdinger Becken	0096	-	-	28	3
Welser Heide	0122	-	-	15	-
Südliches Linzer Feld	0154	-	-	-	1
Nördliches Machland	0177	-	11	20	-
Südliches Machland	0178	-	17	9	3
Ybbstal	0185	-	-	3	-
Ybbser Scheibe	0186	-	-	-	8
Nördliches Tullner Feld	0200	25	19	14	-
Südliches Tullner Feld	0205	23	31	1	-
Marchfeld	0224	69	15	10	-
Südliches Wiener Becken	0250	47	80	71	3
Hainburger Pforte	0264	-	4	-	-
Marchtal	0276	-	4	-	-
Heideboden	0288	4	-	1	-
Parndorfer Platte und Seewinkel	0309 + 0318	17	23	1	-
Grazer Feld	0380	-	14	10	-
Leibnitzer Feld	0390	7	-	10	-
Unteres Murtal	0400	-	-	5	-
Gaital	0425	8	-	7	-
Summe	(671)	204	222	213	32

Grundwasserstand meist bis zu einem gewissen Grad nachhaltig beeinflußt. Dadurch sind Aussagen speziell über eine Tendenz in der Höhenlage des Grundwasserspiegels besonders schwierig vorzunehmen. Solche Tendenzen erreichen selten die Größe von mehreren Metern (nur in einzelnen Grundwassergebieten gegeben), Tendenzen unter einem Meter (im Dezimeterbereich) sind durch die verschiedenen Störungen aber schwerer erkennbar.

In einzelnen Fällen zeigten sich auch sehr deutliche Störungen im Grundwassergang, die auf unmittelbare örtli-

Tabelle 4.
Ergebnisse der gebietsweisen Bearbeitung vor 1963 (Arbeitsschritt 2).

Name des Gebietes	Gebietsnummer	Anzahl der Grundwassermeßstellen in Gruppe					
		A2.1	A2.2	B2.1	B2.2	C2	D2
Südliches Eferdinger Becken	0096	-	-	-	-	22	3
Welser Heide	0122	-	-	-	-	15	-
Nördliches Machland	0177	-	-	14	-	17	-
Südliches Machland	0178	-	-	8	-	12	-
Nördliches Tullner Feld	0200	-	6	10	-	-	-
Südliches Tullner Feld	0205	-	5	12	-	11	-
Marchfeld	0224	27	-	-	1	11	-
Südliches Wiener Becken	0250	17	3	12	-	42	4
Seewinkel	0318	-	-	25	2	-	-
Grazer Feld	0380	-	-	11	-	2	-
Gaital	0425	8	-	-	-	7	-
Summe	(307)	52	14	92	3	139	7

che, anthropogene Einflüsse zurückzuführen sind. Die Ursachen solcher Einflüsse sind nur sehr schwer feststellbar und es ist nicht absehbar, ob nicht eine größere Zahl von Meßstellen eventuell den lokalen, vielleicht nicht sehr ins Gewicht fallenden Einflüssen ausgesetzt ist. Lediglich in den donaanahen Grundwassergebieten kann mit Sicherheit der Ausbau der Donau für die Wasserkraftnutzung (bzw. für die Schifffahrt) als Ursache für den festgestellten plötzlichen Anstieg des Grundwasserspiegels angesehen werden.

Die aus der gebietsunabhängigen Bearbeitung der österreichweiten Grundwasserdaten sich ergebenden 19 Cluster wurden ebenfalls in vier, der vorhergehenden Einteilung entsprechende Gruppen A3, B3, C3 und D3 zusammengefaßt. Aus der Tabelle 5 ist zu entnehmen, wie sich die Meßstellen der Gruppen A3 bis D3 auf die einzelne Grundwassergebiete Österreichs verteilen.

Es liegen somit die Ergebnisse von den voneinander unabhängigen Arbeitsschritten vor:

- Arbeitsschritt 1: Gebietsweise Bearbeitung der Jahresmittelwerte der Grundwasserstände 1963–1983.
- Arbeitsschritt 2: Gebietsweise Bearbeitung der Jahresmittelwerte der bereits vor 1963 beobachteten Meßstellen.
- Arbeitsschritt 3: Gebietsunabhängige Bearbeitung der Jahresmittelwerte der Grundwasserstände 1963–1983.

Die Tabellen 3, 4 und 5 ermöglichen einen kritischen Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Arbeitsschritte und beleuchten damit u. a. auch die Frage, wie verlässlich die Clusteranalyse bei der speziell hier angestrebten Beurteilung von Grundwasserganglinien ist. Außerdem charakterisieren die Tabellen mit wenigen Zahlen das Verhalten des Grundwasserspiegels in Österreich in den vergangenen Jahrzehnten (in den beobachteten Gebieten).

Die Charakterisierung der einzelnen Gruppen soll – kurz zusammengefaßt – hier wiederholt werden:

- Gruppe A1, A2, A3: Während des gesamten Bearbeitungszeitabschnittes fallender Grundwasserspiegel.
- Gruppe B1, B2, B3: Nach 1965 einige Jahre deutlich fallender Grundwasserspiegel.
- Gruppe C1, C2, C3: Näherungsweise gleichbleibender Grundwasserspiegel.
- Gruppe D1, D2, D3: Plötzlicher Anstieg des Grundwasserspiegels in einem bestimmten Jahr.

Tabelle 5.
Ergebnisse der gebietsunabhängigen Bearbeitung ab 1963 (Arbeitsschritt 3).

Name des Gebietes	Gebietsnummer	Anzahl der Grundwassermeßstellen in Gruppe			
		A3	B3	C3	D3
Rheintal u. Untere Bregenzerach und Walgau	0003 + 0004	-	9	6	-
Nördliches Eferdinger Becken	0095	-	-	1	14
Südliches Eferdinger Becken	0096	-	9	19	3
Welser Heide	0122	-	5	10	-
Südliches Linzer Feld	0154	-	-	-	1
Nördliches Machland	0177	-	21	10	-
Südliches Machland	0178	-	15	9	5
Ybbstal	0185	-	-	2	1
Ybbser Scheibe	0186	-	-	-	8
Nördliches Tullner Feld	0200	9	37	12	-
Südliches Tullner Feld	0205	5	47	3	-
Marchfeld	0224	31	41	22	-
Südliches Wiener Becken	0250	27	41	131	2
Hainburger Pforte	0264	-	3	1	-
Marchtal	0276	4	-	-	-
Heideboden	0288	2	3	-	-
Parndorfer Platte und Seewinkel	0309 + 0318	17	18	6	-
Grazer Feld	0380	4	18	2	-
Leibnitzer Feld	0390	2	6	9	-
Unteres Murtal	0400	-	4	1	-
Gailtal	0425	-	7	4	-
Summe	(671)	105	284	248	34

Die Untergruppen sind wie folgt zu charakterisieren:

- Gruppe A2.1 und B2.1: Bis 1965 eher gleichbleibende Grundwasserspiegellage.
- Gruppe A2.2 und B2.2: Bereits vor 1965 fallender Grundwasserspiegel.

Aus den Zahlenzusammenstellungen ist sofort ersichtlich, daß deutlich mehr als 50 % der beobachteten Grundwassermeßstellen in Österreich seit 1965 ein mehr oder minder dauerndes Fallen – zum Teil auf einige Jahre beschränkt – des Grundwasserspiegels zeigen (nach Arbeitsschritt 1 63,5 %, nach Arbeitsschritt 3 etwas weniger und zwar 58 %; diese Prozentzahlen ergeben sich jeweils aus dem Anteil der Summe der zur Gruppe A und B gehörenden Meßstellen an der Gesamtmeßstellenzahl). Näherungsweise gleichbleibender Grundwasserstand wird nach Arbeitsschritt 1 in 31,7 % nach Arbeitsschritt 3 in 37,0 % der insgesamt beobachteten Meßstellen ausgewiesen.

Die Unterschiede in den Ergebnissen (Prozent der fallenden bzw. gleichbleibenden Meßstellen bei Arbeitsschritt 1 und 3) sind nicht groß und beeinträchtigen keinesfalls die angestrebte Aussage, es werden aber selbst dadurch die Grenzen der Methode Clusteranalyse aufgezeigt (siehe auch Abschnitt 5). Noch deutlicher kommt bei einem Vergleich der beiden die – nur zeitweise oder während des ganzen Bearbeitungszeitabschnittes gegebene – fallende Tendenz des Grundwasserspiegels charakterisierenden Gruppen (A1 und A3 bzw. B1 und B3) die Schwierigkeit zum Ausdruck, durch die Clusteranalyse Tendenzen sehr exakt zu erfassen. Dies manifestiert sich durch das unterschiedliche Verhältnis der zu den Gruppen A und B zugehörigen Meßstellen: A1 zu B1 beträgt fast 1 : 1, A3 zu B3 hat jedoch ein Verhältnis von rund 1 : 3. Auf diese

Problematik wird im nächsten Abschnitt noch kurz hingewiesen.

Die Ergebnisse des Arbeitsschrittes 2 (Bearbeitung von vor 1963 beobachteten Stationen) weisen ebenfalls auf eine große Zahl von Sonden mit fallender Tendenz im Grundwasserspiegel hin. Ein detaillierter Vergleich mit den Ergebnissen aus den beiden anderen Arbeitsschritten ist nicht zulässig, da die 11 Grundwassergebiete mit länger beobachteten Meßstellen keine repräsentative Auswahl der insgesamt 23 Gebiete mit erst ab 1963 beobachteten Meßstellen darstellen.

Auf ein Ergebnis aus dem Arbeitsschritt 2 soll jedoch speziell hingewiesen werden. Nur etwa ein Fünftel der Meßstellen (14 von 66 Meßstellen in Cluster 2), die seit 1965 ein anhaltendes Fallen zeigen, weisen auch bereits vor 1965 diese Tendenz auf. Bezogen auf die im Arbeitsschritt 2 insgesamt bearbeiteten Meßstellen sind es 4,5 % (14 von 307 Meßstellen).

5. Kritische Betrachtung der angewandten Methodik

Für die multivariate Statistik gelangen häufig zwei Verfahren zur Anwendung, die Faktorenanalyse und die Clusteranalyse. Bereits im Abschnitt 3.2. kam einer der Nachteile der Faktorenanalyse zum Ausdruck: Bei der Zusammenfassung der durch das vorgegebene Rechenverfahren analysierten Datensätze zu charakteristischen Gruppen ist eine gewisse willkürliche Einteilung unvermeidbar. Außerdem erfolgt bei der Faktorenanalyse eine Normierung der Datensätze, wodurch die absoluten Größen der Daten in der weiteren Bearbeitung keine Rolle mehr spielen.

Aus diesen beiden Gründen wurde für die vorliegende Aufgabenstellung die Clusteranalyse herangezogen. Diese Methode zeigt aber auch einen nicht unwesentlichen Nachteil: Das wichtigste Kriterium für den Zusammenschluß von Zeitreihen (hier Jahresmittel der Grundwasserstände verschiedener Meßstellen) zu Clustern besteht in der Minimierung der absoluten Größe der Differenz der zu vergleichenden Meßwerte. Andere charakteristische Eigenschaften der Datenreihen, wie z. B. Trends bei den hier untersuchten Daten können sich dadurch bei der Clusterbildung eventuell nicht ausreichend „durchsetzen“.

Darin lag der Grund für die im Abschnitt 3.3. aufgezeigte Vorgangsweise bei der Clusteranalyse, nämlich die Grundwasserganglinien zunächst zu Clustern mit ähnlichen Schwankungsamplituden zusammenzufassen und damit bei der weiteren Teilung in „Unter“-Cluster die spezifischen Eigenschaften der Grundwasserganglinien besser erfassen zu können.

Trotz dieser Vorgangsweise zeigte sich, daß durch das Ziel einer Minimierung der absoluten Größe der Differenz der durch das Rechenprogramm zu einem Cluster zusammengeschlossenen Zeitreihen jedoch für die Beurteilung des zeitlichen Ganges des Grundwasserganges charakteristische Verhaltensweisen verloren gehen können. Es war aus diesem Grund immer eine „händische“ Kontrolle der erzielten Ergebnisse notwendig, wobei natürlich eine gewisse Willkür nicht ganz auszuschließen ist. Aus diesem Grund muß die Clusteranalyse für das Finden von Gruppen von Zeitreihen mit möglichst einheitlichem Trend leider ebenfalls nur als zum Teil befriedigendes Verfahren bezeichnet werden.

6. Schlußfolgerung

Wegen der sehr geringen Beobachtungsdichte des Grundwasserstandes speziell im Westen Österreichs mit Beobachtungsbeginn bereits vor mehreren Jahrzehnten gilt die nachstehende Schlußfolgerung nur mit Vorbehalt: Innerhalb der letzten Jahrzehnte dürfte es im Westen Österreichs (Vorarlberg, Oberösterreich) zu keinem Absinken des Grundwasserstandes gekommen sein. Dagegen ist in sehr vielen beobachteten Grundwassergebieten des Ostens und Südens Österreichs (Burgenland, Kärnten, Niederösterreich und Steiermark) neben einer näherungsweise gleichbleibenden Spiegellage auch eine fallende Tendenz des Grundwasserstandes feststellbar. Anstiege des Grundwasserspiegels sind kaum nachweisbar. Der Rückgang der Höhenlage beträgt teilweise nur wenige Dezimeter, weist aber auch Beträge von mehreren Metern auf.

Als Ursache für die Veränderung kommen sowohl die im Osten Österreichs abnehmende Niederschlagstätigkeit, Eingriffe in Oberflächengewässern und schließlich auch die zu starke Nutzung des unterirdischen Wasserdargebots in Frage.

Die Bearbeitung zeigte aber auch, daß für eine wirklich nach allen Richtungen fundierte Aussage über eine mögliche Tendenz in der Höhenlage des Grundwasserspiegels Datenreihen vorhanden sein müßten, die sich mindestens über 50 Jahre (d. h. Beginn 1940, noch besser wäre 1920) erstrecken müßten. Eine dahingehende Datenergänzung ist selbstverständlich nicht möglich.

Es kann aber zur Beantwortung der für die Wasserwirtschaft Österreichs wichtige Frage nach einer Tendenz im Verhalten des Grundwasserspiegels eine andere Vorgangsweise vorgeschlagen werden, wobei für diesen Vorschlag die in letzter Zeit wieder vorhandenen etwas größeren Niederschläge – speziell im Jahre 1991 – eine besondere Bedeutung haben: Es wäre zweckmäßig, unter Verwendung des vorhandenen Datenstandes über die Höhenlage des Grundwasserspiegels, diesen Datenbestand um die Jahre 1984 bis 1993 zu ergänzen und dann wieder eine Untersuchung über das Verhalten des Grundwasserspiegels vorzunehmen. Dadurch wäre wahrscheinlich eine befriedigende Beantwortung der Frage nach einer Tendenz des Grundwasserstandes in Österreich zu erwarten.

Als Grundlage für die Sicherung der Wasserwirtschaft (insbesondere der Grundwasserwirtschaft) in Österreich wäre es prinzipiell erforderlich, alle 10 Jahre eine Untersuchung über den Gang des Grundwasserspiegels in den einzelnen Grundwassergebieten vorzunehmen. Um dabei aber auch die Verhältnisse im Westen Österreichs besser berücksichtigen zu können, wird abschließend vorgeschlagen, auf eine Erfassung der Naßjahre 1965/66 unter Inkaufnahme gewisser Nachteile zu verzichten und die Untersuchung mit dem Jahr 1972 – ab dem bereits 30 Grundwassergebiete in Österreich mit Beobachtungsdaten zur Verfügung stehen würden – beginnen zu lassen.

Literatur

- BARANYI, S., BOROVICZÉNY, F., DEAK, J., DREHER, J., MAJOR, P., NEPPEL, F., RAJNER, V., RANK, D. & REITINGER, J.: Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geochemie und der Geophysik. 1980–1984. – TU Wien, Inst. f. Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, Forschungsber. 6, 80 S., Wien 1985.

- BLÖSCHL, G.: Untersuchungen von Niederschlagsdaten mit dem Verfahren der Clusteranalyse. – TU Wien, Inst. f. Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft (Unveröff. Manuskript).
- BOLLINGER, G., HERRMANN, A. & MÖNTMANN, V.: BMDP-Statistikprogramme für die Bio-, Human- und Sozialwissenschaften. – Stuttgart – New York (Gustav Fischer Verlag) 1983.
- DIXON, W. J., BROWN, M. B., ENGELMANN, L., FRANE, J. W., HILL, M. A., JENNRICH, R. I. & TOPOREK, J. D.: BMDP Statistical software. – Los Angeles – London (University of California Press) 1981.
- DREHER, J. & REITINGER, J.: Grundwasserzonen im Seewinkel, Darstellung eines Teilaspektes des Grundwasserhaushaltes im Seewinkel. – Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland, BFB-Bericht, **51**, 49–59, Illmitz 1984.
- MAHLER, H.: Anwendung der Cluster- und Faktorenanalyse in der Grundwasserwirtschaft. – Diplomarbeit TU Wien, Inst. f. Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, 123 S., Wien 1986.
- MAHLER, H. & REITINGER, J.: Die Grundwasserverhältnisse im Seewinkel. – Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland, BFB-Bericht, **58**, 109–125, Illmitz 1986.
- ÜBERLA, K.: Faktorenanalyse. – Berlin – Heidelberg – New York (Springer) 1977.