

## **Fluß-Staue und Grundwasser**

**H. P. Nachtnebel, Wien**

### **1. Einleitung**

Ziel dieses Beitrages ist die Darstellung und Analyse der Veränderungen im Grund- und Oberflächenwasser, die durch Flußstauhaltungen bewirkt werden können. Insbesondere wird die Wechselwirkung zwischen Oberflächen- und Grundwassersystem behandelt. Als Fallbeispiel wird das Kraftwerk Altenwörth herangezogen.

Dieses Donaukraftwerk, bei Stromkilometer 1980.4 gelegen, wurde zwischen 1973 und 1976 errichtet. Der Einstau erfolgte ab April 1976. Die Ausbaufallhöhe beträgt 14 m; der Ausbaudurchfluß entspricht mit  $Q_A = 2700 \text{ m}^3/\text{s}$  einer 50-tägigen Wasserführung. Die maximale Leistung lag vor Einstau durch das Unterliegerkraftwerk Greifenstein bei 335 MW und reduzierte sich dann nach Einstau auf 328 MW. Der Staudamm des Kraftwerkes erstreckt sich bis in die Wachau hinein. Die Rückstaudämme verlaufen direkt entlang der ursprünglichen Uferlinien. Im linksufrigen Begleitdamm ist oberhalb von Kilometer 1995

eine Überströmstrecke durch eine leichte Absenkung der Dammkrone ausgebildet um das Hinterland bei Hochwässern zu dotieren. Weiters sind noch einige kleinere Dotationsbauwerke zur Speisung kleiner Gewässer an beiden Uferdämmen errichtet.

## **2. Veränderungen in den Oberflächengewässern**

### **2.1. Zustand vor Kraftwerkerrichtung**

Es besteht noch eine uneingeschränkte Kommunikation zwischen der Donau und den Augewässern; der Kontakt ist über die Mündungen der Zubringer Krems und Kamp sowie die oberwasserseitigen Ausläufer der Grabensysteme gegeben. Im Hochwasserfall besteht die Möglichkeit zur großflächigen Inundation beider Hinterländer. Linksufrig beginnt bereits ab ca.  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  – dieser Wert liegt knapp über der Mittelwasserführung – eine Einströmung in die Augewässer. Ab  $5000 \text{ m}^3/\text{s}$  treten beiderseits an mehreren Stellen Ausuferungen auf.

Veränderungen an den Oberflächengewässern wurden in chronologischer Reihenfolge durch den Schnellstraßenbau, durch den Kraftwerksbau und durch das Hinterlandprojekt bewirkt. Die Auswirkungen des Straßenbaues, die sich auf den Flußlauf der Fladnitz beziehen, erfolgten schon vor Kraftwerkerrichtung.

### **2.2. Veränderungen durch den Kraftwerksbau**

Die größten Eingriffe entstanden im Zuge des Kraftwerksbaues und bewirkten folgende Veränderungen, die schematisch in Abb. 1 dargestellt sind:

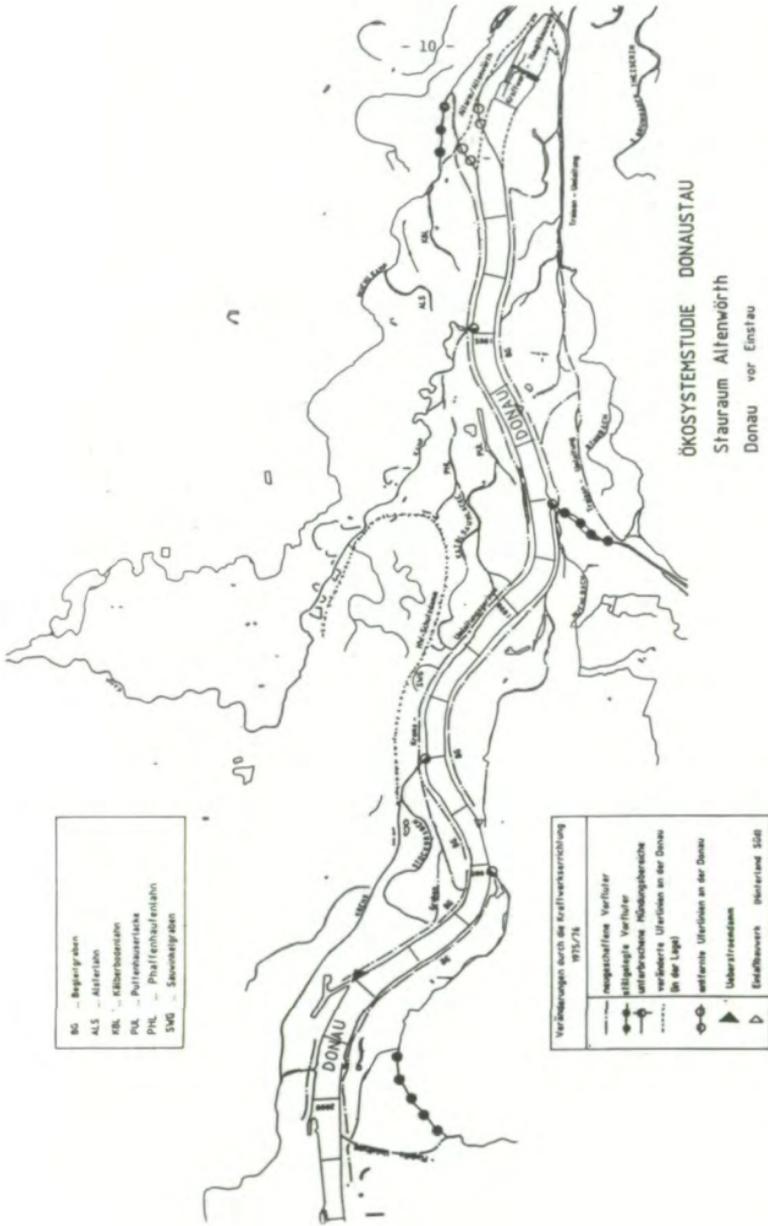


Abb. 1: Darstellung des Zustandes vor Einstau und der Veränderungen durch die Kraftwerkserrichtung.

- Abschließung der Einmündungen der Flußläufe Traisen, Krems und Kamp in die Donau;
- Neuerrichtung von Vorflutern für diese ins Unterwasser abgeleiteten Flußläufe;
- Abschluß der Verbindungen zwischen dem Donaustrom und den Augewässer durch den Rückstaudamm;
- Zusammenfassung der Auflüsse, Augewässer und Qualmwässer in links- und rechtsufrige, dammparallele Begleit- und Umleitungsgräben sowie Einmündung dieser Vorfluter in das Unterwasser des Kraftwerkes;
- Veränderungen der Uferstrukturen an der Donau durch die Errichtung der Rückstaudämme und die Neuerrichtung des Strombettes im Bereich des Hauptbauwerkes. Die Donau wurde in ihrer Linienführung im Bereich des Hauptbauwerkes durch einen etwa 1 km langen Durchstich einer Donauschlinge verschwenkt;
- Anhebung des Wasserspiegels in der Donau durch den Bau des Hauptbauwerkes und eines 20 km langen, am Beginn 15.0 m hohen Rückstaudammes.

Eine Hochwasserentlastung des Staurationes wurde durch die Errichtung einer ca. 400 m langen, befestigten Überströmstrecke geschaffen, die vor 1985 ab einer Wasserführung der Donau von  $5600 \text{ m}^3/\text{s}$  aktiviert wurde. Seit Kraftwerksbetrieb war dies einmal im Jahre 1981 der Fall. Kleinere

lokale Überflutungen traten 1985 im Kampbereich auf.

### **2.3. Hinterland Projekt**

Laut dem technischen Bericht des Hinterlandprojektes war es das Ziel der Maßnahmen, den Wasserhaushalt der Au zu verbessern. Aus diesem Grund sollte der Grundwasserspiegel durch häufige Dotation der Augewässer (Durchstiche, Rohrdurchlässe, Sohleintiefungen) und durch Anhebung des Wasserspiegels (Sohlschwellen, Furtaufhöhungen) in den Gräben beeinflußt werden.

Eine der wesentlichsten Maßnahmen bestand in der Absenkung eines Teiles der Überströmstrecke, um eine Dotation der Augewässer bereits ab einer Donauwasserführung von  $2300 \text{ m}^3/\text{s}$  zu ermöglichen. Die Hochwässer werden über das Krems-Kamp Umleitungserinne rasch wieder ins Unterwasser abgeführt, während die Augewässer relativ lange und gleichmäßig dotiert werden. In etlichen Bereichen ist eine Anhebung des Grundwasserspiegels festzustellen, doch ist eine zusammenfassende Beurteilung der Maßnahmen noch nicht möglich, da die Datenreihe zu kurz ist und außerdem die hydrologische Charakteristik der letzten  $1 \frac{1}{2}$  Jahre als atypisch zu bezeichnen ist.

### **2.4. Ist-Zustand**

Der Einfluß von Spiegelschwankungen der Donau auf das Grundwasser wird durch die Dämme drastisch

reduziert. Die nunmehrigen Randbedingungen sind durch die Begleitrinne gegeben, deren Spiegellage in etwa jener der Donau vor Aufstau entspricht. Über Gräben und Augewässer wirken Hochwässer größer als  $2300 \text{ m}^3/\text{s}$  ins Hinterland.

### **3. Grundwasser**

Die quantitativen Beeinflussungen des Grundwasserregimes durch die Kraftwerkserrichtung und die Begleitmaßnahmen sind in den Zeitreihen des Grundwasserstandes erkennbar. Sie wurden durch eine Reihe von Parametern erfaßt, die sowohl statische Zustände wie "mittlere Spiegellage" als auch das dynamische Verhalten wie "Schwankungsbreite" kennzeichnen. Zwei weitere Parameter seien kurz erläutert. Die "Ähnlichkeit" ist ein Maß für den Vergleich zweier Häufigkeitsverteilungen und gibt den Überlappungsbereich an, der zwischen 0 – das bedeutet keine Ähnlichkeit – und 1 – was zwei identischen Verteilungen entspricht – liegen kann. Der "Pegelweg" beschreibt die Grundwasserdynamik, indem die Summe der Vertikalbewegungen des Pegels ermittelt wird. Damit werden im Gegensatz zum Schwankungsbereich, der sich ausschließlich auf Extremwerte bezieht, alle Meßdaten verwendet. Die durchgeführten Untersuchungen beinhalten:

- Häufigkeitsanalyse mit Angabe der kennzeichnenden Parameter: Mittelwert, Streuung, Variationsbreite, Extremwerte, Quantile;

- saisonale Häufigkeiten;
- Veränderung der Extremwerte;
- Veränderung des Pegelweges.

Es sei festgehalten, daß die alleinige Analyse der Grundwasserstände noch keine Folgerung über die Auswirkungen auf die Vegetation zuläßt. Dafür ist die Kenntnis des Bodenaufbaues und seiner Mächtigkeit notwendig.

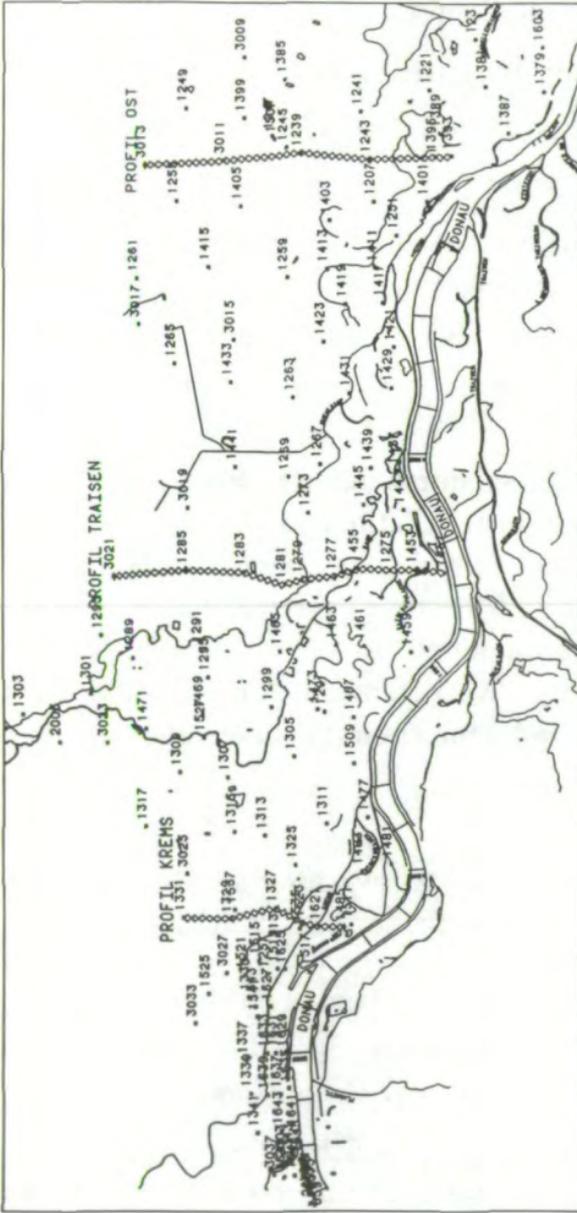
### **3.1. Veränderungen durch den Kraftwerksbau**

Die oben angeführten Parameter wurden für sämtliche Meßstellen berechnet. Zuerst werden einige Angaben für eine Meßstelle gegeben, deren Lage der Abb. 2 zu entnehmen ist, ehe nachfolgend die punktbezogenen Aussagen auf die Gesamtfläche durch stochastische Interpolation übertragen werden.

#### **Brunnen 1451:**

Zur Erläuterung der Auswertung sei der Brunnen 1451, der in Donaunähe im Traisenprofil liegt, verwendet. Der Mittelwert wurde vor 1976 mit 183.80 m. ü.A. berechnet, 1976 – 1984 ergibt sich ein Wert von 183.96, demnach liegen die mittleren GW-Stände nach Kraftwerkserrichtung um 0.16 m höher.

Der Wert der Standardabweichung für die Ganglinie von 1451 beträgt 0.61 m vor 1976, und 0.13 m nach 1976. Sie ging also auf ein Fünftel des Wertes



OEKOSYSTEMSTUDIE DONAUSTAU  
INSTITUT FÜR WASSERWIRTSCHAFT  
UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR

GW-MESSSTELLENNETZ  
MASSSTAB 1:200000

Abb. 2: Grundwassermessstellennetz im nördlichen Hinterland. Maßstab 1 : 200000.

vor Einstau zurück. Das bedeutet, der GW-Stand liegt rund 2/3 der Zeit nun in einem Schwankungsbereich von  $\pm 0.13$  m um den Mittelwert; die Ganglinie verläuft wesentlich gedämpfter.

Weiters fällt auf, daß die Maxima durch den Kraftwerksbau reduziert wurden. Das absolute Maximum vor 1976 betrug 185.23 m, nachher nur mehr 184.51. Auch die jährlichen Maxima vor 1976 reichten durchwegs bis an 185 m.

Die Überschreitungsdauerlinien der beiden Teilreihen der Station 1451 sind in Abb. 3 grafisch dargestellt. Zu jedem Grundwasserstand kann sofort seine Überschreitungswahrscheinlichkeit abgelesen werden.

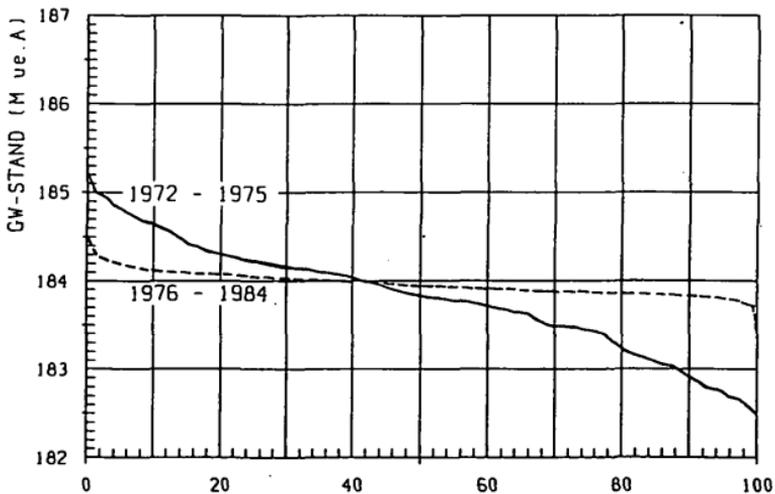


Abb. 3: Relative Summenhäufigkeiten des Grundwasser-Standes der Station 1451.

		vor 1976	nach 1976	Differenz
Mittelwert	(m)	183.80	183.96	0.16
Maximum	(m)	185.23	184.51	-0.72
Minimum	(m)	182.46	183.22	0.76
Streuung	(m)	0.61	0.13	-0.48
Variationsbreite	(m)	2.77	1.29	-1.48
50 % Abstand	(m)	0.79	0.17	-0.62
80 % Abstand	(m)	1.74	0.28	-1.46
Pegelweg	(m/a)	9.61	2.28	-7.33
Ähnlichkeit	(%)			32.9

Veränderungen statistischer Parameter für den Pegel 1451 (positive Differenz bedeutet Zunahme in der Zeit).

Aus den saisonalen Dauerlinien sind für die Station 1451 folgende Aussagen abzuleiten:

Im Sommer liegt der Median niedriger als vor Kraftwerkserrichtung, das heißt, daß die hohen Donauwasserstände im Sommer nicht mehr wirksam werden.

Im Herbst, in dem früher die niedrigen Grundwasserspiegellagen aufgetreten sind, liegt der Median um mehr als einen halben Meter höher als nach Kraftwerkserrichtung.

Selbst für diese sehr nahe an der Donau liegende Station reduziert sich der jährliche Pegelweg von 9.61 m auf 2.28 m. Das heißt, daß nach Kraftwerkserrichtung an dieser Meßstelle nur mehr knapp 1/4 der Schwankungen auftreten und damit die Be- und Entlüftung des Bodens und des Grundwassers deutlich abnimmt.

### **3.2. Untersuchung charakteristischer Talquerprofile**

Zur Darstellung der Vergleichsparameter in Ab-

hängigkeit der Lage der Meßstellen zur Donau und zur räumlichen Abschätzung der Auswirkungen wird ein Querprofil (Abb. 2) herangezogen.

Profil Traisen: Im Bereich zwischen Donau und Mühlkamp ergibt sich nach Errichtung des Donaukraftwerkes ein Anstieg der mittleren GW-Stände und ein Rückgang der Häufigkeit der Niederwasserstände und der Höchststände. Die Aufspiegelung ist bei den Stationen im Aubereich (1453, 1275) besonders deutlich.

Sehr stark ist auch hier die Abnahme des Pegelweges im donaanahen Bereich. Ebenso ist eine kontinuierliche Zunahme der Ähnlichkeit mit wachsendem Abstand zur Donau, ausgedrückt in den Prozentwerten der Ähnlichkeit zu beobachten.

Der positive Einfluß des Kampes ist deutlich zu erkennen. In seinem unmittelbaren Einflußbereich bleiben die Schwankungen weitgehend unverändert, wobei die mittleren Spiegellagen leicht angehoben werden.

### **3.3. Flächenhafte Darstellung**

Die bereits diskutierten Parameter wurden für alle GW-Meßstellen berechnet und für das nördliche Projektgebiet an Hand von zwei Beispielen – für die Veränderung im Mittel (Abb. 4) und im Pegelweg (Abb. 5) – im Gesamtgebiet dargestellt. Lokale Abweichungen von dieser klassifizierenden Darstellung sind berechnet worden; sie blieben hier jedoch außer Betracht.

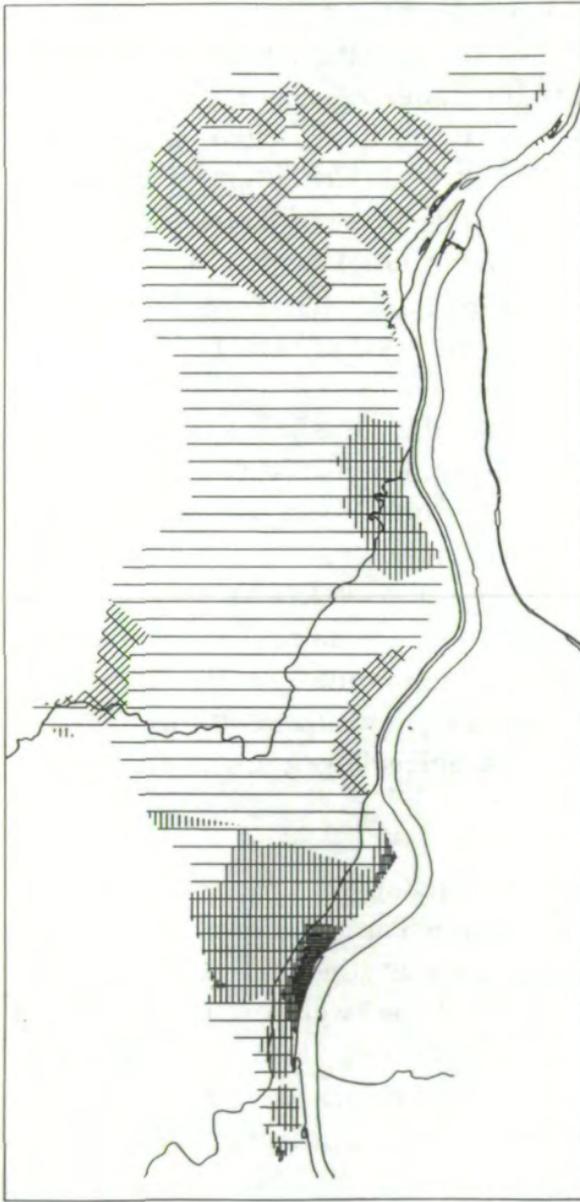


Abb. 4

-  < -0.2 m
-  -0.2 m - 0.2 m
-  0.2 m - 0.6 m
-  0.6 m - 1.0 m
-  > 1.0 m

### OEKOSYSTEMSTUDIE DONAUSTAU

INSTITUT FÜR WASSERWIRTSCHAFT  
UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR

DIFFERENZ DER MITTLEREN GW-STÄNDE  
NACH - VOR EINSTAU  
MASSSTAB 1:200000

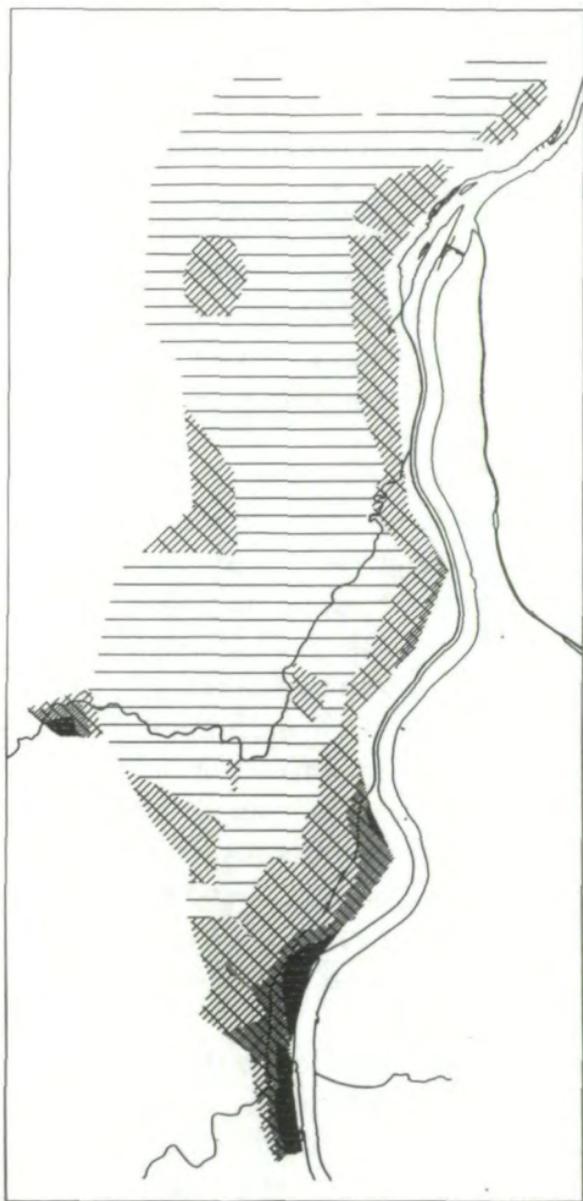
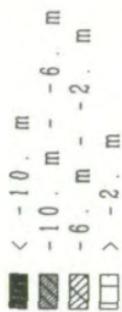


Abb. 5

### ÖKOSYSTEMSTUDIE DONAUSTAU

INSTITUT FÜR WASSERWIRTSCHAFT  
UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR

DIFFERENZ DER GW-PEGELWEEGE  
PRO JAHR NACH - VOR EINSTAU  
MASSSTAB 1:20000



**Mittelwert und Standardabweichung:** Die Veränderung der mittleren GW-Stände sind generell sehr gering. Für rund 80 % der Fläche sind die Mittelwerte im Bereich  $\pm 0.2$  m gleich geblieben. Nur im engsten Bereich des Hafens Krems wurden die mittleren GW-Stände im Zusammenhang mit dem Hafenausbau um mehr als 1 m angehoben. Anhebungen von 0.2 bis 0.6 m sind auch noch im Bereich der Kampmündung festzustellen. Ein größerer Bereich geringer Absenkungen ist nördlich des Kraftwerkes, im Altarmbereich und in der Eintiefungsstrecke unterhalb des Kraftwerkes erkennbar.

**Pegelweg:** Die Darstellung der Veränderung der Pegelwege (Abb. 5) zeigt den deutlichsten Zusammenhang mit der Entfernung zur Donau. Im Stadtgebiet Krems und im Hafenbereich bedeutet die Reduktion um mehr als 10 m das praktisch völlige Fehlen von GW-Schwankungen nach Einstau. Der Bereich - 6 bis - 10 reicht bis 5 km östlich von Krems. Von dort bis unterhalb des Kraftwerkes reicht ein annähernd gleichmäßig breiter Bereich (ca. 1.5 km) mit einer Reduktion um 2 bis 6 m. Generell wurden die Pegelwege in diesem donauparallelen Streifen auf die Hälfte bis zu ein Fünftel des Wertes vor Einstau reduziert.

**Maxima im Grundwassergang:** Ergänzend seien noch die Veränderungen in den Maxima, die in einem donauparallelen Bereich deutlich tiefer liegen, beschrieben. Die Höchststände nach Einstau sind durchwegs geringer und zwar im Bereich Krems um

mehr als 1.5 m. Änderungen um  $-0.5$  bis  $-1.5$  m reichen immerhin 1.5 bis 2 km ins Hinterland. Die isolierten Veränderungen im donaufernen Bereich sind in keinem kausalen Zusammenhang zur Kraftwerkserrichtung zu sehen. Die Ursachen liegen in Entnahmen für die Landwirtschaft und in der Anlage von Vorflutgräben.

### **3.4 Grundwasserqualität**

Das Untersuchungsergebnis läßt sich mit Hilfe der Leitfähigkeitswerte sehr deutlich in zwei Zonen teilen:

**Zone 1:** Beeinflussung durch das binnenseitige Grundwasser. Die Leitfähigkeitswerte im zuströmenden Grundwasser liegen bei 1000 bis 1200  $\mu\text{S}$ . Die Durchmischungszone mit Leitfähigkeitswerten von 600 bis 1000  $\mu\text{S}$  reicht im Norden bis an den Mühlkamp und im Osten bis an den Altarm der Donau.

**Zone 2:** Beeinflussung durch die Oberflächengewässer. Die niederen Leitfähigkeitswerte (300 – 500  $\mu\text{S}$ ) im Bereich zwischen Mühlkamp und Donau zeigen, daß in diesem Gebiet Oberflächenwasser aus der Donau über das Umleitungsgerinne und aus der Krems (Leitfähigkeit 300 – 400  $\mu\text{S}$ ), sowie Kamp und Mühlkamp mit einer Leitfähigkeit von 200 und 300  $\mu\text{S}$  infiltriert wird.

Für den Sauerstoffgehalt läßt sich, in Übereinstimmung mit der Zone mit Oberflächenwasserbeeinflussung, ein Gebiet mit sehr niedrigen  $\text{O}_2$  Gehalten festlegen, wobei als Grenze ein Mittelwert (1.5 mg/l) angesetzt wurde. In Donaunähe sinken die Mittel-

werte bis auf unter 0.5 mg/l. Erst im landseitig beeinflussten Gebiet treten Sauerstoffgehalte von 2 bis 5 mg/l auf. Abb. 6 zeigt die Zonen mit gleichen

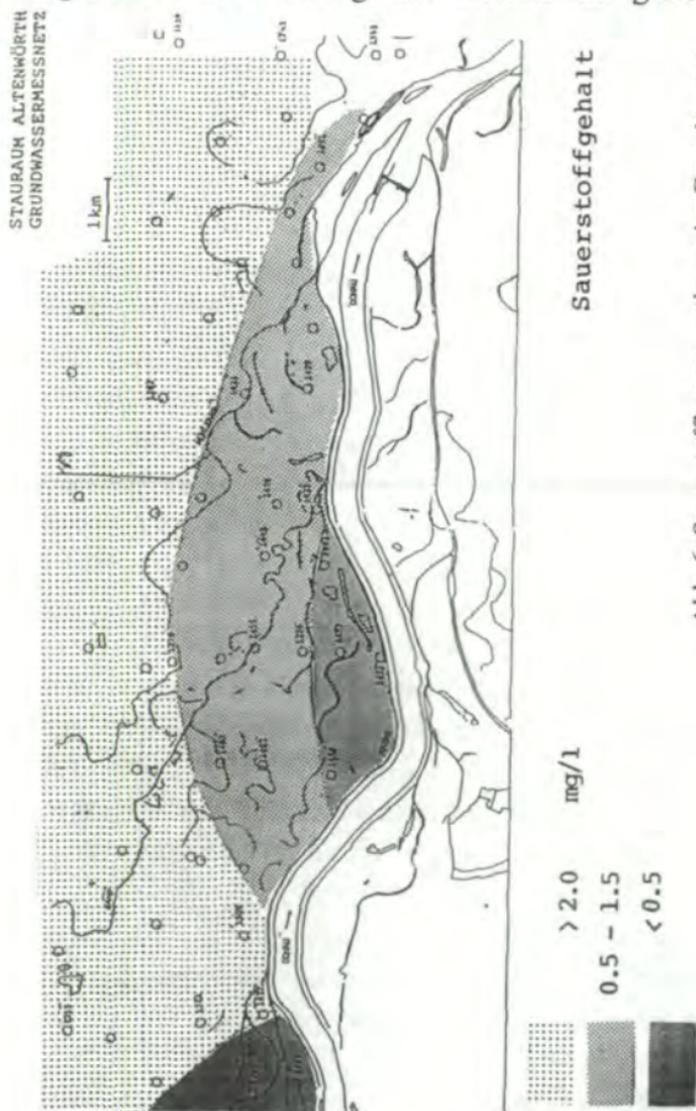


Abb. 6: Sauerstoffkonzentrationen im Grundwasser in mg/l.

mittleren Sauerstoffkonzentrationen. Bei einigen Brunnen (1477, 1455 und 1439) zeigen sich bei Hochwässern Anstiege in der Sauerstoffkonzentration.

Im Bereich der Brunnen (Punkte 1451, 1453, 1275, 1455, 1445, 1437 und 1443) treten die Auswirkungen der reduzierenden Verhältnisse besonders stark auf. Die Parameter Ammonium, Nitrit, der  $\text{KMnO}_4$ -Verbrauch, sowie die Werte für Eisen und Mangan zeigen hier stark erhöhte Werte.

Die längerfristige Entwicklung der Grundwasserqualität ist mangels einer ausreichenden Datenbasis nur für einen Brunnen im südlichen Gebiet zu beschreiben. Aus den Meßreihen ist zu erkennen, daß der Übergang zu sauerstoffarmen bis anaeroben Verhältnissen sehr langsam vor sich geht, nach 5 bis 6 Jahren aber zu raschen Konzentrationsänderungen von Eisen und Mangan führt.

### **Zusammenfassung:**

Die Analyse der Grundwasserstände zeigte eine deutliche Abnahme in der Dynamik, charakterisiert durch Schwankungsbereich und Pegelweg, während die Veränderungen in der mittleren Spiegellage eher gering sind. Im Unterwasser des Kraftwerkes sowie im Bereich des Kremser Hafens treten auch deutliche Lageveränderungen auf. Der Einfluß der Donau im Hinterland wurde durch den Kraftwerksbau weitestgehend ausgeschaltet, erst durch die Tieferlegung eines Teiles der Überströmstrecke treten wieder Hochwässer im Hinterland auf, die allerdings sehr ge-

dämpft wirksam werden. Im Bereich des Kampes zeigten sich weitgehend ähnliche Zustände wie vor Kraftwerkserrichtung. Die Grundwasserqualität zeigt eine sauerstoffarme Zone in einem zwei bis drei Kilometer breiten Streifen entlang der Donau. Dies stellt auch den Wirkungsbereich der Donau im Hinblick auf andere Kenngrößen dar. Da in den Beckenlagen Österreichs und insbesondere in den Grundwasserbegleitströmen entlang der Donau große Grundwasservorkommen liegen, sind Maßnahmen zu deren Schutz und längerfristigen Nutzbarkeit zu setzen.

**Danksagung:**

Herr Dipl. Ing. R. Godina bearbeitete die Oberflächengewässer; Herr Dipl. Ing. S. Haider und Herr Dipl. Ing. A. Krebs behandelte quantitative Aspekte im Grundwasser. Die Grundwasserqualitätsuntersuchungen stammen von den Herren A. Fürnkranz, E. Huter, Dipl. Ing. H. Jung und Dipl. Ing. W. Urban. Diese Untersuchung konnte im Rahmen der Ökosystemstudie "Donaustau Altenwörth", die vom Österreichischen Nationalkomitee für das UNESCO-Programm in Auftrag gegeben und neben dem BMFWF auch von der Österr. Donaukraftwerke AG finanziert wurde, durchgeführt werden.

**Anschrift des Verfassers:**

Univ. Doz. Dr. H. P. Nachtnebel  
Universität für Bodenkultur  
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstr. Wasserbau  
1180 Wien, Gregor Mendelstraße 33