Auswirkungen der Grundwasserbewirtschaftung auf die Grund- und Oberflächenwasserqualität des 2. und 20. Wiener Gemeindebezirkes

The impact of groundwater management on the quality of ground and surface water in the 2nd and 20th districts of Vienna

von S. SCHUSTER

KURZFASSUNG/SUMMARY

Das Grundwasser im 2. und 20. Bezirk wird nach Errichten einer Dichtwand alleinig durch 25 Bewirtschaftungsbrunnen entlang der Donau reguliert. Online Wasserqualitätsmessstellen, welche kontinuierlich Donau- und Uferfiltrat auf chemische Parameter untersuchen, dienen neben der in regelmäßigem Intervall stattfindenden Beprobung und Untersuchung von Grundwassermessstellen einer qualitativen Früherkennung von Verschlechterungen sowie generell der qualitativen Überprüfung und Beweissicherung von Grund- und Oberflächengewässern. Nach nunmehr 10 Jahren Grundwasserbewirtschaftung konnte durch den direkten Vergleich der Zeitperioden vor Stauerrichtung „IST-Zustand“ und der Periode nach Vollstauerrichtung die chemischen Veränderungen der Grund- und Oberflächengewässer aufgezeigt werden. Im Nahbereich der Donau stellte sich im Grundwasser ein deutlicher Donau-beeinflußter Charakter ein, welcher sich langsam und abgeschwächt, jedoch messbar bis ins Hinterland auswirkt. Durch die strenge qualitative Kontrolle des zur Versickerung gebrachten Uferfiltrates werden Kontaminationen verhindert, sodass sich langfristig bestehende lokale Verunreinigungen verdünnen bzw. natürlich abbauen. Erstmalig auf der Welt wurde unter immensem finanziellem Aufwand ein qualitatives Messprogramm etabliert, welches der laufenden Qualitätskontrolle sowie der nachhaltigen Beweissicherung der Grund- und Oberflächenwasserqualität zweier Wiener Gemeindebezirke dient. Veränderungen der Wasserqualität und Auswirkungen dieses Systems sind in diesem Beitrag zusammengefasst.

Since the provision of the impervious diaphragm for the power development on the River Danube, the water table in the 2nd and 20th districts of Vienna has been controlled only through 25 wells located along the river. On-line water quality monitoring stations, which continuously check Danube and river-bank filtrates for chemical parameters, serve to ensure early identification of deterioration in quality, thus supplementing the regular sampling and analyses conducted at groundwater measuring stations. In addition, they serve for a general qualitative check and recording of evidence for ground and surface water. After 10 years' groundwater management, direct comparison between the conditions prior to and after impoundment shows the chemical changes that have taken place in the ground and surface water. In the vicinity of the Danube, the ground water has come to reflect a distinct influence from the river water, and this gradually decreases towards the hinterland. Strict qualitative control of the river-bank filtrate which seeps into the ground prevents contamination, so that existing local contaminations can in the long term become diluted or degraded by natural processes. An extremely expensive qualitative monitoring programme has been established as a worldwide first. This provides regular quality control and recording of evidence for the quality of ground and surface water in two districts of Vienna. Changes in water quality and the effects of this system are summarised in this report.

1. EINLEITUNG

Die Grundwasserbewirtschaftung des 2. und 20. Bezirkes umfasst 25 Brunnenanlagen zur direkten Entnahme von Donauuferfiltrat, 21 Versickerungsbrunnen zur Dotation des Grundwassers hinter den errichteten Dichtwänden und 21 Messstellen entlang der Häuserfront am Handelskai (Hinterland) (DREHER und GUNATILAKA, 1997). Weiters werden im Zuge der qualitativen Beweissicherung der Grundwasserbewirtschaftung laut Umfang der qualitativen hydrologischen Beweissicherung für das Kraftwerk Wien Freudenua auch hygienisch relevante Messstellen (HRM) im Hinterland des 2. und 20. Bezirkes analysiert. Online-Wasserqualitätsmessstationen von Donau und Uferfiltrat dienen der Frühwarnung allfälliger Wasserverunreinigungen und vervollständigen die Gesamtbeweissicherung für dieses Teilgebiet (GUNATILAKA und DREHER, 1997).

Abb. 1. Gruppenbildung von 20 vordefinierten Parametern über alle Grundwasserprobenahmestellen gepoolt mittels Clusteranalyse. Ähnlichkeiten drücken sich durch kürzere Distanzen der Seitenäste aus.

Abb. 2. Gruppenbildung von 21 vordefinierten Parametern über alle Oberflächenwasserprobenahme-
stellen gepoolt mittels Clusteranalyse. Oberflächenwasser relevante Parameter wie BSB₅ und DOC
sind deutlich mit der Oxidierbarkeit (hier als Permanganatverbrauch dargestellt) korreliert. Diese
Gruppe für sich zeigt wiederum eine große Ähnlichkeit mit den Phosphatfraktionen. Deutlich davon
abgetrennt ist die Gruppe der Hauptkationen und -anionen.

Ziel des qualitativen Beweissicherungsprogramms ist das rechtzeitige Erkennen einer Grundwasserverunreinigung im 2. und 20. Wiener Gemeindebezirk sowie das Abstellen des Dotationsbetriebes bei Verschlechterung der Qualität des Donauwassers oder des Uferfiltrates vor oder nach der Inbetriebnahme der Grundwasserbewirtschaftung der 25 an der Donau situierten Brunnenanlagen. Überschreitet ein Qualitätsparameter einen definierten und vorgeschriebenen Grenzwert (Abbruchkriterium), ist die Dotation einzustellen und die in der Betriebsordnung vorgesehenen Maßnahmen sind anzuwenden.

Nur wenn die Konzentrationen der untersuchten Parameter der Proben aus den Entnahmebrunnen unterhalb der Abbruchkriterien (in der Folge AK genannt) bleiben, darf Uferfiltrat aus der Donau im Hinterland über die Schluckbrunnen zur Versickerung gebracht werden.

Die Messstellen werden aufgrund ihrer geografischen Lage und ihrer Wasserqualität zu zwei Großgruppen mit Untergruppen zusammengefasst:

Abb. 3. Änderungen chemisch-physikalischer Parameter im Transekt entlang der Grundwasserfließrichtung „Donau–Hinterland (Donaukanal)“. Es zeigt sich, dass der pH-Wert sukzessive mit zunehmendem Abstand zur Donau abnimmt, wohingegen das Grundwasser sich immer mehr mit Ionen anreichert und somit die Leitfähigkeit zunimmt. In den Bewirtschaftungsbrunnen, zwischen Entnahmebrunnen und Schluckbrunnen ist für eine zusätzliche Sauerstoffanreicherung des zur Versickerung gebrachten Uferfiltrates eine Belüftung eingebaut. Diese zeigt jedoch nach langjähriger Beobachtung nur einen geringen bis keinen Erfolg. Der Sauerstoffgehalt nimmt bereits bei der Passage durch den Uferkörper deutlich ab.

- Bewirtschaftungsmessstellen
- Entnahmebrunnen (E)
- Schluckbrunnen (S)
- Hinterlandpegel (HLP)
- Online-Stationen (OL)
- Beweissicherungsmessstellen
- Hygienisch Relevante Messstellen (HRM)

Spätestens nach Abschluss der Baumaßnahmen zur Dichtwanderrichtung entlang des Donauufers des 2. und 20. Wiener Gemeindebezirkes sowie der Inbetriebnahme der 25 Brunnenanlagen zur Grundwasserbewirtschaftung im Jahre 1996 (Teilstaubeginn) erfolgte eine vollständige Trennung und Entkopplung der natürlich gegebenen Dynamik der Donau und des Aquifers. Somit lassen sich drei voneinander abgrenzbare Zeitbereiche unterscheiden: (1) vor Stauerrichtung („IST-Zustand“) – (2) Zustand während der Stauerrichtung und (3) Endzustand nach Vollstauerrichtung, welche einander gegenüber gestellt und statistisch ausgewertet werden können.

2. AUSWERTUNGSMETHODE

Die Ergebnisse der Bewirtschaftungs- und Beweissicherungsmessstellen werden laufend auf Grenzwertüberschreitungen bzw. Veränderungen der Wasserqualität untersucht. In jährlichen Bewirtschaftungsberichten werden die Daten zusammengefasst, statistisch ausgewertet, interpretiert und der Behörde vorgelegt (SCHUSTER, 1995–2006). Überschreitungen von Grenzwerten, auffallende Veränderungen wie trendartige Konzentrationszu- bzw. -abnahmen an ein oder mehreren Messstellen sowie plötzliche Veränderungen der Wasserqualität werden durch Nachbeprobungen verifiziert und routinemäßig weiter beobachtet. Basierend aus den Datenauswertungen der Bewirtschaftungsmessstellen lassen sich erste Zusammenhänge zwischen Bewirtschaftungsbetrieb und Änderung der Wasserqualität im Nahbereich der Donau herauslesen. Um allfällige Veränderungen der Wasserqualität des Hinterlandes im Zusammenhang mit der Bewirtschaftung aufzuzeigen, wurden jedoch allein die Hygienisch relevanten Messstellen (HRM) für weitere Auswertungen herangezogen.

Die Auswertung dieser vorhandenen HRM-Datensätze erfolgte in mehreren Stufen. Im **ersten Schritt** erfolgte eine Generalaufnahme der vorhandenen Daten – was steht an Parametern (Variablen) zur Verfügung und in

Abb. 4. Messstellenclusteranalyse aller Messdaten der Messstellen des Teilgebietes 2. und 20. Bezirk – vor (oben) und nach Vollstauerrichtung (unten). Veränderungen der Wasserqualität werden durch Änderungen des Ähnlichkeitsverhältnisses der Messstellen zueinander aufgezeigt.

welcher Qualität – sowie eine Bestimmung der deskriptiven Parameter, wie Lagemaße (arithmetisches Mittel, Median) und Streuungsmaße (Standardabweichung, Standardfehler, Spannweite). Aus diesen Parametern ließen sich erste Aussagen über Struktur und Verteilung der Analysewerte machen. Ergebnis dieser Untersuchung war ein Ausschluss nominaler, extrem variationsarmer und inkonsistenter Datensätze von bis zu 170 untersuchten Parametern auf zunächst 25, später 20 Parameter bei Grundwassermessstellen (GW) bzw. 28, später 21 Parameter bei Oberflächenwassermessstellen (OW), welche für eine weitere Analyse verwendet werden, d.h. maximal 300

(GW) bzw. 378 (OW) Korrelationen pro Matrix. Dies war notwendig, da bei einer Vielzahl an untersuchten Parametern, wie z. B. den organischen Spurenelementen (Pestiziden, PCBs, LHKWs), nur Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze gemessen werden konnten.

Im **zweiten Schritt** erfolgte eine erste Korrelationsanalyse (Spearman) über die Datengesamtheit aller Messstellen, die gepoolten (vor Stau und Vollstau) Einzelmessstellen und über die nach Stauperiode aufgeschlüsselten Einzelmessstellen. Die Spearman Rang-Korrelation diente zur Abrundung des Gesamtbildes, um erste Ideen bezüglich Zusammenhänge

Tabelle 1. Spearman-Rangkorrelation von 25 Parametern aller Grundwassermessstellen im 2. und 20. Bezirk sowie alle Befunde, gepoolt über die Perioden vor Stau und Vollstau

Spearman's rho		WT	pH	LF	SK_43	GH	KH	NKH	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	NH4	HCO3	Cl	NO3	NO2	SO4	BO3	B	o-PO4	KMnO4	DO %	DOC
Wassertemperatur	Correlation Coefficient	-0.05	0.12	0.03	0.05	0.04	0.06	0.05	0.06	0.29	0.32	-0.04	0.13	0.11	0.04	0.17	0.24	0.20	0.08	0.34	0.35	0.21	0.05	0.04	-0.19	
	Sig. (2-tailed)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N	7934	6866	7934	7693	7698	7796	7797	7773	7796	7796	7341	7796	7814	7793	7795	7803	7801	7795	7766	7592	7794	7691	7904	6038	
pH-Wert	Correlation Coefficient	-0.05146		-0.60	-0.70	-0.64	-0.70	-0.47	-0.67	-0.51	-0.47	-0.38	0.04	-0.01	0.04	-0.70	-0.46	-0.25	-0.17	-0.52	-0.38	-0.40	0.02	-0.06	0.16	-0.16
	Sig. (2-tailed)	4.5E-06		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
	N	7934		6870	7698	7802	7803	7779	7802	7802	7791	7792	7347	7802	7820	7802	7801	7809	7808	7801	7772	7600	7807	7697	7904	6036
el.Leitfähigkeit (25°C)	Correlation Coefficient	0.12177	-0.60462		0.85	0.97	0.85	0.88	0.88	0.91	0.88	0.73	-0.03	0.02	-0.01	0.85	0.88	0.63	0.17	0.91	0.72	0.74	0.06	0.03	0.07	0.30
	Sig. (2-tailed)	4.2E-24	0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.19	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
	N	8887	6870		6628	6732	6733	6715	6732	6732	6721	6722	6277	6732	6759	6729	6731	6739	6737	6731	6730	6800	6731	6827	6840	5535
Säurekapazität (pH 4.3)	Correlation Coefficient	0.03383	-0.70359	0.84949		0.88	1.00	0.82	0.85	0.79	0.69	0.58	0.04	0.14	0.07	1.00	0.67	0.38	0.16	0.68	0.58	0.58	-0.01	0.10	-0.13	0.33
	Sig. (2-tailed)	0.003	0	0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
	N	7693	7698	6628		7700	7701	7683	7700	7700	7700	7701	7245	7700	7701	7697	7699	7699	7672	7600	7698	7698	7595	7674	5815	
Gesamthärte	Correlation Coefficient	0.04504	-0.63568	0.96565	0.88125		0.88	0.90	0.93	0.92	0.77	0.64	0.00	0.04	-0.01	0.88	0.82	0.57	0.12	0.91	0.64	0.65	-0.02	0.02	0.03	0.33
	Sig. (2-tailed)	7E-05	0	0	0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.63	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.07	0.01	0.05
	N	7796	7802	6732	7700		7805	7782	7805	7805	7793	7794	7349	7804	7805	7801	7803	7805	7804	7803	7774	7599	7802	7699	7766	5920
Carbonathärte	Correlation Coefficient	0.03977	-0.70156	0.85178	0.99751	0.88354		0.63	0.85	0.79	0.69	0.58	0.04	0.14	0.07	1.00	0.66	0.38	0.16	0.69	0.57	0.58	-0.01	0.10	-0.13	0.33
	Sig. (2-tailed)	0.00044	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
	N	7797	7803	6733	7701	7805		7792	7805	7805	7794	7795	7350	7805	7806	7802	7804	7806	7805	7804	7775	7600	7803	7700	7767	5920
Nichtcarbonathärte	Correlation Coefficient	0.05885	-0.4652	0.8796	0.62318	0.90481	0.62597		0.83	0.85	0.71	0.58	-0.03	-0.05	-0.07	0.63	0.80	0.64	0.06	0.94	0.59	0.60	0.00	-0.06	0.16	0.28
	Sig. (2-tailed)	2.1E-07	0	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	0.00	0.00
	N	7773	7779	6715	7683	7782	7782		7782	7782	7770	7771	7326	7781	7782	7778	7780	7782	7781	7780	7753	7584	7779	7676	7743	5912
Calcium (Ca ²⁺)	Correlation Coefficient	0.05405	-0.67034	0.88437	0.93272	0.84863	0.82766	0.773		0.62	0.62	0.53	0.01	0.03	-0.01	0.85	0.72	0.49	0.13	0.65	0.69	0.61	-0.01	0.03	-0.03	0.33
	Sig. (2-tailed)	1.8E-06	0	0	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.05	0.00
	N	7796	7802	6732	7700	7805	7805	7782		7805	7793	7794	7349	7804	7805	7801	7803	7805	7804	7803	7774	7599	7802	7699	7766	5920
Magnesium (Mg ²⁺)	Correlation Coefficient	0.05554	-0.51362	0.90779	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991	0.91991
	Sig. (2-tailed)	9.2E-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N	7796	7802	6732	7700	7805	7805	7782	7805	7793	7794	7349	7804	7805	7801	7803	7805	7804	7803	7774	7599	7802	7699	7766	5920	
Natrium (Na ⁺)	Correlation Coefficient	0.28688	-0.46698	0.8609	0.69015	0.76624	0.68765	0.70719	0.68277	0.75642		0.76	-0.06	0.08	0.04	0.69	0.90	0.61	0.23	0.74	0.73	0.73	0.16	0.05	0.04	0.13
	Sig. (2-tailed)	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N	7785	7791	6721	7700	7793	7794	7770	7793	7793		7794	7338	7793	7794	7790	7792	7794	7793	7765	7599	7791	7688	7764	5908	
Kalium (K ⁺)	Correlation Coefficient	0.31507	-0.36498	0.7335	0.57831	0.64326	0.58056	0.58337	0.58159	0.64552	0.75589		0.35	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sig. (2-tailed)	0.00044	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N	7796	7792	6722	7701	7794	7795	7771	7794	7794	7794		7339	7794	7795	7791	7793	7795	7794	7793	7766	7600	7792	7689	7765	5909
Eisen (gesamt)	Correlation Coefficient	-0.03748	0.03662	0.03367	0.03636	0.00484	0.03533	-0.03337	0.00968	0.00723	-0.05547	-0.04791		0.38	0.29	0.03	-0.04	-0.27	-0.03	-0.01	-0.08	-0.08	-0.09	0.07	-0.15	0.28
	Sig. (2-tailed)	0.00132	0.00169	0.00764	0.00197	0.67801	0.00245	0.00429	0.45688	0.53573	2E-05	4E-05		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N	7341	7347	6277	7245	7349	7350	7326	7349	7349	7338	7339		7349	7350	7345	7348	7348	7348	7348	7319	7144	7347	7345	7311	5464
Mangan (gesamt)	Correlation Coefficient	0.12754	-0.05052	0.01586	0.14102	0.04343	0.14136	-0.04916	0.0761	0.02338	0.07753	0.10693	0.36068		0.50	0.14	0.01	-0.21	0.18	-0.01	0.07	0.08	0.04	0.20	-0.41	0.31
	Sig. (2-tailed)	1.2E-29	0.61936	0.19335	0.00012	0.14E-05	1.7E-11	0.03907	7.2E-12	2.9E-21		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N	7796	7802	6732	7700	7804	7805	7781	7804	7804	7793	7794	7349		7805	7801	7803	7805	7804	7803	7774	7599	7802	7699	7766	5920
Ammonium (NH ₄ ⁺)	Correlation Coefficient	0.1101	0.03997	0.00759	0.07303	-0.00541	0.0731	-0.07404	-0.0077	0.01145	0.03788	0.06295	0.29458	0.50165		0.00	0.02	-0.19	0.07	-0.05	0.06	0.05	0.00	0.16	0.25	0.11
	Sig. (2-tailed)	1.7E-22	0.00041	0.53321	1.4E-10	0.63258	1E-10	6.2E-11	0.46651	0.31187	0.00082	2.2E-13	0	0		0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N	7814	7820	6750	7701	7805	7806	7782	7805	7805	7794	7795	7350	7805		7802	7804	7812	7810	7804	7775	7600	7803	7700	7784	5920
Hydrogencarbonat	Correlation Coefficient	0.03744	-0.6979	0.85004	0.99723	0.88403	0.99698	0.62811	0.84686	0.79556	0.68519	0.03293	0.14057	0.07356		0.66	0.37	0.17	0.69	0.58	0.58	-0.01	0.11	-0.12	0.32	
	Sig. (2-tailed)	0.00095	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00476	0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N	7793	7802	6729	7697	7801	7802	7778	7801	7801	7790	7791	7346	7801	7802		7800	7802	7803	7804	7772	7600	7799	7766	7763	5917
Chlorid (Cl ⁻)	Correlation Coefficient	0.17416	-0.45968	0.88286	0.66718	0.81579	0.66473	0.79635	0.71511	0.80247	0.9018	0.69413	-0.03525	0.01169	0.01766	0.66262		0.54	0.16							

Tabelle 3. Detailauswertung der Beispiel-Messstelle 1930,514 – Lasalleestraße. Neben Mittelwert pro Untersuchungszeitraum wurden erweiterte statistische Kenngrößen miterfasst. Signifikante Änderungen pro Parameter wurden in der letzten Spalte farblich rot markiert, wobei eine Konzentrationszu- oder -abnahme in den Spalten mit > oder < dargestellt wurden.

Stationsnummer **1930_514**
 Stationsname **Bank Austria - Lasallestraße**
 Ablagenummer **278**
 Postzahl **3279**

Nr.	Parameterbezeichnung	Par. Dim.	vor Stau	Vollstau	Kommentar	F-Test (Varianz)	bei Vollstau		t-Test (p)	Sign. Untersch.
			Mittelwert				Mittelwert	Median		
	A.) CHEM.PHYS.STANDARDUNTERSUCHUNG									
	physikalische Parameter									
3102	Lufttemperatur	°C	4,167	14,69	t-Test	homogen	>	>	0,008	JA
3101	Wassertemperatur (vor Ort)	°C	17,6	16,12	t-Test	homogen	<	<	0,021	JA
3070	pH-Wert (Ort und Stelle)		7,003	6,975	t-Test	homogen	<	<	0,572	NEIN
3071	pH-Wert (Labor)				Anz. = 0	no F				
3076	Redoxpotential (Ort und Stelle)	mV		405,6	Anz. = 0	no F				
3095	Spekt. Abs. Koeff.: bei 254 nm filtriert	1/m		2,482	Anz. = 0	no F				
3096	Spekt. Abs. Koeff.: bei 436 nm filtriert	1/m		0,104	Anz. = 0	no F				
3013	el.Leitfähigkeit (25°C, Ort und Stelle)	µS/cm		1083	Anz. = 0	no F				
3014	el.Leitfähigkeit (25°C, Labor)	µS/cm			Anz. = 0	no F				
3015	el.Leitfähigkeit (20°C, Ort und Stelle)	µS/cm		920,4	Anz. = 0	no F				
3016	el.Leitfähigkeit (20°C, Labor)	µS/cm	1383		Anz. = 0	no F				
	Wasserhärte									
2202	Säurekapazität (pH4.3)	mmol/l	9,25	7,202	t-Test	heterogen	<	<	0,000	JA
2286	Gesamthärte	°dH	35,12	27,12	t-Test	homogen	<	<	0,000	JA
2288	Carbonathärte	°dH	25,85	20,18	t-Test	heterogen	<	<	0,000	JA
2290	Nichtcarbonathärte	°dH	9,267	6,93	t-Test	heterogen	<	<	0,087	NEIN
	Kationen									
2273	Calcium (Ca2+)	mg/l	166,7	133	t-Test	homogen	<	<	0,000	JA
2298	Magnesium (Mg2+)	mg/l	51,5	36,87	t-Test	homogen	<	<	0,000	JA
2304	Natrium (Na+)	mg/l	58,67	37,19	t-Test	heterogen	<	<	0,000	JA
2294	Kalium (K+)	mg/l	11,83	10,52	t-Test	homogen	<	<	0,021	JA
2283	Eisen (gelöst)	mg/l		0,04038	Anz. = 0	no F				
2284	Eisen (gesamt)	mg/l	0,01167	0,01125	t-Test	homogen	<	=	0,856	NEIN
2281	Eisen II	mg/l		0,028	Anz. = 0	no F				
2537	Mangan (gesamt)	mg/l	0,1583	0,05885	t-Test	homogen	<	<	0,000	JA
2565	Mangan II	mg/l		0,04875	Anz. = 0	no F				
2309	Ammonium (NH4+)	mg/l	0,2162	0,0335	t-Test	heterogen	<	<	0,000	JA
	Anionen									
2291	Hydrogencarbonat	mg/l	563,3	440,1	t-Test	heterogen	<	<	0,000	JA
2318	Chlorid (Cl-)	mg/l	79,67	51,29	t-Test	homogen	<	<	0,000	JA
2333	Nitrat (NO3-)	mg/l	26,67	15,2	t-Test	homogen	<	<	0,000	JA
2336	Nitrit (NO2-)	mg/l	0,02067	0,0277	t-Test	homogen	>	>	0,307	NEIN
2343	Sulfat (SO4)	mg/l	205	134,7	t-Test	homogen	<	<	0,000	JA
2310	Bor (als Borat)	mg/l	1,07	0,9188	t-Test	homogen	<	<	0,077	NEIN
2311	Borat (als B)	mg/l	0,1967	0,1688	t-Test	homogen	<	<	0,075	NEIN
2213	Gesamthosphat (als PO4)	mg/l		0,0996	Anz. = 0	no F				
2215	Orthophosphat (PO4)	mg/l	0,02683	0,05265	t-Test	heterogen	>	>	0,023	JA
2216	Orthophosphat (als PO4-P)	mg/l			Anz. = 0	no F				
2212	Gesamthosphat (als PO4)	mg/l			Anz. = 0	no F				
2217	Phosphor, gesamt	mg/l			Anz. = 0	no F				
	Sauerstoff und org. Summenparameter									
2030	Oxidierbarkeit (KMnO4-verbr.)	mg/l	1,029	1,1	t-Test	homogen	>	<	0,594	NEIN
3078	Sauerstoffgehalt (elektrometr.)	mg/l	1,567	2,15	t-Test	homogen	>	>	0,402	NEIN
3080	Sauerstoffsättigung	%	17,5	22,14	t-Test	homogen	>	>	0,527	NEIN
1619	Total organic carbon (TOC)	mg/l	1,556	1,313	t-Test	homogen	<	<	0,461	NEIN
2016	Dissolved organic carbon (DOC)	ma/l		1,191	Anz. = 0	no F				

Korrelation in unterschiedlicher Farbe unterlegt. So sind höchst signifikante Niveaus [$\alpha = 0,001$] rot unterlegt, hoch signifikante Niveaus [$\alpha = 0,01$] orange und signifikante Niveaus [$\alpha = 0,05$] gelb. Fehlerwahrscheinlichkeiten > 0,05 werden als nicht signifikant bezeichnet und sind nicht farblich unterlegt.

In einem **dritten Schritt** wurden die Ähnlichkeiten zwischen den 20 (GW) bzw. 21 (OW) Parametern mittels Clusteranalyse untersucht und so die in der Korrelationsanalyse gefundenen Muster bestätigt (siehe Abb. 1 und 2).

Für die Grundwassermessstellen zeigt sich, dass generell 2 Hauptcluster unterschieden werden können. Der erste Cluster beinhaltet Leitfähigkeit und Härte dominierende Bestandteile, wie die Hauptkationen und Anionen.

Wobei die Gesamthärte am stärksten mit der Leitfähigkeit sowie naturgemäß mit Kalzium und Magnesium korreliert. Nichtkarbonathärte wird vor allem durch Sulfat bestimmt, mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,94. Natrium steht am deutlichsten mit Chlorid bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,9 in Zusammenhang. In dem zweiten Hauptcluster finden sich neben chemisch-physikalischen Parametern, wie Wassertemperatur, pH-Wert und Sauerstoffsättigung, auch Phosphat, Kalium, Nitrat sowie DOC und Oxidierbarkeit (Permanganatverbrauch) wieder. Die Wassertemperatur steht meist abgesetzt von den anderen Parametern, ist leicht assoziiert mit Orthophosphat bzw. mit Kalium und Nitrat.

Ähnliches findet sich bei den Ober-

flächenwassermessstellen. Deutlich zu sehen ist, dass auch hier zwei Hauptcluster unterschieden werden können. Wie bei den Grundwassermessstellen beinhaltet der erste Hauptcluster vorwiegende Hauptkationen und -anionen, während der zweite Cluster organische Belastungsindikatoren, wie KMnO₄, DOC, BSB₅ und Phosphate, enthält sowie pH-Wert und Sauerstoffgehalt. Auch bei den Oberflächenwassermessstellen zeigt Sauerstoff eine höchste Korrelation mit dem pH-Wert (0,49). BSB₅ steht am deutlichsten mit DOC sowie dem Permanganatverbrauch im Zusammenhang. Die Wassertemperatur steht meist abgesetzt von den anderen Parametern, ist leicht assoziiert mit Gesamthärte und Nichtkarbonathärteparametern.

Abb. 5. Zusammenfassung der einzelnen Messstellencluster (Ähnlichkeitsdistanz >500) vor Stau zu farblich unterlegten regionalen Gruppen. Abgegrenzt die Messstellen des gelben Clusters, welche allesamt im nördlichen Teil entlang der Donau bzw. des Altarmes in diesem Gebiet liegen.

In einem **vierten und letzten Schritt** wurden die Untersuchungsergebnisse jener Messstellen mit signifikanten Zunahmen bzw. Abnahmen der mittleren Konzentrationen bzw. des Median pro Zeitperiode einzelner Parameter für eine weitere Beurteilung herangezogen. Basierend auf den Messdaten und den Untersuchungsergebnissen erfolgte eine Gesamtbeurteilung hinsichtlich einer möglichen chemischen Veränderung der Grundwasserqualität im hydrologischen Randgebiet.

3. ERGEBNISSE

Anhand des langjährigen Beobachtungszeitraumes kann aufgrund der Nähe zur Donau ein Oberflächenwas-

ser-beeinflusster Charakter des Uferfiltrats festgestellt werden. Der Donaueinfluss lässt sich je nach Brunnen, abhängig von Pumpleistung des Brunnens bzw. Kolmationsgrad der Uferbereiche, mehr oder weniger deutlich an den Wasserqualitätsdaten erkennen. Im Vergleich zu den Entnahmehrungen zeigt sich, dass die Hinterlandpegel einem deutlicheren Einfluss des Hinterlandes unterliegen. Dies bedeutet, dass aufgrund der Grundwasserbewirtschaftung für den 2. und 20. Bezirk der Grundwasserkörper durch die Dotationsmaßnahmen, bei denen Uferfiltrat aus dem Uferbereich der Donau entnommen und jenseits der Dichtwand im Hinterland über die Schluckbrunnen ver-

sickert wird, eine „Verdünnung“ der gelösten Stoffe erfolgt und somit Parameter wie Leitfähigkeit und Härten (Kationen und Anionen) Donaucharakter annehmen. Im Gegensatz dazu wird während der Rückpumpphasen der Brunnenanlagen dem Grundwasserkörper Wasser entnommen und in die Donau gepumpt. Dadurch kommt es zu einer Änderung der Grundwasserfließrichtung, bei denen die Hinterlandpegel vom ionenreichen Grundwasser des Hinterlandes des 2. und 20. Bezirks bzw. durch den Donaukanal beeinflusst werden, weshalb die Konzentration an Ionen deutlich ansteigen (siehe Abb. 3) (SCHUSTER und PICHER, 2006).

Änderungen der chemischen Grundwasserqualität im Lokalbereich der Messstelle selbst bzw. großflächig im gesamten hydrologischen Gebiet können durch Clusteranalysen und zusätzliche detaillierte Einzelbeurteilungen der Messstellen aufgezeigt werden. Pro Beobachtungsperiode, d.h. vor Vollstauerrichtung und nach Vollstauerrichtung wurden die Messstellen zueinander korreliert, um Ähnlichkeiten bzw. Veränderungen der Messstellenassoziationen aufzuzeigen (siehe Abb. 4).

Diese Auswertung zeigt Ähnlichkeiten der Messstellen in den Perioden vor Stau sowie nach Vollstauerrichtung zueinander an und lässt erkennen, wie Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsgebiet großflächig verteilt sind. Änderungen der Wasserqualität an den Messstellen selbst sowie im Zusammenhang zu benachbarten Messstellen können durch eine Clusteranalyse sämtlicher Messdaten der Perioden vor Stau sowie nach Vollstau ausfindig gemacht werden. Treten keine Veränderungen in der Grundwasserqualität auf, so zeigt sich dies daran, dass einzelne Messstellen sich selbst am ähnlichsten sind und somit nebeneinander in den Messstellenclusterdiagrammen zu liegen kommen.

Anhand der Messstellenclusteranalysen ist ersichtlich, dass im Gesamtpool aller Analysewerte der Messstellen vor und nach Vollstau deutlich 2 Haupt- und 4 Nebencluster unterschieden werden können. Auffallend sind bei dieser Darstellung, die Unterschiede bzw. Ähnlichkeiten der einzelnen Messstellen zeitlich zueinander (vor Stau zu Vollstau) bzw. zwischen den Messstellen. Es zeigt sich, dass manche Messstellen sich selbst am ähnlichsten sind (kaum eine Veränderung der Wasserqualität), wohingegen andere Messstellen eine deutliche Änderung der Hauptclusterzugehörigkeit

vor Stau und Vollstau aufzeigen (große Veränderung der Wasserqualität). Der Großteil der untersuchten Messstellen behält die Ähnlichkeit im jeweiligen Hauptcluster bei, was einer geringfügigen Änderung der Dynamik bzw. einer geringen Konzentrationsänderung der berücksichtigten Parameter der Messstellen des Teilclusters entspricht. Die Ergebnisse der Clusteranalyse vor Stau und nach Vollstau wurden in den Messstellenplänen grafisch dargestellt.

Während die Clusteranalyse aller Messstellen, basierend auf den statistisch ausgewerteten Messparametern, eine Ähnlichkeit der Messstellen zueinander aufzeigt, gibt diese Auswertung und Art der Darstellung keine Information über tatsächliche chemische Veränderungen und deren Intensität im Untersuchungsgebiet selbst wieder. Hierfür ist eine vertiefte Auswertung der chemischen Untersuchungsergebnisse aller Messstellen der Gesamtperiode vor Stau und nach Vollstauerrichtung zusätzlich notwendig. Hierfür wurden von allen 56 Grundwassermessstellen insgesamt 2125 Befunde mit 143 496 Einzelmesswerten ausgewertet. In Tabelle 2 sind für einzelne Parameter die Mittelwerte der Donaumessstellen für die Periode 1992–2006 sowie für die Messstellen im Hinterland die beiden Perioden 1992–1996 (vor Stau) und 1998–2006 (nach Vollstauerrichtung) einander gegenübergestellt.

Eine Tendenz zur Verringerung der Leitfähigkeit ($\approx 70 \mu\text{S}/\text{cm}$), Härten ($\approx 2^\circ\text{dH}$), Hauptkationen und Anionen kann im gesamten Untersuchungsgebiet beobachtet werden. Gleichzeitig ist eine leichte Zunahme der Wassertemperatur, des pH-Wertes im Nahbereich der Donau sowie der Oxidierbarkeit, des DOC-Gehaltes und der Sauerstoffsättigung zu verzeichnen. Diese Trends pro Hauptcluster, visualisiert in einem Lageplan, lassen deutlich den unterschiedlich abgrenzbaren Bereich nahe der Donau sowie jene weiter im Hinterland des 2. und 20. Bezirkes gelegenen aufzeigen. Bei den Messstellen im Nahbereich der Donau ist im Vergleich zu den Hinterlandmessstellen eine Verringerung der Natrium-, Kalium-, Bor- und Orthophosphat-Konzentration zu verzeichnen, wohingegen die Hinterlandmessstellen eine geringfügige Zunahme aufweisen.

Durch den Einfluss der Grundwasserbewirtschaftung des 2. und 20. Bezirkes konnte eine Verdünnung des donanahen Grundwassers erreicht werden. Die in der Mitte des

Abb. 6. Zusammenfassung der einzelnen Messstellencluster (Ähnlichkeitsdistanz > 500) nach Vollstau zu farblich unterlegten regionalen Gruppen. Die beiden Hauptclustergruppen grün und hellblau liegen allesamt in den durch die Bewirtschaftung beeinflussten Donaunahen gebieten. Die Veränderung der Wasserqualität breitet sich „bandförmig“ ins Hinterland aus.

2. und 20. Bezirkes gelegenen Messstellen weisen von Natur aus eine deutlich höhere Ionenkonzentration auf, welche durch die Grundwasserbewirtschaftung nur geringfügig und langsam verändert werden konnte. Es zeigt sich außerdem, dass durch die natürliche Filterwirkung des Uferbereiches, indem die Entnahmebrunnen Uferfiltrat fördern und nicht direkt Wasser aus der Donau entnehmen, Keime bzw. Viren größtenteils herausgefiltert werden und es somit zu keiner bakteriologischen Verunreinigung kommen kann.

Neben einer Gesamtbeurteilung des untersuchten Gebietes erfolgte weiters eine vertiefte Untersuchung pro Messstelle und Parameter. Sämt-

liche Analysenergebnisse der Perioden vor Stau und nach Vollstauerrichtung wurden mit Unterstützung einer eigens entwickelten Datenbank und weiterer digitaler Datenverarbeitung tabellarisch zusammengefasst (Tabelle 3).

Hierbei zeigt sich, ob der Mittelwert bzw. Median eines Parameters im Vergleich der beiden Zeitbereiche eine signifikante Zunahme oder Abnahme bzw. keinerlei Veränderung aufweist. Zur weiteren Verdeutlichung von Veränderungen der Wasserqualität an der Messstelle selbst wurden die Mittelwerte vordefinierter Parameter pro Untersuchungsperiode (vor Stau bzw. nach Vollstau) als Starplot dargestellt (siehe Abb. 7).

Abb. 7. Verteilung ausgewählter chemischer Wasserqualitätsparameter der Grundwassermessstellen im Uhrzeigersinn und Visueller Direktvergleich der Analyseergebnisse der Messstelle 1930,514 vor Stau und nach Vollstau am Beispiel einer Starplot Darstellung. Hohe mittlere Konzentrationen bzw. Messwerte sind durch lange Strahlen gegeben. Der direkte Vergleich beider „Sterne“ zeigt die Zunahme bzw. Abnahme der mittleren Konzentration eines Parameters an.

Die hier ausgewählten 20 Parameter sollen einen Überblick über die möglichen Veränderungen der Matrix der Gewässer aufzeigen. Sie lassen sich in zwei Gruppen zusammenfassen: Parameter als Einzugsgebiet-Indikatoren wie pH-Wert, Leitfähigkeit, Gesamthärte, Nichtcarbonathärte, Calcium, Kalium und Hydrogencarbonat (Position 0–7 Uhr), Parameter für Anzeiger anthropogener Aktivitäten wie Chlorid, Nitrat, Bor, Phosphat, gelöster Sauerstoff (DO) und gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) (Position 7–12 Uhr). Dabei kann man grob zwischen jenen Parametern unterscheiden, welche bedingt durch den Untergrund „von Natur aus“ vorkommen und somit den Typus des Wassers bestimmen, und jenen Substanzen, welche zusätzlich durch autogene und/oder allogene Beeinträchtigungen unter Umständen sogar bis in den toxischen Bereich erhöht sein können. Demzufolge werden in der Gruppe der Einzugsgebietesindikatoren die untersuchten Parameter Leitfähigkeit (als Maß für die im Wasser enthaltenen und gelösten Ionen), Gesamthärte (als Maß für die im Wasser enthaltenen Kalzium, Magnesium, Strontium und Barium-Ionen), Nichtkarbonathärte (jener Anteil der Gesamthärte, welcher nicht durch die Auflösung von Karbonaten, sondern z. B. aus Sulfaten, Chloriden, Nitraten, Silikaten und Phosphaten stammt), Kalzium (als Hauptkation), Kalium (ein Indikator für mögliche Düngemittelauswaschungen in humusarmen Böden infolge von Niederschlägen) und Hydrogenkarbonat (auch als Maß für die Pufferkapazität des Wassers) zusammengefasst.

Des Weiteren sind die untersuchten Parameter Chlorid (als Indikator von Verunreinigungen durch Abwässer, Straßenstreusalz oder z. B. Kalidünger (KCl), Nitrat (als Indikator für Düngerauswaschungen sowie Abbau- und Oxidationsvorgängen organischer und anorganischer Stoffe), Bor (als Indikator von Bor-Verunreinigungen aus Email- und Glasindustrien, Galvanik, Photochemie, Mineralfarbenherstellungsbetrieben sowie aus Imprägnierungsbetrieben), Phosphat (Indikator für Abwässer, Düngemittel und Waschmittel) sowie gelöster Sauerstoff und organischer Kohlenstoff (als Indikatoren für anthropogene Altlasten) in der Gruppe der Anzeiger von anthropogener Aktivitäten zusammengefasst.

Clusteranalyse, zusammenfassende Übersichtstabellen der Untersuchungsergebnisse vor Stau und nach Vollstau und auch Starplotdarstellungen geben einen Gesamtüberblick über Veränderungen im Untersuchungsgebiet wieder. Basierend auf all diesen Erkenntnissen konnten lokale und räumliche Zusammenhänge aufgezeigt werden.

4. GESAMTBEURTEILUNG „2. UND 20. BEZIRK“

Durch laufende Kontrolle der Wasserqualität der Donau und des Uferfiltrates wird das Eindringen von Kontaminationen bzw. Schadstoffen in den Aquifer verhindert. Sieben Online-Wasserqualitätsmessstationen von Donau und Donauuferfiltrat dienen als Vorwarnsystem. Neben chemisch-physikalischen Parametern werden

Kohlenwasserstoffe, Ammonium und Organischer Kohlenstoff $\frac{1}{4}$ -stündlich gemessen. Nicht näher definierbare schädliche Wasserinhaltsstoffe stellen ein großes Gefahrenpotenzial dar (MUSOLFF et al., 2007). Da es nicht möglich ist, jede einzelne Substanz zu analysieren, wird mittels Biomonitoring (Daphnien- bzw. Muschel-Monitoring) deren Gefahrenpotenzial kontinuierlich erfasst. Bei Überschreitungen vordefinierter Grenzwerte der untersuchten Parameter schaltet die Grundwasserbewirtschaftung automatisch ab. Somit gelangt gegenüber dem „IST-Zustand“ vor Stauerrichtung nur noch chemisch „einwandfreies Wasser“ zur Versickerung. Somit sind die bestimmenden Einflussfaktoren für den 2. und 20. Bezirk einerseits die Grundwasserbewirtschaftung und andererseits die Wasserspiegellagen des Donaukanals. Wie die Signifikanzuntersuchungen zeigen, ist der Nahbereich der Donau sowie der Bereich südlich der Reichsbrücke deutlich durch die Grundwasserbewirtschaftung beeinflusst, bei welcher ionenärmeres Uferfiltrat im Grundwasserkörper des 2. und 20. Bezirkes zur Versickerung gebracht wird. Dadurch zeigen leitfähigkeitsrelevante Parameter signifikante Verringerungen, wohingegen der Bereich nahe dem Donaukanal zu signifikant erhöhten mittleren Konzentrationen tendiert. Vor allem die Parameter Natrium, Kalium, Bor und Nitrit folgen diesem Trend. Des Weiteren wurde die Grundwasserqualität im Bereich des Wiener Praters (von der Donau bis zum Donaukanal) deutlich verändert. Auffallend ist, dass der Parameter Oxidierbarkeit im gesamten Gebiet eine signifikante Erhöhung aufweist, wobei die Sauerstoffkonzentration bzw. Sättigung ebenfalls signifikant erhöht ist. Aufgrund der veränderten Wasserqualitätsdaten lassen sich im 2. und 20. Bezirk die ursprünglichen Altarmbereiche der Donau, welche vor Donauregulierung als Flussbett oder Seitenarm dienten, erkennen. Grund hierfür ist die bessere Wegigkeit im Untergrund mit höheren Durchströmungsgeschwindigkeiten, wodurch entlang dieser Altarme typisch Donau-beeinflusstes Grundwasser bis weit in das Hinterland des 2. und 20. Bezirkes vordringen kann.

LITERATUR

DREHER, J.E., GUNATILAKA, A. (2001): Management of urban groundwater – Part I. Quantitative aspects. In: GRIEBLER, C., DANIELOPOL, D.L., GIBERT, J., NACHTNEBEL, H.P., NOTENBOOM, J. (Eds.) (2001): Groundwater Ecology – A Tool for Management of Water Resources, pp 196–212. European Commission Environment and Climate Programme, Energy, Environment and Sustainable Development. EUR 19887, Office for official publications of European Communities, Luxembourg.

GUNATILAKA, A., DREHER, J.E. (2001): Management of urban groundwater – Part II. Qualitative aspects. In: GRIEBLER, C., DANIELOPOL, D.L., GIBERT, J., NACHTNEBEL, H.P., NOTENBOOM, J. (Eds.) (2001): Groundwater Ecology – A Tool for Management of Water Resources, pp 213–229. European Commission Environment and Climate Programme, Energy, Environment and Sustainable Development. EUR 19887, Office for official publications of European Communities Luxembourg.

MUSOLFF, A. et al. (2007): Xenobiotics in groundwater and surface water of the city of Leipzig. Grundwasser Volume 12, Number 3.

SCHUSTER S. (1995–2006): Donaukraftwerk Freudenau, Jahresberichte 1995 bis 2006.

SCHUSTER, S., PICHER, W. (2006): Does the fully automated groundwater management system lastingly influence the water quality of the 2nd and 20th district? 36th IAD Conference, Klosterneuburg and Vienna, 15 September 2006.

Anschrift des Verfassers: Dr. Stefan SCHUSTER, Technisches Büro – Ingenieurbüro für Chemie und Biologie, Franzensgasse 19/5, A-1050 Wien, E-Mail: tb-schuster@chello.at