

6. Hydrogeologische Formationen

Bezüglich des untersuchten Gebietes und der weiteren Umgebung wurden in mehreren Phasen mehrere hydrogeologische Bewertungen getroffen. Der Ausbau der hydrogeologischen Messstationen begann 1967 mit dem Ausbau der bodentechnischen Bohrungen zu Brunnen. Die Ausgestaltung des gegenwärtigen Netzes begann 1982. Die neuesten Elemente des Monitoringsystems wurden im Rahmen des Programms zur Charakterisierung des Standorts bezüglich der Umwelt-, Standort- und wasserrechtlichen Fragen im Genehmigungsverfahren aufgebaut.

In der Region gibt es zweierlei unterirdische Gewässer: Schichtwasser in den pannonischen Sandschichten, das sich tief unter den wasserundurchlässigen Schichten befindet, und darüber, dass im Pleistozän-Holozän entstandene Grundwasser.

Der bis zum Grundwasser sich erstreckende Bestand ist eine Auffüllung aus den Sandwerken, unter den sich Schwemmschlamm, Schwemmsand und Schwemnton aus dem Neoholozän ansiedelt, die alle aus den Überschwemmungen der Donau herrühren. Je mehr man sich vom Bett der Donau entfernt, umso mehr bedeckt Flugsand aus dem Altholozän die ehemalige Erdoberfläche. Darunter befinden sich Gesteinsmehl, Feinsand und ein feinkörniger Bestand aus Flusssedimenten. Durch die oben beschriebenen Schichten sickern, gelangen die Niederschläge in das Grundwasser

6.1. Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse

Die in der Region entstandenen Grundwasserströmungen sind nur in ein regionales System integriert verständlich. Die Erosionsbasis des Raumes bildet die Donau. Der Wasserstand der Donau charakterisiert die Strömungsverhältnisse.

In den die Donau begrenzenden Streifen sind folgende eigenständige Einheiten voneinander abzugrenzen:

Die Donau begrenzenden niedrigliegenden Überschwemmungsgebiete werden von Sedimenten aufgebaut, von Schwemmsand und Schwemmschlamm. Es wird von aufgefüllten ehemaligen Mäandern dominiert. Gegenwärtig ist dieser Bereich von Dämmen in 96-97 Meter baltischer Seehöhe vor Überschwemmung geschützt, aber die Wasserstandsveränderungen der Donau – in erster Linie über die abgeschnürten ehemaligen Flussbetten – beeinflussen das Grundwasser noch immer in einem erheblichen Ausmaß. Die Abbildungen 37 und 38 zeigen den Zusammenhang zwischen hohem und niedrigem Pegelstand der Donau und dem Grundwasser.

Über das Alluvium der Donau erheben sich in sechs bis acht Meter die Terrassen der Donau aus dem Neopleistozän. Ihre Oberfläche sind grießige Schotterebenen und Flugsand. Ganz oben befindet sich zudem eine Flugsandschicht. Den Grundwasserstand dieser Terrassen kann die Donau nicht mehr maßgeblich beeinflussen.

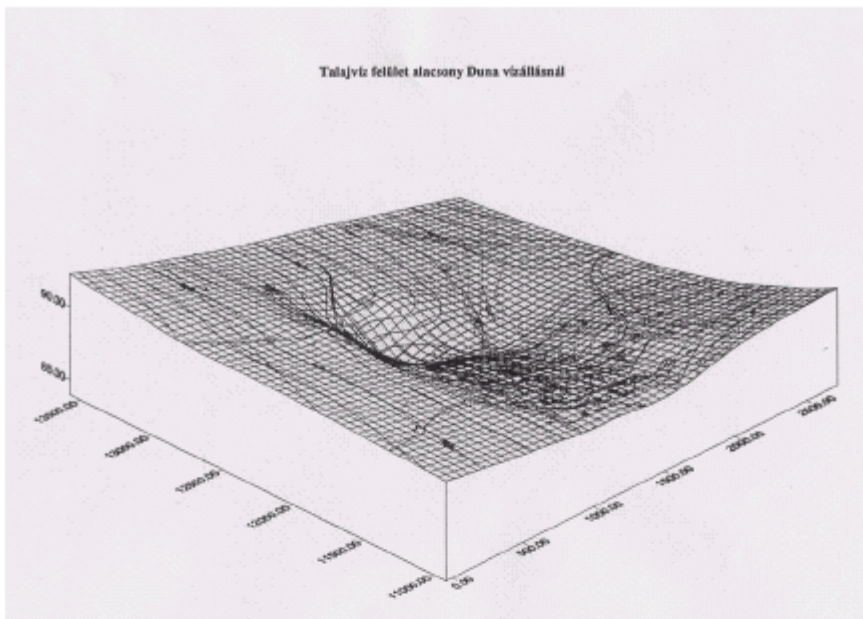
Das Donautal wird bis zu einer Höhe von 160 bis 180 Meter baltischer Seehöhe in nordwestlicher Richtung von einem Lössplateau begleitet. Die auf die Oberfläche des Lössplateaus fallenden und in es eindringenden Niederschläge sammeln sich über der Lehmschicht und geraten über die poröseren Schichten in Richtung Erosionsbasis. Dies ist die Nährzone des Grundwassers im Donautal. Die Sohle des Grundwasserbestands bilden die Sedimente des pannonischen Sees. Das AKW ist im wesentlichen auf den mit Flugsand bedeckten Flussterrassen entstanden.

Wechselseitige Beeinflussung von Grundwasser und Oberflächengewässern

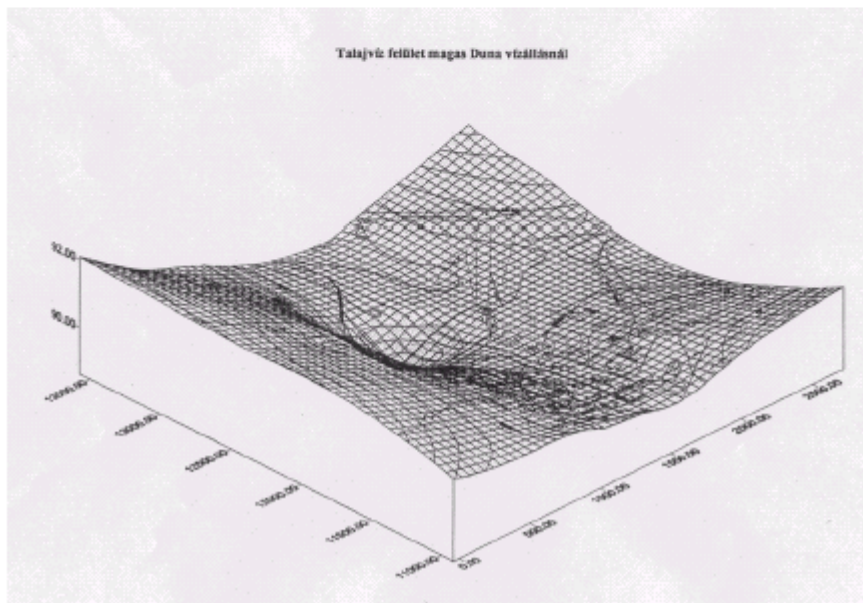
In den Tälern wird das wenig durchlässige Grundgestein im allgemeinen von durchlässigen alluvialen Sedimenten gebildet, womit der Wasserlauf des Grundwassers der den Fluss begleitenden Ebenen wesentlich von den Oberflächengewässern bestimmt wird. An den äußeren Rändern der Talsohle befindet sich das Grundwasser mit den die höher gelegenen Bereiche aufbauenden Schichten. Wo diese Schichten nicht vollkommen wasserundurchlässig sind, hat das Grundwasser der Ebene entlang des Flusses einen Einfluss auf das Grundwasser der Umgebung.

Abbildung 37: Grundwasseroberfläche bei Niedrigstand der Donau

Abbildung 38: Grundwasseroberfläche bei Hochstand der Donau



38. ábra: Talajvíz felület magas Duna vízállásnál



In jenen Fällen, wenn die Veränderungen des Wasserpegels des Flusses beträchtlich sind, verändert sich die Strömungsrichtung des Grundwassers im Uferbereich. Zur Zeit von Hochwässern ist der Wasserstand im Bett höher als der Wasserspiegel des Grundwassers in der Umgebung. In dieser Zeiten nährt der Fluss das Grundwasser innerhalb dieser Zone, so lange die Stauwirkung des Flusses wirkt (Bereich der unmittelbaren Auswirkung des Flusses).

Zur selben Zeit stoppt der hohe Wasserstand des Flusses auch die von außen einströmende Grundwasserströmung. Die eintreffende Wassermenge wird also in der Ebene entlang des Flusses gelagert, und hebt dort den Wasserstand des Grundwassers an. Damit wird hier auch die Verdunstung stärker, die einen Teil des ankommenden Wassers auch dezimiert. (Bereich der mittelbaren Auswirkung des Flusses). Sobald sich wieder ein niedriger Pegelstand einstellt, gerät der Wasserstand des Flusses unter das Niveau des Grundwassers. Dieser Prozess entleert vorerst jene Wassermengen, die sich zur Zeit des Hochwassers in den Poren der Schichten hier angesammelt hatten. Danach ufer dieser Prozess auch auf die außerhalb der unmittelbaren Beeinflussungszone liegenden Bereiche aus und senkt den Grundwasserspiegel auch in einer weiteren Entfernung ab. Schließlich bildet sich am Ende wieder ein Gleichgewicht heraus, wenn die Wassermenge, die von außen in die Flussebene gerät, gleich ist der Menge die verdunstet oder in den Fluss gelangt.

Die zahlenmäßigen Daten dieses sehr komplizierten Prozesses werden von den örtlichen Gegebenheiten beeinflusst. Es ist daher sehr schwierig, eine Verfahrensweise anzugeben, mit der die mittel- und unmittelbar vom Fluss beeinflusste Zone berechenbar wäre. Im allgemeinsten Fall können die aufgrund der Wahrnehmungen der entlang des Flusses aufgestellten Beobachtungsbrunnen gemachten Wasserstandskurven bzw. eine Analyse dieser die Entfernungen geschätzt werden – oder aber mittels der Anwendung eines Strömungsmodells.

Zur zahlenmäßigen Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Donau und dem Grundwasser wurde eine Wasserstandskurve zwischen den Amplituden der Hochwässer der Donau und dem relativen Pegelanstieg, der in den Beobachtungsbrunnen gemessen wurde, gezeichnet. Da die Hochwässer der Donau unter unterschiedlichen hydrologischen Umständen zustande kommen – es kann sich um kleine ebenso handeln wie um Hochwässer die das ganze Bett überfluten – zeigen die Messdaten eine sehr große Streuung um die auf Grundlage der Daten ermittelte Regressionslineare. Aufgrund dieser Berechnungen können aber dennoch einige Gesetzmäßigkeiten festgestellt werden. Je mehr man sich von der Donau entfernt, umso mehr sinkt auch der absolute Wert der Kennzahl, welche die Linearität misst. Dieser enge Zusammenhang wird geringer, löst sich dann schließlich vollends auf. Die Steile der Funktion verändert sich dieser Regel entsprechend ebenso. In der Nähe der Donau beträgt der Richtungstangens um 0,7, d.h. einer zehn Meter hohen Überflutung entspricht eine sieben Meter hohe Wasserstandsänderung in den Uferpartien.

Entlang des Kaltwasserkanals reduziert sich die Größe der Überschwemmungswelle in einem Streifen von zweihundert bis fünfhundert Meter auf ein Drittel ($m \approx 0,3$). In einer weitere Entfernung kann diese Auswirkung gar nicht mehr nachgewiesen werden. Als Beispiel sei zu erwähnen, dass ein auf einen KÖV (*Abkürzung unklar*) auffahrende Überschwemmung von fünf Metern 250 bis 500 Meter vom Ufer entfernt erst in zwei bis vier Tagen wahrgenommen wird.

Mittels der Parameter der Korrelationslinearen ist jede Anhebung des Grundwasserspiegels im Bezug auf ein beliebig hohes Hochwasser im Bereich eines gegebenen Beobachtungsbrunnens schätzbar. Mit der Steigerung der Wahrnehmungsperiode und der Steigerung der Zahl der einbezogenen Hochwässer ist eine geringfügige Verbesserung des Wertes der Korrelationskennzahl zu erwarten.

Die Weitergabe des Spitzenstandes von Hochwässern ($\approx v=100\text{m/d}$) erlaubt die Schlussfolgerung, dass sich diese über die unterste Schottererschicht in der Form der Weitergabe des Druckes abspielen. Das System funktioniert als ein System unter Druck. Die Wasserleitungsfunktionen spielen sich in den Schotterzonen mit den besten Sickerseigenschaften ab. Die fünfzehn bis null Meter dicke Schicht aus Gesteinsmehl, Feinsand und Sand funktioniert als wasserundurchlässige Schicht, führt aber das von der Oberfläche eindringende Niederschlagswasser bis zum zusammenhängenden Grundwasserpegel ab.

In Kenntnis dessen, können bezüglich des Bereiches des Kraftwerkes folgende hydrologische, geohydrologische Feststellungen getroffen werden:

- Das Wasserdurchlässigkeitspotenzial des Dreiphasensystems oberhalb des Grundwasserpegels ist gering, ist in vertikaler Richtung zur Wasserströmung langsam, bei einer eventuellen Verschmutzung steht ausreichend Zeit zur Verfügung ein Weitersickern zu unterbinden.

- Die Strömungsgeschwindigkeit des Zweiphasensystems unterhalb des Grundwasserpegels ist je nach Schicht um Größenordnungen unterschiedlich, beträgt in vertikaler Richtung zur Wasserströmung zirka zwei Drittel der Geschwindigkeit in horizontaler Richtung.
- Das Schichtwasser des pannonischen Schichtbestandes bildet ein unabhängiges System, frischt sich nicht aus den Wasserbestand der Sedimente des Flusswassers auf, eine Wasserübergabe ist nur in Richtung aufwärts vom Schichtwasser in Richtung Grundwasser möglich.
- Aufgrund der Altersfeststellung des Wassers mithilfe der Radioisotopenmethode ist das Frischwasser der Flusswassersedimente entsprechend der Entfernung von der Donau – wegen der Verbindung mit der Donau – tritiumhältig. Das Wasser der pannonischen Schicht ist alt, enthält kein Tritium.
- Aufgrund einer punkttartigen Verschmutzungsquelle verbreitet sich die Verschmutzung im Grundwasser mit einem Schweif, der einen Öffnungswinkel von ca. 60° hat.
- Die Reihe der Brunnen in der unmittelbaren Umgebung des Hauptgebäudes – vom Ort einer potenziellen Verschmutzung gemessen und abstandsmäßig annähernd gleichmäßig verteilt – kann eine Verschmutzung registrieren
- Die Verschmutzung gerät unter einigen extremen hydrologischen Bedingungen bis an die untere Schotter-schicht, wo die Strömungsgeschwindigkeit um eine Größenordnung höher ist als in den oberen Schichten.
- Die Wahrnehmungen müssen – im ganzen Kraftwerksbereich – sich auf die zweite Wahrnehmungszone erstrecken, auch auf die sich zwischen achtzehn und zweiundzwanzig Meter befindliche Schotterzone

Eigenheiten der unterirdischen Gewässer

Bei den unterirdischen Gewässern sind das Grundwasser und die Schichtwässer zu unterscheiden. Im Bereich Kalocsa Sárköz, also auf der östlichen Seite der Donau, beträgt die durchschnittliche Tiefe der Grundwässer in der Nähe der Flussbettaufschüttungen sechs bis acht Meter, etwas weiter vier bis fünf Meter. Der Nachschub erfolgt aus Niederschlagswasser oder zum Großteil über die Gewinne zur Zeit von Hochwässern der Donau.

Die Menge des Grundwassers erreicht hier 3-4 l/s.km², entlang der Donau 7 l/s.km². Chemisch gesehen enthält es Kalziumhydrogenkarbonat, während in den tieferen Regionen bereits unter den Kationen das Natrium dominiert. Der Sulfatgehalt beträgt nördlich von Paks 300 mg/l, anderswo 60 mg/l. Vom zwei bis drei Kilometer breiten Streifen von der Donau entfernt beträgt der Salzgehalt 250 mg/l, das Grundwasser ist daher für eine Bewässerung ungeeignet. Sein Härtegrad erreicht 25-35 nk⁰.

Das Material der tiefer, weniger als einhundert Meter dicken, wasserspeichernden Sedimentschicht ist in erster Linie pannonischer Sand. Die Menge des hier lagernden Wassers ist 1-1,5 l/s.km².

Die Brunnen liefern in der Regel eine Wassermenge von 200l/p, aber es besteht ein beträchtlicher Unterschied zwischen den einzelnen Brunnen. Bezüglich der chemischen Zusammensetzung kommen die Typen mit der Zusammensetzung aus Kalzium, Magnesium, Natrium, Wasserstoffkarbonat annähernd gleichmäßig vor, mancherorts aber auch Chloride. In fünfzig Prozent der Fälle ist das Wasser härter als 18 nk⁰, in siebzig Prozent der Fälle enthalten sie mehr als 0,5 mg/l Eisen.

Anders zusammengesetzt sind die Schicht- und Grundwässer im südlichen Mezöföld. Zusammenhängende Grundwasserbestände kommen hier nur in den Tälern zwischen den Lössrücken vor, sowie südwestlich von Paks in der sich verbreiternden, höher gelegenen Hochwasserzone. Hier befindet sich das Grundwasser in zwei bis drei Metern Tiefe, während es sich unter den Lössrücken – wenn überhaupt vorhanden – in einer Tiefe von acht bis zehn Metern befindet, in den Hochuferbereichen der Donau sogar in einer Tiefe von 25 bis dreißig Metern.

Die Menge kann im Schnitt auf 1,5-2 l/s.km² geschätzt werden, es ist zu achtzig Prozent kalzium-, magnesium- und wasserstoffkarbonathältig. In abgeschlosseneren Zonen kann auch Natrium auftreten. Damit geht auch ihr hoher Härtegrad – 25-35 nk⁰ – einher.

Die Tiefe der Schichtwässer lagernden pannonischen Sandschichten erreicht auch hier hundert Meter. Die Menge der Schichtwässer wird auf 1 l/s.km² geschätzt. Die spezifische Wassermenge der Brunnen macht 100 l/p.m aus. Chemisch gesehen sind sie kalzium-, magnesium- und wasserstoffkarbonathältig, ihr Härtegrad erreicht 18 nk⁰. Ihr Eisengehalt übersteigt fünfzig Prozent, erreicht in der Hälfte sogar 2 mg/l.

Aggressivität und Zusammensetzung der unterirdischen Gewässer

Die Grundwässer im Bereich des AKW sind aus den weitreichenden Wasserproben der geländemechanischen Vermessung zur Zeit der Vorbereitung des AKW-Baus bzw. dank der zur Beobachtung des Grundwassers gebauten Beobachtungsbrunnen bekannt. Im späteren wurden vor der Ausführung der geplanten Ausbauarbeiten ebenfalls im Rahmen der geotechnischen Vermessungsarbeiten zahlreiche Wasserproben gezogen.

Im überwiegenden Teil der Untersuchungen wurden entsprechen den diesbezüglichen technische Bestimmungen der Kalzium-, Magnesium, Natrium-, Kalium-, Ammonium-, Nitrat-, Laugen-, Wasserstoffkarbonat-, Chlorid-, Sulfatgehalt, der pH-Wert, freies und kalkaggressives Kohlendioxid bzw. der gelöste Sauerstoffgehalt bestimmt. Die Qualität des Schichtwassers ist aus den Probeentnahmen der Schichten zwischen fünfzig und zweihundert Meter bekannt (KÖJÁL).

Der Chloridgehalt steigt mit der Tiefe an. Gemäß den Untersuchungen ist im Bereich Paks und beim Kraftwerk weder im Grundwasser noch im aus den pannonischen Schichten stammenden Schichtwasser eine Chloridanomalie auszuweisen. Ein Hochströmen von Salzwasser ist damit im Großraum nicht zu erwarten.

Grundwasserqualität der Schotterebenen aus dem Pleistozän

Aufgrund der Untersuchungen der im Rahmen der geländemechanischen Vermessungen entnommenen Wasserproben ist, abgesehen von lokalen kleineren Abweichungen, im wesentlichen als einheitlich zu erachten.

- pH leicht basisch, zwischen 7,0 und 8,01, charakteristisch zwischen 7,5 und 7,9,
- Anteil der gelösten Stoffe niedrig oder mittel, zwischen 270-926 mg/l, charakteristisch zwischen 300-400 mg/l,
- Gesamthärtegrad 11,8-43,2 nk⁰, im Schnitt 15-25 nk⁰
- Natrium 1-104 mg/l,
- Kalium 0-19 mg/l,
- Kalzium 55,7-145,3 mg/l,
- Eisen 0,17-10 mg/l, im Schnitt 0,5-1,0 mg/l,
- Mangan 0,3-1,9 mg/l, im Schnitt 0,3-0,8 mg/l,
- Ammonium 0-14 mg/l, im Schnitt 0,1-0,3 mg/l,
- Nitrat 0-125 mg/l,
- Chlorid 3,2-70 mg/l charakteristisch 20-30 mg/l,
- Sulfat 10-400 mg/l, charakteristisch 100-150 mg/l,
- Wasserstoffkarbonat 229,9-495 mg/l,
- Freies Kohlendioxid 20-108 mg/l, charakteristisch 40 mg/l,
- kalkaggressives CO₂ 0,0 mg/l,
- Gelöster Sauerstoff 0-2,5 mg/l

Das Grundwasser des Pleistozäns ist bezüglich von Eisenbeton- und Betonstrukturen nicht aggressiv.

Das Wasser einiger Beobachtungsbrunnen zeigt sich bei Verwendung von Strukturstoffen mit Zementbindung leicht aggressiv. Es zeigt sich gegen Eisen im Falle eines pH-Wertes von <7,6, - da keine kalkaggressive Kohlesäure vorhanden ist – leicht aggressiv. Aufgrund der Messungen ist mit einer Sulfataggressivität des Grundwassers nicht zu rechnen.

Wasserqualität der Schichtgewässer in den pannonischen Schichten

Die Qualität dieser Schichtgewässer ist aus den Wasserqualitätsuntersuchungen der Wasserbrunnen im Kataster 64 und 65 bei Csámpa bekannt. Die in geringerer Tiefe gefilterten Gewässer von Brunnen 64 enthält wenig gelöste Stoffe von Magnesium, Kalzium und Wasserstoffkarbonaten, Chlorid-Ionkonzentration gering, Sulfat nur in Spuren feststellbar.

- pH 7,8,
- Kalzium 5,71 mg/l,

- Magnesium 60,8 mg/l
- Eisen 1,58 mg/l,
- Mangan 0,05 mg/l,
- Nitrat in Spuren
- Chlorid 15,5 mg/l,
- Sulfat in Spuren,
- Wasserstoffkarbonat 164,7 mg/l,
- freies Kohlendioxid 8,31 mg/l,
- kalkaggressives CO₂ 0,0 mg/l,
- Gelöster Sauerstoff 0,0 mg/l

Das Wasser aus den pannonischen Schichten in einer Tiefe von 149-211 Meter des Brunnens 65 enthält bereits mehr gelöste Stoffe, ist natrium-wasserstoffkarbonathaltig. Die Chloridkonzentration ist zwölfmal so hoch, die Wasserstoffkarbonatkonzentration mehr als das vierfache von Brunnen 64.

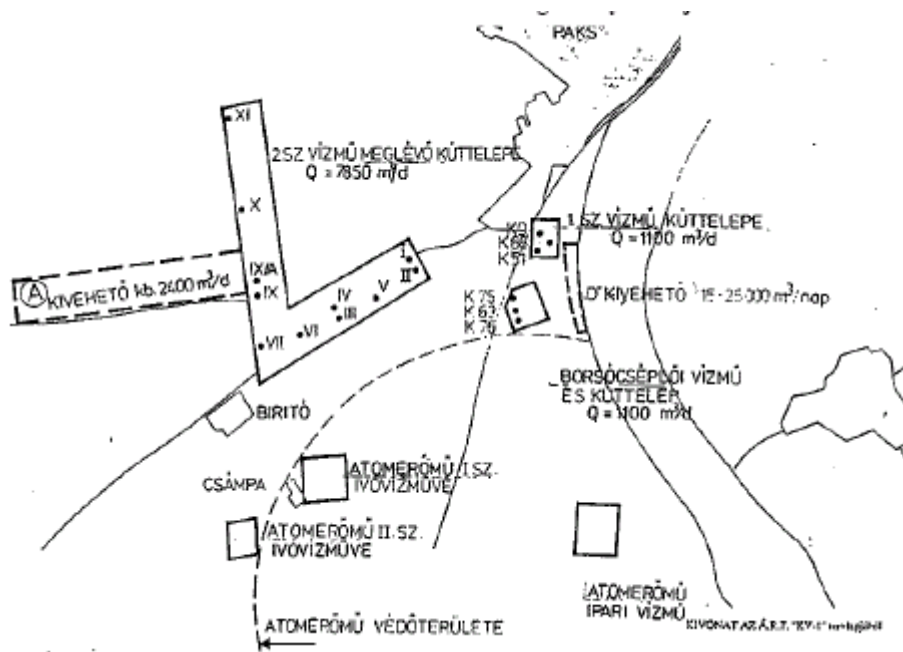
- pH 7,9,
- Kalzium 28,6 mg/l,
- Magnesium 10,9 mg/l
- Eisen 5,7 mg/l,
- Mangan 0,15 mg/l,
- Nitrat 0,0 mg/l,
- Chlorid 188,5 mg/l,
- Sulfat 0,0 mg/l,
- Wasserstoffkarbonat 720,0 mg/l,
- freies Kohlendioxid 0,0 mg/l,
- kalkaggressives CO₂ 0,0 mg/l,
- Gelöster Sauerstoff 2,01 mg/l

6.2. Wasserverwendung und Wasserbasen

Die Verwendung des Wassers geschieht in der unmittelbaren Umgebung des Kraftwerkes in erster Linie durch die Trinkwassergewinnung aus Filterbrunnen entlang des Donauufers. Das oberflächennächste Grundwasser wird nur von den in den Höfen der Häuser und in den Gärten von Privatpersonen gebohrten Brunnen mit einer Tiefe von 20 bis 25 Meter Tiefe genutzt. Die in unmittelbarer Nähe befindlichen Wasserwerke sind auf der Abbildung 39 ersichtlich. (Die Wasserwerke größerer Kapazität reichen bis in die Schichtwässer hinunter).

Die Filterwasserbasen am linken Donauufer unter dem Kraftwerk sind die folgenden; in Betrieb: Kalocsa – Baráka, Stadt Baja, Dunafalva, Pécs –Mohács, Wasserbasen in Zukunft: Bács-Nord, Bács-Fajsz-Dusnok, Sükösd-Nord, Lenekert, Insel Bezerédi, Újmohács-Süd.

Abbildung 39 Skizze der Wasserentnahmemöglichkeiten



Die im Betrieb befindlichen und potenziellen Wasserentnahmestellen sind in Tabelle 2 angeführt:

Folyópart	Vizbázis neve	fkun	Fedő vastagság [m]	Vizadó vastagság [m]	Vizadó fekü [m]	Potenciális hozam [1000 m ³ /nap]
Bal	Kalocsa-Baráka	1521-1524	3-5	20-40	35-40	45
Bal	Baja	1480-1484	2-6	30-45	30-50	40
Bal	Szeremle-E	1474-1477	5-8		25-35	50-100
Bal	Szeremle-D	1465-1468	4-7		20-30	200
Bal	Pécsi-Mohácsi regionális	1449-1463	5-10	15-30	25-35	150
Bal	Homorud	-1447	5-12		25-35	
Jobb	Gerjen-E	1516-1523	5-10	25	25-45	40
Jobb	Dombori	1507-1512	5-20	35-40	25-55	52
Jobb	Bogyiszló	1500-1506	5-20	20-40	25-55	60
Jobb	Gerebec	1489-1493	15-25	15-30	30-55	36
Jobb	Koppány	1480-1487	15-25	20-25	30-50	42
Jobb	Cimerfok	1469-1475	15-25	15-20	30-40	36
Jobb	Bata	1465-1467	5-15	10-15	15-30	36
Jobb	Kolked	1438-1446	5-10	20-25	30-40	25
Jobb	Erdőfü	1433-1436	5-10	25	30-40	25

Die Gesamtkapazität der in Betrieb befindlichen Wasserbasen macht 83.000 m³/Tag aus, die geschätzte Leistung aller geplanten Wasserbasen in Zukunft macht 140.000 m³/Tag aus. Die zum Kraftwerk am nächsten befindliche Basis ist Kalocsa-Baráka, die sich ca. drei bis sechs Kilometer vom Einlass des Warmwasserkanals befindet (Wasserbasis bei Laufkilometer 1420,5-1523, Warmwasserkanaleinlass bei 1526,160). Diese Wasserbasis sichert das Wasserversorgungsnetz der Wasserwerke der Kleinregion Kalocsa und der angeschlossenen fünfzehn Gemeinden.

Größter Industrieabnehmer in der unmittelbaren Umgebung ist das AKW Paks. Die Quelle der folgenden Wassersysteme ist unterirdisches Wasser: Im Falle des Trinkwassers sind dies die Brunnen von Csámpa, im Falle von Nutz- und Löschwasser die Brunnenanlage am Ufer.

Verwendung der unterirdischen Gewässer im Bereich des Kraftwerks

Paks

In Paks hat sich der Wasserverbrauch der Bevölkerung seit 1995 nicht viel verändert und schwankt zwischen 572-578 Tausend m³. Dies entspricht einem Wasserverbrauch von 10m³/Jahr pro Person bzw. entspricht einem spezifischen Wasserverbrauch von 28-29l/Person/Tag.

Die totale der Stadt zur Verfügung gestellte Wassermenge ist zwischen 1995 und 1998 von 992.000 m³ auf 895.000 m³ zurückgegangen, was einen Rückgang von zehn Prozent innerhalb von drei Jahren bedeutet. Dies ist in erster Linie mit dem Rückgang des Verbrauchs von Wasser für den wirtschaftlichen Bereich zu erklären.

Das am südlichen Ende der Stadt befindliche Wasserwerk hat eine tägliche Wasserproduktionskapazität von 11.000 m³, was den täglichen Wassergebrauch der Stadt von 7.800 m³ um vierzig Prozent übertrifft. Dem AKW dient – als größtem Wasserverbraucher – eine eigene Infrastruktur, darüber hinaus liefert auch das im Außenbereich von Paks befindliche Wasserwerk von Felső-Csámpa dem Kraftwerk Wasser.

Die größten kommerziellen VerbraucherInnen der Stadt zur Zeit der Wende – das AKW nicht gerechnet – waren die Staatswirtschaft Paks, die Konservenfabrik Paks und die landwirtschaftliche Produktionsgenossenschaft "Dunamente". Davon sind heute nur (zum Teil) die LPG geblieben, die sich mit Viehzucht, Landwirtschaft, Weinbau und Wein beschäftigt, darüber hinaus gibt es noch in den Außenbezirken von Paks die Weinkellerei bei Biritó, bei Gyapa die

GYAFIK-Betriebe. Innerhalb der Stadt gehören das Strandbad und die Schwimmhalle zu den größten Verbrauchern. Der Jahreswasserverbrauch der größten Verbraucher außer der Bevölkerung macht 320-360.000 m³ aus.

Dunaszentbenedek

Der jährliche Wasserverbrauch betrug in Dunaszentbenedek noch Anfang der neunziger Jahre wesentlich mehr als 30.000 m³. Der Rückgang der Bevölkerungszahl, aber noch eher ein Anheben der Wassergebühren ließen diese Menge 1995 auf 28.000m³ 1997 auf 27.000 m³ zurückgehen, was sich auch 1998 nicht änderte. Dies entspricht einem Wasserverbrauch von 28,5m³/Jahr pro Person bzw. entspricht einem spezifischen Wasserverbrauch von 77,1l/Person/Tag. Zu dieser Menge kommen noch 14-18.000 m³ Wasser für Bewässerung, das aus anderen Quellen, in erster Linie gebohrten Brunnen kommt, gegrabene Brunnen kommen in der Siedlung nur mehr selten vor, sie wurden schon Anfang der achtziger Jahre stillgelegt.

Die größte kommerzielle Verbraucherin ist die LPG "Neuer Morgen", die die Felder von Dunaszentbenedek und Gederlak bebaut. Der Wasserverbrauch der örtlichem LPG, die sich mit Viehzucht – Rinder und Schweinen – beschäftigt von vier- bis fünftausend m³ wird durch zwei Wassertürme südöstlich der Gemeinde gesichert.

Die Gemeinde mit Trinkwasser versorgenden Wasserwerke befinden sich in der Hand der Kalocsavíz, 19 Gemeinden der östlichen Hälfte des Komitats Bács-Kiskun – darunter Dunaszentbenedek, Géderlak und Úszód – sind von einem eigenen Wassersystem versorgt. Zu dieser Gesellschaft gehört das 3,5 Kilometer südöstlich von Úszód errichtete Wasserwerk Baráka mit einer Kapazität von 16.400 m³, dessen zwölf Brunnen u.a. auch Dunaszentbenedek mit Wasser versorgen. Das hier gewonnene Wasser wird zuerst vom Eisen und Mangan befreit, danach in die örtlichen Netze eingespeist.

Dunaszentgyörgy

Der jährliche Wasserverbrauch des jährlichen Wasserverbrauchs zeigt einen erheblichen Rückgang. Vom jährlichen Wasserverbrauch im Jahr 1995 in der Höhe von 87.000 m³, ging dieser a1996 auf 61.000 m³, 1997 auf 59.000 m³ zurück, was einem Rückgang von 33 Prozent bedeutet. Dies heißt, dass der spezifische Wasserverbrauch des Jahres 1995 von 31,7 m³/Bewohner auf 21,7 m³/Bewohner im Jahr 1997 zurückgegangen ist. Die Bevölkerung nutzt noch weitere – geschätzte – 30 bis 40.000 m³ Wasser (zum Teil aus gebohrten Brunnen) für die Bewässerung. Die ausgehobenen Brunnen sind für die Bewässerung unbedeutend.

Größte örtliche Verbraucherin ist die örtliche LPG. Der geschätzte jährliche Wasserverbrauch der sich mit Viehzucht beschäftigenden LPG beträgt 8 bis 9.000 m³. Der Wasserturm befindet westlich der Ortschaft.

Das kommunale Wasserwerk befindet sich befindet sich im Ort, Besitzerin ist die lokale Selbstverwaltung, Verwalterin die Wasserwerke "Tolna" mit Sitz in Tolna. Die Kapazität des Werkes, das sich westlich der Ortschaft befindet ist 800 m³/Tag. An die Brunnen ist eine Anlage zur Arsenklärung angeschlossen, um das Arsen aus dem aus 150 Meter Tiefe gewonnen Wasser zu neutralisieren.

Géderlak

Der Wasserverbrauch der letzten Jahre ist in den letzten Jahren mit 32-34.000 m³ stabil geblieben. Dementsprechend ist der jährliche pro Kopfverbrauch nur ein wenig zurückgegangen (1995: 29,8 m³/ Person; 1997: 28,9 m³/Person). Auf den täglichen Wasserverbrauch umgelegt, heißt das, dass ein/e BürgerIn von Géderlak täglich 79-81 Liter Wasser konsumiert. Aufgrund von Schätzungen stammen weitere 10-12.000 m³ aus gebohrten Brunnen – für Bewässerungszwecke.

Die größte kommerzielle Verbraucherin ist die LPG "Neuer Morgen", deren Rinderzucht jährlich 4 bis 5.000 m³ Wasser verbraucht. Der Kreis der Landwirte verbraucht 1-1,5.000 m³.

Die Wasserwerke die Géderlak versorgen ist die KALOCSAVÍZ in Kalocsa, die hier ein mit dem Netz von Dunaszentbenedek vergleichbares Netz aufgebaut hat – nähere Angabe siehe dort.

Uszód

Der Wasserverbrauch der Bevölkerung von Uszód zeigte bereits Anfang der neunziger Jahre Werte weit über 40.000 m³, wonach aber die Bevölkerungszahlen zurückgingen. 1997 und 1998 verbrauchte die Gemeinde 37.000 m³ Wasser aus der Leitung, was einem Wasserverbrauch von 32,8 m³/Person – umgerechnet auf den Tag 89,9 l/Person – gleichkommt. Dazu kommen noch weitere 16-18.000 m³ Wasser für die Bewässerung, das in erster Linie aus Brunnen gewonnen wird. Gegrabene Brunnen werden in der Gemeinde nicht mehr verwendet.

Größte Wasserverbraucherin vor Ort ist die LPG "Zusammenhalt", die im östlichen Teil der Ortschaft einen Wasserturm unterhält. Für die Tränkung des Viehbestandes werden im Jahr so 6-7.000 m³ Wasser verwendet. Die örtlichen Landwirte konsumieren geschätzt noch weitere 3-4.000 m³ Wasser,

Die Wasserwerke die Géderlak versorgen ist die KALOCSAVÍZ in Kalocsa, die hier ein mit dem Netz von Dunaszentbenedek vergleichbares Netz aufgebaut hat – nähere Angabe siehe dort.

Die Wasserverbrauchszahlen der Bevölkerung im fünf bis sechs Kilometerumkreis des AKW gibt Tabelle 3 an.

Tabelle 3. Wasserverbrauch der Bevölkerung im Umkreis des AKW Paks, 1997

Siedlung	Bevölkerung 1997	Leitungswasser für Bevölkerung, 1000 m ³			Leitungswasser- verbrauch/Kopf, m ³ /Jahr
		1995	1996	1997	
Paks	21.022	574	578		
Dunaszentbenedek	959	28	29		
Dunaszentgyörgy	2.709	87	61		
Géderlak	1.105	34	34		
Uszód	1.227	41	39		
Summe	29.019	764	741		

6.3. Die im ersten Halbjahr 2003 bewertbaren Ergebnisse des "Monitoringsubprogramms über die Möglichkeiten der Verwendung der unterirdischen Gewässer im Rahmen des Standortcharakterisierungsprogramms bezüglich des umweltschützerischen, standortrechtlichen und wasserrechtlichen Genehmigungsverfahrens"

Überblick über und Ziel des Ausbaus des 2002 geschaffenen Umweltschutz-Monitoringsystems

Das am Ufer gefilterte Wasser besteht aus der Mischung des zu einem größeren Teil aus dem Wasser der Donau, bestehenden, zu einem geringeren Teil aus dem Hintergrundwasser bestehenden Wassermenge. Die Qualität des Wassers steht im ursächlichen Zusammenhang mit der Qualität des Flusswassers und dem Wasserstand des Flusses. Der Strömungsraum zwischen Wasserfluss und den wasserspendenden Schichten ist mikrobiologisch aktiv, sein wichtigster Abschnitt ist die Grenze der Sedimentoberfläche. Zur Herausbildung dieser Oberflächje bedarf es eines langanhaltenden Gleichgewichts. Was die chemische Zusammensetzung betrifft, sind bei dem Uferfiltersystem die Filter zahlreiche feste Bestandteile, zum Beispiel Tonminerale, Eisen-, Mangan und Aluminiumhydroxide – organische Stoffe wiederum können die unter der Wasseroberfläche dissoziierten und nicht dissoziierten Bestandteile binden.

Ein vollausgebauter Abschnitt besteht aus zwei am linken und rechten Ufer installierten Abschnitten. Die beiden Halbabschnitte sind nicht zwingendermassen gegenüber aufgebaut. Ein Halbabschnitt besteht so aus im Wellenbereich installierten vertikalen oder horizontalen Sonden und aus – etwas weiter aufgebauten - Beobachtungsbrunnen. Die horizontale Sonde dient in 2,5 Meter Tiefe unter dem Donaubett der Beobachtung der wasserchemischen und mikrobiologischen Auswirkungen unter dem Wärmeschweif bzw. jener, die zwischen Wärmeschweif und Ufer ablaufen.

Die vertikale Sonde nimmt die mikrobiologischen und wasserchemischen Wechselwirkungen zwischen dem Donauufer und dem unmittelbar dahinter befindlichen Grundwasser im Hintergrund wahr.

Prinzipien der Installierung der vertikalen Sonden

Die Installierung der vertikalen Sondenpaare (Abbildung 40) wurde davon bestimmt, dass die Nachschubbedingungen für den das Grundwasser aufnehmenden Bestand ungleich den höher oder tiefer gelegenen Schichten sind.

Der poröse Sand nahe der Oberfläche erhält den Wassernachschub unmittelbar aus dem Bett der Donau, womit die "Filterdauer" der so nachkommenden Wasserteilchen sich reduziert und damit zu erwarten ist, dass sich auf diesem Niveau die Auswirkungen, die sich aus der biologischen Aktivität und aus der organischen Verschmutzung ergeben, d.h. die natürlichen Umstände der Auswirkung des Donauwassers, stärker zeigen. Die "seichteren" vertikalen Sonden wurden bis zu einer Tiefe von zehn bis fünfzehn Meter installiert.

Unmittelbar daneben wurden die "tieferen" vertikalen Sonden installiert, dessen Sohlentiefe bei 25 bis 28 Meter liegen.

Diese Tiefe sichert, dass die tieferen Sonden die physikochemischen und mikrobiologischen Umstände des wasserlagernden alluvialen Bestandes aus porösem Sandschotter wahrnehmen. In diesem Tiefenbereich geschieht der Wassernachschub von der Uferlinie entfernend aus der Hauptströmung des Bettes heraus. Mit der Installierung der vertikalen Sonden werden die einzelnen Tiefenniveaus analysierbar und damit auch die Veränderungen im Bereich der Wasserqualität der Flussbettabschnitte in einer Entfernung zum Ufer.

Im Zuge der Untersuchungen der Auswirkungen der Erwärmung des Wärmeschweifs auf das Wasser der Donau, bei der Analyse der bestehenden und potenziellen Auswirkungen auf die Uferwasserfilteranlagen wurden damit drei Grundsituationen mithilfe des installierten Monitoringsystems untersucht: der von der Wasserbasis unmittelbar beeinflusste Flutraum (Wasserbasis Baja), der von der Wasserbasis mittelbar beeinflusste Flutraum (Kalocsa-Baráka, Mohács, Insel Mohács), sowie der natürliche Zustand (an den Stellen der potenziellen Wasserbasen am rechten Donauufer).

Bei der Untersuchung der Mündung der Sió wurden nördlich und südlich natürliche Zustände registriert, bei denen bereits die Einflüsse anderer Oberflächengewässer (Sió-Kanal) wirksam werden.

Kreis der durchgeführten Wasseruntersuchungen

Wasserchemische Untersuchungen (Zahl der 2002 durchgeführten Untersuchungen: 74)

Wassertoxikologische und mikroskopische biologische Untersuchungen (Zahl der 2002 durchgeführten Untersuchungen: 66+53)

Tritiumuntersuchungen (Zahl der 2002 durchgeführten Untersuchungen: 12)

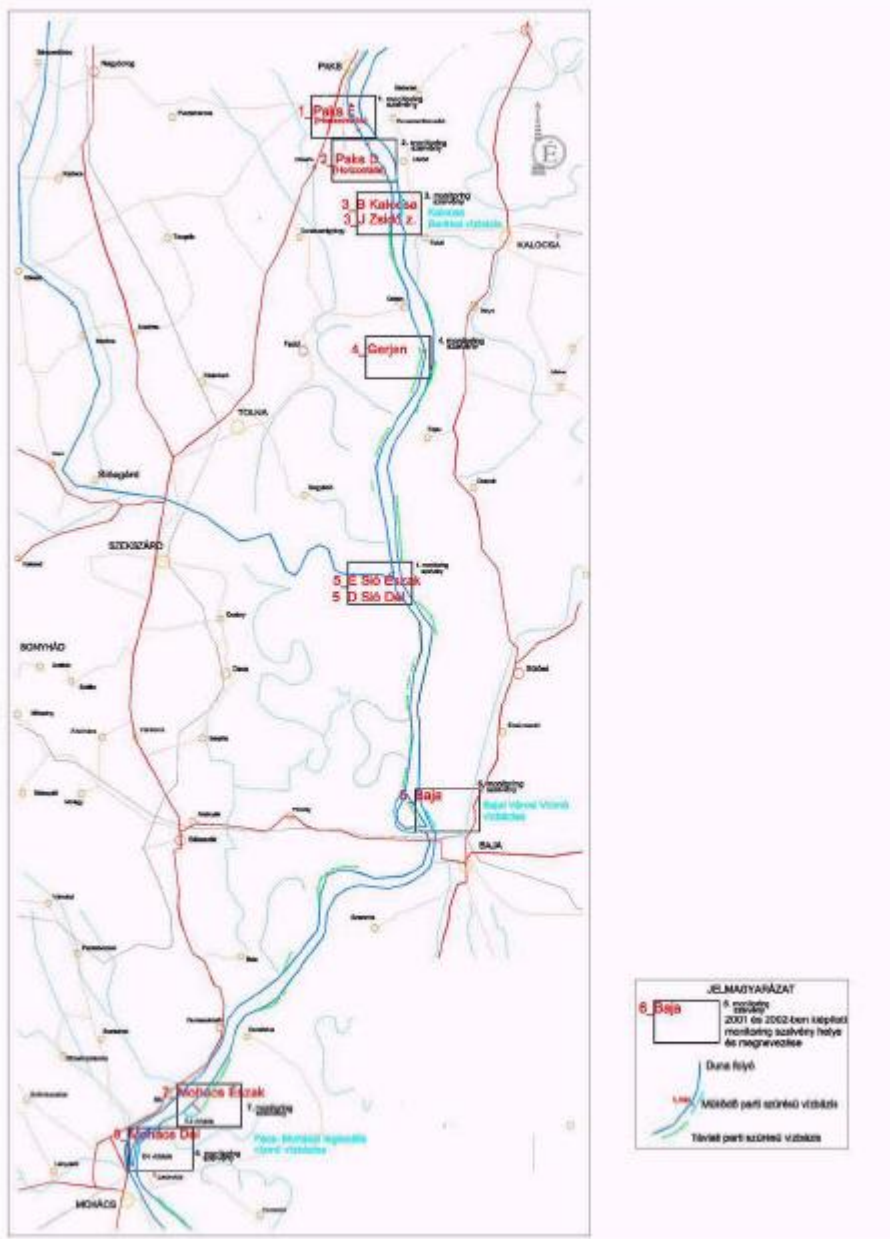
Die Untersuchungen wurden von der wasserchemischen und hydrobiologischen Abteilung des "Zentralen umweltanalytischen Labors" des "III. Instituts für Wasserqualitätsschutz" der VITUKI AG ausgeführt.

Bakteriologische Untersuchungen (Zahl der 2002 durchgeführten Untersuchungen: 43)

Die Untersuchungen wurden "Umweltmikrobiologischen Labor" des "Biologielabors für öffentlichen Gesundheitsschutz" des staatlichen amtärztlichen Dienstes (ÁNTSZ) durchgeführt.

Die chemischen Untersuchungen der Wasserproben vor Ort wurden von der Firma Kék Csermély ausgeführt.

Abbildung 40: Übersichtsdarstellung der Monitoringprofile



Bewertung der Ergebnisse

Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungen zur Wasserqualität

Es ist festzustellen, dass das Wasser der meisten Sonden, Brunnen und Beobachtungsbrunnen qualitativ schlecht ist, in erster Linie wegen ihres hohen Ammoniumionengehalts. In einigen Fällen ist auch ein hoher Nitratgehalt feststellbar, was vorherige Behauptung nur stützt.

Bei den anderen Faktoren, bei KOI und Nitrit, die eine organische Verschmutzung signalisieren sowie bei den anderen Komponenten, die im Bezug auf die Wasserqualität keine Grenzwert verfügen, wurden keine hervorstechend hohen Werte gefunden.

Im besonderen muss auf die hohe Menge von Eisen- und Manganionen aufmerksam gemacht werden (ganz besonders letztere Zahl), weshalb die meisten untersuchten Wasserproben in die Qualitätsklasse III. bis V. gehören.

Zusammenfassende Bewertung der ökotoxikologischen Untersuchungen

Gemäß den gültigen MSZ EN ISO Normen kann untersuchtes Wasser nicht beanstandet werden, wenn in diesem der Exitus der Tiere nicht fünfzig Prozent überschreitet, bei Trinkwasser liegt dieser Wert bei zehn Prozent, was an der Fehlergrenze liegt.

Die Ergebnisse der auf unterschiedliche Weise gewonnenen Wasserproben vergleichend, kann festgestellt werden, dass in den Gewässern mit den horizontalen Sonden (Paks, Kalt- und Warmwasserkanal, Donauwasser Baja) und in den vertikalen Sonden die Mortalität der Tiere sehr gering war, in vielen Fällen war gar keine feststellbar, aber dessen Wert veränderte sich maximal zwischen drei und sieben Prozent, was auch nach Trinkwassernorm nicht zu beanstanden ist.

In den Beobachtungs- und Produktionsbrunnen ist demgegenüber eine höhere Mortalität zwischen drei und 23 Prozent feststellbar. Das ist noch immer nicht zu beanstanden, doch zeigt dies bereits die Anwesenheit von verseuchten, eventuell Giftstoffen im Wasser.

Besonders hervorzuheben sind die Brunnen im Abschnitt 3_b Kalocsa Baráka, in deren Rohwasser in allen Fällen es zu größeren, kleineren Exitus der Tiere kam. In einem Fall kamen alle Versuchstiere um, was eine stark toxische Wirkung zeigte, das Wasser konnte nur nach Verdünnung weiter verwendet werden.. Die Ergebnisse des Daphnia-tests zeigten den giftigen Zustand des Wassers der Sonde an.

Zusammenfassende Bewertung der mikroskopischen biologischen Untersuchungen

Allgemein kann festgestellt werden, dass die Zahl der Algen in den verschiedenen Wasserproben im Vergleich zu Donau außergewöhnlich gering war, sie betrug lediglich 0,1.0 Prozent. Die festgestellten Arten gehören zu den dominierenden Arten der Donau. Das meiste Wasser entspricht demnach den Trinkwasserkriterien.

Die in einzelnen horizontalen und vertikalen Sonden, in den Beobachtungs- und Produktionsbrunnen gefundenen große Mengen an organischen Stoffe, an Bakterienkulturen und Fadenbakterien, Eisen- und ManganhydroxidNiederschläge macht aber darauf aufmerksam, dass die Effizienz der Filterschichten nicht entsprechend ist. Die Absonderung des Eisen- und Mangahydroxids ist mit der Veränderung der Sauerstoffsituation des Wassers erklärbar (Veränderungen der aerob-anaerob-Situation). Es wäre angebracht in Hinkunft, die möglichen Gründe dafür weiter zu untersuchen.

Zusammenfassende Bewertung der bakteriologischen Untersuchungen

Die aus den Sonden im Warmwasserkanal PA2/1 HMSZ Paks Süd und im Warmwasserkanal PA2/2 HMSZ aus Süd entnommenen Proben hatten Trinkwasserqualität.

Auch das Wasser der aus den anderen untersuchten horizontalen und vertikalen Sonden und das Wasser der Beobachtungsbrunnen sind guter Qualität. Hervorzuheben sind die zehn Produktionsbrunnen des Wasserwerks Baja, deren Wasserqualität einmal gut war, später aber gemäß der ausweisbaren Bakterienzahl, die auf eine organische Verschmutzung verwiesen, nur mehr Klasse III. bis IV. war.

6.4. Untersuchung der hydrologischen Umgebung des Kraftwerkes mit einem Modell

Zur Modellierung der Umgebung des Kraftwerkes kam das Programmpaket Visual MODFLOW zur Anwendung. Das Paket besteht aus vier eigenständigen Programmen, die Visual MODFLOW miteinander verbindet:

1. MODFLOW, dient der Ausarbeitung eines Strömungsmodells,
2. MODPATH, berechnet Teilchenverläufe, Geschwindigkeiten, Erreichzeiten aufgrund des mit MODFLOW erstellten Strömungsmodell
3. ZONEBUD Berechnung des Wasserhaushalts
4. MT3D, Transportkode, das aufgrund des Strömungsmodells, die Ausbreitung der in den Boden geratenden Schadstoffe berechnet (Materialtransport)

MODFLOW

Mithilfe von MODFLOW kann für das gegebene Gebiet ein dreidimensionales hydrologisches Modell erstellt werden. Die Bewegung des Grundwassers im porösen Material kann mit einer partialen Differentialgleichung dreidimensional beschrieben werden, dessen analytische Lösung nur in Ausnahmefällen möglich ist, bzw. wofür man eine numerische Annäherung anwenden kann. MODFLOW rechnet mit der sog. Methode des Enddifferentials: Es löst die Differentialgleichungen in einem aufgrund einer der Landkarte des Gebietes und der hydrologischen Abschnitte geschriebenen dreidimensionalen Netz in der Mitte der einzelnen Zellen numerisch auf und verwendet dafür die einkommenden Daten als Initial- und Grenzbedingungen. Als Ergebnis der Berechnungen erhalten wir die räumliche Anordnung der piezometrischen Linien des Gebietes, die räumliche Verteilung der Wassergeschwindigkeiten (nach Richtung und Größe). Eine feinere Aufteilung hat eine feinere Annäherung zur Folge, die Auflösung wird allein vom Speicherplatz des Rechners und der Rechenzeit beschränkt.

Mithilfe von MODFLOW ist eine Simulation ausführbar, die statisch (stady state) ist oder den Zeitfaktor in Rechnung stellt. Für das statische Modell bedarf es einer einziger Datenreihe, dieser Ausgangspunkt wird in der Folge als ständig erachtet und die Strömungsverhältnisse dementsprechend dargestellt. Das transiente Modell berücksichtigt die im Bereich geschehenen Veränderungen. In diesem Fall erhalten wir eine sich verändernde piezometrische Landkarte. Im Fall beider Modelltypen vergleicht das Modell die in den Beobachtungsbrunnen gemessenen Wasserstandswerte mit den berechneten Daten, womit wir die Richtigkeit des Modells überprüfen können.

MODPATH

Das Programm berechnet Teilchenverläufe, Geschwindigkeiten, Erreichzeiten aufgrund des mit MODFLOW erstellten Strömungsmodells. Der Geschwindigkeitsvektor der Teilchen steht quer zu den piezometrischen Linien, die Höhe der Geschwindigkeit wird von der Differenz des hydraulischen Potentials bestimmt. Mit ihrer Hilfe kann festgestellt werden, wo sich eine in einem gegebenen Zeitmoment an einem gegebenen Ort zu findende konservative Verschmutzung nach einer gewissen Zeit befinden wird, wohin sie fließt, und wieviel Zeit sie braucht, damit sie eine gewisse Distanz erreicht. Oder umgekehrt. Woher sie gekommen sein könnte du wie viel Zeit sie gebraucht hat, um an die gegebene Stelle zu kommen. Das Programm braucht außer den Daten des Programms MODFLOW keine anderen Daten, es ist nur festzulegen, wo sich diese Teilchen befinden, deren Bewegungen zu verfolgen sind.

ZONEBUD

Dient der Berechnung vom Wasserhaushalt. Berechnet für das ganze Modell, einzelne Schichten oder markierte Zonen die Menge des einlangenden und ausgehenden Wassers, womit kontrolliert werden kann, ob aus der Sicht des Gleichgewichts (des Wasserhaushalts) bei der Ausarbeitung des Strömungsmodells die Grenzbedingungen (Niederschlag, Verdunstung, Produktionsbrunnen, Wasser von Flüsse und Seen) richtig angegeben worden sind.

Zum Paket Visual MODFLOW sind auch weitere Programme hinzufügar, darunter auch der dreidimensionale Transportkode MT3D.

MT3D

Reaktiver Transportkode, organisch mit MODFLOW verbunden, nur mit diesem Programm gemeinsam zu benutzen. Das Programm dient der Simulation der Advektion und Sorption von Verschmutzungen, die in das Grundwasser gelangt sind und der Bindung, die im Gefolge der chemischen Reaktionen erfolgt. Bei der Berechnung der Ausbreitung der Verschmutzung ist auch der radioaktive Zerfall bzw. die Biodegradation in Rechnung stellbar.

Notwendige Eingangsdaten:

1. Anfängliche Verschmutzungskonzentration, kann in verschiedenen Bereichen des Untersuchungsgebietes unterschiedlich sein.
2. Später hinzugefügte oder laufen hineinratende Konzentration, kann mit der ständigen Konzentration, Niederschlägen hinzukommende Verschmutzung sein, Verdichtung durch Verdunstung, können getrennt und zusammen auftreten, kann in den verschiedenen Teilbereichen unterschiedlich sein.
3. Gesteinsdichte in den einzelnen Schichten
4. Kennzahl für Sorption, bei radioaktiven und biologischen Schadstoffen, Zerfallskonstanten
5. Longitudinale, transversale und vertikale Dispersionsfaktoren, Diffusionskonstanten bezüglich der einzelnen Schichten
6. Die in den Beobachtungsbrunnen gemessene Schadstoffkonzentration, die nicht für das Programm selbst, sondern für die Kontrolle dient.

As Programm arbeitet je nach Wahl mit linearer oder nicht-linearer Sorption. Sofern annehmbar ist, dass die Menge des gebundenen Material direkt proportional zur Konzentration des im Wasser gelösten Materials ist, kann mit einer linearen Sorption gerechnet werden (dünne Lösungen). Bei den nichtlinearen Annäherungen nimmt die Freundlich-Isotherme eine exponentielle Verbindung zwischen der Menge des gebundenen und gelösten Materials an, während die Langmuir-Isotherme in Achtung stellt, dass ein Gestein über eine gewisse Menge hinausgehend nicht mehr Stoffe binden kann. Dies ist bei dichten Lösungen von Bedeutung, bei dünnen Lösungen fällt sie mit der linearen Annäherung zusammen.

Mittels MT3D können statische und transiente Simulationen durchgeführt werden. Für ein transientes Modell können auch hier verschiedene Eingabeparameter bezüglich der einander folgenden Stressperioden eingegeben werden, allein die Perioden müssen den in MODFLOW eingegebenen Zeiten entsprechen. Sofern wir das Ganze als transientes Modell laufen lassen, wird das Programm die Verbreitung der Schadstoffe nur für den geprüften Zeitraum anzeigen. Im Falle eines statischen Modells ist eine Schätzung bezüglich der weiteren Ausdehnung und Verbreitung der Schadstoffe möglich.

Die Adaptierung von Visual MODFLOW für die hydrologische Umgebung des Atomkraftwerks

Voraussetzungen

Erster Schritt bei der Ausarbeitung des Modells war die Herstellung eines dreidimensionalen Netzes aufgrund einer digitalen Landkarte des Kraftwerks und seiner Umgebung und der von den Beobachtungsbrunnen begrenzten Schichten. Die räumliche Ausbreitung des Modells beträgt nach den lokalen Koordinaten -400-4600 in OW-Richtung und 10.500-14.000 in NS-Richtung. Dies wurde in 35 Zeilen x 50 Spalten umfassendes Netz platziert, welches in der Umgebung des Kraftwerkes in einer Auflösung von 50 x 50 Meter noch weiter verfeinert wurde. Für eine genaue Beschreibung der Oberflächen der einzelnen Schichten standen keine ausreichenden Daten zur Verfügung, womit als Annäherung die Ausarbeitung von Ebeneabgrenzungen und geschätzte durchschnittliche Schichtdicken erfolgte. Die Wasserstandswerte der Beobachtungsbrunnen standen seit 1984 zur Verfügung, daraus konnte festgestellt werden, dass der Wasserstand des Grundwassers nirgends die Höhe von 92 Meter baltischer Seehöhe erreicht hatte. Da MODFLOW "trockene" Schichten in seine Berechnungen nicht einbeziehen kann, wurde die Oberfläche damit mit 92 Meter baltischer Seehöhe angesetzt. Aus den von den einzelnen Brunnen begrenzten Schichtdicken ist festzustellen, dass sich die Dicke der obersten Sandschicht zwischen acht und fünfzehn Meter bewegt, eine durchschnittliche Dicke von zwölf Meter also. Dementsprechend war der Boden der Sandschicht im Modell bei 85 Meter baltischer Seehöhe anzusetzen (zwölf Meter ab wirklicher Oberfläche berechnet, ab 97,15 Meter baltischer Seehöhe). Unter ähnlichen Gesichtspunkten wurde der Boden der Schottersandschicht bei 78,5 Meter baltischer Seehöhe, die Schotterschicht bei 57 baltischer Seehöhe angesetzt. Der Brunnen R-63 begrenzte zwischen 63 und 57 baltischer Seehöhe die Gesteinsmehlschicht, darunter befindet sich wieder eine Sandschicht. Der zirka 250 Meter neben Brunnen R-63 befindliche Brunnen R-64 durchquert keinen Ton, womit sich die wasserundurchlässige Schicht

hier tiefer befindet. Aufgrund der Wasserstandsmessungen ist ersichtlich, dass die in Brunnen R-63 gemessenen Pegelstände wesentlich höher sind als die im Brunnen R-64 gemessenen, ja sie übersteigen sogar den Wasserstand der Donau. Der Wasserstand dieses Brunnens wird nicht vom Grundwasser, sondern vom Druck des Schichtwassers unter der Tonschicht bestimmt. Ältere δ^{18} -Messungen haben bereits darauf verwiesen, dass es in diesem Bereich beträchtliche Aufströmungen des Schichtwassers gibt. Deshalb erschien es gerechtfertigt, innerhalb der Tonschicht einen laufenden Mangel anzunehmen und dies auch im Modell zu berücksichtigen. Entsprechend den Informationen liegt die wasserabschließende Schicht unterhalb der KKÁT-Deponie zirka zehn Meter tiefer als anderswo, womit diese Tiefe 47 baltischer Seehöhe als untere Grenze des Modells festgelegt wurde.

Die hydraulische Leitfähigkeit der einzelnen Schichten ($K_{x,y,z}$) und die Porosität (n) wurde aus den zur Verfügung stehenden Daten, die spezifische Lagerfähigkeit (S_s) und die spezifische Durchlassfähigkeit (S_y) aus einer Tabelle übernommen. Demzufolge gelangten folgende Daten zur Eingabe.

Tabelle 4: Eingabedaten des Modells

Baltische Höhe	Mitteltypus	$K_x(K_y)$ m/s	K_z m/s	S_s 1/m	S_y -	N -
92-85	Sand	10^{-5}	10^{-6}	0,005	0,25	0,35
85-80	Schottersand	10^{-4}	10^{-4}	0,0005	0,2	0,3
80-78,5	Schottersand	10^{-4}	10^{-4}	0,0005	0,2	0,3
78,5-57	Schotter	0,001	0,001	0,0001	0,15	0,25
57-54,5	Ton	10^{-9}	10^{-9}	0,1	0,05	0,45
54,5-47	Sand	10^{-6}	10^{-6}	0,003	0,25	0,35

Grenzbedingungen

Das Beziehungswasserniveau für die Schichten 1 bis 4 wurde mithilfe von SURFER ermittelt. Aufgrund der Vorstudien kann festgelegt werden, wo diese Bezugsebene platziert werden kann (wo sich das Niveau nicht mehr beträchtlich ändert. Hier wurde von den Daten des Brunnens R-63 ausgegangen. Bei den Untersuchungen wird klar ersichtlich, dass die im Brunnen gemessenen Pegelstände – trotz der Entfernung von der Donau und der Tiefe des Brunnens – überraschenderweise dem Wasserstand der Donau gut folgen, aber diesen in der Regel um drei Meter überschreiten. Deshalb wurde dieser Pegel als Bezugspegel gesetzt.

Die Berechnungen haben ergeben, dass die Strömungsverhältnisse der Gegend stark von der Donau, dem Kaltwasserkanal, den Fischteichen und dem Kondorsee beeinflusst werden. Bei der Erstellung des transienten Modells wurde der einige Zeit lang wahrgenommene Wasserstand der Donau und des Kaltwasserkanals berücksichtigt, der Pegel der Fischteiche ist immer gleich, 90,2 baltischer Seehöhe, der des Kondorsees ebenfalls, 90,3 baltischer Seehöhe. Bei der Erstellung des statischen Modells der Schadstoffausbreitung wurde der im allgemeinen charakteristische mittlere Pegelstand als Grundlage genommen. Donaubecken 79 baltischer Seehöhe, neben dem Kaltwasserkanal 81 baltischer Seehöhe, Becken der Fischteiche 98,4 baltischer Seehöhe.

Auch die im Bereich stehenden Gebäude sollten Berücksichtigung finden. Wie sich herausstellte beeinflussen die Gebäude die Strömungsverhältnisse nicht nachhaltig. Sehr stark ist hingegen die Wirkung der Fischteiche und des Kaltwasserkanals.

Bei der Erstellung des Modells wurden auch die wichtigsten Ergebnisse einer Vierteljahresmessung der Beobachtungsbrunnen verwendet. Aus den zu einem Zeitpunkt gehörenden Messdatenreihen wurden mithilfe von SURFER die piezometrischen Linien berechnet und diese mit der von MODFLOW berechneten piezometrischen Landkarte verglichen. Brunnen befinden sich nur an wenigen Stellen des modellierten Bereiches, deshalb konnten die SURFER-Landkarten nur für einen kleinen Bereich des modellierten Bereiches (für die unmittelbare Umgebung des Kraftwerkes) gezeichnet werden, aber selbst in diesen Bereichen bedurfte es noch einer Extrapolation, weil es zum

Beispiel im Bereich der Fischteiche keine Beobachtungsbrunnen gibt. Deshalb können nur jener Teil der mit MODFLOW erstellten piezometrischen Landkarten mit den SURFER-Landkarten verglichen werden, die sich auf den unmittelbaren Bereich des Kraftwerkes beziehen.

Literaturverzeichnis

- [1] A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága (Die Erdbebensicherheit des AKW Paks), Hg.: Marosi Sándor – Meskó Attila – Akadémiai Kiadó, 1997.
- [2] VVER 440-213 Seismic Hazard Re-evaluation, PHARE Project No.:4.2.1, Ove Arup, Contract No 94-06000
- [3] Site Investigation of Site Response and Liquefaction Potential, Interpretative Report, Ove Arup & Partners, London, October 1995.
- [4] Site Investigation of Site Response and Liquefaction Potential, Final Report, ISMES, Bergamo, August 1995.
- [5] Earthquake Hazard Assessment at Paks NPP Site, GeoRisk Kft., Budapest, 2001.
- [6] Környezetvédelmi-, telephely- és vízjogi engedélyezési kérdésekhez kapcsolódó telephely-jellemzési vizsgálat. Monitoring rendszer a Paksi Atomerőmű hűtőrendszerének a Duna vizére és a parti szűrésű vízbázisokra gyakorolt környezeti hatása ellenőrzésére. ETV-ERÓTERV Rt., 0000K00ERA00014, 1999. december (Untersuchung zur Standortcharakterisierung im Zusammenhang mit einem umweltschützerischen, standortrechtlichen und wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren)
- [7] Bács-Kiskun és Tolna megye statisztikai évkönyvei (Statistische Jahrbücher der Komitate Bács-Kiskun und Tolna), KSH (Statistisches Zentralamt), Bp. 1998.

