

# **Einfluss des Kraftwerks Temelín auf die Eutrophierung des Orlick- Stausees:**

**Situation in den Jahren 2000–2008 und Prognose der  
Auswirkungen der Erweiterung des Kraftwerks und  
künftigen Klimaänderung**



Biologisches Zentrum der Akademie der Wissenschaften der  
Tschechischen Republik, Hydrobiologisches Institut

České Budějovice, 2009

Die Studie

**Einfluss des Kraftwerks Temelín auf den Orlik-Stausee: Situation in den Jahren 2000–2008 und Prognose des Einflusses bei Erweiterung des Kraftwerks und künftiger Klimaänderung**

wurde im Auftrag des Wasserwirtschaftlichen Forschungsinstituts T. G. Masaryk, Podbabá 30, 160 62 Prag 6, Gz. 30/33/2/09, vom 21. April 2009 ausgearbeitet

Autorenkollektiv:

doc. Ing. Josef Hejzlar, CSc.

Ing. Josef Polívka

Mgr. Jan Turek

Biologisches Zentrum der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik,  
Hydrobiologisches Institut  
České Budějovice, 2009

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Methodik</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Standort, Probenentnahmestellen</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Daten und ihre Bearbeitung</b>	<b>3</b>
<b>2.3. Mathematisches Modell des Stausees CE-QUAL-W2</b>	<b>6</b>
<b>2.4. Modellierung des Einflusses des KKW Temelín und der Klimaveränderung</b>	<b>6</b>
<b>2.5. Modell für die Prädiktion der P-Konzentration im Orlik-Stausee</b>	<b>9</b>
<b>3. Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Derzeitiger Stand der hydrometeorologischen Bedingungen und der Wasserqualität in der Moldau</b>	<b>10</b>
<b>3.2. Analyse der Stratifikation des Orlik-Stausees</b>	<b>13</b>
<b>3.3. Beeinflussung der Moldau durch den Betrieb des KKW Temelín im Zeitraum 2000–2009</b>	<b>23</b>
3.3.1. Einfluss auf den Durchfluss	23
3.3.2. Einfluss auf die Wassertemperatur	25
3.3.3. Einfluss auf die Zusammensetzung des Wassers	26
<b>3.4. Einfluss des KKW Temelín auf die Moldau und den Orlik-Stausee unter den Bedingungen der Klimaveränderung</b>	<b>28</b>
3.4.1. Einfluss auf den Durchfluss	28
3.4.2. Einfluss auf die Wasserqualität	30
3.4.3. Einfluss auf die Wassertemperatur	31
<b>4. Schlussfolgerungen</b>	<b>33</b>
<b>Anlage</b>	<b>36</b>

## 1. Einleitung

Der Betrieb des Kernkraftwerks Temelín beeinflusst die hydrologischen Bedingungen und die Wasserqualität der Moldau insbesondere infolge einer relativ hohen Wasserentnahme für den Kühlbedarf. Zurück in die Moldau gelangt das entnommene Wasser nur teilweise und ist durch Verdampfung eingedickt, erwärmt und angereichert mit zugesetzten Stoffen, die in der Technologie des KKW Temelín verwendet werden bzw. im durch die Beschäftigten verursachten Schmutzwasser enthalten sind. Änderungen der Temperatur und Zusammensetzung des Wassers können potenziell wesentliche Auswirkungen im Orlick-Stausee haben, insbesondere in seinem Moldau-Arm, da sich mit dem Rückgang des Durchflusses die Verweildauer des Wassers im Stausee verlängert, die Änderung der Zuflusstemperatur verändert die Stratifikation und Hydrodynamik der Wassermassen, die Änderung der Konzentration von Nährstoffen beeinflusst das Wachstum von Phytoplankton und die Eutrophierung des Stausees. Gegenwärtig sind die Veränderungen der Wasserqualität infolge des Betriebs des KKW Temelín gering und haben auf den Orlick-Stausee einen relativ kleinen Einfluss. Der Umfang der Beeinflussung hängt ab von der Größe und Leistung des KKW Temelín. Daher ist anzunehmen, dass sich der Einfluss auf die Moldau und den Orlick-Stausee nach Erweiterung des KKW Temelín um zwei zusätzliche Blöcke merklich vergrößert. Gleichzeitig wird künftig mit großer Wahrscheinlichkeit die Klimaveränderung an Bedeutung gewinnen und nach Modellprognosen für das Gebiet der Tschechischen Republik zur Verringerung des Durchflusses in Flüssen führen, wodurch der Einfluss eines erweiterten KKW Temelín auf die Moldau und den Orlick-Stausee vermutlich wächst.

Das Ziel dieser Studie bestand darin, Unterlagen für die Studie des Einflusses der geplanten Erweiterung des KKW Temelín auf die Umwelt zu erstellen, und zwar einerseits die Beeinflussung der Moldau und des Orlick-Stausees von der Inbetriebnahme des KKW Temelín bis zur Gegenwart (2000–2009) zu rekapitulieren, andererseits eine Prognose dieses Einflusses nach der künftigen Erweiterung des KKW Temelín unter Einbeziehung der möglichen Auswirkungen der Klimaänderung abzugeben. Zu diesem Zweck wurden Daten über den Betrieb der Wasserwirtschaft des KKW Temelín, über die Klimaverhältnisse, die Hydrologie und über die Wasserqualität in der Moldau und im Orlick-Stausee zusammengetragen und ausgewertet. Die Prognose erfolgte mit Hilfe einfacher Bilanzmodelle für den Durchfluss und die Temperatur in der Moldau im Profil der Ableitung der Abwässer aus dem KKW Temelín und für Phosphor als Hauptfaktor der Eutrophierung des Stausees. Mit Hilfe dieser Modelle wurde ein Variantenspektrum von der Situation mit hydrologischen und klimatischen Verhältnissen entsprechend dem Zeitraum 2000–2008 bis hin zu dem durch repräsentative Klimamodelle vorausgesagten Zustand für den Zeitraum um das Jahr 2050 bei verschiedenen Entwicklungsszenarien für Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre ermittelt.

## 2. Methodik

### 2.1. Standort, Probenentnahmestellen

Das Kernkraftwerk Temelín wurde in den Jahren 1987–2000 am linken Ufer der Moldau unweit Týn nad Vltavou errichtet. Das Schema der Wasserwirtschaft des KKW Temelín ist in Abb. 1 dargestellt.

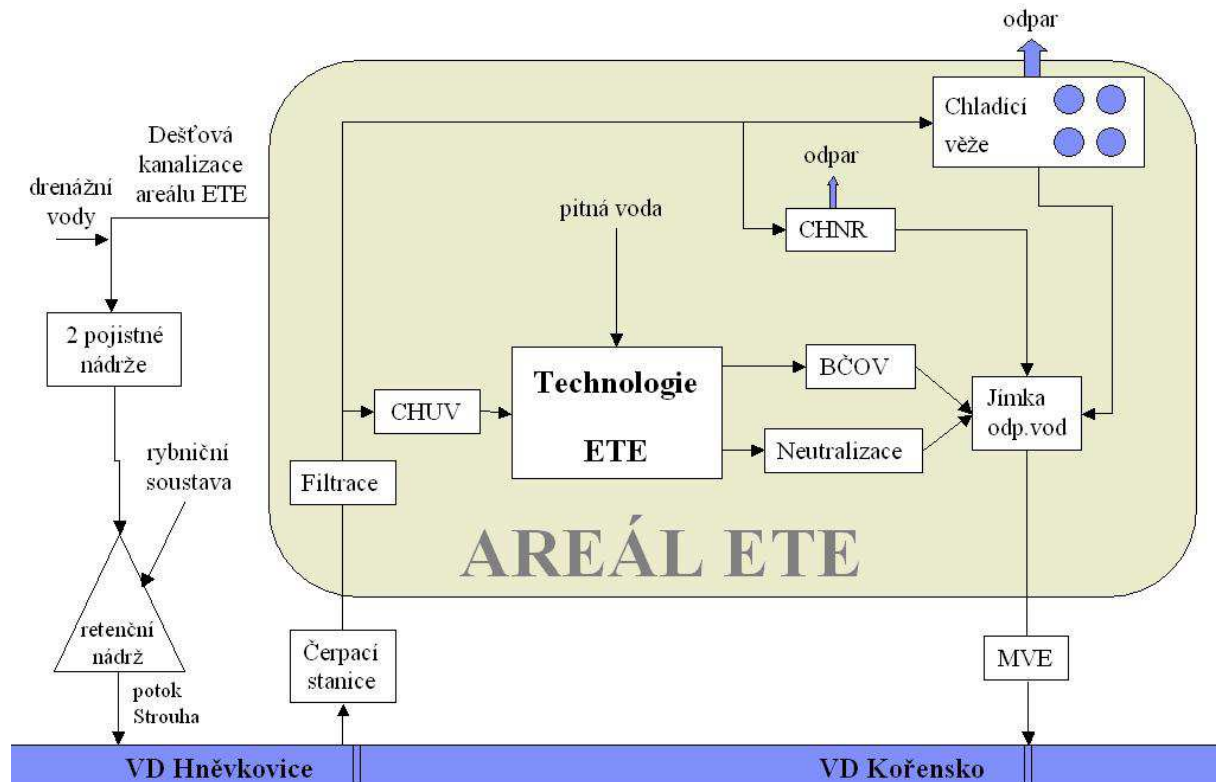


Abb. 1 Vereinfachtes Schema der Wasserwirtschaft des KKW Temelín. Abkürzungen: CHUV – chemische Wasseraufbereitungsanlage, CHNR – Kühlbecken mit Sprühanlage, BČOV – biologische Abwasserreinigungsanlage, MVE – kleines Wasserkraftwerk

dešťová kanalizace areálu ETE – Regenwasserkanalisation des Areals des KKW Temelín

drenážní vody – Drainagewasser

2 pojistné nádrže – 2 Sicherheitsbecken

rybníční soustava - Teichsystem

retenční nádrž – Rückhaltebecken

potok Strouha – Wasserlauf Strouha

VD Hněvkovice – Stauanlage Hněvkovice

čerpací stanice – Pumpstation

filtrace – Filtrierung

technologie ETE – Technologie des KKW Temelín

pitná voda – Trinkwasser

odpar – Abdampf

neutralizace – Neutralisierung

jímka odp. vod – Abwasserbecken

chladicí věže – Kühltürme

VD Kořensko – Stauanlage Kořensko

Das Kernkraftwerk Temelín beeinflusst durch die Entnahme von Wasser und die Ableitung von Abwässern unmittelbar den Orlík-Stausee als bedeutendste Stauanlage der Moldau-Kaskade. Die Karte in Abb. 2 veranschaulicht die Entnahmeprofile im Moldau-Abschnitt vom Stauwerk der Stauanlage Hněvkovice bis unter das Stauwerk des Orlík-Stausees, einschließlich der Zuflüsse, deren Daten der Bewertung zugrunde liegen.

## **2.2. Daten und ihre Bearbeitung**

Die Auswertung des Einflusses des KKW Temelín auf die Hydrologie und Zusammensetzung des Wassers in der Moldau im Profil des Ablasses der Abwässer unter der Stauanlage Kořensko und auf den Orlík-Stausee im Zeitraum 01.01.2000–31.12.2008 wurde durchgeführt auf Grundlage der Kombination von Dateien der ČEZ a.s., des Wasserbewirtschaftungsunternehmens Povodí Vltavy, s.p., des Wasserwirtschaftlichen Forschungsinstituts T. G. Masaryk und des Hydrobiologischen Instituts des Biologischen Zentrums der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik. Die Bewertung beruhte auf Probeentnahmen an den in Abb. 2 dargestellten Standorten.

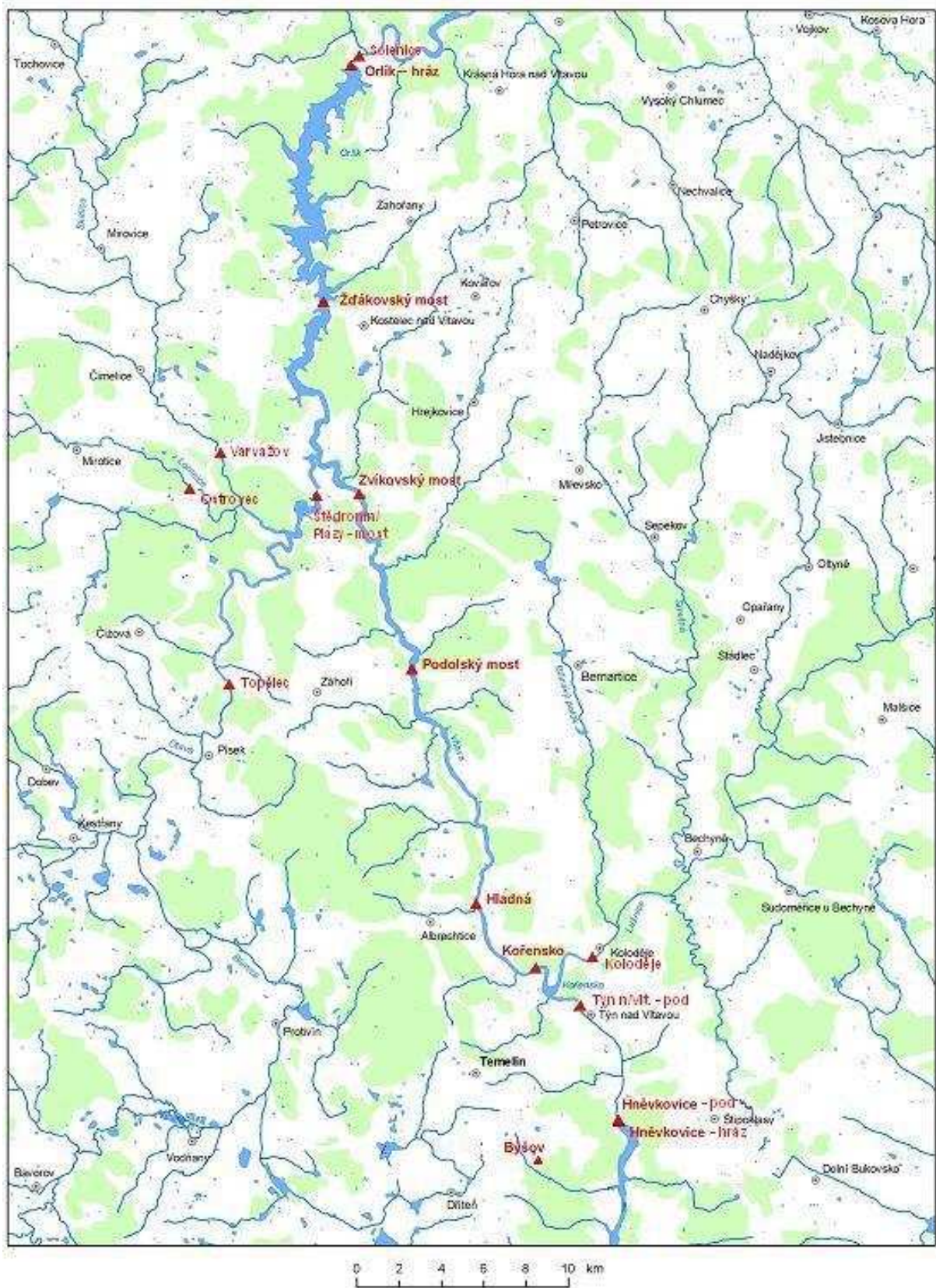


Abb. 2 Karte der Entnahmestandorte

hráz – Stauwerk  
pod – unterhalb

Die Hydrologie des Moldau-Abschnitts von der Stauanlage Hněvkovice bis zum Profil Solenice unterhalb des Stauwerks der Stauanlage Orlík wurde komplettiert aus Angaben der ČEZ a.s. über die tägliche Entnahme von Rohwasser (RW) aus dem Stausee Hněvkovice und der täglichen abgeleiteten Menge an Abwasser (AW) in die Staustufe der Stauanlage Kořensko sowie aus Betriebsaufzeichnungen des Wasserbewirtschaftungsunternehmens Povodí Vltavy, s.p., die 15-Minuten-Daten für die Stauanlage Hněvkovice (Pegelhöhe, Gesamtabfluss aus dem Stausee, Abfluss vor dem Wasserkraftwerk und Entnahme des KKW Temelín), den Orlík-Stausee (Pegelhöhe, Gesamtabfluss aus dem Stausee, Abfluss vor dem Wasserkraftwerk) und für die limnographischen Profile Lužnice-Bechyně und Otava-Písek umfassten. Aus diesen 15-Minuten-Daten wurden Tagesdurchschnitte ermittelt.

Die Daten über die Wassertemperatur der Moldau stammen aus täglichen Messungen des Wasserbewirtschaftungsunternehmens Povodí Vltavy, s.p., um 7 Uhr (in den Profilen Stauanlage Hněvkovice Pegelschicht und unterhalb des Stauwerks, der Stauanlage Kořensko über und unter der Staustufe, Stauanlage Orlík Pegel und Stauanlage Kamýk Pegel). Die Daten über die Temperatur des Abwassers des KKW Temelín wurden im Ablassobjekt am Ufer der Moldau im Rahmen der Betriebsüberwachung durch ČEZ mit unterschiedlicher Häufigkeit von  $1\times$  bis  $343\times$  pro Tag in unregelmäßigen Intervallen gemessen. Von diesen Daten haben wir Durchschnittswerte im 1-Tages-Intervall mit Gewichtung nach der Zeit gebildet.

Die Daten über die Wasserqualität im Flussnetz beinhalteten Analysen von in monatlichen Intervallen im Rahmen des Monitorings des Wasserbewirtschaftungsunternehmens Povodí Vltavy, s.p. (Profile Moldau-Stauanlage Hněvkovice oberhalb des Stauwerks, Moldau-Stauanlage Hněvkovice unterhalb des Stauwerks, Vltava-Týn n/Vlt. unterhalb, Rohwasser des KKW Temelín, Lužnice-Koloděje, Kořensko unter der Staustufe, Otava-Topělec, Lomnice-Ostrovec, Skalice-Varvažov, Vltava-Zvíkov und Vltava-Solenice) und ČEZ a.s. (Profile Moldau-Stauanlage Hněvkovice unterhalb des Stauwerks und Moldau-Kořensko oberhalb der Ausmündung des Abwassers des KKW Temelín) entnommenen Proben. Die Daten über die Zusammensetzung des Abwassers des KKW Temelín stammen von der Probenentnahme und den Betriebsanalysen der ČEZ a.s. des Wassers im Abwasserbecken (Abb. 1), wo es zur Durchmischung aller Abwasserströme aus den Betrieben des KKW Temelín kommt und aus dem eine Auslassdruckleitung zum Ablassobjekt führt; die Probenentnahme erfolgte im Betrachtungszeitraum mit einer Frequenz von 1 bis  $10\times$  monatlich. Zur Auswertung haben wir aus diesen Daten die einfachen arithmetischen Mittel für die einzelnen Monate gebildet. Aus den Analysen wurden zur Bewertung folgende Parameter herangezogen:  $BSB_5$ ,  $CSB_{Cr}$ , Trockenmasse ungelöster Stoffe bei  $105\text{ °C}$  (NL105), Trockenmasse gelöster Stoffe bei  $105\text{ °C}$  (RL105), Stickstoffformen ( $NH_4\text{-N}$ ,  $NO_2\text{-N}$ ,  $NO_3\text{-N}$ ) und organischer Stickstoff ( $N_{org}$ ), der mit Hilfe eines für ein breites Spektrum von Oberflächengewässern festgestellten Regressionsverhältnisses berechnet wurde (Kopáček J., nicht publiziert):  $N_{org} = 0,0036\times CSB_{Cr}$ , Stickstoff gesamt ( $N_{ges}$ ; berechnet als Summe der N-Formen),  $PO_4\text{-P}$ ,  $P_{ges}$  und Chlorophyll-a.

Die Charakterisierung der Wasserqualität und Prozesse im Orlík-Stausee wurde durchgeführt auf Grundlage (i) eines Monitorings von Povodí Vltavy s.p. im Zeitraum 2000–2008 im Längsprofil des Stausees in den auf Abb. 2 dargestellten Profilen (Stauwerk, Brücke Žďákovský most im unteren Bereich des Stausees unter dem Zusammenfluss von Moldau und Otava, Brücke Štědrónín-Plazy im Otava-Arm und Brücke Zvíkovský most, Brücke Podolský most und Hladná im Moldau-Arm des Stausees), das die Messung der Klarheit, vertikalen Zonierung der Wassertemperatur und Konzentration gelösten Sauerstoffs, Entnahmen von Proben der Wassersäule nach 5 bis 10 Metern zur Ermittlung von  $NH_4\text{-N}$ ,  $NO_3\text{-N}$ ,  $PO_4\text{-P}$  und  $P_{ges}$  und Entnahmen von Mischproben aus der Oberflächenschicht des Stausees zur Analyse

der angeführten Kennziffern zzgl. weiterer chemischer und biologischer Größen (BSB<sub>5</sub>, Absorbanz bei 254 nm (A<sub>254</sub>), Konduktivität, NL105, Trockenmasse ungelöster Stoffe nach dem Verglühen bei 550°C (NL550), Chlorophyll-a (chl<sub>a</sub>), Fe, Mn, Anzahl der Organismen, Anzahl der Zellen und qualitative Zusammensetzung der Hauptdominanten von Phytoplankton umfasste, (ii) einer detaillierten Beobachtung der Hydrodynamik und Entwicklung des Phytoplanktons im Moldau-Arm des Stausees durch das Hydrobiologische Institut (HBÚ) im Jahr 2000 und (iii) eines Monitorings durch das Wasserwirtschaftliche Forschungsinstitut T. G. Masaryk (VÚV TGM) im Längsprofil des Stausees im Jahr 2004.

Weitere Daten über interne Teilprozesse im Rahmen des Betriebs des KKW Temelín, die Einfluss auf die Zusammensetzung der abgeleiteten Abwässer haben, umfassten: (i) Bilanz BSB<sub>5</sub>, CSB<sub>Cr</sub> und P<sub>ges</sub> der biologischen Abwasserreinigungsanlage (BARA) des KKW Temelín, bearbeitet für den Zeitraum 2003–2007 im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Betriebsevidenz der ČET a.s., (ii) Verbrauch anorganischer Säuren, Basen und Salze im Betrieb des KKW Temelín und (iii) Waschmittelverbrauch in der Wäscherei für Schutz- und Arbeitskleidung des KKW Temelín.

### **2.3. Mathematisches Modell des Stausees CE-QUAL-W2**

Die mathematische Modellierung des Orlick-Stausees erfolgte mit Hilfe des zweidimensionalen Modells CE-QUAL-W2, Version 3.1 (Cole, Wells 2003). Das Modell CE-QUAL-W2 arbeitet mit einer Unterteilung des Stausees horizontal in Schichten und längs in Abschnitte – Segmente. Jede Schicht in jedem Segment verfügt über definierte Fläche und Umfang. Der Festlegung dieser Charakteristiken werden topographische Karten mit Schichtlinien zugrunde gelegt. Diese Karten müssen in digitale Form übertragen werden. Anschließend wird mit Hilfe des Programms WMS (Watershed Modeling System) die Bathometrie in dem für das Stausee-Modell erforderlichen Format geschaffen. Der Stauseekomplex Hněvkovice-Orlick wurde durch ein Gitter approximiert, welches dem Längsprofil mit einem Seitenarm entsprechend der Anstauung zur Otava entspricht. Der Stausee Hněvkovice wurde in 14 Längssegmente einer Länge von 1,2-2,1 km und in 52 Schichten mit einer Stärke von 1 m unterteilt. Der Orlick-Stausee wurde in 38 Längssegmente einer Länge von 0,8-3,5 km und 52 Schichten mit einer Stärke von 2 m unterteilt.

### **2.4. Modellierung des Einflusses des KKW Temelín und der Klimaänderung**

Zur Beurteilung der Auswirkungen der Erweiterung des KKW Temelín unter den Bedingungen der Klimaveränderung wurden die Ergebnisse von Modellstudien verwendet, die früher im Rahmen des durch die EU im 6. Rahmenprogramm finanzierten internationalen Projekts CECILIA (Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment; <http://www.cecilia.org>) im Zeitraum 2006–2009 entstanden und in den Projektberichten D5.2 (Anon. 2007) und D5.4 (Anon. 2008) detailliert beschrieben sind. Die Klimaveränderungsszenarien für das Einzugsgebiet der Moldau wurden nach der Methode der Typenskalierung (englisch „pattern scaling“) aus den Ergebnissen von 3 globalen Zirkulationsmodellen (GCM) für repräsentative Szenarien der Entwicklung von Treibhausgas- und Aerosolemissionen und für verschiedene Varianten der klimatischen Sensibilität der Modelle zu Emissionen berechnet. Die modellierten Klimaszenarien dienten als Ausgangspunkt des für gegenwärtige Bedingungen (Zeitraum 1971 – 2004) kalibrierten

Regenabflussmodells des Einzugsgebiets der Moldau, mit dessen Hilfe die Durchflüsse bei veränderten Klimaverhältnissen simuliert wurden.

Die Methode der Typenskalierung beruht auf einer Arbeit von Dubrovský et al. (2005). Bei dieser Methode wird ein standardisiertes Szenario, das Reaktionen von Klimagrößen auf die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur ( $T_G$ ) um 1 °C bezieht, mit der vorhergesagten Temperaturänderung ( $\Delta T_G$ ) multipliziert. Die standardisierten Szenarien wurden aus den Verläufen der GCM und  $\Delta T_G$ -Werte festgelegt, die mit dem einfachen Klimamodell MAGICC (Harvey et al. 1997, Hulme et al. 2000) für drei Kombinationen von Bedingungen berechnet wurden, die aus repräsentativen Szenarien und klimatischen Sensibilitäten stammen. Die Klimaszenarien beruhten auf Verlaufssimulationen durch drei GCM (Tab. 1) aus IPCC-DDC (<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk>) Anfang 2001. Die Daten aus den Verläufen der GCM wurden auf die Mitte des Einzugsgebiets der Moldau (14,467° E; 49,180° N) geographisch interpoliert. Zur Abschätzung der künftigen Veränderung der globalen Temperatur wurden die Emissionsszenarien SRES A1, A2, B1 und B2 aus dem dritten Bewertungsbericht IPCC (IPCC 2001) verwendet und gleichzeitig mit der wahrscheinlichsten Extension der Werte für den klimatischen Sensibilitätsfaktor, d.h. Anstieg der globalen Temperatur um 1,5-4,5 °C für eine Verdoppelung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration (IPCC 2001). Um die Anzahl der Szenarien bei der hydrologischen Modellierung zu reduzieren, wurden die Werte für den Anstieg der globalen Temperatur für einen niedrigen, mittleren und hohen Ansatz des klimatischen Sensibilitätsfaktors mit den Szenarien für die Entwicklung der Emissionssituation kombiniert und aus allen Kombinationen nur drei Varianten ausgewählt, die einen geringen, mittleren und hohen Temperaturanstieg repräsentieren (Tab. 2).

Tabelle 1 Verwendete GCM-Simulationen für die Festlegung standardisierter Szenarien (nach Dubrovský et al. 2005)

Modell	Akronym	Atmosphärische Auflösung	Emissionsszenario
ECHAM4/OPYC3	ECHAM	2,8×2,8°	1860-1989: historische Entwicklung CO <sub>2</sub> ; 1990-2099: IS92a
HadCM2	HadCM	2,5×3,75°	1860-1989: historische Entwicklung CO <sub>2</sub> ; 1990-2099: 1% Anstieg
NCAR DOE-PCM	NCAR	2,8×2,8°	bis 1999: historische Entwicklung CO <sub>2</sub> ; 2000-2099: erwartete Entwicklung (ca. IS92s)

Tabelle 2 Anstieg der globalen Temperatur im Zeitraum 2036-2065 gegenüber dem Zeitraum 1971-2000 entsprechend drei Werten des klimatischen Sensibilitätsfaktors (niedrig/mittel/hoch: 1,5 / 2,5 / 4,5 K) und vier Emissionshaupt-szenarien (SRES-A1, -A2, -B1, -B2). Die untere Zeile enthält eine Auswahl, die einen niedrigen (optimistischen), mittleren (durchschnittlichen) und hohen (pessimistischen) Anstieg der globalen Temperatur  $\Delta T_G$  repräsentiert.

Emissionsszenario	Klimatischer Sensibilitätsfaktor		
	niedrig	mittel	hoch
SRES-A1	1,02	1,47	2,07
SRES-A2	1,03	1,48	2,08
SRES-B1	0,76	1,11	1,57
SRES-B2	0,84	1,22	1,73
Auswahl	0,76	1,35	2,08

Die Hydrologie des Einzugsgebiets der Moldau bis zum Profil des Stauwerks am Stausee Vraná n/Vlt. wurde anhand des HSPF-Modells (Bicknell et al. 2001) mit Berechnungsschritt 1 d modelliert. Die Anordnung des Modells und seine Kalibrierung an der Datenreihe 1961–2004 sind im Projektbericht CECILIA D5.2 (Anon. 2007) beschrieben. Die Übereinstimmung zwischen den modellierten und beobachteten Werten war für alle Profile im Einzugsgebiet mit verfügbaren Durchflussdaten (insgesamt 26) akzeptabel, und im Rahmen des saisonalen Verlaufs der Durchflüsse waren die Abweichungen insgesamt gleichmäßig verteilt. Der Wirksamkeitskoeffizient des Modells Nash-Sutcliffe (Nash, Sutcliffe 1970) lag für die monatlichen Durchschnittswerte im Bereich von 0,68 bis 0,76. Zur Auswertung der Auswirkung der Klimaänderung auf den Orlick-Stausee wurden simulierte durchschnittliche monatliche Durchflüsse für repräsentative Szenarien im Profil Moldau-Hluboká n/Vlt. verwendet und aus ihnen anschließend verhältnismäßige Änderungen der Durchflüsse gegenüber den Durchflüssen in der Kalibrierungsreihe 1971–2000 berechnet.

Der Einfluss des Betriebs des KKW Temelín auf die Durchflussbedingungen in der Moldau im Abschnitt vom Stausee Hněvkovice zum Profil Solenice unterhalb des Orlick-Stausees und die Vorhersage von Veränderungen infolge einer vorausgesetzten künftigen Änderung des Klimas wurden mit Hilfe eines Bilanzmodells quantifiziert, das durch die nachstehende Gleichung (1) beschrieben ist:

$$Q_{Or,o} = f_c(Q_{Hn} + Q_{Lu} + Q_{Ot} + Q_{Lo} + Q_{Sk} + Q_{mez}) + f_{ETE}(Q_{OV} - Q_{SV}) + (V_{Hn,n} - V_{Hn,n-1} + V_{Or,n} - V_{Or,n-1}) / (86400N_m) \quad (1)$$

wobei gilt:  $Q_{Or,o}$  – durchschnittlicher monatlicher Durchfluss [ $m^3 s^{-1}$ ] im Profil Moldau-Solenice (d.h. Abfluss aus dem Orlick-Stausee);

$f_c$  – Faktor der Klimaveränderung zur Charakterisierung der Beeinflussung des durchschnittlichen monatlichen Durchflusses in der Moldau im Zeitraum 2036–2065 im Vergleich zum Zeitraum 2000–2008 (gemäß Anon. 2008), dessen Werte in Tab. 3 angeführt sind;

$Q_{Hn}, Q_{Lu}, Q_{Ot}, Q_{Lo}, Q_{Sk}, Q_{mez}$  – durchschnittliche monatliche Zuflüsse [ $m^3 s^{-1}$ ] in den Bilanzierungsabschnitt der Moldau, d.h. Zufluss in den Stausee Hněvkovice (ermittelt aus den Bilanzmessungen am Stauwerk der Stauanlage Hněvkovice), gemessene Durchflüsse in den Profilen Lužnice-Bechyně, Otava-Písek, Lomnice-Ostrovec, Skalice-Varvažov und Zufluss aus dem nicht mit Durchflussmessstationen ausgestatteten Zwischeneinzugsgebiet (ermittelt nach der Methode der hydrologischen Analogie als 9,52 % der Fläche des Einzugsgebiets zum Profil Moldau-Stauwerk der Stauanlage Orlick);

Tabelle 3 Werte des Faktors der Klimaveränderung  $f_c$  und Beeinflussung der Werte des durchschnittlichen monatlichen Durchflusses in der Moldau im Zeitraum 2036–2065

Sensibilität	Monat												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
Niedrig	0,86	0,99	1,11	1,14	1,24	1,04	0,94	0,77	0,84	0,86	0,86	0,82	0,96
Mittel	0,76	0,93	1,01	0,95	1,03	0,91	0,79	0,65	0,70	0,72	0,72	0,69	0,82
Hoch	0,63	0,79	0,80	0,62	0,64	0,71	0,64	0,52	0,52	0,54	0,54	0,55	0,63

$f_{ETE}$  – Faktor des Einflusses des Betriebs des KKW Temelín auf die Entnahme von Rohwasser und die Menge abgeleiteten Abwassers für verschiedene Varianten der geplanten Erweiterung, ggf. Nullvariante ohne Einfluss des KKW Temelín, dessen Werte Tab. 4 enthält;

Tabelle 4 Werte des Faktors des Einflusses des Betriebs des KKW Temelín auf die Entnahme und Menge abgeleiteten Abwassers  $f_{ETE}$  für verschiedene Alternativen der Leistung des KKW Temelín

Alternative	Gesamt MWe	$f_{ETE}$
Null-Szenario	0	0
Derzeitiger Stand $2 \times 1000 \text{ MW}_e$	2000	1,0
Erweiterung um $2 \times 1000 \text{ MW}_e$	4000	2,0
Erweiterung um $2 \times 1200 \text{ MW}_e$	4400	2,2
Erweiterung um $2 \times 1600 \text{ MW}_e$	5200	2,6
Erweiterung um $2 \times 1700 \text{ MW}_e$	5400	2,7

$Q_{OV}$ ,  $Q_{SV}$  – durchschnittliche monatliche Durchflusswerte [ $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ] abgeleiteter Abwässer und Entnahme von Rohwasser durch das KKW Temelín bei vollem Betrieb beider Kraftwerksblöcke, d.h. 01.04.2003 bis 31.03.2009;

$V_{Hn,n}$ ,  $V_{Hn,n-1}$  – Wasservolumen [ $\text{m}^3$ ] im Stausee Hněvkovice am Ende des betreffenden Monats ( $n$ ) und am Ende des Vormonats ( $n-1$ );

$V_{or,n} - V_{or,n-1}$  – selbiges für den Orlík-Stausee;

$N_m$  – Anzahl der Tage im Monat

## 2.5. Modell für die Prädiktion der P-Konzentration im Orlík-Stausee

Zur Ermittlung der P-Konzentration im Orlík-Stausee bei Änderung der Hydrologie und Belastung von P durch den Zufluss aus dem Einzugsgebiet wurde ein empirisches Modell genutzt, das auf der mathematischen Beschreibung der Abhängigkeit der Nährstoffretention von der Hydraulik des Stausees nach Chapra (1975) (Hejzlar et al. 2006) beruht. Das Modell verwendet eine Basisgleichung, durch die der Retentionskoeffizient  $R$  definiert ist:

$$P = P_i(1 - R) \quad (2)$$

wobei gilt:  $P$  – Konzentration  $P_{\text{ges}}$  [ $\text{mg l}^{-1}$ ] im Stausee;

$P_i$  – volumengewichtete Konzentration  $P_{\text{ges}}$  [ $\text{mg l}^{-1}$ ] im Gesamtzufluss zum Stausee und des gesamten Wassereintritts in den Stausee;

$R$  – Retentionskoeffizient [-], der in der Regel Werte von 0–1 annimmt (größer als 1 kann er nicht sein und negative Werte nimmt er an, wenn sich die P-Konzentration im Stausee gegenüber dem Zufluss erhöht, was z. B. bei innerer Belastung durch Freigabe von Phosphor aus Sedimenten möglich ist).

Im Modell ist der Retentionskoeffizient abhängig von der hydraulischen Belastung:

$$R = \frac{v_p}{v_p + q_w} \quad (3)$$

wobei gilt:  $v_p$  – scheinbare Sedimentierungsgeschwindigkeit von P im Stausee (oder auch Koeffizient der Reaktion 1. Ordnung für den Rückhalt von P im Stausee) [ $\text{m Jahr}^{-1}$ ];

$q_w$  – hydraulische Belastung des Stausees bezogen auf die Pegelfläche [ $\text{m Jahr}^{-1}$ ]

Der Koeffizient  $v_p$  wird aus den gemessenen Daten  $P$ ,  $P_i$  und  $q_w$  mittels Kombination der Gleichungen (2) und (3) nach Formel (4) berechnet; für den Orlík-Stausee wurde sein Durchschnittswert im Zeitraum 2000–2008 (von  $89 \text{ m Jahr}^{-1}$ ) beziffert, der anschließend in alle szenarienbezogenen Berechnungen einfließt.

$$v_p = q_w \frac{P_i - P}{P} \quad (4)$$

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1. Derzeitiger Stand der hydrometeorologischen Bedingungen und der Wasserqualität in der Moldau

Bei der Beurteilung des Einflusses des KKW Temelín auf das Wassermilieu muss von der Charakterisierung der derzeitigen klimatischen und hydrologischen Bedingungen und Entwicklung der Wasserqualität in der Moldau und im Orlick-Stausee ausgegangen werden.

Die klimatischen Bedingungen waren im Bewertungszeitraum 2000–2009 recht variabel. Es kam zu verschiedenen Extremen, wie beispielsweise im Jahr 2002, das niederschlagsmäßig überdurchschnittlich war (was sich auch auf die Durchflüsse in der Moldau auswirkte, und zwar nicht nur im August, als Hochwasser auftrat), oder im Jahr 2003, das umgekehrt sehr trocken war. In Hinblick auf die langfristigen Durchschnittswerte war der Zeitraum 2000–2009 temperatur- und niederschlagsmäßig übernormal. Eine Übersicht zur Entwicklung der Jahreswerte enthält Tab. 5, die Verläufe der einzelnen Kennziffern sind in den Anlagen 1 bis 6 angeführt.

Tabelle 5 Jahresdurchschnittswerte ausgewählter Klimagrößen in der Station des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts Temelín bzw. Wassertemperatur und Durchfluss in der Moldau im Profil Kořensko

Jahr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Durchschnitt 2000-2008	Durchschnitt 1971-2000
Lufttemperatur, °C	9,4	8,1	9,1	9,2	8,5	8,4	8,0	8,6	8,9	8,7	8,0
Wassertemperatur, °C*	10,5	10,1	11,6	10,3	9,4	9,3	9,0	10,5	10,2	10,2	9,4
Relative Feuchte, %	77,8	81,1	78,0	67,0	75,4	78,3	81,0	78,1	77,7	77,2	79,6
Windgeschwindigkeit, m s <sup>-1</sup>	3,4	3,6	4,3	3,7	3,5	3,4	3,6	3,8	3,3	3,6	3,6
Bewölkung, 1/10	6,6	6,8	6,8	5,7	6,8	6,4	6,3	6,5	6,6	6,5	6,7
Niederschläge, mm	600	795	1074	540	775	815	820	643	515	731	630
Durchfluss, m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	41	44	117	41	53	60	84	41	39	57,4	55,3

\* Daten des Wasserbewirtschaftungsunternehmens Povodí Vltavy s.p.

Die angeführten Daten zeigen, dass die durchschnittliche Lufttemperatur in den einzelnen Jahren Schwankungen von ungefähr eineinhalb Grad Celsius aufweist. Die durchschnittliche Wassertemperatur der Moldau im Profil Kořensko, bei dem es sich um das Ablassprofil für Abwässer des KKW Temelín handelt, war ~1,5 °C höher als die Lufttemperatur, was einerseits teilweise auf den Höhenunterschied zurückzuführen ist (die Wetterstation des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts Temelín befindet sich rund 150 Meter über dem Pegel des Orlick-Stausees und die Temperatur ist dort um etwa 1 °C niedriger), andererseits auf die Wärmekapazität und Temperaturträchtigkeit des Wassers, bei dem die Temperatur im Winter nicht unter 0 °C absinkt. Die wärmsten Jahre gab es eher zu Beginn des Betrachtungszeitraums, dann kam es zur Abkühlung, die im Jahr 2006 ihren Höhepunkt erreichte, dessen Durchschnittstemperatur ein strenger Winter mit hoher Schneedecke wesentlich herabsetzte.

Die Niederschlagsmenge schwankte deutlich, und es waren praktisch niederschlagsfreie Monate zu verzeichnen (beispielsweise April 2007, als nur 4,7 mm

Niederschläge fielen), genauso wie regenreiche Monate mit einer Niederschlagssumme von über 100 mm (mit einem Extrem im August 2002, also 309 mm fielen). Der Monatsdurchschnitt betrug im Betrachtungszeitraum 60,9 mm.

Der Verlauf der Werte der relativen Luftfeuchte war relativ ausgeglichen mit einem einzigen großen Extrem 2003, als die Werte bereits im März unter den Durchschnitt absanken und erst im Oktober wieder auf den Durchschnitt zurückkehrten; ein extremer Monat war der August, als die Durchschnittsfeuchte lediglich 44 % betrug. Im saisonalen Verlauf zeichneten sich die Monatsdurchschnitte der relative Feuchte durch niedrigere Werte (~70 %) im Zeitraum April bis August aus, während sie in den Wintermonaten Werte um 90 % erreichten. Ähnliche Trends (wenn auch mit höherer Schwankungsbreite) wies die Bewölkung auf, die ebenfalls 2003 am geringsten war.

Alle diese klimatischen Erscheinungen wirken sich auf den Wasserdurchfluss in der Moldau aus. Im Profil Kořensko lag der durchschnittliche Durchfluss im Zeitraum 2000–2008 gegenüber dem langfristigen Durchschnitt, der  $55,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Vlček a kol. 1984) beträgt, mit  $57,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  deutlich höher, was auch den überdurchschnittlichen Niederschlägen entspricht. Die Werte des durchschnittlichen monatlichen Durchflusses der Moldau im Profil des Stauwerks der Stauanlage Kořensko lagen im Betrachtungszeitraum zwischen  $12,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Juli 2003) und  $377 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (August 2002). Der Gesamtzufluss zum Orlík-Stausee und weitere Betriebsparameter des Stausees sind in den Anlagen 7 und 8 graphisch dargestellt.

Eine zusammenfassende Auswertung der Wasserqualität in der Moldau in dem durch den Betrieb des KKW Temelín beeinflussten Abschnitt in Form von Durchschnittsangaben und  $c_{90}$ -Werten enthält Tab. 6, in den Anlagen 9 bis 13 sind die Verläufe ausgewählter Parameter dargestellt.

Tabelle 6 Wasserqualität in der Moldau im Abschnitt Kořensko – Orlík-Stausee – Solenice gemäß den Monitoringdaten des Wasserbewirtschaftungsunternehmens Povodí Vltavy s.p. im Zeitraum 2000–2008. Die Werte repräsentieren Pegelproben bzw. Mischproben der Oberflächenschicht 0-3 m.

Parameter	Gel. O <sub>2</sub> , mg l <sup>-1</sup>	BSB <sub>5</sub> , mg l <sup>-1</sup>	CSB <sub>Cr</sub> , mg l <sup>-1</sup>	NL <sub>105</sub> , mg l <sup>-1</sup>	N-NH <sub>4</sub> , mg l <sup>-1</sup>	N-NO <sub>3</sub> , mg l <sup>-1</sup>	N <sub>ges</sub> , mg l <sup>-1</sup>	P-PO <sub>4</sub> , mg l <sup>-1</sup>	P <sub>ges</sub> , mg l <sup>-1</sup>	Chla, µg l <sup>-1</sup>	Klarheit, m
<i>Moldau-Kořensko</i>											
Durchschnitt	10,5	3,7	27,3	16,5	0,20	1,7	2,9	0,05	<b>0,16</b>	<b>31,5</b>	
c <sub>90</sub>	13,2	5,3	<b>36,9</b>	27,5	0,39	3,0	4,8	0,09	<b>0,21</b>	70,5	
c <sub>10</sub>	7,6	2,2	19,0	5,8	0,05	0,7	1,5	0,01	0,09	2,8	
<i>Orlík-Stausee – Hladná</i>											
Durchschnitt	11,1	4,2	32,2	13,3	0,15	1,4	2,7	0,06	<b>0,17</b>	<b>60,8</b>	0,7
c <sub>90</sub>	13,6	5,6	<b>39,2</b>	18,5	0,32	2,3	4,1	0,09	<b>0,23</b>	97,4	0,9
c <sub>10</sub>	8,7	3,0	24,2	9,2	0,03	0,6	1,5	0,04	0,12	35,6	0,5
<i>Orlík-Stausee – Brücke Podolský most</i>											
Durchschnitt	9,8	3,9	28,0	7,2	0,09	1,0	2,2	0,05	<b>0,09</b>	<b>40,5</b>	1,5
c <sub>90</sub>	14,1	5,5	<b>37,1</b>	12,9	0,20	2,5	4,1	0,08	0,15	65,2	2,5
c <sub>10</sub>	<b>5,3</b>	2,0	21,7	2,5	0,03	0,4	1,2	0,02	0,03	9,8	0,7
<i>Orlík-Stausee - Zvíkovský most</i>											
Durchschnitt	9,7	3,5	27,0	6,0	0,07	1,2	2,2	0,04	<b>0,08</b>	<b>29,5</b>	1,6
c <sub>90</sub>	14,9	5,2	<b>36,2</b>	9,0	0,16	2,6	4,1	0,09	0,13	63,0	2,7
c <sub>10</sub>	<b>3,2</b>	1,6	20,1	2,5	0,03	0,4	1,2	0,01	0,03	3,2	0,8
<i>Orlík-Stausee – Brücke Štědrónín/Plazy</i>											
Durchschnitt	9,5	3,2	24,0	6,2	0,06	1,2	2,2	0,05	<b>0,13</b>	<b>27,9</b>	1,7
c <sub>90</sub>	15,0	4,7	33,2	10,9	0,15	2,4	3,8	0,09	<b>0,21</b>	58,4	2,8
c <sub>10</sub>	<b>3,9</b>	1,7	16,0	2,5	0,03	0,5	1,1	0,01	0,07	2,9	0,9
<i>Orlík-Stausee – Brücke Žďákovský most</i>											
Durchschnitt	9,7	3,0	24,1	4,8	0,06	1,4	2,3	0,03	<b>0,06</b>	<b>18,0</b>	2,4
c <sub>90</sub>	14,0	5,1	31,0	8,5	0,10	2,7	4,0	0,07	0,10	47,4	3,8
c <sub>10</sub>	<b>3,7</b>	1,4	17,7	2,5	0,03	0,5	1,2	0,00	0,02	2,4	1,2
<i>Orlík-Stausee – Stauwerk</i>											
průměr	8,7	2,2	19,5	5,4	0,09	1,9	2,7	0,02	0,04	9,9	3,0
c <sub>90</sub>	11,6	3,4	25,7	6,9	0,17	3,2	4,2	0,05	0,08	20,0	4,3
c <sub>10</sub>	<b>4,7</b>	1,1	14,4	2,0	0,03	0,9	1,5	0,00	0,01	1,5	1,9
<i>Moldau-Solenice (unterhalb des Stauwerks des Orlík-Stausees)</i>											
Durchschnitt	7,6	1,9	20,4	3,2	0,11	2,2	2,7	0,05	<b>0,08</b>	3,3	-
c <sub>90</sub>	11,0	2,7	29,3	5,0	0,24	3,6	4,0	0,07	0,10	7,6	-
c <sub>10</sub>	<b>3,3</b>	1,1	13,6	2,0	0,02	1,3	1,8	0,03	0,05	0,9	-
<i>Anforderungen RV 229/2007 – allgemein</i>											
Durchschnitt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c <sub>90</sub>		6,0	35,0	30,0	0,50	7,0	8,0	-	0,20	-	-
c <sub>10</sub>	>6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anforderung RV 229/2007 – Badegewässer</i>											
Durchschnitt	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	15	-

Die Wasserqualität veränderte sich im Zeitverlauf und auch im Längsprofil der Strömung der Moldau durch den Orlík-Stausee. Durch die Anstauung des Wassers im Stausee können sich die angeschwemmten Wasserbestandteile, die in biochemische Kreisläufe eingehen, absetzen oder durch einen lebenden Organismus absorbiert werden. Das alles wird noch beeinflusst durch die Durchmischung des Wassers in Abhängigkeit von der

Zuflusstemperatur und der Wassertemperatur im Stausee. Die Phosphorkonzentration im Wasser des Stausees nimmt mit zunehmender Entfernung vom Zufluss ab (Anlage 10). Die Menge an Phytoplankton, dessen Hauptnährstoff Phosphor ist, lässt sich als Konzentration von Chlorophyll-*a* messen. In Anlage 11 ist ein jährlicher Anstieg der Phytoplankton-Konzentration in der Sommerperiode und Rückgang in der Winterperiode zu verzeichnen. Gleichzeitig nimmt die Phytoplankton-Konzentration in Richtung Stauwerk ab.

Die Wasserqualität im Orlík-Stausee war im Zeitraum 2000–2009 nicht sonderlich gut. Die Konzentration von  $P_{ges}$ , Chlorophyll und teilweise auch der organischen Verunreinigung ( $CSB_{Cr}$ ) erfüllten mit Ausnahme des Profils Orlík-Stauwerk nicht die Immissionsstandards für Oberflächengewässer laut Verordnung der Regierung der Tschechischen Republik Nr. 229/2007 GBl. Ein sehr schlechter Zustand wurde regelmäßig für die Konzentrationen gelösten Sauerstoffs festgestellt, die in der Sommerperiode in den unteren Schichten des Stausees auf Werte nahe Null sanken (Anlage 12). Den Haupteinfluss auf den unbefriedigenden Wasserzustand hatten die Zuflüsse, und zwar sowohl die Moldau als auch die Otava und Lomnice.

### 3.2. Analyse der Stratifikation des Orlík-Stausees

Da großen Einfluss auf die Stratifikation der Temperatur und des Sauerstoffs in Stauseen der Durchfluss hat, lassen sich zur Feststellung externer Einflüsse nur Jahre mit ähnlichen Durchflussbedingungen vergleichen. Im Betrachtungszeitraum hatten ähnlichen Durchflusscharakter die Jahre 2000 (durchschnittlicher jährlicher Zufluss in den Stausee  $Q_a - 68 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) und 2004 ( $Q_a - 83 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) (Abb. 3). Beide Jahre wiesen einen ähnlichen Jahresverlauf der Durchflüsse mit einem Teilunterschied im Juni auf, als 2004 ein wesentlicher Durchflusshöhepunkt erreicht wurde. Die übrigen Jahre unterschieden sich untereinander und von den beiden angeführten Jahren deutlich.

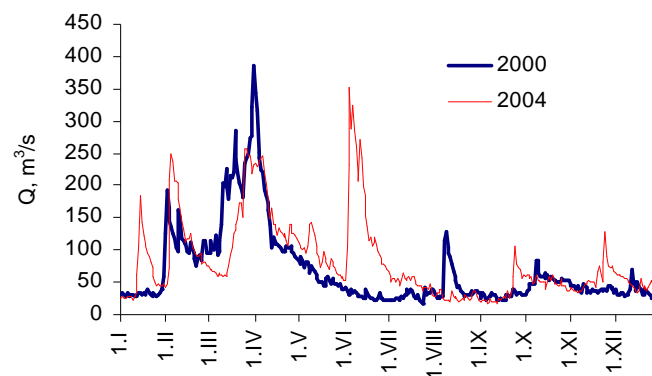


Abb. 3 Vergleich des Jahresverlaufs des Zuflusses in den Orlík-Stausee 2000 und 2004

Die Entwicklung der Temperatur- und Sauerstoffstratifikation ungefähr in der Mitte des Moldau-Arms des Stausees in den Jahren 2000 und 2004 zeigt Abb. 4. Die Stratifikation der Temperatur war Ende Juni 2004 offenbar infolge des erhöhten Durchflusses weniger markant. Im August und im September waren die Unterschiede zwischen beiden Jahren weniger ausgeprägt. Die Sauerstoffstratifikation unterschied sich deutlicher. Im Juni 2004 waren die Konzentrationen in der Wassersäule ca.  $4 \text{ mg l}^{-1}$  höher (mit Ausnahme der tiefsten Schichten) als im Juni 2000. Diese Erhöhung ist sehr wahrscheinlich Folge des hohen

Wasserzuflusses in der Vorperiode. Im August 2004 wurde der gelöste Sauerstoff aus der Wassersäule weitaus stärker abgeschöpft als im Jahr 2000, während es im September wieder umgekehrt war. Auch diese Veränderungen sind offenbar auf Zuflussmaxima zurückzuführen, die Sauerstoff in die Wassersäule einbringen (August 2000, September 2004).

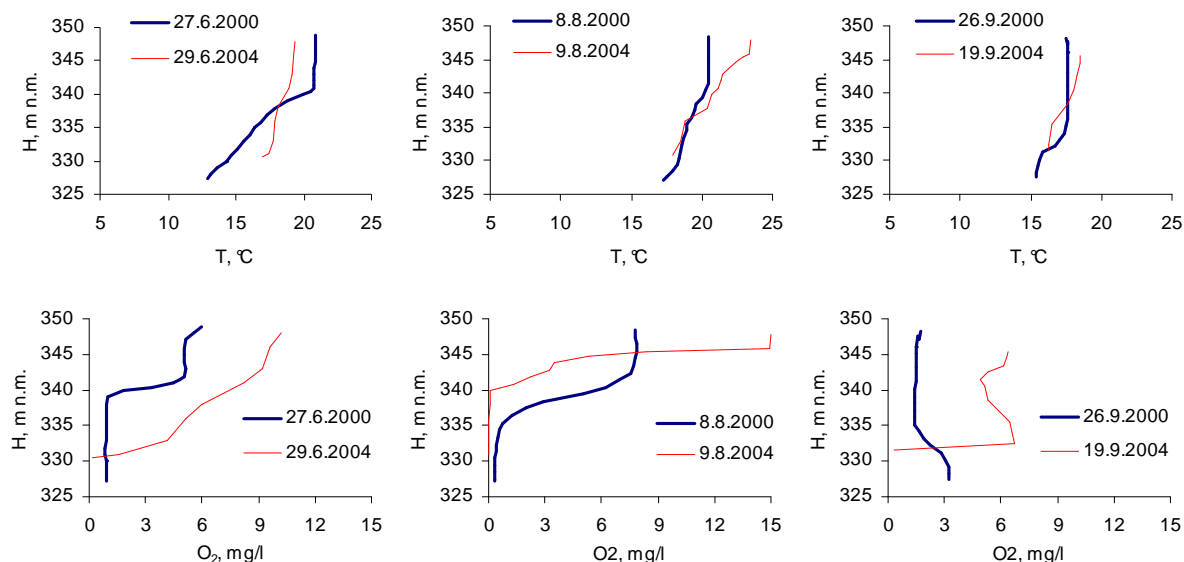


Abb. 4 Stratifikation der Temperatur (obere Diagramme) und gelösten Sauerstoffs (untere Diagramme) im Orlický-Stausee im Profil Eisenbahnbrücke Červená (2000) bzw. Brücke Podolský most (2004) zu Beginn, in der Mitte und am Ende der Sommerperiode

#### m n. m. – m ü. M.

Am Ende des Moldau-Arms des Orlický-Stausees äußerste sich der Einfluss der Zuflussmaxima auf die Stratifikation weniger deutlich (Abb. 5). Im Sommer 2004 war die Temperaturstratifikation hier weniger markant als im Jahr 2000. Das beruhte auf dem erhöhten Durchfluss im Juni, als mehr kühles Wasser aus dem Hypolimnion abfloss (die Einflussachse in das Wasserkraftwerk Orlický-Stausee liegt in einer Höhe von 303 m ü. M.) und die Temperatur des Hypolimnions stieg schneller als im Jahr 2000. Die Sauerstoffstratifikation war in den Sommermonaten beider Jahre sehr ähnlich. 2004 zeigte der Verlauf eine etwas günstigere Entwicklung, offenbar infolge des höheren Sauerstoffeintrags in das Hypolimnion des Stausees während des hohen Zuflusses im Juni.

Die ähnliche Entwicklung der Sauerstoffstratifikation zeigt, dass die trophischen Verhältnisse im Stausee in beiden Jahren praktisch gleich waren. Das Sauerstoffregime im Orlický-Stausee ist vor allem von der Trophie abhängig, die durch die Phosphorkonzentration im Zufluss bestimmt wird. Die Konzentrationen von  $P_{\text{ges}}$  bzw.  $PO_4\text{-P}$  haben sich im Zeitraum 2000–2004 nicht verändert, und der gesamte Zuflussbereich des Stausees (womit der Bereich vom Zusammenfluss der Moldau mit der Otva bis zum Ende der Anstauung gemeint ist) war hypertroph mit einer Durchschnittskonzentration von  $P_{\text{ges}}$  von über 0,1 mg/l. Die relativ geringe Erhöhung der Phosphorkonzentration um wenige  $\mu\text{g/l}$  infolge der Ableitung von Abwässern des KKW Temelín konnte sich daher keineswegs stärker niederschlagen.

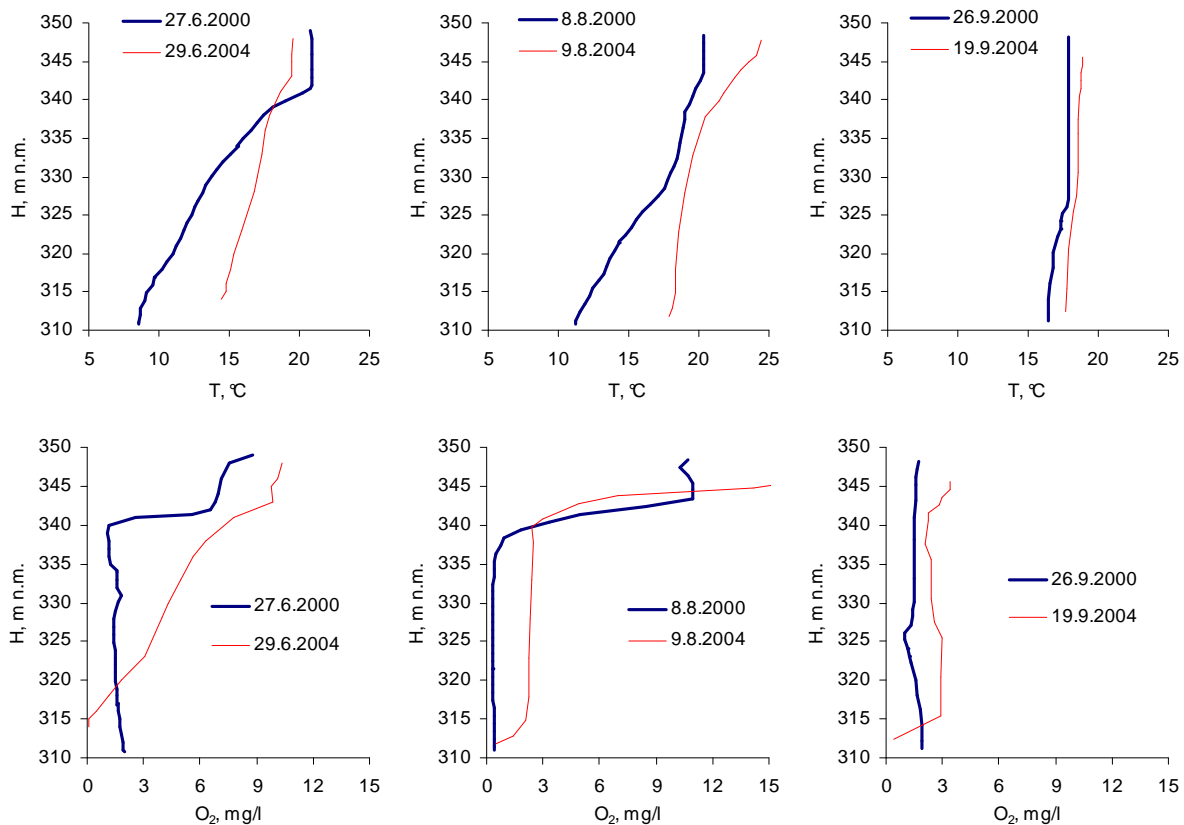


Abb. 5 Stratifikation der Temperatur (obere Diagramme) und gelösten Sauerstoffs (untere Diagramme) im Orlický-Stausee im Profil Zvíkov – Anlegeplatz PV s.p. (2000) bzw. Brücke Zvíkovský most (2004) zu Beginn, in der Mitte und am Ende der Sommerperiode

m n. m. – m ü. M.

Eine weitere Auswertung der Stratifikation und Strömung im Stausee wurde mit Hilfe des Modells CE-QUAL-W2 durchgeführt. Das Modell war für den Zeitraum I. 2000–XII. 2000 kalibriert (Abb. 6), die Validierung wurde für den Zeitraum V.2004–X.2004 durchgeführt (Abb. 7). Die Differenz der simulierten und gemessenen Temperaturen betrug nicht mehr als 2 °C.

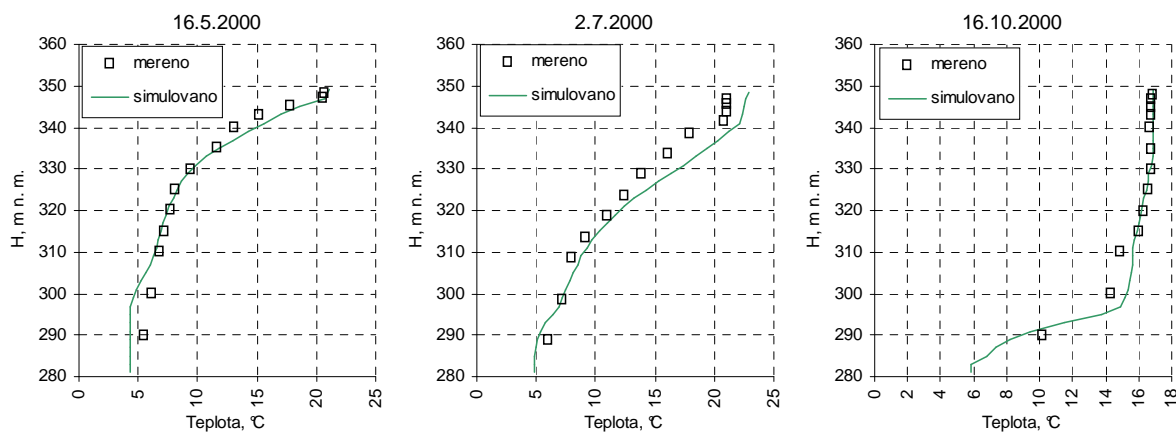


Abb. 6 Kalibrierung des Modells – Temperatur im Profil Orlický-Stauwerk

m n. m. – m ü. M., měřeno – gemessen, simulováno – simuliert, teplota - Temperatur

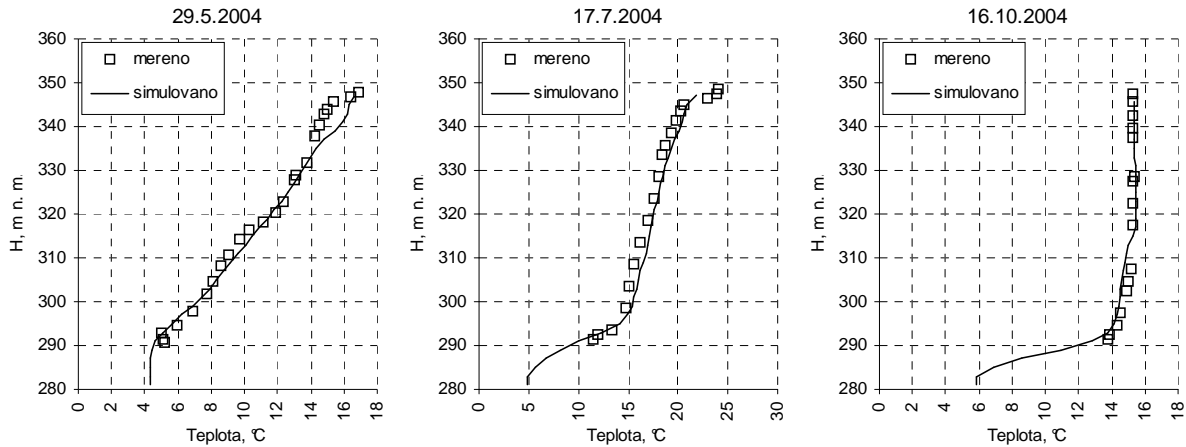


Abb. 7 Validierung des Modells – Temperatur im Profil Orlik-Stauwerk

m n. m. – m ü. M.

měřeno – gemessen

simulováno – simuliert

teplota - Temperatur

Die Simulationen der Wassertemperatur (Abb. 8 und 9) zeigen den typischen Temperaturzyklus des Stausees im Jahresverlauf. Im Herbst lagert sich das zufließende kühle Wasser in die unteren Schichten des Stausees, und im Bereich des Stauwerks kommt es zur Durchmischung. Mit Beginn der Winterperiode kommt es allmählich zur Abkühlung des gesamten Stausees, und das zufließende Wasser mit einer Temperatur von  $< 4$  °C lagert sich in die obere oder mittlere Schicht. Am Grund ist die Temperatur höher als an der Oberfläche. Diese Erscheinung heißt umgekehrte Schichtung. Mit Beginn des Frühjahrs lagert sich das zufließende Wasser dann in die obere Schicht, und im Bereich des Stauwerks kommt es zur Frühjahrszirkulation. Durch die Sonneneinstrahlung wird der Stausee weiter erwärmt. Während des Sommers lagert sich das zufließende Wasser in die mittlere Schicht. Dies wird durch den unteren Ablass im Orlik-Stausee unterstützt (die Einflussachse zu den Turbinen des Wasserkraftwerks liegt in einer Höhe von 303 m ü. M.). Unter der Kote des unteren Ablasses verbleibt ein Wasserraum, der in dieser Periode fast nicht durchmischt und ausgewechselt wird. Mit Beginn des Herbstes lagert sich das zufließende kühle Wasser in die mittleren und unteren Schichten des Stausees, und es kommt zur Herbstzirkulation.

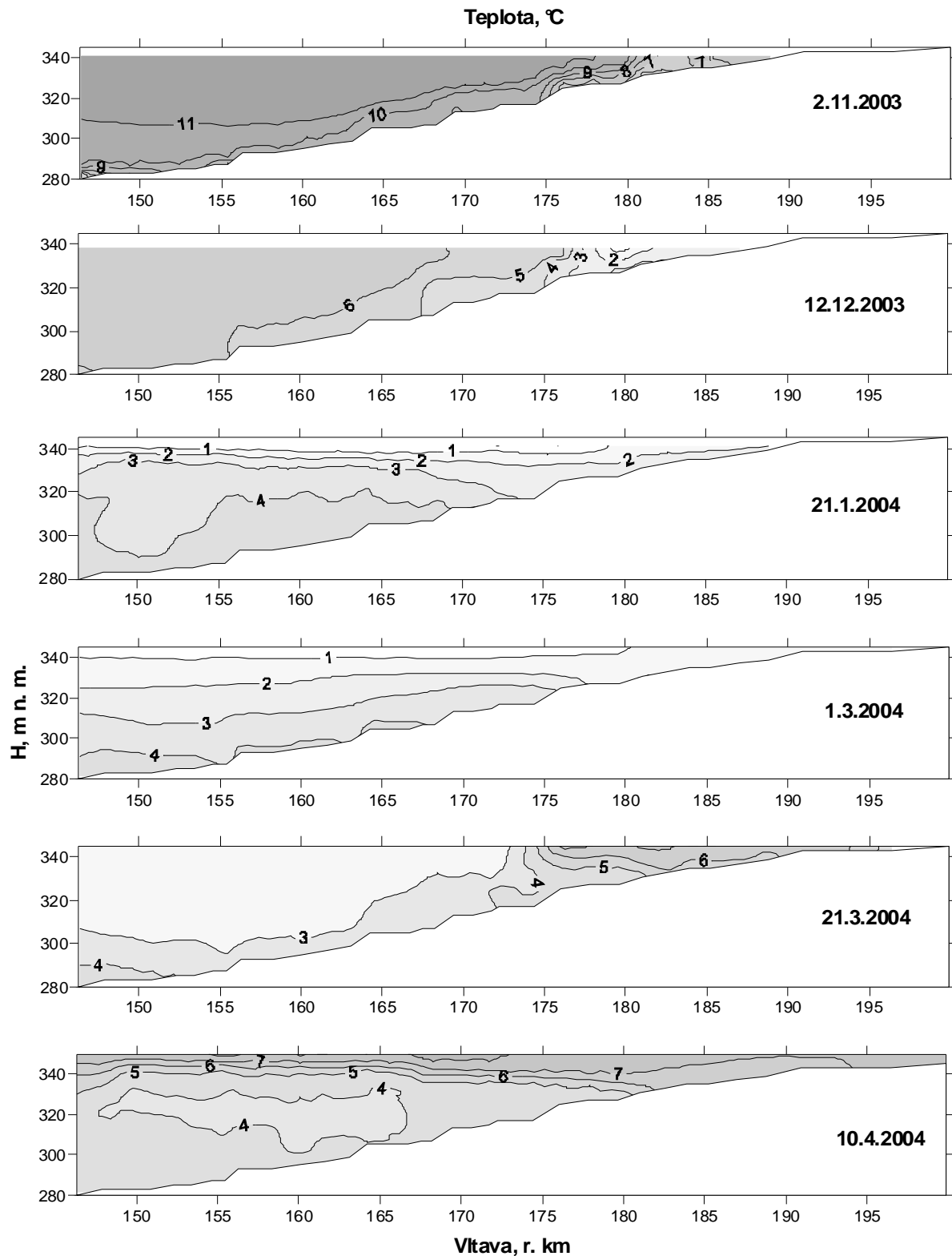


Abb. 8 Stratifikation der Wassertemperatur (°C) im Orlik-Stausee (Simulation mittels CE-QUAL-W2)

m n. m. – m ü. M., teplota – Temperatur, Vltava – Moldau

Zur Simulation des Verhaltens des Abwassers aus dem KKW Temelín im Stausee wurde ein künstlicher Tracer verwendet. Dem Abwasser wurde während der Gesamtdauer seines Ablasses eine konstante Konzentration des Markierungsstoffes von  $1000 \text{ mg l}^{-1}$

zugewiesen. Die simulierte Konzentration im Stausee von  $1 \text{ mg l}^{-1}$  entspricht also einer Verdünnung von 1:1 000,  $10 \text{ mg l}^{-1}$  Verdünnung 1:100 usw.

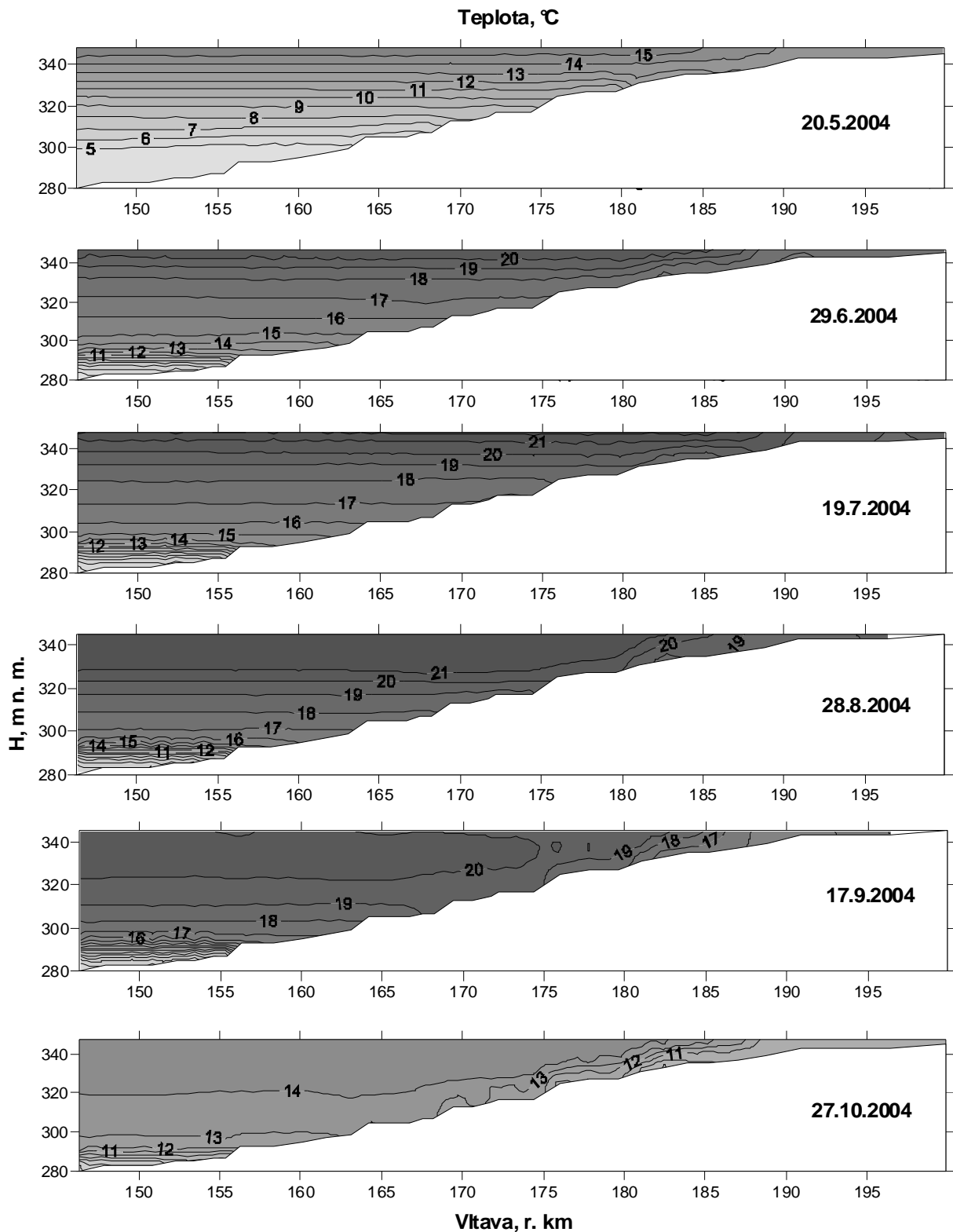


Abb. 9 Stratifikation der Wassertemperatur (°C) im Orlik-Stausee (Simulation mittels CE-QUAL-W2)

m n. m. – m ü. M., teplota – Temperatur, Vltava – Moldau

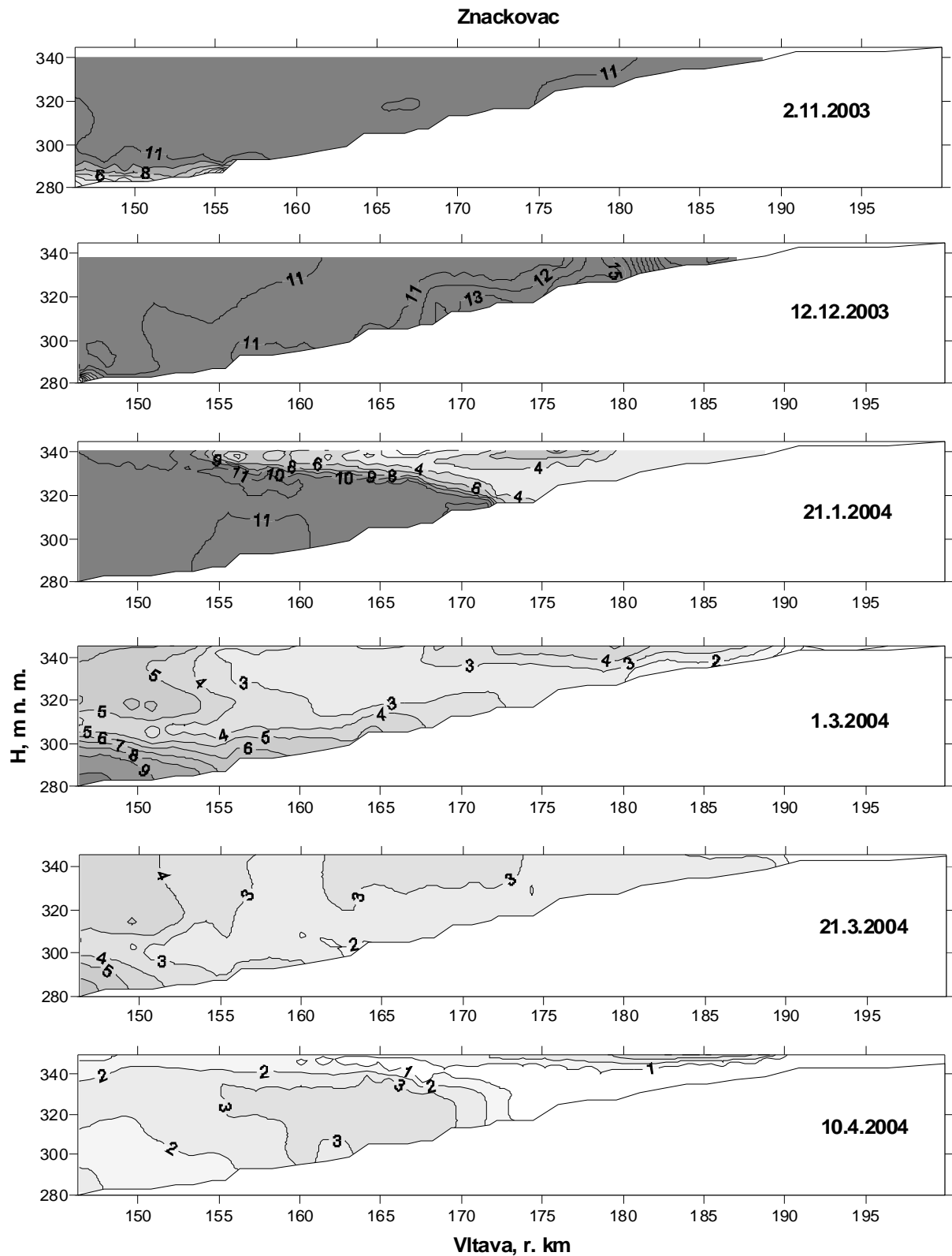


Abb. 10 Stratifikation der Konzentration des Tracers ( $\text{mg l}^{-1}$ ) im Orlick-Stausee (Simulation mittels CE-QUAL-W2)

m n. m. – m ü. M.  
 značkovač – Tracer  
 Vltava – Moldau

Die hohe Konzentration des Tracers im Herbst und im Winter 2003 (Abb. 10) beruhte auf sehr geringen Durchflüssen und der verringerten Wassermenge im Speicherraum des Stausees. In dieser Periode wurde die Konzentration des Markierungsstoffes auf 1,0-1,5 % der ursprünglichen Konzentration verdünnt und im Gesamtumfang des Stausees vermischt. Im Frühjahr 2004 begann sich das zufließende Abwasser in die obere Schicht zu lagern und verdrängte schrittweise älteres und konzentrierteres Wasser. Die Konzentration des Tracers lag in dieser Zeit bei 0,5 %-0,1 % der ursprünglichen Konzentration. Während des Sommers (Abb. 11) lagerte sich der Markierungsstoff in die mittlere Schicht des Stausees. Die erhöhte Konzentration des Tracers beruhte erneut auf einem geringen Durchfluss. Im Herbst 2004 kam es zur Durchmischung des Markierungsstoffes im Gesamtumfang des Stausees.

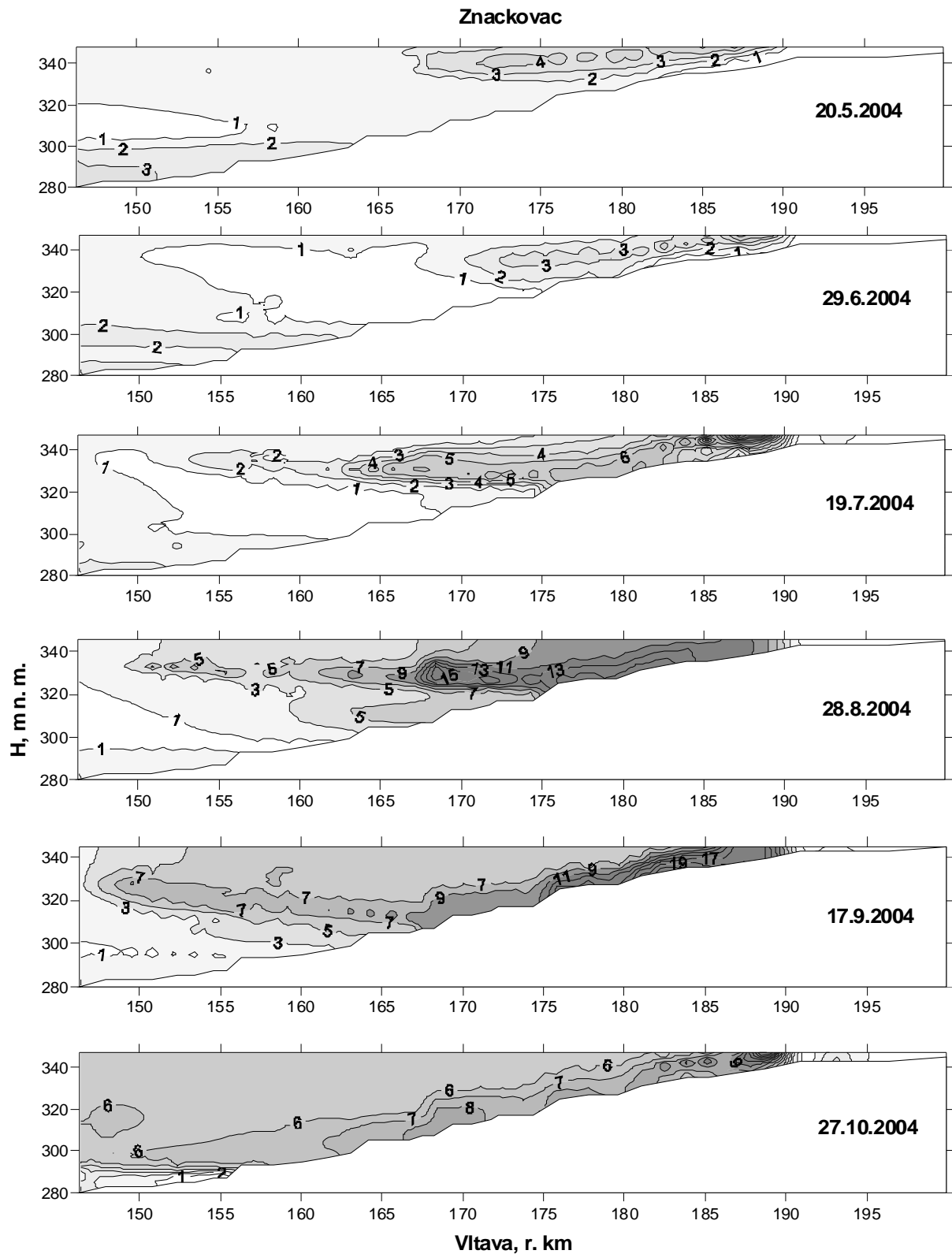


Abb. 11 Stratifikation der Konzentration des Tracers (mg/l) im Orlík-Stausee (Simulation mittels CE-QUAL-W2)

m n. m. – m ü. M.  
 značkovač – Tracer  
 Vltava – Moldau

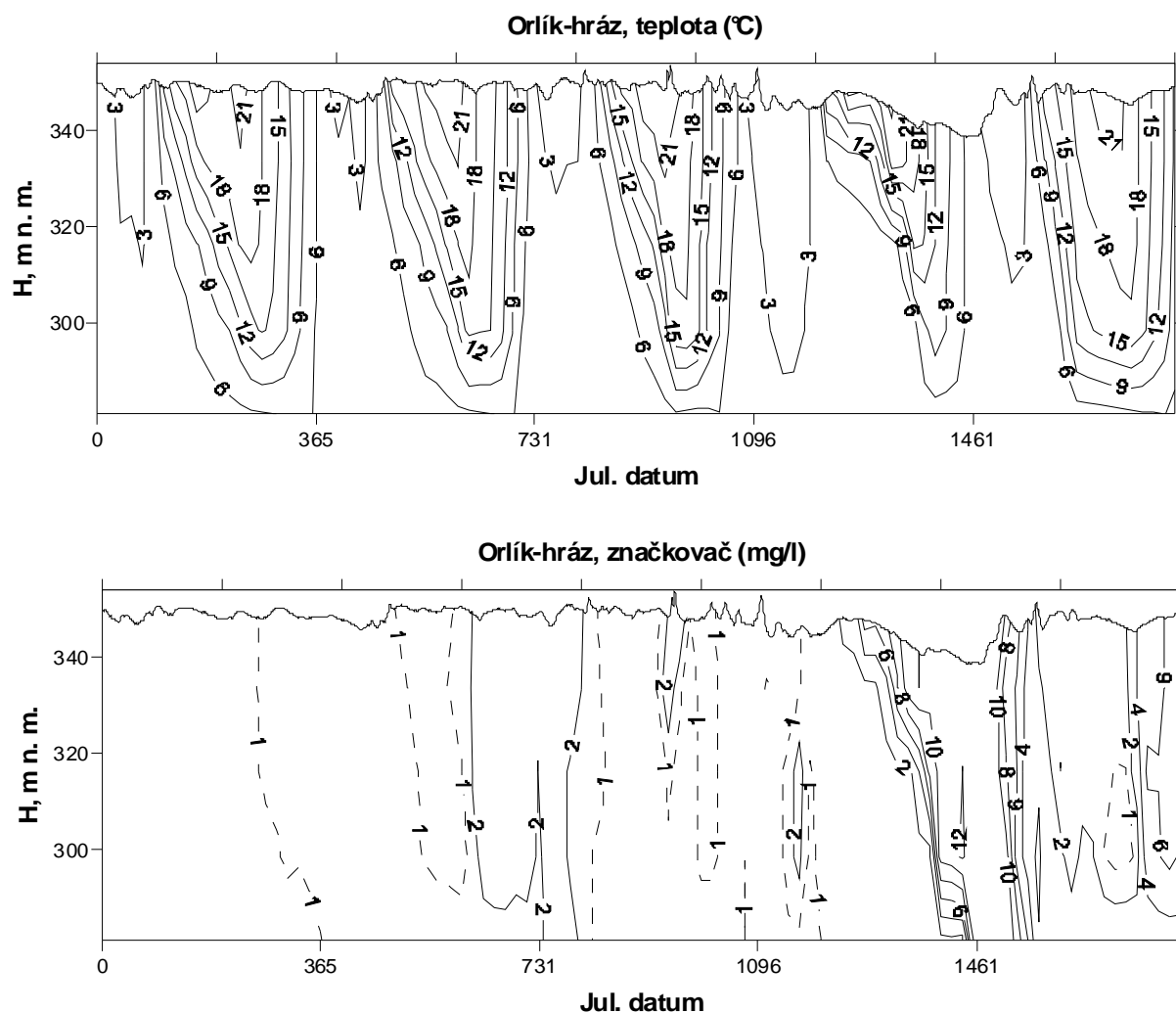


Abb. 12 Stratifikation der Temperatur und Konzentration des Markierungsstoffes am Stauwerk des Orlík-Stausees (Simulation mittels CE-QUAL-W2).

m n. m. – m ü. M., Orlík-hráz – Orlík-Stauwerk, datum – Datum  
 značkovač – Tracer, teplota – Temperatur

Den saisonalen Verlauf der Temperatur und Konzentration im Profil Orlík-Stauwerk zeigt Abb. 12. Die geringe Konzentration des Markierungsstoffes im Jahr 2000 beruhte auf dem bis dato geringen Umfang abgeleiteter Abwässer vor Inbetriebnahme des Kraftwerks. 2001 bis 2003 erhöhte sich die Konzentration des Tracers schrittweise mit dem zunehmenden Umfang abgeleiteter Abwässer. Der hohe Anstieg der Tracerkonzentration (bis auf 1,2 % der ursprünglichen Konzentration) im Jahr 2003 war einerseits auf den niedrigen Durchfluss und andererseits auf den vollen Betrieb des KKW Temelín zurückzuführen. 2004 kam es durch den höheren Durchfluss zur Verdünnung des Markierungsstoffes.

Allgemein ist feststellbar, dass es zur größten Verdünnung der Abwässer im Frühjahr infolge des erhöhten Durchflusses kommt, zur geringsten Verdünnung hingegen im Herbst. Während der Winter- und Sommerschichtung treten im Stausee Kurzschlussströme auf, die Abwässer in verschiedenen Schichten in höheren Konzentrationen zum Stauwerk fortreiben, als der Verdünnung durch den ganzen Durchfluss entsprechen würde.

### 3.3. Beeinflussung der Moldau durch den Betrieb des KKW Temelín im Zeitraum 2000–2009

Das KKW Temelín beeinflusst die Moldau vor allem durch die Wasserentnahme für Kühlung und weitere technologische Erfordernisse sowie die Ableitung von Abwasser, das sich vom entnommenen Wasser wesentlich unterscheidet in Menge, Temperatur und chemischer Zusammensetzung.

#### 3.3.1. Einfluss auf den Durchfluss

Der Betrieb des KKW Temelín greift in die hydrologischen Verhältnisse der Moldau einerseits durch die Wasserentnahme aus dem Stausee Hněvkovice ein, andererseits durch die Ableitung von Abwasser unterhalb des Stauwerks des Stausees Kořensko. Die Menge entnommenen und abgeleiteten Wassers ist im Betrachtungszeitraum mit Inbetriebnahme des Kraftwerks schrittweise gestiegen (Tab. 7, Abb. 13). Erstmals angefahren wurde der Reaktor am 21.12.2000, am 10.06.2002 wurde offiziell der Probetrieb des 1. Blocks (1000 MW) aufgenommen und am 18.04.2003 der Probetrieb des 2. Blocks (1000 MW). Die durchschnittliche jährliche Wasserentnahme erhöhte sich ab dem Jahr 2000 bis 2003 schrittweise von 0,07 auf ca.  $>1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  und wurde bei  $1,04\text{-}1,14 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  mit einem Durchschnitt von  $1,08 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  gehalten. Die monatlichen Durchschnittswerte der Entnahme in den ersten Jahren nach dem Anlauf beider Blöcke schwankten beträchtlich zwischen 0,4 und ca.  $1,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , ab 2006 verringerte sich die Schwankungsbreite auf ca.  $0,6\text{-}1,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Der durchschnittliche jährliche Durchfluss der abgeleiteten Abwässer erreichte 2003  $0,29 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , sank in den Folgejahren auf Werte um  $0,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  und 2008 bis auf  $0,19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Diese vier- bis fünffache Reduktion des Wasservolumens ist vor allem auf den Wasserverlust durch den Abdampf in den Kühltürmen und weiteren Kraftwerksanlagen zurückzuführen. Infolge dieses Wasserverlusts durch Abdampf kam es während des Betriebs beider Blöcke des KKW Temelín ab dem Jahr 2004 zu einem Rückgang der durchschnittlichen jährlichen Durchflüsse in der Moldau im Profil Kořensko um 1,0 bis 2,2 %.

Tab. 7 Jahresdurchschnittswerte (bzw. Werte für den Zeitraum des Betriebs beider Kraftwerksblöcke) des Durchflusses im Profil Moldau-Kořensko, Rohwasserentnahme und Ableitung von Abwasser des KKW Temelín und weitere abgeleitete Parameter zur Illustration des Einflusses des KKW Temelín auf die Durchflussverhältnisse in der Moldau

Zeitraum	Moldau-Kořensko, $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	Entnahme KKW Temelín (RW), $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	Ableitung von Abwasser (AW), $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	Verhältnis RW/AW	Wasser- verlust, $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	Rückgang des Durchflusses im Profil Moldau-Kořensko, %
2000	41	0,07	0,05	1,53	0,02	0,06
2001	44	0,23	0,13	1,78	0,10	0,22
2002	117	0,61	0,19	3,23	0,42	0,36
2003	41	1,06	0,29	3,69	0,78	1,85
2004	53	1,08	0,26	4,14	0,82	1,51
2005	60	1,04	0,24	4,34	0,80	1,31
2006	84	1,14	0,25	4,49	0,88	1,03
2007	41	1,14	0,24	4,69	0,90	2,14
2008	39	1,07	0,19	5,67	0,88	2,18
IV.2003-III.2009	52	1,08	0,25	4,56	0,89	1,68

Die Abwässer haben sich in der Moldau wesentlich verdünnt (Abb. 14). Die durchschnittlichen monatlichen Verdünnungsverhältnisse korrespondierten mit dem Durchfluss in der Moldau. Zur geringsten Verdünnung kam es in den Sommermonaten mit verringerten Durchflüssen (minimale – dreißigfache – Verdünnung im Juli 2003), zur stärksten Verdünnung im Frühjahr, wenn die Durchflüsse aufgrund des Schmelzens und Abfließens der in der Winterperiode im Einzugsgebiet angesammelten Schnee- und Eisbestände am höchsten sind.

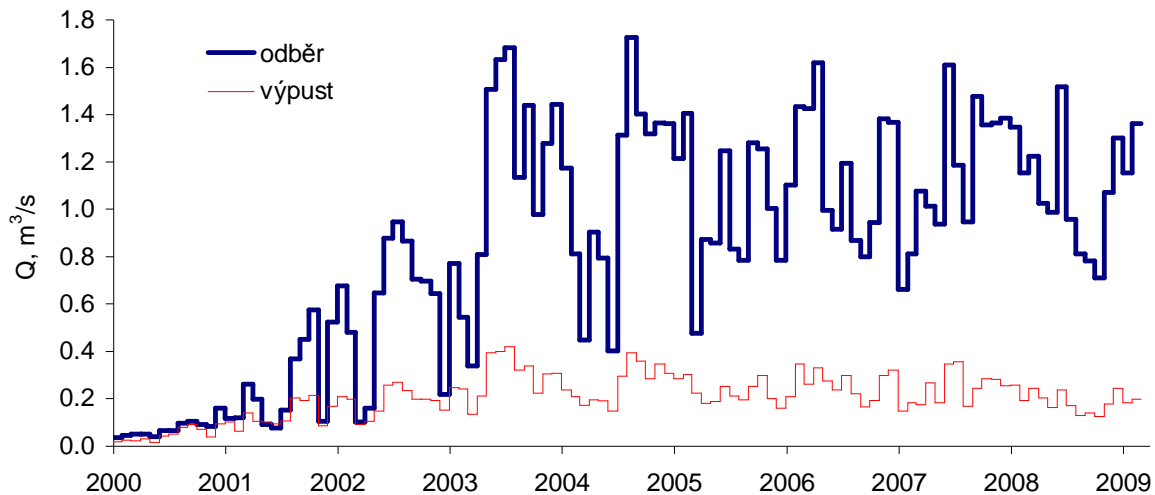


Abb. 13 Monatsdurchschnittswerte der Wasserentnahme des KKW Temelín aus der Moldau im Profil der Stauanlage Hněvkovice und Ableitung von Abwässern in die Moldau im Profil Kořensko

odběr – Entnahme  
výpust – Ablass

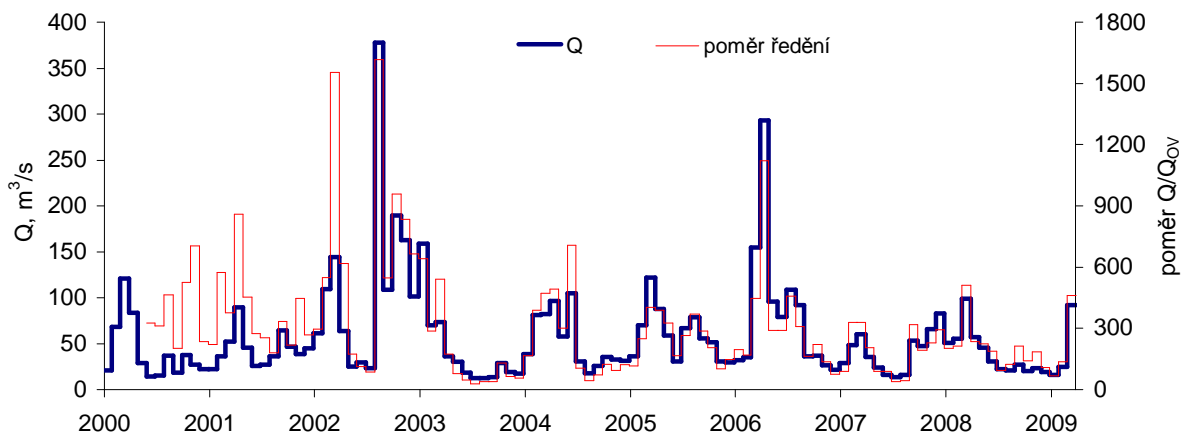


Abb. 14 Durchschnittlicher monatlicher Durchfluss in der Moldau im Profil Kořensko und Verdünnungsverhältnis der durch das KKW Temelín abgeleiteten Abwässer (durchschnittliche monatliche Verhältnisse des Durchflusses in der Moldau ( $Q$ ) und des Abwasserdurchflusses ( $Q_{ov}$ ))

poměr ředění – Verdünnungsverhältnis  
poměr – Verhältnis

### 3.3.2. Einfluss auf die Wassertemperatur

Die Temperatur der durch das KKW Temelín abgeleiteten Abwässer (Abb. 15a) wies einen Jahreszyklus mit den niedrigsten Werten in den Wintermonaten (gewöhnlich 13 bis 18 °C) und den höchsten Werten im Sommer (gewöhnlich 21 bis 27 °C) auf. Die Sommerwerte stimmten ungefähr mit der Wassertemperatur im Fluss überein. Die Bilanzberechnung ergab eine maximale Erwärmung des Wassers in der Moldau infolge der Ableitung von Abwässern des KKW Temelín um 0,4 °C (13. Dezember 2003). In Monatsdurchschnittswerten erhöhte sich die Wassertemperatur der Moldau in den Wintermonaten um 0,1 bis 0,15 °C, in den Sommermonaten gewöhnlich um weniger als 0,05 °C. Im Vergleich zur zwischenjährlichen Variabilität des Jahresverlaufs der Wassertemperatur, die im Profil Kořensko meist zwischen 3 und 8 °C liegt (Abb. 6), ist diese Temperaturerhöhung unbedeutend.

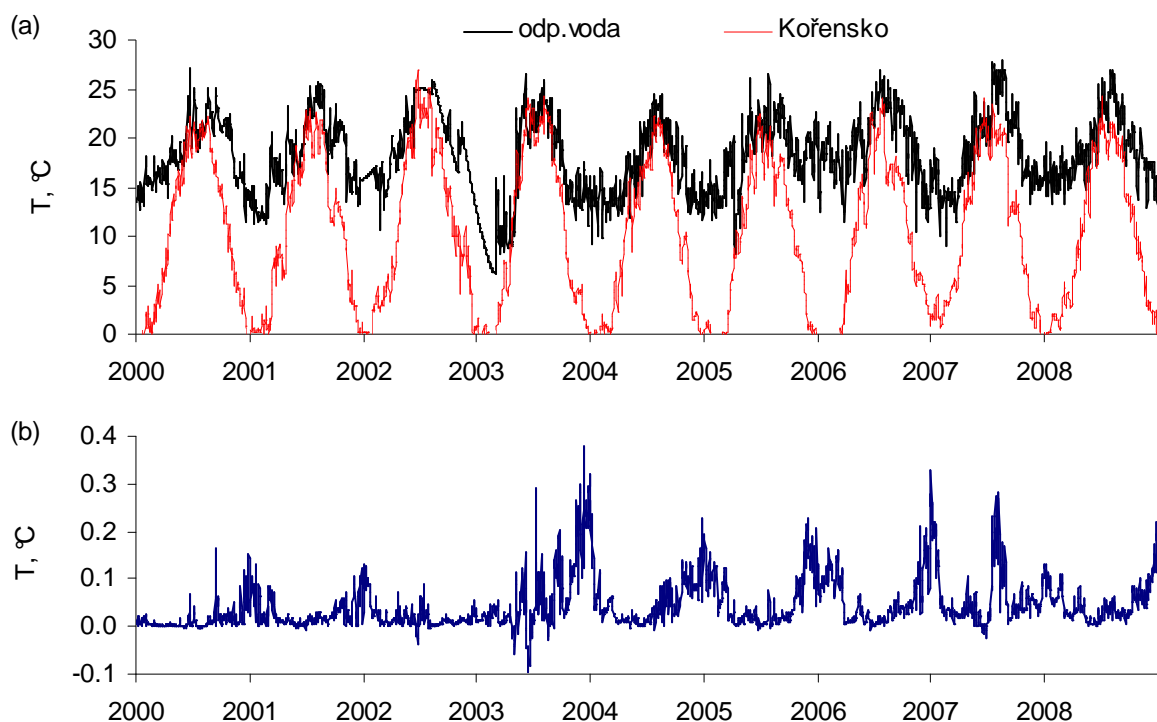


Abb. 15 (a) Tageswerte der Temperatur des Abwassers und Wassers in der Moldau und (b) Zunahme der Wassertemperatur in der Moldau infolge der Ableitung von Abwasser, ermittelt aus der Wärmebilanz

#### odp. voda – Abwasser

Die zwischenjährliche Variabilität der Temperatur in der Moldau war hoch. Wie aus Abb. 16a ersichtlich, wo neben den Durchschnittstemperaturen auch die Standardabweichungen eingetragen sind, war die Streuung der Tagestemperaturen des Flusswassers im Rahmen des selben Monats (zusammenfassend für die Jahre 2000–2008) beachtlich (die durchschnittliche monatliche Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Wassertemperatur für ein und denselben Tage in den Jahren 2000–2008, einschließlich der Standardabweichung, zeigt Abb. 16b). Diese zwischenjährliche Variabilität (abgebildet in Anlage 14 und 15) lag schließlich im Wertebereich von ~3 °C im Winter und ~8 °C im Sommer.

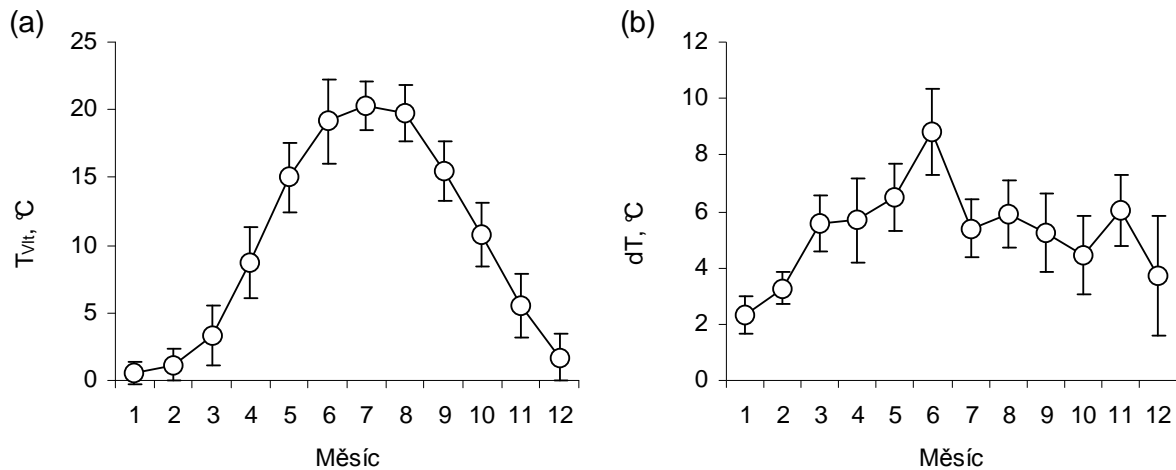


Abb. 16 (a) Monatsdurchschnittstemperatur des Wassers im Profil Moldau-Kořensko mit die Standardabweichung der zwischenjährlichen Variabilität der Tageswerte repräsentierenden Strecken, (b) durchschnittliche zwischenjährliche Differenzen der Tagestemperaturen des Flusses (max-min)

### měsíc – Monat

Die zwischenjährliche Variabilität der Temperatur des Abwassers des KKW Temelín zeichnete sich durch eine ähnlich breite Streuung aus wie die Variabilität der Wassertemperatur der Moldau (d.h. 5-6 °C), schwankt aber nicht saisonabhängig (siehe Anlage 14 und 15). Die Differenz der Temperatur der Abwässer und der Temperatur des Flusses gibt dann einen Gradienten für die mögliche Änderung der Temperatur des Flusswassers durch den Einfluss des KKW Temelín an. Dieser Temperaturgradient war durchschnittlich am niedrigsten im Juni (1,9 °C) und am höchsten im Januar (14,7 °C). Seine zwischenjährliche Variabilität war ähnlich der Variabilität der Temperatur der Moldau und lag bei 4-8 °C (siehe Anlage 14 und 15).

### 3.2.3. Einfluss auf die Zusammensetzung des Wassers

Das KKW Temelín beeinflusst die Zusammensetzung des Wassers infolge von Wasserverlusten durch Abdampf, die 75-80 % der aufgenommenen Menge erreichen, wesentlich. Daraus ergibt sich, dass das KKW Temelín auch ohne jeden weiteren Eingriff in die chemische Zusammensetzung des Wassers die Veränderung der Konzentrationen einzelner Stoffe beeinflusst. Im Kraftwerk laufen auch weitere Prozesse ab, z. B. die Aufbereitung von Rohwasser und die Reinigung der Abwässer, weshalb es auch zur Änderung der absoluten Menge einzelner Stoffe im abgeleiteten Wasser gegenüber dem Ausgangswasser kommt. Die jährlichen Veränderungen der Menge an organischen Stoffen und Nährstoffen durch den Einfluss des KKW Temelín enthält Tab. 8 (die Konzentrationen in der Moldau und die Stoffströme sind in Anlage 16-18 angeführt, einschließlich der graphischen Veranschaulichung der durch das KKW Temelín verursachten Veränderungen). Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass es im KKW Temelín zur Eliminierung von ungelösten Stoffen (NL) aus dem Wasser kam (seit 2004, mit Inbetriebnahme des 2. Blocks, wurden durchschnittlich 174 t NL jährlich entfernt, d.h. mehr als 50 % der Eingangsmenge an ungelösten Stoffen unter Beeinflussung der Konzentration von CSB<sub>Cr</sub> und BSB<sub>5</sub>).

Tab. 8 Jährliche Veränderungen der Menge an organischen Stoffen und Nährstoffen durch den Einfluss des KKW Temelín

Jahr	RL	NL	BSB <sub>5</sub>	CSB <sub>Cr</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N <sub>ges</sub>	PO <sub>4</sub> -P	P <sub>ges</sub>
	t Jahr <sup>-1</sup>	t Jahr <sup>-1</sup>	t Jahr <sup>-1</sup>	t Jahr <sup>-1</sup>	t Jahr <sup>-1</sup>	t Jahr <sup>-1</sup>	t Jahr <sup>-1</sup>	t Jahr <sup>-1</sup>	t Jahr <sup>-1</sup>
2000	32	-4	-3	-40	-0,1	5,1	3,5	0,60	0,59
2001	-39	-52	-14	-155	-0,5	0,9	-5,5	0,75	0,55
2002	-701	-324	-65	-304	-4,7	-0,1	-16,6	-0,43	-0,80
2003	-937	-375	-94	-502	-10,1	29,1	-0,7	-0,22	-1,95
2004	195	-194	-58	-158	-5,4	28,5	16,7	0,86	-0,07
2005	-133	-224	-44	-401	-4,1	14,4	-5,4	0,55	-0,83
2006	-79	-145	-57	-242	-7,4	25,3	8,3	0,37	-0,31
2007	59	-161	-52	-230	-4,3	24,3	10,8	0,41	-0,31
2008	-333	-145	-83	-189	-8,9	24,5	7,9	0,26	-0,25
Durchschnitt 04-08	-58	-174	-59	-244	-6,0	23,4	7,7	0,49	-0,36

Die Menge an gelösten Stoffen wurde im Betrieb des KKW Temelín ebenfalls verringert (Tab. 8), wenn auch nicht in einem solchen Umfang wie die Menge an ungelösten Stoffen (58 Tonnen pro Jahr entsprechen lediglich 1,7 % der Eingangsmenge), und es gab auch Perioden, in denen die Menge an gelösten Stoffen zunahm. Von den gelösten Stoffen, zu denen Ionen aus verwendeten anorganischen Säuren und Basen wesentlich beitragen, haben für den Wasserzustand in der Stauanlage Orlický Stickstoff und Phosphor die größte Bedeutung, da sie als Nährstoffe dienen. Ihre Menge hat sich mit dem Betrieb des KKW Temelín verändert. Während sich die Menge an P<sub>ges</sub> gegenüber den Eingangswerten verringerte (um rund ein Achtel), nahm die Menge an PO<sub>4</sub>-P umgekehrt um ~60 % zu. Auch die Gesamtmenge an Stickstoff erhöhte sich – durchschnittlich um ~10 %. Erfolgreich entfernt wurden zwar Ammoniumionen (ihre Menge sank durchschnittlich auf ein Zehntel), dafür nahmen die Nitrate beträchtlich zu (um ~50 %).

Obwohl die absolute Menge bei einigen Stoffen durch den Betrieb des KKW Temelín rückläufig war, erhöhte sich ihre Konzentration in der Moldau infolge des Abdampfes, wie aus dem Vergleich der Tab. 9 und 10 ersichtlich ist. Aufgrund des Verdünnens mit Flusswasser lag der durchschnittliche Anstieg der Konzentration jedoch im Zehntel- bis Einzelprozentbereich. In Trockenperioden war der Konzentrationsanstieg höher (beispielsweise erhöhte der Betrieb des KKW Temelín die Konzentration gelöster Stoffe (RL) in der Moldau im Juli 2007 um 9,4 %, N<sub>ges</sub> um 11,2 % und P<sub>ges</sub> um 7,1 %). Dies ist auch aus der Tabelle der durchschnittlichen prozentuellen Veränderung der monatlichen Konzentrationen einzelner Stoffe ersichtlich (Anlage 18), wobei die durchschnittlichen Veränderungen der Konzentrationen im März minimal waren (meist unter einem Prozent), im August hingegen deutlich höher (z. B. stieg die Konzentration von P<sub>ges</sub> um 3,5 %).

Tab. 9 Jahresdurchschnittskonzentration im Profil Moldau-Kořensko oberhalb der Einleitungen des KKW Temelín

Jahr	RL	NL	BSB <sub>5</sub>	CSB <sub>Cr</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N <sub>ges</sub>	PO <sub>4</sub> -P	P <sub>ges</sub>
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2000	143,0	5,2	3,1	27,7	0,24	0,81	2,12	0,029	0,072
2001	161,5	9,9	3,1	33,6	0,22	2,07	3,59	0,026	0,093
2002	171,7	19,3	4,0	27,3	0,29	2,17	3,52	0,074	0,123
2003	153,6	12,8	3,0	23,8	0,33	1,09	2,35	0,053	0,129
2004	115,6	8,2	2,1	14,8	0,17	1,38	2,14	0,021	0,072

2005	120,4	9,5	1,8	24,6	0,15	1,24	2,35	0,029	0,094
2006	110,9	8,9	2,2	19,0	0,22	1,41	2,39	0,028	0,090
2007	103,5	8,8	2,0	17,7	0,13	1,08	1,90	0,019	0,069
2008	104,2	7,2	2,9	16,4	0,27	1,19	2,10	0,024	0,065

Tab. 10 Durchschnittliche jährliche Zunahme der Konzentration im Profil Moldau-Kořensko durch den Einfluss des KKW Temelín

Jahr	RL	NL	BSB <sub>5</sub>	CSB <sub>Cr</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N <sub>ges</sub>	PO <sub>4</sub> -P	P <sub>ges</sub>
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2000	0,1	-0,007	-0,002	-0,021	0,0002	0,002	0,002	0,0005	0,0004
2001	0,4	-0,017	-0,004	-0,030	0,0002	0,005	0,004	0,0006	0,0005
2002	0,5	-0,016	-0,003	0,015	-0,0002	0,007	0,008	0,0002	0,0002
2003	2,6	-0,033	-0,014	0,068	-0,0001	0,039	0,042	0,0010	0,0012
2004	1,8	-0,028	-0,013	0,116	-0,0005	0,035	0,039	0,0008	0,0008
2005	1,5	0,000	-0,003	0,104	-0,0001	0,021	0,025	0,0006	0,0007
2006	1,0	0,015	-0,002	0,083	-0,0004	0,022	0,025	0,0004	0,0008
2007	2,2	0,038	-0,006	0,176	-0,0002	0,039	0,046	0,0007	0,0010
2008	1,9	0,022	-0,002	0,186	-0,0006	0,044	0,051	0,0008	0,0011

### 3.4. Einfluss des KKW Temelín auf die Moldau und den Orlík-Stausee unter den Bedingungen der Klimaänderung

#### 3.4.1. Einfluss auf den Durchfluss

Zur Vorhersage des Einflusses der erwarteten Klimaänderung wurde zunächst von den hydrologischen Daten der Jahre 2000–2008 der Einfluss des KKW Temelín abgezogen, wodurch eine Datenreihe entstand, anhand derer sich für diesen Zeitraum die Werte ohne den Betrieb des KKW Temelín ermitteln lassen. Bei den Durchflüssen und Wassertemperaturen wurden Tagesdurchschnitte einbezogen, bei der Wasserqualität die Monatsdurchschnitte. Mit Hilfe des standardisierten Beitrags des KKW Temelín wurden dann weitere nach dem Vielfachen der derzeitigen Leistung des KKW Temelín gekennzeichnete Datenreihen gewonnen (d.h. zur Reihe 0× kamen die Reihen 1× hinzu, d.h. durchschnittliche derzeitige Leistung des KKW Temelín, 2×, 2,2×, 2,6× a 2,7×). Die so gewonnenen Reihen wurden bei der Modellierung der einzelnen Varianten der Klimaänderung verwendet.

Vorhersagen zur Klimaänderung sind allgemein von wesentlicher Unsicherheit gekennzeichnet, einerseits in Modellen, andererseits in Szenarien der künftigen Entwicklung der Treibhauskonzentrationen in der Atmosphäre. Für Erfordernisse dieser Studie haben wir drei kombinierte Szenariovarianten berücksichtigt – eine optimistische (mit geringer Sensibilität der Modelle auf die Veränderung der Treibhausgaskonzentration und gleichzeitig untere Schätzungen des künftigen Anstiegs ihrer Konzentrationen), eine durchschnittliche und eine pessimistische. Die Klimaänderung wird wesentlichen Einfluss auf die Temperatur und Niederschlagsmenge haben, was in Hinblick auf den Orlík-Stausee am stärksten den Durchfluss und anschließend auch die Verweildauer des Wassers im Stausee, die Konzentration einzelner im Wasser vorhandener Stoffe, die Menge an lebenden Organismen usw. beeinflusst.

Der Wasserdurchfluss durch die Moldau dürfte sich schrittweise verringern (die durchschnittlichen Durchflüsse nach einzelnen Szenarien enthält Tab. 11, die prozentuellen Veränderungen des Durchflusses in den einzelnen Monaten nach einzelnen Varianten der

Erweiterung des KKW Temelín und nach einzelnen Klimaszenarien sind in Anlage 19 bis 27 angeführt). Mit seiner Verringerung rechnet auch die optimistische Variante. Während aber bei dieser Variante die Verringerung des Durchflusses relativ gering ist (um rund 6 %), prognostiziert die pessimistische Variante einen Rückgang des Durchflusses um bis 40 %. Diese Verringerung wird die größte Auswirkung auf den Orlik-Stausee in trockenen Monaten haben.

Tab. 11 Durchschnittlicher Durchfluss im Profil Moldau-Kořensko unter den Bedingungen der Klimaänderung im Jahr 2050 und bei verschiedenen Varianten der Erweiterung des KKW Temelín,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

Variante	ETE-0×	ETE-1×	ETE-2×	ETE-2,2×	ETE-2,6×	ETE-2,7×
2000-2008	58,5	57,6	56,8	56,6	56,2	56,1
optimistische	55,9	55,0	54,1	53,9	53,5	53,4
durchschnittliche	48,0	47,1	46,2	46,0	45,7	45,6
pessimistische	36,6	35,7	34,8	34,6	34,2	34,1

Ein charakteristischer Parameter für geringe Durchflüsse ist insbesondere der Durchfluss  $Q_{355d}$ , welcher für Kořensko  $9,42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  beträgt. Aus den Simulationen der Durchflüsse in einzelnen Klimaveränderungsszenarien standen uns nur die monatlichen Durchflüsse zur Verfügung, aus denen wir  $Q_{m97,5\%}$  analog berechnet haben. Das Ergebnis ist in Abb. 5 dargestellt, die auch den Wert  $Q_{355d}$  abbildet. Aus dem Diagramm ist eindeutig ersichtlich, dass sehr geringe Durchflüsse wesentlich zunehmen werden, und zwar auch unter der impliziten Voraussetzung

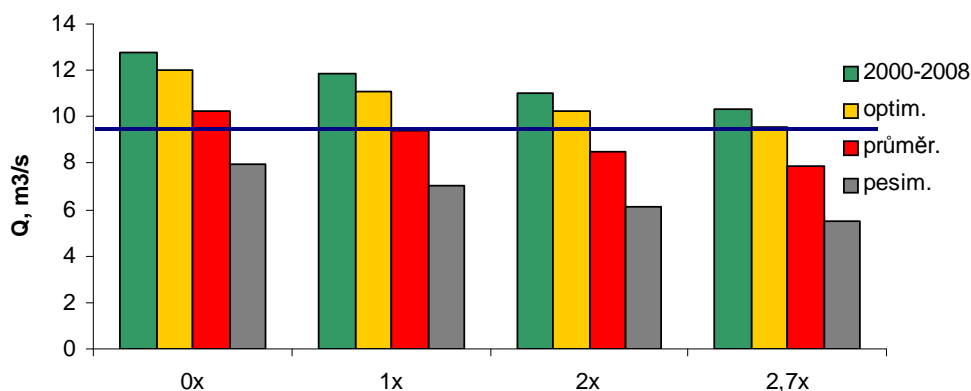


Abb. 17 Änderung der Durchflusswerte  $Q_{m97,5\%}$  in der Moldau im Profil Kořensko in Szenarien der Klimaänderung und Varianten der Erweiterung des KKW Temelín (0×, 1×, 2× a 2,7×). Die waagerechte Linie stellt den derzeitigen Wert von  $Q_{355d}$  dar.

optim. – optim.  
 průměr. – durchschn.  
 pesim. – pessim.

unserer Modellierung, dass Wetterschwankungen und klimatische Extreme häufiger als in den letzten Jahren auftreten werden. Beim negativsten Klimaszenario wird der Wert von  $Q_{m97,5\%}$  auch ohne den Betrieb des KKW Temelín wesentlich verringert. Beim Betrieb des Kraftwerks im derzeitigen Umfang (1× 2000 MW) erreicht  $Q_{m97,5\%}$  den Wert  $Q_{355d}$  bereits beim mittleren

Klimaveränderungsszenario. Bei der größten erwogenen Erweiterung des KKW Temelín (um  $2 \times 1700$  MW) erreicht  $Q_{m97,5\%}$  die Grenze von  $Q_{355d}$  bereits beim optimistischen Szenario und verringert sich beim pessimistischen Szenario auf weniger als die Hälfte gegenüber dem derzeitigen Stand. Das bedeutet, dass das KKW Temelín 30 % des monatlichen Durchflusses durch Kořensko verdampfen würde. Die minimalen monatlichen Durchflüsse, die auf Grundlage von Daten aus den letzten neun Jahren modelliert wurden, sind in Tab. 12 angeführt.

Tab. 12 Minimale durchschnittliche monatliche Durchflüsse im Profil Moldau-Kořensko unter den Bedingungen einer Klimaänderung im Jahr 2050 und bei verschiedenen Varianten der Erweiterung des KKW Temelín,  $m^3 s^{-1}$

Variante	ETE-0×	ETE-1×	ETE-2×	ETE-2,7×
2000-2008	8,75	7,86	6,96	6,33
optimistische	7,53	6,63	5,74	5,11
durchschnittliche	6,59	5,69	4,80	4,17
pessimistische	5,21	4,32	3,42	2,80

### 3.4.2. Einfluss auf die Wasserqualität

Die Verringerung der Durchflüsse im Fluss wird sich auch auf die Konzentration der im Wasser enthaltenen Stoffe auswirken. Aufgrund der zu großen Menge an Variablen lässt sich praktisch leider nicht vorhersagen, wie die Entwicklung der Konzentrationen einzelner Stoffe im strömenden Wasser verlaufen wird. Bei Verringerung des Durchflusses hat zwar jede Verschmutzungsquelle größeren Einfluss auf die Wasserqualität, andererseits ist der Wasserstrom im Flussbett ruhiger (d.h. die Strömung beginnt sich der Laminarströmung zu nähern) und es kommt auch leichter zur Ablagerung fester Partikel. Gleichzeitig haben lebende Organismen mehr Zeit, die Nährstoffe aus dem Wasserstrom zu verwerten. Daher wurde die Phosphorkonzentration in den Zulaufströmen auch bei Veränderung des Klimas als unverändert angesetzt (aufgrund von Szenarien, die mit unterschiedlichen monatlichen Veränderungen der Durchflüsse arbeiten, weist die durchschnittliche jährliche Zuflusskonzentration in den Orlick-Stausee gewisse Abweichungen auf), obgleich diese Voraussetzung den Rückgang der absoluten Menge an eingetragendem Phosphor bedeutet.

Nichtsdestotrotz lässt sich der Einfluss des KKW Temelín auf die Konzentration der Stoffe im Wasser bei Verringerung des Wasserdurchflusses durch die Moldau insgesamt einfach vorhersagen. Ein geringerer Durchfluss des Flusswassers bewirkt nämlich, dass die entnommene Menge (auch wenn unverändert) einen höheren Anteil am Gesamtstrom hat. Daher wird logischerweise auch die Konzentrierung einzelner Stoffe im Fluss intensiver ablaufen. Gut ersichtlich ist diese Tatsache aus den Diagrammen zur prozentuellen Veränderung der Phosphorkonzentration im Wasser unter dem Einfluss des KKW Temelín (Anlage 20-21). Die Einflüsse einer unterschiedlichen Erweiterung des KKW Temelín wurden hier der Variante ohne das KKW Temelín im Rahmen einzelner Klimaszenarien gegenübergestellt. Die Kurven der Konzentrationen in den Diagrammen weisen eine identische Form auf, lediglich die Werte an der Achse Konzentrationsveränderung ändern sich. Während sich also beim pessimistischen Szenario und Erweiterung des KKW Temelín um  $2 \times 1700$  MW die Phosphorkonzentration im Fluss im negativsten Extremfall um 35 % erhöht (gewöhnlich beträgt diese Erhöhung jedoch wenige Prozent), sind es beim optimistischen Szenario 21 % (was sogar weniger ist als die Konzentrationsveränderung bei Erweiterung des KKW Temelín um  $2 \times 1000$  MW beim pessimistischen Szenario).

Insgesamt nimmt also die in den Orlík-Stausee unter dem Einfluss des KKW Temelín eingetragene  $P_{\text{ges}}$ -Konzentration zu. Aufgrund der längeren Verweildauer (siehe Tab. 13) erhöht sich aber auch die Retention von  $P_{\text{ges}}$  im Stausee. Daher nimmt die  $P_{\text{ges}}$ -Konzentration beim Abfluss aus dem Stausee bei Verschlechterung der Klimaszenariovarianten ab (auch wenn den größten Einfluss auf diesen Rückgang offenbar der geringere eingehende Stoffstrom hat – mit sich verschlechterndem Klimaszenario verringert sich auch die absolute Menge an angereichertem Phosphor). Der Einfluss des KKW Temelín verschlechtert den Abfluss aus der Talsperre, dieser Einfluss wird aber weniger markant sein, als dies beim Zufluss zum Stausee der Fall ist (was auch Tab. 14 belegt; die Standardabweichung lag zwischen 0,014 und 0,016 mg l<sup>-1</sup> für die Zuflusskonzentration und zwischen 0,011 und 0,013 mg l<sup>-1</sup> für die Abflusskonzentration). Aus Tab. 14 ist gleichfalls ersichtlich, dass die Zuflusskonzentration von  $P_{\text{ges}}$  in allen Szenarien die Grenzwerte für das Baden, wie durch Verordnung Nr. 229/2007 GBl. festgelegt, überschreitet. Sollte mit der Klimaänderung die Stoffkonzentration in den Zuflüssen steigen (im Gegensatz zur Voraussetzung für die Berechnungen in dieser Studie, dass dies nicht der Fall ist), wird die Gesamtsituation im Orlík-Stausee noch schlechter ausfallen, als in diesem Dokument modelliert und präsentiert.

Tab. 13 Durchschnittliche Verweildauer des Wassers (Tage) im Orlík-Stausee unter den Bedingungen der Klimaänderung im Jahr 2050 und bei verschiedenen Varianten der Erweiterung des KKW Temelín

Variante	ETE-0×	ETE-1×	ETE-2×	ETE-2,7×
2000-2008	79,6	80,6	81,5	82,2
optimistische	80,7	81,6	82,6	83,3
durchschnittliche	93,2	94,5	95,8	96,7
pessimistische	122,9	125,1	127,4	129,1

Tab. 14 Durchschnittskonzentration  $P_{\text{ges}}$  im Orlík-Stausee unter den Bedingungen der Klimaänderung im Jahr 2050 und bei verschiedenen Varianten der Erweiterung des KKW Temelín

Variante	Zuflusskonzentration, mg/l				Abflusskonzentration, mg/l			
	ETE-0×	ETE-1×	ETE-2×	ETE-2,7×	ETE-0×	ETE-1×	ETE-2×	ETE-2,7×
2000-2008	0,135	0,136	0,138	0,139	0,079	0,080	0,080	0,080
optimistische	0,133	0,135	0,136	0,138	0,078	0,078	0,079	0,079
durchschnittliche	0,133	0,135	0,137	0,138	0,073	0,073	0,074	0,074
pessimistische	0,133	0,135	0,138	0,139	0,064	0,065	0,065	0,066

### 3.4.3. Einfluss auf die Wassertemperatur

Ein weiterer Effekt, der bei einer Klimaänderung und der Erweiterung des KKW zu beobachten sein wird, ist die Veränderung der Temperatur im Fluss. Bei niedrigerem Durchfluss (infolge von Klimaveränderungen) ist die Temperatur des Flusses leichter durch das Kraftwerk beeinflussbar, und genauso wird der Wasserverbrauch durch das Kraftwerk die Temperatur beeinflussen. Im Unterschied zu den Stoffkonzentrationen in der Moldau wird bei der Temperatur der Einfluss des KKW Temelín auch von der Wassertemperatur im Fluss abhängen. Aus diesem Grund schlagen sich Veränderungen – im Einklang mit dem oben Angeführten – am stärksten in der Winterperiode und am geringsten in der Sommerperiode nieder. Zur Vereinfachung des Modells wird genauso wie bei den Veränderungen der Phosphorkonzentrationen angenommen, dass die Klimaänderung an sich die Temperatur im Fluss nicht beeinflusst, obwohl klar ist, dass sie Einfluss auf sie haben wird.

Wie in Tab. 15 ersichtlich, wird die Temperatur im Fluss stärker durch die Erweiterung des KKW Temelín beeinflusst als durch die Klimaänderung selbst. Die Erweiterung des KKW Temelín in den Wintermonaten beeinflusst die Monatsdurchschnitte der Wassertemperatur um Zehntel Grad, die Klimaänderung nur um Hundertstel. In den Sommermonaten ist ein Einfluss der Klimaänderung fast nicht erkennbar, und die Differenz zwischen den einzelnen Varianten der Erweiterung des KKW Temelín liegt bei Hundertstel °C. Eine graphische Darstellung der Beiträge des Kraftwerks zur Flusstemperatur enthalten die Anlagen 25-27. Aus diesen Diagrammen ist ersichtlich, dass das KKW Temelín die Temperatur am Standort Kořensko bei der derzeitigen Leistung und auch beim negativsten Klimaszenario um 0,1-0,2 °C im Winter und rund 0,05 °C im Sommer beeinflusst, was sich kaum von der derzeitigen Beeinflussung der Flusstemperatur durch das Kraftwerk unterscheidet. Die maximal erwogene Erweiterung des KKW Temelín hingegen erhöht die Temperatur im Fluss bereits beim gegenwärtigen Klimaszenario um 0,2-0,35 °C im Winter und um 0,05-0,1 °C im Sommer. Beim negativsten Szenario würden sich die Durchschnittstemperaturen der Wintermonate um 0,3-0,56 °C und der Sommermonate um 0,09-0,15 °C erhöhen. Diese Erhöhung der Monatsdurchschnittswerte ist immer noch weitaus geringer als die zwischenjährlichen Schwankungen der Temperatur des Flusses, bei Erfüllung des pessimistischen Szenarios kann ihr Einfluss jedoch bereits bemerkbar sein. Das gilt insbesondere für extreme Monate, wenn die maximale Erweiterung des KKW Temelín die Temperatur im Fluss in den Wintermonaten bis um 1 °C und im Sommer bis um 0,25 °C erhöhen könnte (siehe Diagramme zu den Beiträgen der einzelnen Szenarien der Erweiterung des KKW Temelín auf die Erhöhung der Temperatur im Profil Moldau-Kořensko für das derzeitige Klima und pessimistische Szenario in Anlage 27).

Tab. 15 Monatsdurchschnittstemperaturen des Wassers (°C) im Profil Moldau-Kořensko bei einzelnen Klimaveränderungsszenarien im Jahr 2050 und bei verschiedenen Varianten der Erweiterung des KKW Temelín

Monat	Moldau	AW	2000-2008			optim.			durchschn.			pessim.		
			ETE-1×	ETE-2×	ETE-2,7×	ETE-1×	ETE-2×	ETE-2,7×	ETE-1×	ETE-2×	ETE-2,7×	ETE-1×	ETE-2×	ETE-2,7×
I	0,54	15,28	0,64	0,75	0,83	0,65	0,76	0,85	0,67	0,80	0,90	0,71	0,89	1,02
II	1,14	15,18	1,20	1,26	1,31	1,20	1,27	1,32	1,21	1,29	1,35	1,24	1,34	1,42
III	3,24	15,80	3,27	3,31	3,33	3,27	3,31	3,34	3,28	3,32	3,35	3,29	3,35	3,39
IV	8,51	16,40	8,53	8,57	8,59	8,54	8,57	8,59	8,54	8,58	8,61	8,55	8,60	8,64
V	14,88	19,50	14,91	14,94	14,96	14,91	14,94	14,97	14,92	14,95	14,98	14,93	14,98	15,02
VI	19,09	20,96	19,11	19,13	19,14	19,11	19,13	19,15	19,12	19,14	19,16	19,12	19,15	19,18
VII	20,31	23,22	20,34	20,38	20,40	20,34	20,38	20,40	20,35	20,39	20,42	20,36	20,42	20,46
VIII	19,82	23,58	19,86	19,89	19,92	19,86	19,89	19,92	19,86	19,91	19,94	19,88	19,94	19,98
IX	15,61	20,93	15,66	15,70	15,74	15,66	15,71	15,74	15,67	15,72	15,77	15,68	15,76	15,82
X	10,88	18,94	10,94	10,99	11,03	10,94	10,99	11,04	10,95	11,01	11,06	10,97	11,06	11,12
XI	5,67	16,97	5,75	5,84	5,91	5,76	5,85	5,92	5,77	5,88	5,97	5,81	5,96	6,07
XII	1,76	15,70	1,88	2,00	2,10	1,88	2,02	2,11	1,90	2,06	2,18	1,95	2,16	2,32

## 4. Schlussfolgerungen

Die Analyse des bisherigen Betriebs des KKW Temelín ab dem Jahr 2000 bis heute in Hinblick auf den Umfang der Entnahme von Rohwasser aus dem Stausee Hněvkovice und die Ableitung eingedickten und erwärmten Abwassers in die Moldau im Profil Kořensko ergab, dass sich beim Betrieb von 2 Blöcken im Zeitraum IV.2003-III.2009 folgende Einflüsse zeigten:

- Der durchschnittliche Wasserverlust durch Abdampf vor allem in den Kühlanlagen des KKW Temelín lag bei  $0,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , was in der Moldau im Profil Kořensko im Rahmen der Variabilität der durchschnittlichen jährlichen Durchflüsse einem Rückgang des Durchflusses um ca. 1-2 % entsprach.
- Der Einfluss der Ableitung erwärmter Abwässer auf die Wassertemperatur in der Moldau war gering und jahreszeitenabhängig. Nach der Durchmischung erhöhte sich die Tagesdurchschnittstemperatur in der Moldau in den Winter- und Frühjahrsmonaten um maximal  $0,4 \text{ }^\circ\text{C}$  und in den Sommer- und Herbstmonaten um  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , was im Vergleich zur zwischenjährlichen Variabilität der Wassertemperatur (im Umfang von  $3\text{-}8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) einem unerheblichen Anstieg praktisch ohne Einfluss auf den Orlík-Stausee entsprach.
- Die abgeleitete Menge an Stoffen im Abwasser verringerte sich gegenüber der Menge im entnommenen Rohwasser mit dem Durchlauf durch das KKW Temelín (gelöste Stoffe um 2 %, ungelöste Stoffe um 60 %,  $\text{BSB}_5$  um 76 %,  $\text{CSB}_{\text{Cr}}$  um 40 %,  $\text{P}_{\text{ges}}$  um 12 %) oder erhöhte sich ( $\text{N}_{\text{ges}}$  um 10 %,  $\text{NO}_3\text{-N}$  um 53 %,  $\text{PO}_4\text{-P}$  um 61 %). Die Zusammensetzung des Wassers in der Moldau veränderte sich infolge der Entnahme und Ableitung von Wasser durch das KKW Temelín unerheblich (durchschnittlich bis 1 % Änderung der Konzentrationen), außer  $\text{PO}_4\text{-P}$ , dessen Anstieg um durchschnittlich  $0,001 \text{ mg l}^{-1}$  und in den Sommermonaten mit geringem Durchfluss um bis  $0,005 \text{ mg l}^{-1}$  zwar ebenfalls gering ist, aber gewisse Bedeutung für die Eutrophierung des Stausees haben kann. Ursache für den Anstieg der  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Menge im abgeleiteten Abwasser war die geringe Wirksamkeit der biologischen ARA bei der Entfernung von Phosphor. Wir empfehlen, die biologische ARA zu rekonstruieren und ihre Technologie um eine erhöhte Eliminierung von Phosphor zu erweitern (z. B.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -Mitfällung in der Aktivierung).

Für die Szenarien-Beurteilung des Einflusses der erwogenen Varianten der Erweiterung des KKW Temelín auf die Hydrologie, die Qualität des Wassers in der Moldau und die Eutrophierung des Orlík-Stausees unter den derzeitigen Bedingungen und bei der zu erwartenden Klimaänderung bis 2050 wurde ein einfaches Bilanzmodell des Systems Moldau – KKW Temelín – Orlík-Stausee aufgestellt, in welchem ein linearer Anstieg der durchschnittlichen Abnahme, Wasserverluste durch Abdampfung und Veränderungen der Stoffströme im Zeitraum 2004–2008 direkt proportional zur sich erhöhenden Leistung des KKW Temelín angesetzt wurde. Die Eutrophierung des Orlík-Stausees wurde anhand eines empirischen Modells der P-Konzentration im Stausee modelliert, das auf einem kalibrierten Koeffizienten der P-Retention und der Abhängigkeit von der Verweildauer des Wassers im Stausee beruhte. Für die Modellbewertungen wurde die 9jährige Reihe 2000–2008 verwendet. Die Ergebnisse der Szenarienmodellierung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bei unverändertem Klima bringt die Erweiterung des KKW Temelín auf die erwogene Maximalvariante (um 3400 MW, d.h. auf das 2,7fache des derzeitigen Zustandes) eine Verringerung des durchschnittlichen Durchflusses von  $58,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  im Profil Moldau-

Košensko gegenüber der Nullvariante ohne Einfluss des KKW Temelín um  $2,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (d.h. um 4,1 %) und im Profil des Stauwerks der Stauanlage Orlick um  $2,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (d.h. um 2,8 %), die durchschnittliche Verweildauer im Orlick-Stausee erhöht sich von 99 auf 103 d (d.h. um 4 %). Die Temperatur des Wassers in der Moldau unterhalb des Einlasses des KKW Temelín wird sich um bis  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$  in der Winterperiode und um maximal  $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$  im Sommer und Herbst erhöhen. Auf die P-Konzentration im Orlick-Stausee wirkt sich die Erweiterung des KKW Temelín praktisch nicht aus (Änderung  $<1 \%$ ).

- Den Vorhersagen repräsentativer Klimamodelle und Entwicklungsszenarien zur Zusammensetzung der Atmosphäre zufolge kommt es im Zeitraum um das Jahr 2050 zum Rückgang des durchschnittlichen Abflusses aus dem Einzugsgebiet der Moldau um 4-37 %, und proportional werden sich auch die Werte von  $Q_{355d}$  verringern. In der Variante mit hoher Sensibilität der Modelle auf die Änderung der globalen Temperatur kommt es zum Rückgang des simulierten  $Q_{355d}$  unter die Grenze der derzeitigen Werte von  $Q_{355d}$  bereits ohne Einfluss des KKW Temelín, und unter dem Einfluss verschiedener Kapazitätsvarianten des KKW Temelín wird  $Q_{355d}$  bei mittlerer und hoher Sensibilität der Modelle auf ein Drittel bis die Hälfte der derzeitigen Werte absinken. Auf die P-Konzentration und die Eutrophierung im Orlick-Stausee wird sich die Verringerung des Durchflusses unwesentlich auswirken, da die erhöhte P-Konzentration infolge geringerer Verdünnung des Abwassers durch eine längere Verweildauer des Wassers im Stausee kompensiert wird.
- Die Temperatur der Moldau in Košensko wird das KKW Temelín bei seiner derzeitigen Leistung auch im Falle des negativsten Klimaszenarios nicht spürbar beeinflussen. Bei erhöhter Leistung kann das KKW Temelín im Falle der ungünstigsten Kombination der Bedingungen (maximale Erweiterung des KKW Temelín, pessimistisches Klimaszenario, extrem geringer Durchfluss) einen Anstieg der Temperatur des Wassers in der Moldau um bis  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  in den Wintermonaten und um bis  $0,3 \text{ }^\circ\text{C}$  in den Sommermonaten bewirken, wobei es sich um Veränderungen handelt, die in Hinblick auf die zwischenjährliche Variabilität der Wassertemperatur und möglichen Beeinflussung der Hydrodynamik des Stausees unerheblich sind.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die vorgeschlagene Erweiterung des KKW Temelín keine schwerwiegenden negativen Auswirkungen auf die Temperatur und Qualität des Wassers und auch nicht auf die Eutrophierung des Orlick-Stausees haben wird. Die Auswirkungen auf das hydrologische Regime der Moldau werden von der tatsächlichen künftigen Entwicklung abhängen, und sollten das mittlere und pessimistische Szenario für die Entwicklung der Wasserabflussmenge aus dem Einzugsgebiet eintreten, muss der Rückgang des Durchflusses durch Aufbesserung aus höher gelegenen Stauseen kompensiert werden.

## Verweise

- Anon. 2007: D5.2 Calibration of the monthly river flows over the selected period (1970-2000) and the rainfall-runoff models according to the flood events over the same period. Research Report of the CECILIA Project, No. 037005, EC 5th FW, National Institute of Hydrology and Water Management, Bucurest, Romania, pp. 43.
- Anon. 2008: D5.4 The evaluation of climate change impacts on simulated monthly river flow along a Bohemia/Moravia/Slovakia/Romania geographic gradient. Research Report of the CECILIA Project, No. 037005, EC 5th FW, Institute of Atmospheric Physics, Prague, Czech Republic, pp. 59.
- Bicknell B. R., Imhoff J. C., Kittle Jr. J. L., Jobes T. H., Donigian Jr. A. S. (2001): Hydrological Simulation Program–Fortran (HSPF). User's Manual for Release 12. U.S. EPA National Exposure Research Laboratory, Athens, GA, in cooperation with U.S. Geological Survey, Water Resources Division, Reston, VA.
- Cole T. M., Wells S. A. (2003): CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.2, Instruction Report EL-03-1, US Army Engineering and Research Development Center, Vicksburg, MS; [www.ce.pdx.edu/w2/](http://www.ce.pdx.edu/w2/)
- Dubrovsky M., Nemesova I., Kalvova J. (2005): Uncertainties in climate change scenarios for the Czech Republic. *Climate Research*, 29, 139-156.
- Harvey L. D. D., Gregory J., Hoffert M., Jain A. and 5 others (1997): An introduction to simple climate models used in the IPCC Second Assessment Report. IPCC Tech Paper 2, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- Hejzlar J., Šámalová K., Boers P., Kronvang B. (2006): Modelling phosphorus retention in lakes and reservoirs. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* 6, 487-494.
- Hulme M., Wigley T. M. L., Barrow E. M., Raper S. C.B., Centella A., Smith S., Chipanshi A. C. (2000): Using a climate scenario generator for vulnerability and adaptation assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook. Climatic Research Unit, Norwich.
- Chapra S. C. (1975): 'Comment on 'An empirical method of estimating the retention of phosphorus in lakes', by W. B. Kirchner and P. J. Dillon'. *Water Resour. Res.* 2, 1033-1034.
- IPCC (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
- Nash J. E., Sutcliffe J. V. (1970): River flow forecasting through conceptual models I: A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10, 282–290.
- Vlček V., ed., Kestránek J., Kříž H., Novotný S., Píše J. (1984): *Zeměpisný lexikon ČSR: Vodní toky a nádrže* [Geographisches Lexikon der Tschechischen Sozialistischen Republik; Wasserläufe und -speicher]. Academia, Prag.

## **Anlage**

## **Anlage 1**

Verlauf der Lufttemperatur in der Station des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts Temelín in den Jahren 2000–2008

Teplota – Temperatur  
Průměrná měsíční teplota vzuchu – Monatsdurchschnittstemperatur der Luft  
teplota - Temperatur  
průměrná teplota – Durchschnittstemperatur

Odchylky od měsíčních průměrů – Abweichungen von den Monatsdurchschnitten  
Odchylka – Abweichung

Roční průměry – Jahresdurchschnitte  
Měsíční průměry – Monatsdurchschnitte  
Teplota – Temperatur  
měsíční teplota – Monatstemperatur  
průměrná teplota – Durchschnittstemperatur  
Měsíc – Monat

## **Anlage 2**

Verlauf der Wassertemperatur im Profil Moldau-Kořensko in den Jahren 2000–2008

Teplota – Temperatur  
Průměrná měsíční teplota vody – Monatsdurchschnittstemperatur des Wassers  
teplota - Temperatur  
průměrná teplota – Durchschnittstemperatur

Odchylky od měsíčních průměrů – Abweichungen von den Monatsdurchschnitten  
Odchylka – Abweichung

Roční průměry – Jahresdurchschnitte  
Měsíční průměry – Monatsdurchschnitte  
Teplota – Temperatur  
měsíční teplota – Monatstemperatur  
průměrná teplota – Durchschnittstemperatur  
Měsíc – Monat

## **Anlage 3**

Verlauf der Werte der durchschnittlichen monatlichen relativen Feuchte in der Station des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts Temelín in den Jahren 2000–2008

Relativní vlhkost – Relative Feuchte  
relativní vlhkost – relative Feuchte  
průměrná rel. vlhkost – durchschnittliche relative Feuchte

Odchylky od průměru – Abweichungen von den Durchschnittswerten  
Odchylka, procentní body – Abweichung, Prozentpunkte

Roční průměry – Jahresdurchschnitte  
Měsíční průměry – Monatsdurchschnitte  
Relativní vlhkost – Relative Feuchte  
měsíční rel. vlhkost – monatliche relative Feuchte  
průměrná rel. vlhkost – durchschnittliche relative Feuchte  
Měsíc – Monat

#### **Anlage 4**

Verlauf der Werte der Windgeschwindigkeit in der Station des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts Temelín in den Jahren 2000–2008

Průměrná měsíční rychlost větru – Durchschnittliche monatliche Windgeschwindigkeit  
Rychlost větru – Windgeschwindigkeit  
rychlost větru – Windgeschwindigkeit  
průměrná rychlost větru – durchschnittliche Windgeschwindigkeit

Odchylka od měsíčních průměrů – Abweichung von den Monatsdurchschnittswerten  
Odchylka – Abweichung

Roční průměry – Jahresdurchschnitte  
Měsíční průměry – Monatsdurchschnitte  
Rychlost větru – Windgeschwindigkeit  
měsíční rychlost větru – monatliche Windgeschwindigkeit  
průměrná rychlost větru – durchschnittliche Windgeschwindigkeit  
Měsíc – Monat

#### **Anlage 5**

Verlauf der Werte der Bewölkung in der Station des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts Temelín in den Jahren 2000–2008

Průměrná měsíční oblačnost – Durchschnittliche monatliche Bewölkung  
Oblačnost – Bewölkung  
oblačnost – Bewölkung  
průměrná oblačnost – durchschnittliche Bewölkung

Odchylka od měsíčních průměrů – Abweichung von den Monatsdurchschnittswerten  
Odchylka – Abweichung

Roční průměry – Jahresdurchschnitte  
Měsíční průměry – Monatsdurchschnitte  
Oblačnost – Bewölkung  
měsíční oblačnost – monatliche Bewölkung  
průměrná oblačnost – durchschnittliche Bewölkung  
Měsíc – Monat

## **Anlage 6**

Entwicklung der Niederschlagsmenge in der Station des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts Temelín in den Jahren 2000–2008

Měsíční úhrn srážek – Monatliche Niederschlagssumme

Srážky – Niederschläge

srážky – Niederschläge

průměrné měsíční srážky – durchschnittliche monatliche Niederschläge

Odchylka od měsíčních průměrů – Abweichung von den Monatsdurchschnittswerten

Odchylka – Abweichung

Roční úhrny – Jahressummen

Měsíční úhrny – Monatssummen

Roční srážky – Jährliche Niederschläge

Měsíční srážky – Monatliche Niederschläge

měsíční úhrn srážek – Monatssumme der Niederschläge

průměr – Monat

## **Anlage 7**

Durchschnittlicher Zufluss zum Orlík-Stausee in den Jahren 2000–2008

Průměrný denní přítok – Durchschnittlicher täglicher Zufluss

Odchylka od průměrné měsíční hodnoty přítoku – Abweichung vom Monatsdurchschnittswert des Zuflusses

Průměrný roční přítok – Durchschnittlicher jährlicher Zufluss

Průměrný měsíční přítok – Durchschnittlicher monatlicher Zufluss

Měsíc – Monat

## **Anlage 8**

Hydrologische Parameter des Orlík-Stausees in den Jahren 2000–2008

Kóta hladiny – Pegelhöhe

m n.m. – m ü. M.

Průměrný roční objem nádrže – Durchschnittliches jährliches Stausee-Volumen

Průměrný měsíční objem nádrže – Durchschnittliches monatliches Stausee-Volumen

Průměrná roční doba zdržení vody – Durchschnittliche jährliche Verweildauer des Wassers

Průměrná měsíční doba zdržení vody – Durchschnittliche monatliche Verweildauer des Wassers

Měsíc – Monat

## **Anlage 9**

Temperaturverlauf in den einzelnen Profilen und Tiefen des Orlík-Stausees in den Jahren 2000–2008

Teplota – Temperatur  
Hráz – Stauwerk

## **Anlage 10**

Gesamtphosphor-Konzentrationen in verschiedenen Profilen und Tiefen des Orlík-Stausees in den Jahren 2000–2008

$P_{\text{celk}} - P_{\text{ges}}$   
Hráz – Stauwerk

## **Anlage 11**

Menge an Phytoplankton (ausgedrückt mit Hilfe der Chlorophyll-Konzentration) in verschiedenen Profilen des Orlík-Stausees in den Jahren 2000–2008

Chlorofyl – Chlorophyll  
Hráz – Stauwerk

## **Anlage 12**

Sauerstoffkonzentration in verschiedenen Tiefen und Profilen des Orlík-Stausees in den Jahren 2000–2008

Rozpuštěný kyslík – Gelöster Sauerstoff  
Hráz – Stauwerk

## **Anlage 13**

Verlauf der Konzentrationen in der Moldau in Kořensko in den Jahren 2000–2008

Chlorofyl – Chlorophyll  
Fosforečnany – Phosphate  
Dusičnany – Nitrate  
Fosfor celkový – Gesamtphosphor  
 $P_{\text{celk}} - P_{\text{ges}}$

## **Anlage 14**

Verlauf der Tagestemperaturen des Wassers in Kořensko in den Jahren 2000–2009

Vltava – Moldau

OV – AW

Rozdíl OV-Vltava – Differenz AW-Moldau

## **Anlage 15**

Monatsdurchschnittstemperatur des Wassers im Profil Moldau-Kořensko in den Jahren 2000–2009

Průměrná měsíční teplota ( $\pm$  směř. odch. průměru denních hodnot) – Monatsdurchschnittstemperatur ( $\pm$  Standardabweichung der Tagesdurchschnittswerte)

Měsíční průměr rozsahu min-max denních hodnot ( $\pm$  směř. odch. průměru denních hodnot) – Monatsdurchschnitt min-max der Tageswerte ( $\pm$  Standardabweichung der Tagesdurchschnittswerte)

Vltava – Moldau

OV – AW

Rozdíl OV-Vltava – Differenz AW-Moldau

## **Anlage 16**

Einfluss des KKW Temelín auf die Konzentrationen einzelner Bestandteile im Wasser der Moldau in Kořensko in den Jahren 2000–2008

Změna koncentrace P vlivem ETE – Veränderung der P-Konzentration unter dem Einfluss des KKW Temelín

Změna koncentrace RL vlivem ETE – Veränderung der Konzentration gelöster Stoffe (RL) unter dem Einfluss des KKW Temelín

Změna koncentrace N vlivem ETE – Veränderung der N-Konzentration unter dem Einfluss des KKW Temelín

Změna koncentrace NL vlivem ETE – Veränderung der Konzentration ungelöster Stoffe (NL) unter dem Einfluss des KKW Temelín

Změna spotřeby kyslíku vlivem ETE – Veränderung des Sauerstoffverbrauchs unter dem Einfluss des KKW Temelín

BSK – BSB

CHSK – CSB

Změna pH vlivem ETE – Änderung des pH-Werts unter dem Einfluss des KKW Temelín

## **Anlage 17**

Einfluss des KKW Temelín auf die Konzentrationen einzelner Bestandteile im Wasser der Moldau in Kořensko in den Jahren 2000–2008, Jahresdurchschnittswerte

RL – Gelöste Stoffe (RL)

NL – Ungelöste Stoffe (NL)

OV – AW

$N_{\text{celk}} - N_{\text{ges}}$

$P_{\text{celk}} - P_{\text{ges}}$

Změna parametrů vod vlivem ETE – Veränderung der Parameter unter dem Einfluss des KKW Temelín

hodnota – Wert

## Anlage 18

Jahresdurchschnittskonzentrationen und Jahresdurchschnittsmenge der Stoffe im Wasser der Moldau in Kořensko in den Jahren 2000–2008

rok – Jahr

RL – Gelöste Stoffe (RL)

NL – Ungelöste Stoffe (NL)

BSK – BSB

CHSK – CSB

$N_{\text{celk}} - N_{\text{ges}}$

$P_c - P_g$

t/r – t/a

Prozentuelle Erhöhung der Parameter in der Moldau in Kořensko unter dem Einfluss des KKW Temelín (in den Jahren 2004–2008) – Durchschnittswerte nach Monaten

měsíc – Monat

RL – Gelöste Stoffe (RL)

NL – Ungelöste Stoffe (NL)

BSK – BSB

CHSK – CSB

$N_{\text{celk}} - N_{\text{ges}}$

$P_c - P_g$

## Anlage 19

Prozentuelle Veränderung des Wasserdurchflusses in Kořensko für die einzelnen Varianten der Erweiterung des KKW Temelín und für einzelne Klimaszenarien

Současný stav – Derzeitiger Stand

Změna průtoku – Veränderung des Durchflusses

Optimistická varianta – Optimistische Variante

Průměrná varianta – Durchschnittliche Variante

Pesimistická varianta – Pessimistische Variante

Srovnávací varianta – Vergleichsvariante

## Anlage 20

Erhöhung der  $P_{ges}$ -Konzentration am Zufluss zum Orlík-Stausee für einzelne Varianten der Erweiterung des KKW Temelín und für einzelne Klimaszenarien

Současné klima– Derzeitiges Klima

Navýšení koncentrace fosforu – Erhöhung der Phosphorkonzentration

Optimistický scénář – Optimistisches Szenario

Průměrný scénář – Durchschnittsszenario

Pesimistický scénář – Pessimistisches Szenario

## Anlage 21

Prozentuelle Erhöhung der  $P_{ges}$ -Konzentration im Gesamtzufluss zum Orlík-Stausee für einzelne Varianten der Erweiterung des KKW Temelín und für einzelne Klimaszenarien

Změna koncentrace fosforu – Veränderung der Phosphorkonzentration

Optimistický scénář – srovnání s variantou bez ETE – Optimistisches Szenario – Vergleich mit der Variante ohne KKW Temelín

Průměrný scénář – srovnání s variantou bez ETE – Durchschnittsszenario – Vergleich mit der Variante ohne KKW Temelín

Pesimistický scénář – srovnání s variantou bez ETE – Pessimistisches Szenario – Vergleich mit der Variante ohne KKW Temelín

## Anlage 22

Verweildauer des Wassers (Monatsdurchschnittswerte) im Orlík-Stausee für einzelne Szenarien der Erweiterung des KKW Temelín beim derzeitigen Klimaszenario

Doba zdržení, dny – Verweildauer, Tage

## Anlage 23

Einfluss der Erweiterung des KKW Temelín auf die monatlichen Durchflüsse in Kořensko bei verschiedenen Klimaszenarien

Průtok – Durchfluss

minimální měsíční průtoky v devítiletých obdobích – minimale monatliche Durchflüsse in 9-Jahres-Zeiträumen

průtok překračující 2,5 % všech předpokládaných měsíčních průtoků (vodorovnou čarou vyznačena současná hodnota  $Q_{355d}$ ) – Durchfluss über 2,5 % aller vorausgesetzten monatlichen Durchflüsse (durch die waagerechte Linie ist der derzeitige Wert von  $Q_{355d}$  gekennzeichnet)

medián průměrných měsíčních průtoků pro jednotlivé scénáře – Median der durchschnittlichen monatlichen Durchflüsse für einzelne Szenarien  
souč. – derzeit

## **Anlage 24**

Durchschnittliche Durchflüsse und  $P_{ges}$ -Konzentrationen in den Hauptzuflüssen des Orlík-Stausees (mit Ausnahme der Moldau) in den einzelnen Klimaszenarien

Průměrné roční průtoky – Durchschnittliche jährliche Durchflüsse

Průměrné roční koncentrace  $P_{celk}$  – Durchschnittliche Jahreskonzentration von  $P_{ges}$

souč. – derzeit

## **Anlage 25**

Erhöhung der Monatsdurchschnittstemperaturen des Moldauwassers in Kořensko unter dem Einfluss des KKW Temelín

Současné klima– Derzeitiger Stand

Přírůstek teploty – Temperaturzuwachs

Optimistická varianta – Optimistische Variante

Průměrná varianta – Durchschnittsvariante

Pesimistická varianta – Pessimistische Variante

## **Anlage 26**

Beitrag der einzelnen Erweiterungen des KKW Temelín zur Erhöhung der Temperatur des Moldauwassers in Kořensko beim derzeitigen Klimaszenario

příspěvek teploty – Temperaturbeitrag

spodní odchylka – untere Abweichung

průměr – Durchschnitt

horní odchylka – obere Abweichung

## **Anlage 27**

Beitrag der einzelnen Erweiterungen des KKW Temelín zur Erhöhung der Temperatur des Moldauwassers in Kořensko beim pessimistischen Klimaszenario

příspěvek teploty – Temperaturbeitrag

spodní odchylka – untere Abweichung

průměr – Durchschnitt

horní odchylka – obere Abweichung