

PROJEKTIDENTIFIKATIONSBLATT:

Projektbezeichnung: Quecksilber im Zulauf des Stausees Skalka

Projektart: Machbarkeitsstudie

Projektgebiet: Stausee Skalka

Gemeinde mit erweitertem Zuständigkeitsbereich: Cheb

Statistische Einheit NUTS: NUTS 2 – Nordwest (Severozápad)
NUTS 3 – Bezirk Kraj Karlovarský

Auftraggeber: Povodí Ohře, státní podnik

Auftragnehmer: AQUATEST, a.s.

Autorenteam: Dipl.-Ing. František Titl (verantwortlicher Löser)
Dipl.-Ing. Jakub Doucha (Verarbeitung der Teilkapitel)
Mag. Barbora Topinková (Verarbeitung der Teilkapitel)
Bac. Antonín Orgoň (GIS-Aufarbeitung)

INHALT:

1. EINLEITUNG	7
2. AUSPRÄGUNG DES GEBIETES	7
2.1 ALLGEMEINE DATEN ZU DEM GEBIET	7
2.1.1 Geografische Abgrenzung des Gebietes.....	7
2.1.2 Beschreibung des Stausees Skalka.....	8
2.1.3 Eigentumsrechtliche beziehungen.....	11
2.2 NATURVERHÄLTNISSE	12
2.2.1 Hydrologische Daten	12
2.2.2 Geomorphologie des Gebietes	13
2.2.3 Klimatische Bedingungen	14
2.2.4 Betroffene Schutzgebiete.....	15
2.3 PRIMÄRE UND SEKUNDÄRE BELASTUNGSQUELLEN	17
2.4 BISHERIGE ERHEBUNGEN UND ABHILFEMAßNAHMEN.....	18
2.4.1 Monitoring der Wasserqualität.....	18
2.4.2 Quecksilberuntersuchungen in den Grenzgewässern mit der BRD 2010	18
2.4.3 Monitoring der schwebenden Sedimente	19
2.4.4 Monitoring der Sedimente.....	20
2.5 RISIKOBEWERTUNG	20
3. AKTUELL DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN, TESTS, PRÜFUNGEN.....	24
3.1 ZUSAMMENFASSENDE ÜBERSICHT DER DURCHGEFÜHRTEN ARBEITEN.....	24
3.1.1 Wasserprobenahme in den Wasserläufen der Eger und Röslau, im Stausee Skalka und unter dem Damm des Stausees Skalka.....	24
3.1.2 Geodätische Aufnahme und Bestimmung der Sedimentmächtigkeit	24
3.1.3 Sedimentprobenahmen und -analysen	35
3.1.4 Fischprobenahmen und -analysen	41
3.1.5 Erstellung der Datenbasis.....	41
3.1.6 Erkundung der Zufahrtsstraßen.....	41
3.2 ARBEITSERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	41
3.2.1 Bestimmung der Sedimentmenge und -kontaminierung	41
3.2.2 Ergebnisse der Probenahmen und –analysen zum Zweck der Klassifizierung nach dem Abfallgesetz .	42
3.2.3 Ergebnisse der Fischanalysen	43
3.2.4 Auswertung der Archivanalysen	44
3.2.5 Zufahrtsstraßen.....	44

4.	ZIELE UND ZIELPARAMETER DER ABHILFEMAßNAHMEN	46
4.1	ZIELE DER ABHILFEMAßNAHMEN	46
4.2	RECHTLICHER RAHMEN DER SEDIMENTENTFERNUNG	46
5.	MÖGLICHKEITEN DER SEDIMENTSANIERUNG UND LAGERUNG.....	49
5.1	MÖGLICHKEITEN DER SEDIMENTDEKONTAMINATION	49
5.2	MÖGLICHKEITEN DES SEDIMENTABBAUS.....	50
5.3	MÖGLICHKEITEN DER SEDIMENTLAGERUNG	50
6.	GRUNDKONZEPTION DER ABHILFEMAßNAHMEN	51
7.	UMFANGSBILANZ ZUR REALISIERUNG DER ABHILFEMAßNAHMEN.....	53
8.	TECHNISCHE LÖSUNG.....	53
8.1	BESTIMMUNG DER VARIANTEN	53
8.1.1	<i>Variante 1 –Abbau des oberen Stauseeteiles</i>	<i>53</i>
8.1.2	<i>Variante 2 - Abbau des gazon Stausees</i>	<i>54</i>
8.2	ERGÄNZUNGSMÄßNAHMEN GEGEN DAS SEDIMENTABSCHWEMMEN	54
9.	AUSWERTUNG DER VARIANTEN.....	55
10.	ZUSAMMENFASSUNG, SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN.....	59
10.1	IST-STAND-ZUSAMMENFASSUNG.....	59
10.2	ZUSAMMENARBEIT MIT DER BAYERISCHEN SEITE.....	59
10.3	SONSTIGE SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN.....	60
11.	ZITIERTE UND VERWENDETE INFORMATIONSQUELLEN.....	61

ANLAGENVERZEICHNIS

P.1 Projektgebiet - Karlovarský kraj	M 1 : 200 000
P.2 Projektsituation - Wasserwirtschaftskarte	M 1 : 100 000
P.3 Projektsituation – Grundkarte	M 1 : 10 000
D. Anlagen, die die im Rahmen der Studie durchgeführten Untersuchungen und Arbeiten dokumentieren	
D.1 Fotodokumentation der Zufahrtsstraßen	
D.2 Abfallgrundbeschreibung	
D.3 Technischer Bericht – Aufnahme der Sohlensedimentmächtigkeit Stausee Skalka	

VERZEICHNIS DER BILDER IM TEXT:

Bild Nr. 1: Modellquerschnitt des Damms und der Objekte (Quelle. www.poh.cz)	11
Bild Nr. 2: Eigentumsrechtliche Verhältnisse, Gemarkungen in der Umgebung des Stausees Skalka.....	12
Bild Nr. 3: Geologie des Gebietes (Quelle: CENIA).....	13
Bild Nr. 4: Reservat Rathsam am oberen Ende des Stausees Skalka	16
Bild Nr. 5: Hg-Gehalt in den Schwebstoffen – Röslau oberer Bantam	19
Bild. Nr. 6: Hg-Gehalt in den Schwebstoffen – Eger Skalka Abfluss	20
Bild Nr. 7: Aufteilung der Arten der Sohlevermessung und der Sedimentmächtigkeitsmessung	28
Bild Nr. 8: Datenaufnahme für die Bestimmung der Sedimentmächtigkeit.....	30
Bild Nr. 9: TIN Sohlenreliefdarstellung, Vermessung 1951.	31
Bild Nr. 10: TIN Sohlenreliefdarstellung, Vermessung 2011.	32
Bild Nr. 11: Darstellung der Sedimentmächtigkeit nach dem Abzug der Schichten 2011 und 1951	33
Bild Nr. 12: Darstellung der Sedimentmächtigkeit unter Bezugnahme der Prüfabstiche.	34
Bild Nr. 13: Lokalisierung der Sedimentprobenahmestellen	36
Bild Nr. 14: Die nach dem Gewichtschnitt entsprechend der Abnahmestellendmächtigkeit und der Lokalisierung der risikoreichen Sedimente umgerechneten Hg-Gehalte	37
Bild Nr. 15: Fläche mit risikoreichen Sedimenten	42
Bild Nr. 16: Aufteilung des Stausees in Bereiche und Arbeitsabschnitte.....	52

VERZEICHNIS DER TABELLEN IM TEXTPART:

Tabelle Nr. 1: Stausee Skalka aus der Sicht der Einteilung der Oberflächenwasserkörper	8
Tabelle Nr. 2: Grundparameter des Stausees Skalka (Quelle www.poh.cz)	9
Tabelle Nr. 3: Gliederung der Stauseevolumen	9
Tabelle Nr. 4: Grundlegende hydrologische Daten	12
Tabelle Nr. 5: Langzeitnormale der Klimawerte - Zeitraum 1961–1990 – Station Eger (Cheb) (Quelle: ČHMÚ)	14
Tabelle Nr. 6: Extremwerte der meteorologischen Elemente (Quelle: ČHMÚ)	15
Tabelle Nr. 7: Statistische Auswertung der Laboranalysen der Hg-Gehalte in den Sedimenten	20
Tabelle Nr. 8: Lithographische Beschreibung der Sedimente	38
Tabelle Nr. 9: Statistische Darstellung der Quecksilbererhebung in den Sedimenten	39
Tabelle Nr. 10: Aufteilung der Häufigkeit	40
Tabelle Nr. 11: Volumen der risikoreichen Sedimente	42
Tabelle Nr. 12: Anforderungen an den Schadstoffgehalt in den Sedimenten gem. diverser Rechtsvorschriften (mg/kg Trockenmasse)	47
Tabelle Nr. 13: Sedimentgesamtbilanz	53
Tabelle Nr. 14: Bilanz des risikoreichen Sedimentes im oberen Stauseeteil	53
Tabelle Nr. 15: Kosten für die Variante 1A	55
Tabelle Nr. 16: Kosten für die Variante 1B	56
Tabelle Nr. 17: Kosten für die Variante 2A	57
Tabelle Nr. 18: Kosten für die Variante 2B	57
Tabelle Nr. 19: Vergleich der Varianten, Kostenaufstockung um die Sicherheitsreserve	58

1. EINLEITUNG

Die vorgelegte Machbarkeitsstudie wurde auf der Basis des zwischen der Gesellschaft AQUATEST a.s. (Auftragnehmer) und dem Staatsunternehmen für das Flussgebiet Eger (Povodí Ohře, státní podnik) (Auftraggeber) abgeschlossenen Werkvertrages erarbeitet. Die Studie bildet eine Unterlage für die Auswahl einer geeigneten Abhilfemaßnahme und der weiteren zusammenhängenden Arbeiten für die Durchführung der Abhilfemaßnahme, die die Art des Umgangs mit dem Sohlsediment mit erhöhten Quecksilbergehalt im Stausee Skalka löst. Die Studie schließt Erkundungsarbeiten in Form von Sedimentvermessungen und -volumenbestimmungen, chemischen Analysen der Sedimente, des Wassers und der Quecksilbergehalte in den Fischen ein.

Das Projekt wurde durch das Operationelle Programm für grenzübergreifende Zusammenarbeit Ziel 3 Tschechische Republik - Bayern 2007 - 2013 aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

Mit Rücksicht auf die große Ausdehnung der belasteten Umwelt und komplizierte zeitliche und räumliche das ganze Einzugsgebiet des Stausees Skalka involvierende Zusammenhänge geht das Konzept der vorgelegten Machbarkeitsstudie (nachstehend nur MS) frei aus der Methodischen Anweisung des Umweltministeriums „Grundsätze für die Erstellung einer Machbarkeitsstudie für Abhilfemaßnahmen bei mangelhaftem Zustand kontaminierter Standorte“ vom Juni 2007 aus.

Den Inhalt der MS bilden Erkundungsarbeiten und folgende Erkennung, Aufarbeitung, Auswertung und Vergleich von Abhilfemaßnahmenvarianten, die bei der Sicherstellung des gewünschten Maßes der Minimierung der Risiken aus der Sedimentkontaminierung für den Standort in Betracht genommen werden. Die Studie wird in Abstimmung mit dem gleichlaufenden Projekt der bayerischen Seite erarbeitet.

Zu den Hauptzielen der Studie gehören:

- ein Monitoring der Sedimentbelastung, -menge und -verteilung im Stausee
- eine Bewertung der Quecksilberfracht am Zufluss in den Stausee
- eine Untersuchung der Belastung der Fische
- Vorschläge für Abhilfemaßnahmen und ihre Auswertung

2. AUSPRÄGUNG DES GEBIETES

2.1 ALLGEMEINE DATEN ZU DEM GEBIET

2.1.1 GEOGRAFISCHE ABGRENZUNG DES GEBIETES

Gegenstand der Studie ist der Staubereich des Wasserwerkes Skalka, in dem durch Quecksilber belastete Sedimente vorkommen.

Der Stausee Skalka wurde am Fluss Ohře (Eger), Flusskilometer 242,410 hydrolog. Ordnungsnummer 1-13-01-012 im Bezirk Karlovarský kraj bei der Stadt Cheb (Eger) aufgebaut.

Der Stausee Skalka hat das Einzugsgebiet 672,52 km², wobei ungefähr 608,14 km² (d. h. ca. 90,4 %) auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland liegen.

Die Hauptzuflüsse in den Stausee sind die Eger und die Röslau. Die Eger hat bis zum Zusammenlauf mit der Röslau eine Flussgebietsfläche von 323,8 km², die Röslau bis zur Mündung ca. 314 km². Den Hauptzufluss der Röslau bildet der Fluss Kössein, der durch die Stadt Marktrechwitz fließt, in der sich die Verseuchungsquelle - die Quecksilber und seine Verbindungen produzierende Chemische Fabrik - befand.

Der Rest des Flussgebietes wird mit kleineren Stauseezuflüssen auf dem tschechischen Gebiet entwässert. Das Wassereinzugsgebiet fasst auf der tschechischen Seite 64,38 km² um. Die nahe Stauseeumgebung stellt eine Kulturlandschaft dar – Gemeinden, Landwirtschafts- und Forstflächen. In der nahen Stauseeumgebung befinden sich Gemeinden und Erholungsgebiete (Wochenendhäuser).

Nach der NUTS-Klassifikation liegt der Stausee Skalka in der Region Severozápad (NUTS II - CZ04) Bezirk Karlovarský kraj (NUTS III - CZ041).

Aus der Sicht der Oberflächenwassereinteilung in Wasserkörper (Quelle: Gebietsplan - Einzugsgebiete Ohře (Eger) und Dolní Labe (Untere Elbe) handelt es sich um folgende Wasserkörper:

Tabelle Nr. 1: Stausee Skalka aus der Sicht der Einteilung der Oberflächenwasserkörper

L. Nr.	OWK-Nr.	Oberflächenwasserkörper stehende Gewässer	Hauptstromgebiet	OWK-Art	Tiefe (m)	Verweildauer (Tage)	
138	113010120001	Stausee Skalka	Elbe	421222	3-15	10-365	

L. Nr.	OWK-Nr.	Oberflächenwasserkörper Fließgewässer	OWK-Fläche (km ²)	OWK-Fläche in CZ (km ²)	Hauptstromgebiet	Land
6	13972000	Röslau bis zu Mündung in die Eger	316,162	13,179	Labe	D (Bayern)
7	13979000	Eger bis zum Zusammenlauf mit dem Bach Slatinský potok	28,018	28,018	Labe	CZ

2.1.2 BESCHREIBUNG DES STAUSEES SKALKA

Der Stausee Skalka ist Bestandteil des Wasserwirtschaftssystems Skalka – Jesenice – Nechanice. Der Hauptzweck des Stausees Skalka ist in Mitwirkung mit dem Becken Jesenice die Ausgleichsbesserstellung der Durchflüsse in der Eger bis zum Profil Kaaden (Kadaň) (Wasserversorgung der Heizwerke und der Industrieunternehmen), d. h. Sorge für Mindestdurchflüsse in der Eger in den Profilen Eger (Cheb), Karlsbad (Karlovy Vary) und Kaaden (Kadaň).

Die nächste Hauptaufgabe des Stausees besteht im anteiligen Hochwasserschutz unter dem Dammprofil.

Weitere Bestimmungen des Stausees Skalka sind Stromerzeugung und Nacherholung einschl. der Wassersporte und nicht zuletzt auch Schaffung von Bedingungen für die Fischzuchtwirtschaft im Stausee im Rahmen des Außer-Forelle-Angelreviers Nr. 431 040 Eger 19.

Weitere Aufgabe des Stausees Skalka ist ebenfalls der Abbau der Folgen im Falle einer katastrophalen Verschlechterung der Wasserqualität in der Eger (mit der Erhöhung des Durchflusses wird eventuelle katastrophale Verseuchung verdünnt und wenigstens der Mindestgehalt aufgelösten Wasserstoffes im Wasser und hiermit auch die selbstreinigende Fähigkeit des Wassers in der Eger bleiben erhalten).

Der Bau des Stausees an der Eger am Fluss-km 242,41 wurde im Dezember 1964 abgeschlossen. Die volle Flutung wurde schon im November 1964 erreicht.

Der Stausee Skalka ist gem. der Verordnung des Landwirtschaftsministeriums Nr. 471/2001 GBl. für die fachtechnische Sicherheitsaufsicht über die Wasserwerke vom 14.12.2001 ein Wasserwerk der I. Kategorie.

Die grundlegenden hydrologischen Parameter und die Volumengliederung des Stausees Skalka befinden sich in den folgenden Tabellen:

Tabelle Nr. 2: Grundparameter des Stausees Skalka (Quelle www.poh.cz)

Hydrologische Daten	
Einzugsgebietsfläche /A/	671,92 km ²
Langfristige Durchschnittsjahresniederschläge /P _a /	760 mm
Langfristige Durchschnittsjahresdurchflüsse /Q _a /	6220 l/s
Durchschnittlicher 355-tages-Durchfluss** /Q _{355d} /	950 l/s
Hundertjähriger Durchfluss /Q ₁₀₀ /	277 m ³ /s
Abflussvermögen	
Minstdurchfluss unter dem Damm /MQ/ im Profil der Pegelstation Eger (Cheb)	1 m ³ /s
Ungefährlicher Durchfluss unter dem Stausee /O _{nes} /	45 m ³ /s

Tabelle Nr. 3: Gliederung der Stauseevolumen

Gliederung der Stauseevolumen			
Parameter	Spiegelhöhe	Vol.	Stau- bereich
	[m. ü. M.]	[Mio. m ³]	[ha]
Raum der ständigen Stauung	430,00 – 435,60	0,911	73
Nutzraum – Sommer (VII. – IX.)	435,60 – 442,20	13,659	333,7
Nutzraum – Winter (I. – III.)	435,60 – 437,60	2,424	183
Steuerbarer Schutzraum – Sommer (VII. – IX.)	442,20 – 442,60	1,349	340
Steuerbarer Schutzraum – Winter (I. – III.)	437,60 – 442,60	12,554	340
Steuerbarer Schutzraum insgesamt	430,00 – 442,60	15,919	340
Nichtsteuerbarer Schutzraum	442,60 – 443,60	3,636	378
Stauseegesamt volumen	430,00 – 443,60	19,555	378

Das Stauwerk des Stausees Skalka wird mit einem direkten Steinschüttdamm mit wasserseitiger Betondichtungsschale gebildet. Die Höhe der Dammkrone ist 444,60 m. ü. M., Länge 115 m und Breite in der Krone 4 m. Die Dammmaximalhöhe über dem Gelände ist 14,6 m.

An der Sohle des Stausees befinden sich zwei Ablassöffnungen mit dem Durchmesser DN 1200 mm. Die Kapazität dieser Ausläufe beträgt beim Spiegel des Sommerbestands $2 \times 12,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Der Hochwasserüberführung dienen zwei Sicherheitsüberläufe. Der ursprüngliche Überlauf hat einen Stahlschieber, der mit einem elektrisch betriebenen Hebewerk mit Gallketten gesteuert wird. Die Breite der Wehrkante ist 9,5 m, die Höhe der Festwehrkrone 435,60 m. ü. M. und die Schieberhöhe 7,0 m. Die Gesamtkapazität dieses Überlaufs mit dem Schieber beim Stauseehöchstspiegel beträgt $390 \text{ m}^3/\text{s}$. Der ergänzende Überlauf hat eine hohle Wehrklappe mit hydraulischem Antrieb. Die Kronenhöhe der gesenkten Klappe ist 438 m. ü. M., die Klappenbreite 7 m und Klappenhöhe 4,6 – 4,8 m. Die Gesamtkapazität des Überlaufs mit der gesenkten Klappe beim Stauseehöchstspiegel beträgt $169 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Gesamtkapazität der beiden Überläufe beim Stauseehöchstspiegel beträgt $559 \text{ m}^3/\text{s}$.

An dem Stausee Skalka befindet sich ein kleines Wasserkraftwerk Skalka. Das Wasserkraftwerk Skalka liegt am rechten Ufer in einem neuen Objekt. Für die Umwandlung der Wasserenergie sorgen zwei horizontale Kaplan-turbinen der S-Bauart mit dem Gefälle von 4,7-9,7 m und mit der Höchstschluckwassermenge von $2 \times 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Turbinen werden durch einen Drehstrominduktionsgenerator mit einem Kurzschlussläufer mit installierter Leistung $2 \times 350 \text{ kW}$ angetrieben.

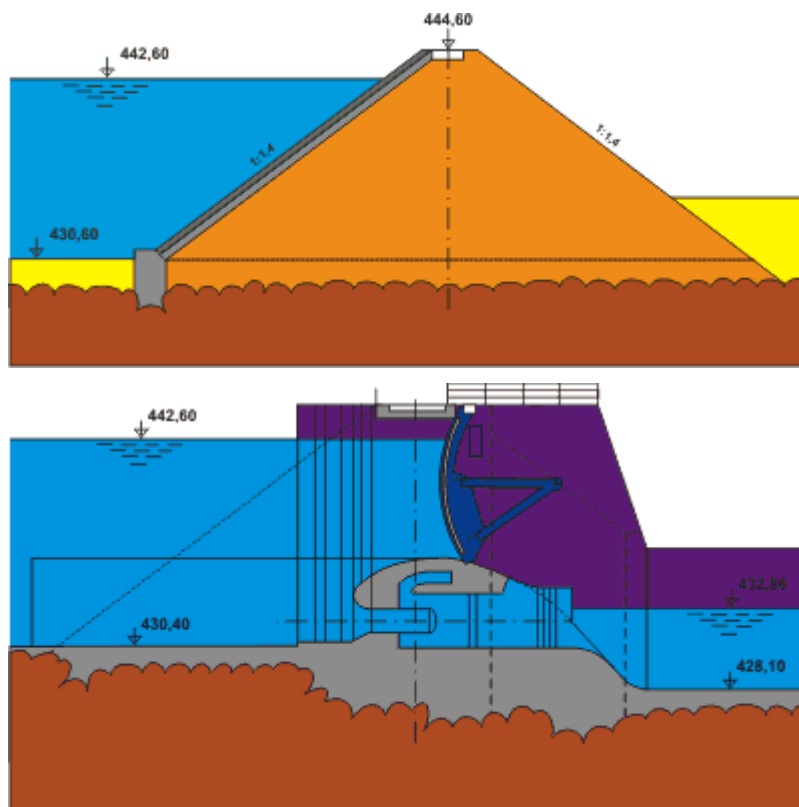


Bild Nr. 1: Modellquerschnitt des Damms und der Objekte (Quelle. www.poh.cz)

2.1.3 EIGENTUMSRECHTLICHE BEZIEHUNGEN

Der Stausee Skalka befindet sich im Gemeindeflur Cheb 650919 auf Grundstücken Nr. 514/1 (Fläche 1 147 691 m²), 514/4 (Fläche 2 355 014 m²) und 514/19 (Fläche 375 406 m²). Diese Grundstücke sind im Besitz der Tschechischen Republik und bewirtschaftet werden sie durch das staatliche Unternehmen Povodí Ohře, státní podnik, Bezručova 4219, Chomutov, 430 03. Der Stauseekörper mit technischen Objekten und das Strombett der Eger oberhalb und unterhalb des Stausees befinden sich ebenfalls im Eigentum dieses Unternehmens. Die Grundstücke in der Stauseeumgebung liegen in Gemeindefluren Skalka u Chebu, Cetnov, Bříza nad Ohří, Pomezná, Rybáře u Libé, Pomezí nad Ohří, Dolní Hranická, Tůně und Podhoří u Chebu.



Bild Nr. 2: Eigentumsrechtliche Verhältnisse, Gemarkungen in der Umgebung des Stausees Skalka

2.2 NATURVERHÄLTNISSE

2.2.1 HYDROLOGISCHE DATEN

Die grundlegenden hydrologischen Daten wurden aus [3] für den Profil Stausee Skalka entnommen.

Tabelle Nr. 4: Grundlegende hydrologische Daten

A (km ²)	Q _a (m ³ /s)	N-jährige Durchflüsse (m ³ /s)				
		Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
689	6,32	71	134	165	244	280

Anm.: Die Daten gelten für das Profil des Stausees Skalka, Wasserlauf Eger, Wasserrangnummer 1-13-01-014, Aktualisierungsdatum 03/2006

A (km ²)	M-Tagesdurchflüsse (Q _{Md}) in l/s												
	Q _{M30}	Q _{M60}	Q _{M90}	Q _{M120}	Q _{M150}	Q _{M180}	Q _{M210}	Q _{M240}	Q _{M270}	Q _{M300}	Q _{M330}	Q _{M355}	Q _{M364}
671,9	13900	9880	7770	6400	5340	4470	3790	3170	2610	2110	1550	950	510

Anm.: Die Daten gelten für das Profil des Stausees Skalka, Wasserlauf Eger, Wasserrangnummer 1-13-01-012

2.2.2 GEOMORPHOLOGIE DES GEBIETES

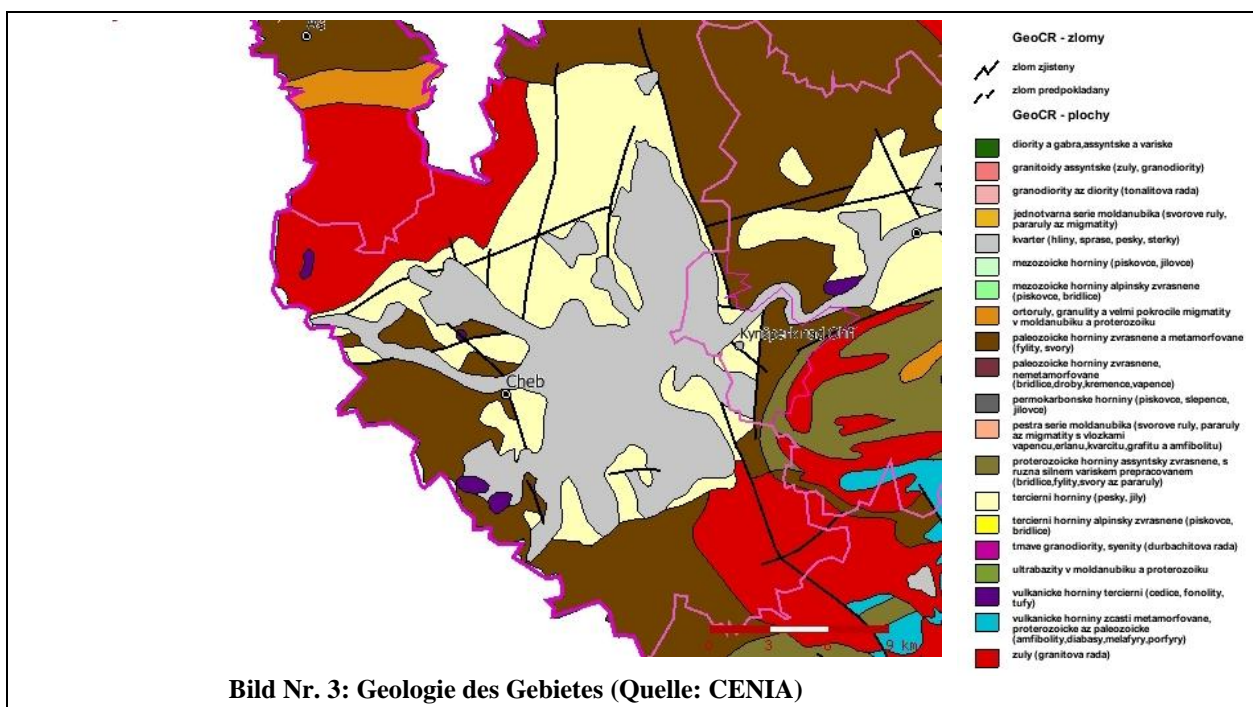
Aus geomorphologischer Sicht wird das Einzugsgebiet des Stausees Skalka in die Erzgebirgs-Subprovinz und weiter nach der angeführten geomorphologischen Klassifizierung eingestuft

- System: Herzynisches System
- Untersystem: Böhmisches Hochland
- Provinz: Böhmisches Hochland
- Unterprovinz: Erzgebirgs-Subprovinz
- Gebiet: Erzgebirgevorland 8 – **Egerer Becken**

Erzgebirgs-Gebirgsland 7 – **Einheit Fichtelgebirge**

- Untereinheit Hazlovská vrchovina
- Untereinheit Ašská vrchovina
- Untereinheit Chebská pahorkatina

Das Quellengebiet des böhmischen Teiles des Einzugsgebiets und die meisten Südufer des Stausees Skalka befinden sich in der Einheit Fichtelgebirge (Smrčiny). Nur ein Teil des Einzugsgebiets, der vom Norden an den Stauseezulauf angrenzt, liegt in der Einheit Egerbecken (Chebská pánev).



2.2.3 KLIMATISCHE BEDINGUNGEN

Der Bezirk Karlovarský kraj kann mehreren Gebieten mit typischen klimatischen Merkmalen zugeordnet werden. Die Ursache für die Anordnung der Klimagebiete ist die veränderliche Seehöhe, der Regenschatten des Grenzgebirges und weitere mesoklimatische Einflüsse.

2.2.3.1 TEMPERATUREN

Mit seiner Lage fällt das Einzugsgebiet des Stausees Skalka in das mäßig warme, mäßig feuchte Klimagebiet - MT2 (Klassifizierung nach dem Quitt). In der Richtung zu dem Ascher Zipfel (Ašský výběžek) und dem Erzgebirge greift es in das mäßig warme, feuchte Hügellandgebiet - MT4.

Es handelt sich um ein mäßig warmes Gebiet mit ausgeprägtem mitteleuropäischem Klima, mit mildem Sommer und mildem Winter. Durchschnittliche Jahrestemperatur bewegt sich in dieser Region im Bereich 7 - 8°C und die Jahresniederschlagssumme im Bereich 550 – 700 mm. Am wärmsten ist es in tieferen Lagen der Eger; in der Richtung zu dem Ascher Zipfel (Ašský výběžek) im Bereich der Fichtelgebirge (Smrčiny) wird die Durchschnittstemperatur niedriger.

2.2.3.2 NIEDERSCHLÄGE UND DAS LANGZEITKLIMANORMAL

Die Jahresniederschlagssumme, ähnlich wie in anderen Gebieten der CZ, oszilliert in den letzten Jahren stärker. Nach dem Tschechischen hydrometeorologischen Institut (ČHMÚ) betrugen die Durchschnittsniederschläge 2008 im Bezirk Karlovarský kraj 717 mm.

Tabelle Nr. 5: Langzeitnormale der Klimawerte - Zeitraum 1961–1990 – Station Eger (Cheb) (Quelle: ČHMÚ)

Monat												Jahr
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Durchschnittliche Lufttemperatur (° C)												
-2,5	-1,2	2,4	6,7	11,7	15,0	16,5	15,8	12,5	7,8	2,4	-1,0	7,2
Niederschlagssumme (mm)												
36,0	29,4	34,8	38,3	56,0	66,6	59,2	68,9	48,4	37,5	41,1	43,9	560,1
Sonnenscheindauer (h)												
38,9	65,4	107,2	141,9	183,4	187,6	195,9	185,4	139,4	103,7	40,0	31,3	1420,1

Im Vergleich mit dem Langzeitklimanormal (1961-1990) gab es 2008 eine durchschnittliche Niederschlagssumme von 105 % des Normalen.

In den Jahren 1998 – 2002 konnte im Vergleich der Niederschlagssummen mit dem Langzeitklimanormal eine steigende Tendenz verzeichnet werden. Diese Tendenz ist in den nächsten Jahren aber nicht weiter gegangen und bei einem Vergleich von Langzeitergebnissen der Jahre 1995 – 2008 des Staatsunternehmens Povodí Ohře, s.p. mit den Ergebnissen des ČHMÚ ist es zu keinem markanteren

Abweichungstrend von den Normalwerten gekommen. Wichtiger ist aber der Anstieg der Oszillationsamplitude gegenüber dem Langzeitnormal.

Die folgende Tabelle führt einige in der meteorologischen Station des ČHMÚ – Eger (Cheb) aufgenommene Klimaextremwerte an.

Tabelle Nr. 6: Extremwerte der meteorologischen Elemente (Quelle: ČHMÚ)

Jahr	Die höchste Tageshöchstlufttemperatur		Die tiefste Tagesmindestlufttemperatur		Höchste Tagesniederschlagssumme		Höchste Tagesschneehöhe	
	°C	Messdatum	°C	Messdatum	mm	Messdatum	cm	Messdatum
1999	32,2	5.7.	-14,9	12.2.	26,4	2.6.	14	18.2.
2000	34,7	21.6.	-17,0	24.1.	19,7	1.10.	9	19.2.
2001	31,5	15.8.	-13,1	24.12.	71,4	7.7.	26	31.12.
2002	31,8	20.6.	-22,6	6.1.	27,5	11.8.	31	1.1.
2003	35,6	13.8.	-15,7	18.2.	21,9	11.9.	15	3.2.
2004	31,6	12.8.	-20,4	24.1.	40,2	8.7.	15	7.1.
2005	34,7	29.7.	-17,2	2.3.	36,5	14.8.	19	13.3.
2006	34,1	20.7.	-15,9	19.1.	30,5	27.5.	27	11.2.
2007	35,8	16.7.	-11,6	26.1.	53,6	28.5.	17	27.1.
2008	31,5	22.6.	-10,5	17.2.	38,6	11.4.	15	13.12.

2.2.4 BETROFFENE SCHUTZGEBIETE

Am westlichen Rande des Projektgebietes befindet sich das Naturreservat Rathsam [8].

Das Naturreservat Rathsam (1990 als Naturgebilde und 1998 als Reservat erklärt, Code 1259, Kategorie PR, Größe 49,31 ha) schützt den mäandrierenden Zusammenlauf der Eger und Röslau und die anliegenden Sümpfe. Der östliche Teil des Reservates wurde in der Vergangenheit durch den Ausbau von Grenzsperren beeinträchtigt. Im südlichen Teil des Reservates am linken Ufer des in die Eger mündenden Grenzflusses Röslau befand sich noch am Ende des Krieges die Gemeinde Rathsam. Es handelte sich um eine kleinere Siedlung mit 16 Häusern und ca. 80 deutschen Bewohnern. Nach der Aussiedlung 1945 wurde sie nicht mehr neu besiedelt und ist so schnell erloschen, dass sie nicht einmal einen tschechischen Namen bekommen hat. Der Raum der Siedlung Rathsam ist mit der Zeit in Wiesen umgewandelt und gegenwärtig gibt es nicht einmal die ursprünglichen Zugangswege.

Das Reservat ist ein wertvolles System von Lebensräumen, die für ein breites Spektrum an Pflanzen- und Tierarten geeignet sind. Der Wert von Rathsam besteht vor allem in geringer Beeinträchtigung der Naturhabitate, die eine wichtige biologische mit ihrer Bedeutung die Grenze der Region überschreitende Ganzheit bilden. Die Gesamtbilanz des

Naturreservates Rathsam ist keineswegs unerheblich. Markant überwiegt hier die Qualität der tierischen Fraktion. Zu den Tierarten, wie z. B. dem Flußbieber, der Fischotter, der Flussmuschel und mehreren Rohrsängerarten, kommen noch einige seltenere Fischarten, wie z. B. der Rapfen, und von den Vögeln dann sicher der Eisvogel und der Pirol hinzu. Es wurde auch die Ringelnatter gesichtet, die in der Egerregion seltener, als woanders vorkommt. Ein selbstständiger und im gewissen Maße einzigartiger Lebensraum ist die ehemalige Sandgrube in Pomezná, die im Schutzstreifen des Reservates liegt und als ein wichtiges Landschaftselement erfasst wurde.

Die hiesige Fauna zählt mehr als 20 Libellenarten (z. B. die Gebänderte Heidelibelle, die Sibirische Winterlibelle, u. w.) und vor allem eine außerordentlich artenreiche Vertretung der Amphibien (insgesamt 10 Arten), die sich hier in den dauerhaft versumpften Vertiefungen erfolgreich vermehren. Erwähnenswert sind sicher z. B. die Kreuzkröte, die Knoblauchkröte, der Laubfrosch und der Kammmolch.

Die nicht so vielfältige Bewachung des Reservates bildet vor allem geeignete Bedingungen für die hier lebenden seltenen Tierarten. Gattungsmäßig interessanter ist vor allem das Unterholz des Hangwaldes bei Pomezná (Wald-Reitgras, Dunkles Lungenkraut, Schuppenwurz, Große Sternmiere, Moschuskraut) und einige Flächen in Sümpfen und Feuchtwiesen, wo z. B. die Gemeine Betonie, die Kümmel-Silge, Sumpf-Storchschnabel oder die Sumpf-Iris verzeichnet wurden. Für die Bestände der breiten Flussauen bildet ein Problem die Verbreitung von konkurrenzstarken Pflanzenarten, die die Pflanzengemeinschaftsvielfalt allmählich unterdrücken. Zu den gehören z. B. das nicht nur bei uns heimische Gras, das Rohrglanzgras, aber auch das nicht ursprüngliche Drüsige Springkraut. Eine Lösung für die sich ausbreitende Pflanzenuniformität im Reservat wäre vielleicht die erneute extensive Mahd oder die Beweidung der Wiesen auf den Egerauen, die den Schwerpunkt im Managementplan für Rathsam bilden.

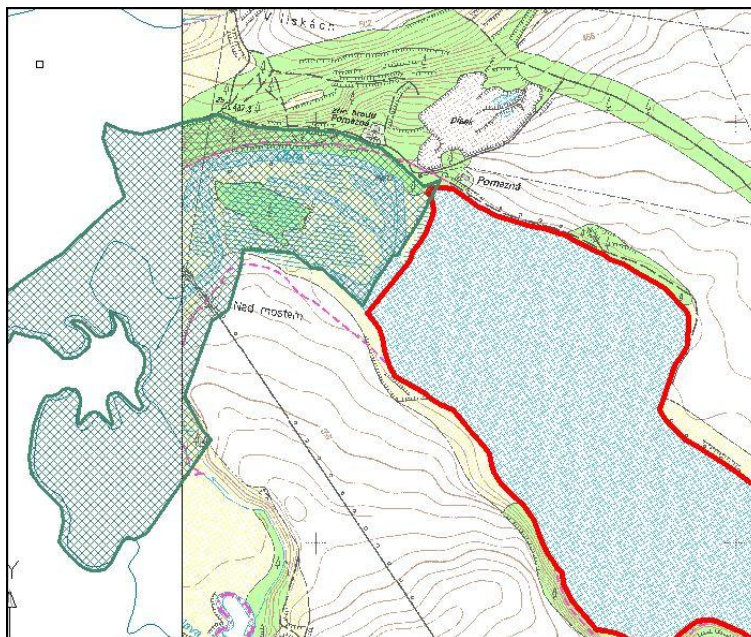


Bild Nr. 4: Reservat Rathsam am oberen Ende des Stausees Skalka

2.3 PRIMÄRE UND SEKUNDÄRE BELASTUNGSQUELLEN

Primäre Quelle der anthropogenen Verseuchung des Stausees Skalka war die Chemische Fabrik Marktrewitz, wo in den Jahren 1788-1985 anorganische und organische Quecksilberverbindungen hergestellt wurden. Während der Produktion kam es zu Stoffentweichungen und allmählicher Verseuchung des Bodens unter dem Standort. Das Quecksilber verseuchte auch den Fluss Kösse, in den die Regenabwasserleitung aus dem Standort mündete. Die Kösse ist der Hauptzufluss der Röslau. Die Röslau und folgend die Eger wurden fast 200 Jahre mit Quecksilber belastet.

Nach dem Quecksilbereintrag in den Aufnehmer haben sich die Quecksilberverbindungen an die Sedimentpartikel gebunden und sind in diverse chemische Bindungen eingetreten. Aus den verseuchten Flusssedimenten – Schwebstoffen – sind dann sekundäre Belastungsquellen entstanden. Die wurden und werden bei höheren Durchflüssen abgetragen und in Bewegung gebracht und bei niedrigeren Durchflüssen auf Flussauen, in den ausbuchtenden Krümmungen und Staubecken oberhalb der Wasserlaufstauwerke regelmäßig abgesetzt. Mit Rücksicht auf den lang dauernden Betrieb des chemischen Werkes ist es so zu allmählicher Belastung der Sedimente und Böden der Auen der Kösse, Röslau und Eger gekommen. Der Stausee Skalka ist das erste große Wasserbecken unter der primären Quelle und so kam und kommt es hier zur Endabsetzung der meisten Schwebstoffe aus dem verseuchten Stromgebiet.

1985 wurde in der Chemischen Fabrik Marktrewitz die Produktion stillgelegt und 1996 wurde eine Sanierung der kontaminierten Böden unter dem Standort durchgeführt. Gegenwärtig befinden sich da Handelsräume und ein Parkplatzgebäude. Nach der Sanierung des Chemiewerkes wurden auch die verseuchten Sedimente aus der Kösse ausgebagert und das Ausbaggern der verseuchten Staubecken an der Röslau begonnen.

Ursache für die erhöhte sekundäre Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentbelastung in den letzten Jahren ist der gegenwärtige Trend der Revitalisierung und Lockerung der Röslau-Ufer, wo es zu Änderungen des Schwebstoffzustandes kommt. So werden die Ufer wahrscheinlich stärker abgetragen und in den Stausee im höheren Maße Sedimente eingetragen. Diese Entwicklung ist z. B. im Raum der Gemeinde Wölsau (Marktrewitz) festzustellen, wo an der Kösse nach der Entfernung des Uferdeckwerks eine Abtragung des linken Ufers und Beginn der Mäanderbildung zu sehen sind. Im Stromgebiet der Flüsse Kösse und Röslau gibt es mehrere Stellen, wo es zu spontaner oder ausgelöster Erosion und kommt. Nach den Informationen der deutschen Seite erreicht die Quecksilberkontamination in den Böden in Größenordnung Hunderte von mg/kg. Die Lokalisierung und Nachweisung dieser Quellen sekundärer Belastung führt die deutsche Seite in ihrem Projektteil durch. Die Ergebnisse dieser Geländeerkundungen werden nach dem Projektabschluss sicherlich der tschechischen Seite übergeben.

An der höheren Verfrachtung der kontaminierten Sedimente und Schwebstoffe hat sich in der Vergangenheit im großen Maße auch die Stilllegung und Sanierung des ehemaligen Wärmekraftwerkes Arzberg an der Röslau beteiligt, wo es zu umfangreichen Massentransporten aus den früheren Betriebswasserteichen, zum Sedimentabbau aus diesen Becken und zur Entsorgung und Rekultivierung der Aschedeponie gekommen ist.

Sedimente mit höherem Hg-Gehalt sind oder werden im Überschwemmungsgebiet der folgenden Wasserläufe zu finden:

- a) Fluss Kösse in von Marktrechwitz bis zur Einmündung in die Röslau
- b) Fluss Röslau von dem Zusammenfluss mit der Kösse in bis zur Einmündung in die Eger
- c) und ohne Zweifel im Überschwemmungsgebiet der Eger von dem Zusammenfluss mit der Röslau bis zur Einmündung in den Stausee Skalka;
- d) im Staubereich des Wasserwerkes Skalka
- e) in den Sedimenten im Überschwemmungsgebiet der Eger unter dem Stausee Skalka.

2.4 BISHERRIGE ERHEBUNGEN UND ABHILFEMAßNAHMEN

2.4.1 MONITORING DER WASSERQUALITÄT

Angaben zu der Wasserqualität sind seit 1990 in den Datenbanken des Staatsunternehmens Povodí Ohře, s.p. zur Verfügung. Die Wasserqualität wird anhand von mehreren Parametern (einschl. Blattgrün) 1 x pro Monat wie an den Stauseezuläufen als auch am Ablauf erfasst. Weiter wird das Wasser direkt in dem Stausee monitoriert. Das Profil der Eger (die Grenze, die der Eintritt der Eger in den Stausee repräsentiert), das Profil der Röslau Pomezí (die Grenze, die der Eintritt der Röslau in den Stausee repräsentiert) und das Profil des Stausees Skalka (Ablauf) werden regelmäßig untersucht. Außerdem werden seit 2004 im eigenen Stausee in der Sommerzeit (wo der nicht gefrorene Stauseespiegel ohne Gefahr zugänglich ist) an drei Stellen – am Damm, in der Stauseemitte und in der sog. Mischzone am Anfang der Stauung – Zonierungen durchgeführt. Am Damm werden 4 Horizonte monitoriert, in der Stauseemitte 3 Horizonte und in der Mischzone, wo die Tiefe nicht mehr als 3 m beträgt, wird die Wasserqualität auf dem Spiegel und auf der Sohle geprüft. Die Wasserklarheit wird seit 2002 gemessen. Die Angaben zur Wasser- und Lufttemperatur werden langfristig aufgezeichnet und sind in der Steuerstelle des Staatsunternehmens Povodí Ohře, s.p. zur Verfügung.

2.4.2 QUECKSILBERUNTERSUCHUNGEN IN DEN GRENZGEWÄSSERN MIT DER BRD 2010

2010 wurde durch das Staatsunternehmen Povodí Ohře eine Quecksilbererhebung im Wasser, in den Sedimenten und in der Fischmuskelfmasse durchgeführt [4].

Untersuchungen der Quecksilbergehalte im Wasser. Aus den Messungen 2010 und Langzeitmessungen ergibt sich, dass die Hg-Belastung der Eger im Profil unterhalb des Zusammenlaufs mit der Röslau ganz geringfügig ist (unter 0,05 µg Hg/l.)

Die Ergebnisse der Untersuchungen des Profils an der Röslau weisen einen erhöhten Quecksilbergehalt im Wasser auf. Die höchsten Werte 2010 wurden im März (0,43 µg Hg/l) und September (1,22 µg Hg/l) aufgezeichnet.

Im Zeitraum 1977-2010 kommt es eher zur Senkung der Konzentrationen, aber 2010 wurde seit 1998 der höchste Jahresdurchschnitt festgestellt und zwar 0,20 µg Hg/l.

Untersuchungen der Quecksilbergehalte in den Sedimenten 2010. Die Sedimente werden seit 1983 in den oberhalb der Sohle der Röslau installierten Abnahmeanlagen abgenommen. 2010 wurde seit dem Beginn der Messungen der bisher höchste Durchschnittswert von 435 mg Hg/kg org. Trockenmasse festgestellt. Gemessen werden auch die Werte am Ablauf aus dem Stausee Skalka.

Untersuchungen der Quecksilbergehalte in den Fischen 2011. Höhere Quecksilberkonzentrationen in der Muskelmasse wurden hauptsächlich bei Raubfischen festgestellt. Der Soll-Grenzwert von 1 mg/kg wurde bei den Raubfischen mehr als zweifach überschritten.

Die Ergebnisse der Betrachtungen 2011 bezeichnen, dass die Quecksilberbelastung in der Röslau nicht zurückgeht. Die in diesem Jahr ermittelten Werte gehören zu den höchsten seit dem Anfang der Untersuchungen.

2.4.3 MONITORING DER SCHWEBENDEN SEDIMENTE

Das Monitoring der schwebenden Sedimente führt der Auftraggeber kontinuierlich seit mehreren Jahren durch. 2010 wurden schwimmende Probeabnahmegерäte installiert, die mit den in Bayern eingesetzten identisch sind. Die durch den Auftraggeber vorgelegten Analysen der schwebenden Sedimente belegen, dass der Quecksilbergehalt in den Schwebstoffen in den Wintermonaten unter erhöhten Durchflüssen regelmäßig ansteigt. Aus Laborergebnissen ergibt sich, dass auch in schwebenden Sedimenten unter dem Damm des Stausees Skalka ein Hg-Gehalt in Werten von Einheiten von mg/kg verzeichnet wird.

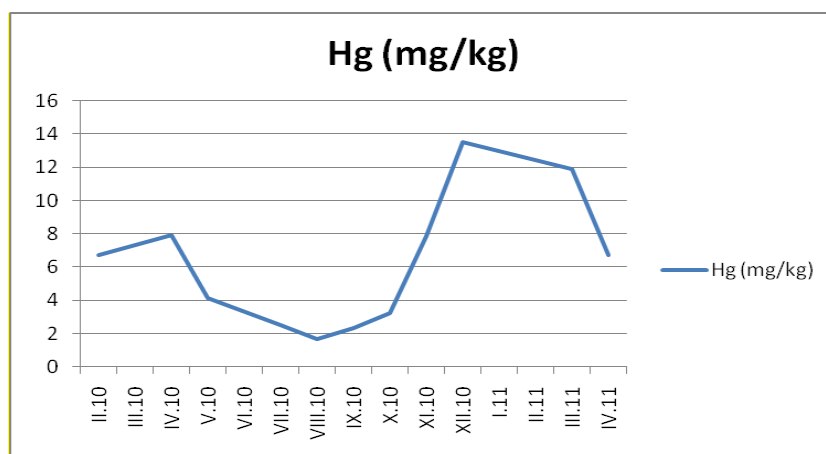


Bild Nr. 5: Hg-Gehalt in den Schwebstoffen – Röslau oberer Bantam

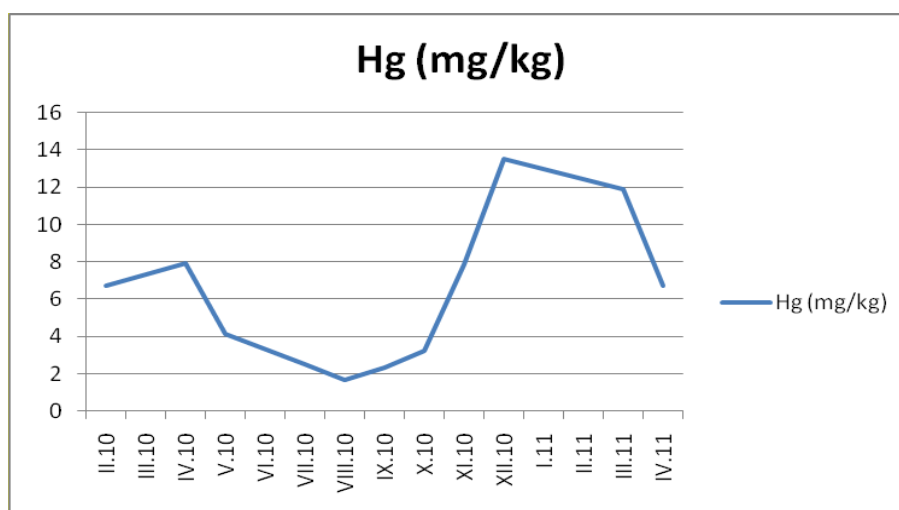


Bild. Nr. 6: Hg-Gehalt in den Schwebstoffen – Eger Skalka Abfluss

2.4.4 MONITORING DER SEDIMENTE

Die vorgelegte Archivlabortestsergebnisse der Sedimente aus dem Stausee Skalka enthalten, genauso wie die Analysen der neuen im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Proben, ziemlich ungleichartige Kennzahlen der Datenbestände. Eine grundlegende statistische Darstellung befindet sich in der folgenden Tabelle.

Probenanzahl	168
Minimum	1,78
Maximum	84,5
Bereich	82,72
Durchschnitt	12,9
Standardabweichung	15,83
Variationsbeiwert	1,22723
Schiefte	2,717
Wölbung	6,963
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,34

Tabelle Nr. 7: Statistische Auswertung der Laboranalysen der Hg-Gehalte in den Sedimenten

2.5 RISIKOBEWERTUNG

Das Quecksilber und seine Verbindungen gehören zu den giftigsten in Ökosystemen vorkommenden Stoffen. Ihr Auftreten und ihre Verfrachtung unterscheidet sich von anderen Schwermetallen aufgrund der hohen Dampftension des elementaren Quecksilbers.

und hoher Reaktivität der Quecksilberionen mit den Alkyl- und Thiolentgruppen enthaltenden Verbindungen.

Das Quecksilber kommt in Ökosystemen in vielen chemischen Formen vor, die sich durch ihre chemischen, physikalischen und auch toxikologischen Eigenschaften gegenseitig unterscheiden. Aus den anorganischen aufgelösten Quecksilberformen kommen elementare $\text{Hg}(0)$, Hg^{2+} , $[\text{HgOH}]^+$, $[\text{Hg}(\text{OH})_2](\text{aq})$ und Chlorokomplexe vor, die vor allem bei höheren Konzentrationen der Chloride im Wasser dominieren, wo gleichzeitig die Konzentration des Hg^{2+} -Iones unerheblich ist. Chlorokomplexe sind sehr stabil und maskieren die Reaktivität des Cl^- -Iones. In der Atmosphäre kommen über 95 % elementaren Quecksilbers vor, in den Sedimenten und Oberflächengewässern erscheint das Quecksilber im Gegenteil meistens im Oxidationszustand +II und zwar vor allem in der Bindung an $-\text{SH}$ -Thiolgruppen enthaltende Ligande. In kleinen Mengen kommt das Quecksilber im Wasser im gasförmigen Zustand vor, aber mit Rücksicht auf seine Flüchtigkeit entweicht es schnell in die Atmosphäre. Die an Festpartikel gebundenen Ionenverbindungen oder komplexe Verbindungen senken im Gegenteil durch die Wassersäule zum Boden und lagern sich in den Sedimenten. Aus den vorkommenden organischen Formen sollten vor allem Alkyl-Quecksilberverbindungen, besonders Methylquecksilberchlorid (CH_3HgCl) und Dimethylquecksilber ($(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$) angeführt werden. In Abhängigkeit von der Wasserzusammenstellung und dem pH-Wert bildet sich ein Gleichgewicht zwischen den einzelnen vorkommenden Formen; das CH_3Hg^+ -Kation gibt es in Wasserlösungen als ein Aquakomplex $(\text{CH}_3\text{HgOH})^{2+}$ und es verhält sich als schwache Säure; unter anderen Bedingungen überwiegt CH_3HgOH . Eine beträchtliche Tendenz zur Akkumulation in Nahrungsketten weisen hauptsächlich Organ-Metall-Quecksilberverbindungen, Methylquecksilberhalogenide auf. Organische Quecksilberformen treten anhand ihrer lyophilen Eigenschaft, dank deren sie leichter als anorganische Verbindungen absorbiert und akkumuliert werden, einfach in die Nahrungsketten ein.

Das Quecksilber kommt als globaler Pollutant in allen Umweltkomponenten vor und ist Bestandteil in einer ganzen Reihe von komplexen biochemischen Zyklen. Die Quelle des Quecksilbers in den Oberflächengewässern sind durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe, das Industrieabwasser und die Quecksilberaufbereitungsanlagen kontaminierte Niederschläge. Eine weitere Quelle können auch Sedimente und Böden bilden, die langfristig im Kontakt mit verseuchtem Wasser waren. Durch biochemische Umwandlungen der akkumulierten Quecksilberverbindungen entstehen erstens flüchtige Quecksilberverbindungen, die in die Atmosphäre entweichen, und es kommt auch zum Quecksilberauswaschen durch Niederschläge. Der ganze biogeochemische Quecksilberzyklus umfasst die Freisetzung des Quecksilbers $\text{Hg}(0)$ und der neu entstandenen flüchtigen Quecksilberverbindungen $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ aus den durch anthropogene Emissionen bereicherten Böden, Gesteinen, Oberflächengewässern und Abwässern, ihre Verfrachtung unter gleichzeitiger Umwandlung durch die Atmosphäre, Lagerung der Verbindungen zurück im Boden und in den Oberflächengewässern, die Sorption der Quecksilberverbindungen auf die Sediment- oder Bodenkerne, ihre Absorption durch lebendige Organismen, die Umwandlung der einzelnen chemischen Quecksilberformen und ihre Bioakkumulation. Für die irreversible Quecksilberbindung in der Biosphäre sind die $-\text{SH}$ -Thiolgruppen wichtig, die in den aufgelösten organischen Kohlenstoff (DOC) bildenden Molekülen, d. h. in der hydrophoben Fraktion in Form von Humin- und Fulvinsäuren anwesend sind.

Die Quecksilberverfrachtung und –umverteilung im Oberflächenwasser und in den Sedimenten werden durch die Quecksilberverbindungsform beeinflusst und der überwiegende Prozess der Quecksilberverfrachtung ist die Sorption der Quecksilberverbindungen auf die Sedimentpartikel (vor allem bei gleichzeitigem hohen FE- und AL-Gehalt). Das Quecksilber wird auch durch Huminstoffe und Torf stark sorbiert. Bis 70 % des im Wasser aufgelösten Quecksilbers wird an die organische Matrice mit höchster Konzentration an der Grenze Wasser/Sediment gebunden. Die auf die organische Matrice gebundenen Quecksilberverbindungen können mit dem Abfluss aus dem kontaminierten Ökosystem in einen anderen verfrachtet, durch eine chemische oder biologische Reduktion aus der organischen Matrice zum elementaren Quecksilber freigesetzt oder mit einem biologischen Wege zu flüchtigen organischen Quecksilberformen umgewandelt werden. Der wichtigste und überwiegende Quecksilbertransformationsprozess im Gewässer ist die Biotransformation. Die in die Wassermwelt eintretenden anorganischen Quecksilberverbindungen können durch mikrobiell gesteuerte Methylierung unter der Anwesenheit von Methylkobalaminverbindungen sehr einfach zu Methylquecksilberverbindungen umgewandelt werden. Der Mechanismus der Quecksilbermethylierung findet unter aeroben und anaeroben Bedingungen durch nichtenzymatische Methylierung der Quecksilberionen unter der Anwesenheit von verschiedenen Bakterienstämmen (*Bifidobacterium*, *Chromobacterium*, *Methanobacterium*, *Pseudomonas*, *Escherichia*) in den Sedimenten statt. Die Geschwindigkeit der Quecksilbermethylierung hängt von der Konzentration der Quecksilberionen, der Methylquecksilberverbindungen und der Anwesenheit organischer und auch anorganischer komplexbildender Stoffe, der Sauerstoffkonzentration im Wasser, dem pH-Wert (idealer Wert ist 4,7) und der Menge und den Eigenschaften der aufgelösten organischen Stoffe ab. Mit steigender DOC-Konzentration sinkt die Methylierung von Hg^{2+} , weil das Ion sehr schnell in organische Partikel sorbiert wird und der Methylierung nicht zugänglich ist. Die Quecksilberdialkylverbindungen (Dimethylquecksilber) sind flüchtige, im Wasser schwer lösliche Stoffe, die leicht in die Atmosphäre übergehen. Das elementare Quecksilber wird im Wasser durch die Demethylierung von MeHg oder Reduktion von Hg^{2+} gebildet und folgend in die Atmosphäre freigesetzt. Die Wirksamkeit dieser Reduktion wird durch die Intensität der Sonnenstrahlung erhöht und durch höhere Chloridionenkonzentrationen inhibiert.

Die in den Sedimenten anwesenden Verbindungen unterliegen den gleichen chemischen und biochemischen Umwandlungen, wie im Gewässer. Hg^{2+} bildet Komplexe mit den in den Sedimenten anwesenden Chlorid- und Hydroxidionen und zwar in Abhängigkeit von dem pH-Wert und der Zusammensetzung der Sedimente. Die Quecksilberorganometallverbindungen werden hier ebenfalls durch mikrobielle oder abiotische Vorgänge formiert und degradiert. Bei hohen Hg^{2+} -Konzentrationen in den Sedimenten sinkt durch das Absterben der Organismen die Geschwindigkeit der Quecksilberionenmethylierung. Nach einer Vermischung der Sedimente (z. B. in Flussmündungen) erhöht sich wesentlich die Sedimentschicht, in der die Methylierung aktiv stattfindet. Der Methylierungsvorgang wird gleichzeitig durch erhöhte Zuführung von $(\text{SO}_4)^{2-}$, Hg^{2+} und DOC in die unteren Sedimentschichten und die Verfrachtung des entstandenen MeHg in das umliegende Wasser unterstützt.

Die Quecksilberverseuchung der Wasserökosysteme beeinflusst beträchtlich die Organismen auf den höchsten trophischen Ebenen der Nahrungskette und der fischfressenden Vögel und die Gesundheit des Menschen. Die hohe mit ihrer lyophilen

Eigenschaft verbundene Bioakkumulationsfähigkeit der Quecksilberorgano-metallverbindungen ermöglicht ihnen eine einfache Permeabilität durch die biologischen Membranen. Der Akkumulations-/Konzentrationsfaktor von Quecksilber beträgt bei einigen Organismen bis 106. Die Akkumulationsfähigkeit von einzelnen Quecksilberartbildungen hängt von der Lipophilität des Moleküls und Reaktivität der Quecksilberverbindungen mit den intrazellulären Liganden ab. Für einen natürlichen Hintergrund im Grundwasser wird 0,1 µg/l gehalten, im Oberflächenwasser ist die Durchschnittskonzentration 0,15 µg/l und die Quecksilberhöchstkonzentration in Gewässern beträgt in Tschechien beträgt 0,1 µg/l. Zulässiger Grenzwert in der Muskelmasse der Raubfische beträgt 0,6 mg/kg, bei sonstigen Fischen ist das 0,1 mg/kg. Die Halbwertszeit der Methylquecksilberabscheidung aus dem Organismus der Fische ist ca. 2,5 Jahre.

Die Wasserorganismen nehmen die Quecksilberverbindungen entweder direkt aus dem Wasser (bzw. aus dem Sediment) über die Körperoberfläche oder die Respirationsorgane oder mit der Nahrung auf. Die Pflanzen nehmen das Quecksilber über das Wurzelsystem auf, in dem es auch am meisten aufgespeichert ist. Die Fähigkeit, Quecksilberverbindungen aufzunehmen, steigt bei den Pflanzen mit größerer Oberfläche (z. B. bei Algen) und sie wird auch durch den pH-Wert des Sedimentes, die Anwesenheit von organischen Säuren und die Mächtigkeit der Humusschicht beeinflusst. Der Quecksilber- und Methylquecksilbergesamtgehalt in den Wasserorganismen steigt mit der trophischen Ebene der Nahrungspyramide, wobei bei wirbellosen Organismen der Organometallquecksilbergehalt ca. 50 % erreicht, während fischfressende Vögel in der Muskelmasse bis 95 % Quecksilbergehalt haben können. Fische akkumulieren die Quecksilberverbindungen aus der Nahrung und aus der Wasserumgebung und das vor allem in Form von Methylquecksilber. Die fischfressenden Vögel und Säugetiere als Raubtiere sammeln das Quecksilber im Gewebe im größten Maße und das vor allem in der Leber und in Nieren.

Die Toxizität der einzelnen Quecksilberartbildungen hängt von ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften, ihrer Menge, dem Intoxikationsweg und der Expositionsdauer ab. Bei Pflanzen bewirkt die Quecksilbervergiftung eine Reduzierung der Photosynthese und eine Stoffwechselhemmung der Organellen im Zellplasma. Die giftigste Form ist das Methylquecksilber. Bei Fischen bewirkt die Quecksilbervergiftung niedrigeren Gewichtszuwachs. Wassersäugetiere und Vögel werden zumeist dem Methylquecksilber in der Nahrung ausgesetzt. Toxische Wirkungen auf diese Organismen hängen von der Nahrungsebene der verzehrten Fische, dem Quecksilbergehalt in der Nahrung und dem Gewicht der Tiere ab. Eine Quecksilbervergiftung bewirkt bei den Wasserlebewesen und Vögeln neurologische Beeinträchtigungen, Fortpflanzungsprobleme, Leber- und Nierenschäden und eine höhere embryonale Sterblichkeit. Die Quecksilber-Exposition findet bei den Menschen meistens auf dem Oral-, Dermal- und Atmungswege statt. Bei einer Exposition durch Atemwege werden meistens Dämpfe des elementaren Quecksilbers eingeatmet, bei der oralen Exposition werden in den Organismus vor allem anorganische weniger toxische Quecksilberformen aufgenommen. Aus der toxikologischen Sicht sind die organometallischen Quecksilberverbindungen die gefährlichsten. Sie sammeln sich im Fettgewebe an, sorbieren im Verdauungssystem, dringen leicht durch die Blut-Gehirn-Barrieren und durch die Plazenta durch und setzen sich in Nieren und in den Haaren. Eine Quecksilbervergiftung hat bei dem Menschen immunologische, neurologische, Fortpflanzungs-, Entwicklungs-, genotoxische und karzinogene Auswirkungen.

3. AKTUELL DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN, TESTS, PRÜFUNGEN

3.1 ZUSAMMENFASSENDE ÜBERSICHT DER DURCHGEFÜHRTEN ARBEITEN

3.1.1 WASSERPROBENAHE IN DEN WASSERLÄUFEN DER EGER UND RÖSLAU, IM STAUSEE SKALKA UND UNTER DEM DAMM DES STAUSEES SKALKA

Das Wasser wurde primär unter höheren Wasserständen und senkender Durchflusstendenz monitoriert. Die Probenahmen wurden an folgenden definierten Abnahmestellen des Auftraggebers Nr.: 10151, 100101, 100103, 1101, 1102, 1103, 1105, 1107 und an der eigenen Abnahmestelle unter der Straßenbrücke Cheb – Pomezí am linken Ufer durchgeführt.

Das Wassermonitoring fand an folgenden Tagen statt: 24.11.2010 (9 Proben), 13.12. 2010 (5 Proben), 12.1. 2011 (4 Proben), 3.2. 2011 (4 Proben) und 14.2. 2011 (9 Proben).

Am 12.1. 2011 wurde die Probe bei beginnendem Hochwasserereignis genommen. Die Probenehmer wollten am 15.1. nach der Kulmination dieser Episode Proben abnehmen, das war aber nicht möglich, weil die festen Probenahmestellen aufgrund von hohem Wasserstand nicht zugänglich waren.

3.1.1.1 WASSERMONITORINGERGEBNISSE

Mit der Ausnahme der am 24.11. 2010 abgenommenen Proben waren alle Analysen zur Feststellung des Quecksilbergehaltes im Wasser unter der Bestimmbarkeitsgrenze.

In der an der Probenahmestelle 1105 an der Röslau am 24.11. abgenommenen Probe wurde ein Hg-Gehalt im Wasser in der Höhe von 0,384 µg/l festgestellt. An den sonstigen Probenahmestellen haben die an diesem Tag abgenommenen Proben Hg-Konzentrationen in Hundertsteln von µg/l ausgewiesen.

3.1.2 GEODÄTISCHE AUFNAHME UND BESTIMMUNG DER SEDIMENTMÄCHTIGKEIT

3.1.2.1 GEODÄTISCHE AUFNAHME UND DATENVORBEREITUNG

Es wurde eine geodätische Vermessung der bestehenden Stauseesohle und eine Erkundung der ursprünglichen Stauseesohle vor der Flutung durchgeführt und mit dem Vergleich dieser Schichten die Mächtigkeit und das Volumen der Sedimente im Stausee abgeschätzt.

Die geodätische Vermessung führte die Firma Gefos a.s. durch. Die Vorbereitungen des Auftrags und die Arbeiten begannen im November 2010, die Vermessung und ihre Aufarbeitung wurde aufgrund von ungünstigen Witterungsbedingungen (Schnee, Eis, Frost,

erhöhter Spiegel) erst Ende Februar 2011 begonnen. Ausgenutzt wurde der gesenkte Winterspiegel (Höhenlage 437,60 m. ü. M.)

Aufarbeitungstechnologie und Methodik.

Zur Ist-Stand-Erkundung der Stauseesohle und der Sedimentmächtigkeit im Stausee Skalka wurden mehrere Messmethoden angewendet. Die Methoden wurden so vorgeschlagen, um ein höchstmöglich aussagekräftiges Ergebnis zu erreichen. Die ganze Messung war von den Naturgegebenheiten abhängig, vor allem von der Wassertiefe im Stausee und von dem Umfang der Staubebereiche über und unter dem Winterwasserspiegel. Es wurde eine geodätische Vermessung und eine Vermessung der Sohle aus einem Boot mit einem Ultraschallgerät durchgeführt.

Die Umfangsbestimmung der Erdkörpers - des Sedimentes im Stausee - wurde anhand eines Vergleiches des aktuell aufgenommenen Standes mit dem Ausgangsstand vor der Stauseeflutung durchgeführt. Für diesen Ausgangsstand wurden die vor der Stauseeflutung erstellten digitalisierten Karten aus dem Jahr 1951 genommen.

Die erste Etappe - die Feststellung der Ausgangslage - wurde anhand von klassischen Höhenpapierkarten aus dem Jahr 1951 durchgeführt. Diese Karten wurden digitalisiert und folgend vektorisiert. Mit Hilfe von bekannten Punkten wurde ihre Lage umgestaltet und folgend wurden erneut die Höhenschichtlinien generiert. Die Genauigkeit der Bestimmung der absoluten Höhe der so generierten Höhenschichtlinien ist hauptsächlich durch die Genauigkeit der eigenen historischen Karten gegeben. Maßgebende Abweichung bei der Bestimmung der absoluten Höhe in diesen digitalisierten Unterlagen kann mit dem Wert $\delta Z \leq \pm 0,5 - 0,8$ m abgeschätzt werden.

Im nichtgefluteten Stauseebereich, wo die geodätische Vermessung stattfand, wurden zur Feststellung der Sedimentmächtigkeit und der Tiefe der festen Sohle ergänzende Prüfabstiche mit einer Stahlstange durchgeführt. Die ermittelten Werte wurden mit den Daten aus den Karten aus dem Jahr 1951 verglichen. Insgesamt wurden 664 Abstiche durchgeführt. Die ursprüngliche Oberfläche wurde in diesem Teil mit den ermittelten Tiefen kalibriert.

Die zweite Etappe - die Ist-Stand-Vermessung der Stauseesohle - wurde mit einigen in Tschechien modernsten Methoden durchgeführt. Die Messmethoden wurden durch die Überflutung der Hälfte der Sohle des Stausees Skalka und das auch nach der Wasserstandminderung auf den Winterspiegel und durch den freien Durchfluss der Eger durch den ganzen Stausee beschränkt. Die zweite Etappe wurde also in zwei Bereiche aufgeteilt – den überfluteten Teil des Stausees – also von dem Damm bis ca. in die Mitte und auf den nichtgefluteten durch die Wasserstandminderung entstandenen Teil.

Der überflutete Stauseeteil wurde mit einem speziellen Messschiff mit 2 Ultraschallsendern (ECHOLOT) zur Tiefen- und Sedimentmächtigkeitsbestimmung gescannt. Das erste Gerät hatte eine Messfrequenz 200 kHz für Tiefen bis zu 200 m und das zweite Gerät 24 kHz für die Sedimentbestimmung bis zur Gesamttiefe von 20 m. Der Positions- und Lagebestimmung des Schiffes zu jedem Zeitpunkt dienten zwei GNSS-Geräte (ein Empfänger befand sich auf einem vorher definierten Bezugspunkt in der Standortnähe und er sendete Korrekptionsdaten dem zweiten Empfänger auf dem Schiff). Die durch den Wasserstrom verursachten Fehler (Neigung, Trimm) wurden mit einem Gyrotrack-Gerät eliminiert. Die aufgenommenen Daten in den Koordinaten x, y, z wurden

in das Koordinatensystem S-JTSK (System des einheitlichen Triangulationskatastralnetzes) umgewandelt.

Die ECHOLOT-Parameter waren folgend:

- Messmindesttiefe 1 m
- Messhöchsttiefe 200 m
- Sedimenthöchsttiefe unter der Sohle 20 m
- Tiefenmessgenauigkeit 0,02 m + 0,2 % des Bereichs
- Lagenbestimmungsgenauigkeit 25 cm.

Mit dieser Methode wurden ca. 129 ha aufgenommen – siehe Bild Nr. 5 (die mit dem Schiff aufgenommene Fläche ist lila dargestellt, die restliche Fläche wurde geodätisch vermessen).

Der zweite, nicht überflutete Teil des Stausees Skalka wurde in Kombination von zwei geodätischen Methoden vermessen. Ein Teil wurde klassisch, mit einer totalen Station Leica TC 1205 mit einer Genauigkeit bezüglich zu dem eingesetzten Punktfeld von $\sigma_{XY} \leq 0,14$ m und $\sigma_Z \leq 0,20$ m und weiter mit einem GNSS-Gerät Leica TC 1200 mit der gleichen Endgenauigkeit vermessen.

Für die Messungen wurde weiter ein Boden-Laserscanner Leica HDS 3000 mit einer Reichweite unter idealen Bedingungen von 150-200 m und mit der Punktsammlung von 6000 Punkten/s eingesetzt. Es wurde ein durchschnittlicher Punkteraster von 20 x 20 cm genommen. Die eigene Genauigkeit des Scanners bei gut identifizierbaren Punkten wird mit einer apriorischen autoritativen Abweichung der Punktraumbestimmung von $\sigma \leq 6$ mm angegeben, was eine maßgebende Abweichung in einer Koordinate $\sigma_x \leq 2,5$ mm und in der Ebene $\sigma_P \leq 4$ mm darstellt. Im gegebenen Fall, mit Rücksicht auf die Eigenschaften der gemessenen Punkte (Stauseesohle = Schlamm) und die Anschlussart in das eigene System, ist die Endgenauigkeit mindestens gleich, bzw. größer, als bei den höher angeführten klassischen Methoden.

In diesem Teil – dem nicht überfluteten Bereich – wurden darüber hinaus noch Prüfabstiche mit einer Stahlstange durchgeführt, um im Vergleich der festgestellten festen Sohle mit den Daten aus den Karten 1951 die Sedimentmächtigkeit zu ermitteln.

Für beide Etappen, Sohle 1951 und 2011, wurde ein digitales Stauseesohle-3D-Modell erstellt.

Für die Unterlagen 1951 und die folgenden Vermessungen 2011 wurden weiter Verzeichnisse der Koordinaten und Zeichnungen der Bodenraster 5x5 m erstellt. Die Daten wurden für die folgende Analyse der Sedimentmächtigkeit in entsprechende Formate erarbeitet.

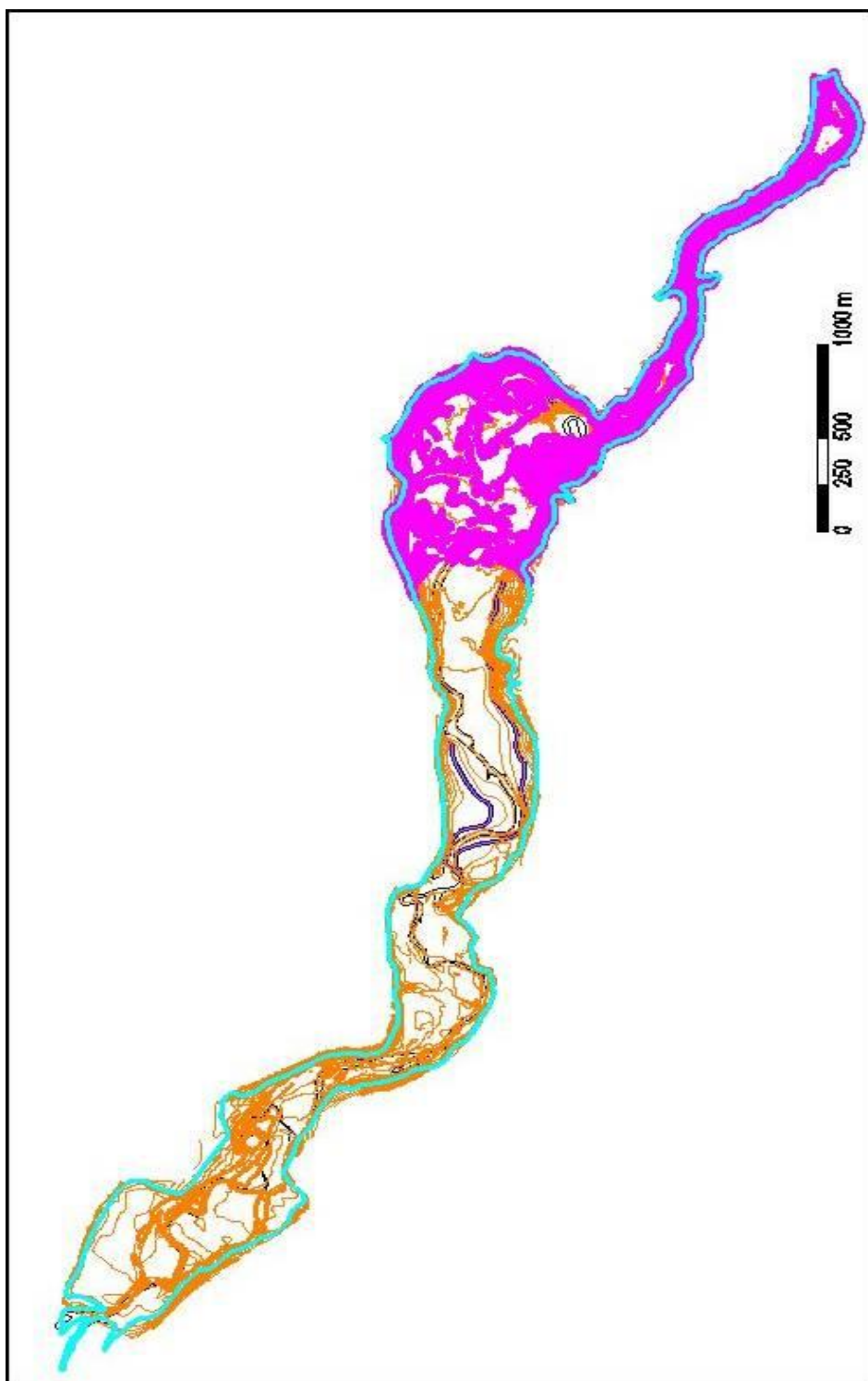


Bild Nr. 7: Aufteilung der Arten der Sohlevermessung und der Sedimentmächtigkeitsmessung

3.1.2.2 BESTIMMUNG DER SEDIMENTMÄCHTIGKEIT

Das Sedimentvolumen im Stausee Skalka wurde in der Umgebung des Programms ArcMap von der Gesellschaft ESRI durchgeführt. Dabei wurde die Lizenz ArcINFO einschl. der Extension 3D Analyst angewendet. Als das Ausgangskoordinatensystem wurde das System S-JTSK (System des einheitlichen Triangulationskatastralnetzes) Křovák eingesetzt. Zur Analyse wurden Daten aus den vorherigen Messungen genommen. Es handelte sich um:

- 1) das Relief 1951 (regelmäßiges Punktfeld im TXT-Format, 5m-Schritt)
- 2) geodätische Vermessung der Stauseesohle 2011 (regelmäßiges Punktfeld im TXT-Format, 5m-Schritt)
- 3) Begrenzungslinie des Stausees Skalka (DXF-Format)
- 4) Den Verlauf des Wasserlaufes der Eger im Jahr 1951 (DXF-Format)
- 5) Prüfabstiche – punktuelle Erfassung der Sedimentmächtigkeit.

Datenvorbereitung:

Die Daten wurden aus dem *txt-Format in SHP-Schichten exportiert, die primär im ArcMap-Programm bearbeitet werden können.

Das Vorgehen bei der Datenanalyse:

In der ArcMap-Umgebung wurden die Punktfelder dargestellt und folgend in die SHP-Punktschicht exportiert. Jede der Punktschichten hatte einen unterschiedlichen Datenumfang. Die Datenfläche für 1951 überragte dem Messumfang 2011. Für die Flächenvereinheitlichung der beiden Datenquellen wurde die Begrenzungslinie des Stausees Skalka genommen, mit der die beiden Punktschichten (1951 und 2011) durch eine Raumfrage abgeschnitten wurden. Im Ergebnis entstanden also 2 Punktschichten gleichen Umfangs (121 661 Punkte), siehe Bild Nr. 7, 8. Im nächsten Schritt wurden die Werte der Höhenlage der beiden Schichten abgelesen, womit im Ergebnis die Sedimentmächtigkeit entstanden ist (Bild 9). Mit Rücksicht auf die Ungenauigkeit der vektorisierten Karte wurde festgestellt, dass bei der Mächtigkeit auf einigen Stellen Null- oder Minuswerte vorkommen, was den durchgeführten Prüfabstichen nicht entsprochen hat. Zum Schluss wurden also die im Stausee auf 660 Stellen durchgeführten Prüfabstiche berücksichtigt. Es wurde eine Kontrolloberfläche der Ebene der Abstichtiefen durchgeführt und eine durchschnittliche Abstichtiefe von 1 m festgestellt. Dieser Wert wurde mit einer Abschätzung auf 0,75 m reduziert (Einfluss der Mächtigkeitsminderung an den Stauseerändern) und der Wert 0,75 m wurde bei den Stellen mit dem Null- oder Minuswert eingesetzt. Die resultierende die Sedimentmächtigkeit präsentierende Schicht ist auf dem Bild 10 dargestellt.

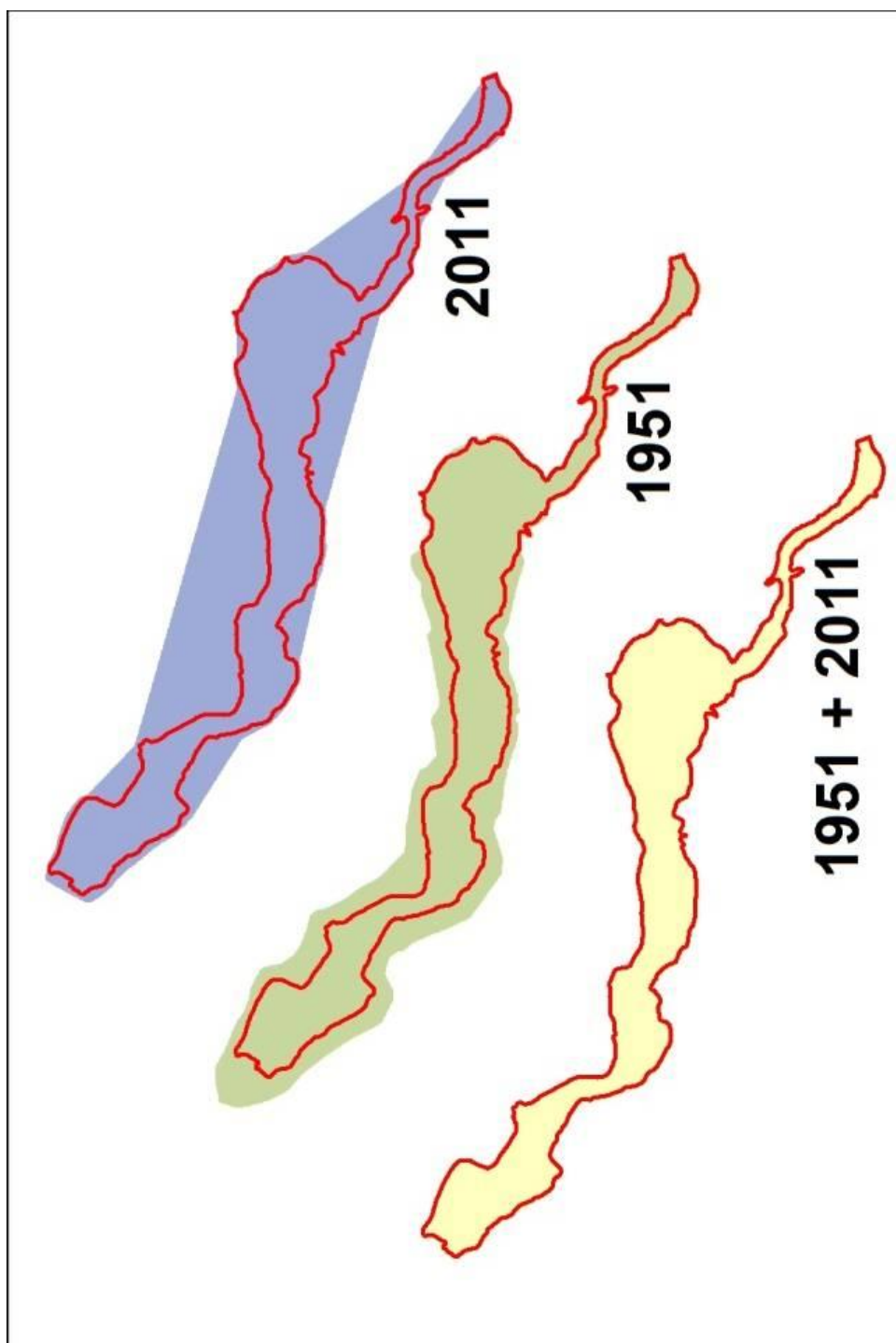


Bild Nr. 8: Datenaufnahme für die Bestimmung der Sedimentmächtigkeit

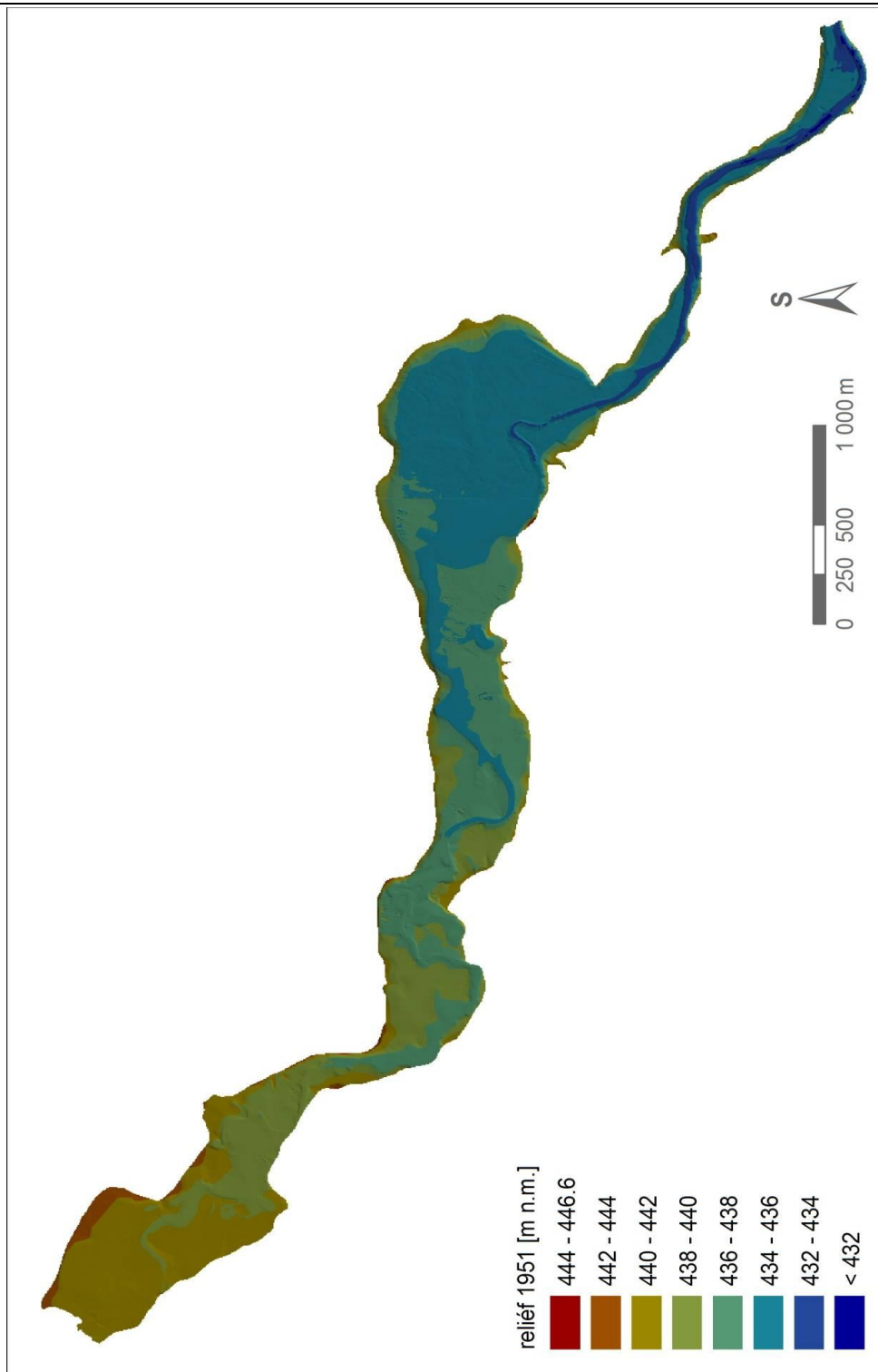


Bild Nr. 9: TIN Sohlenreliefdarstellung, Vermessung 1951.

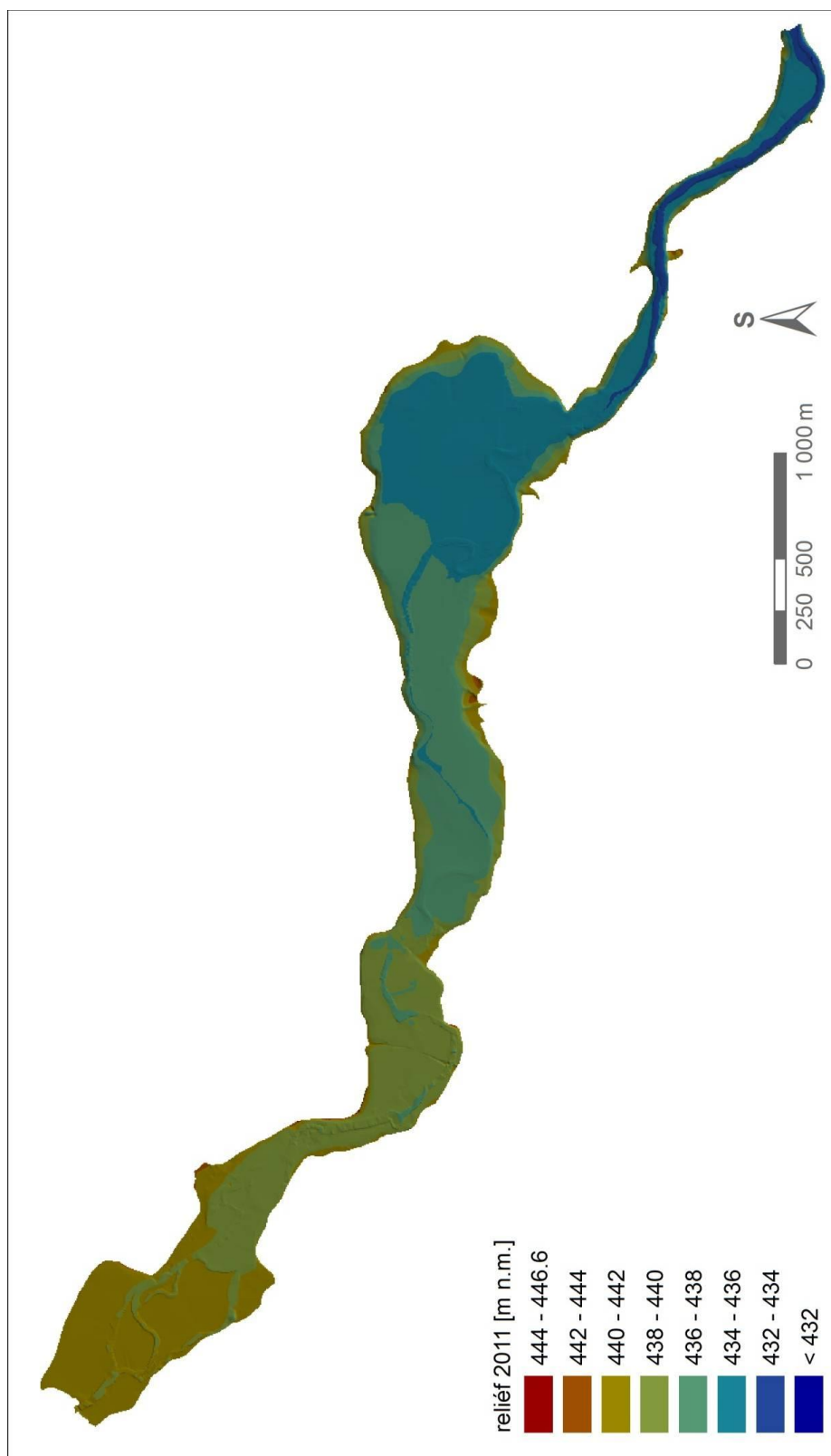


Bild Nr. 10: TIN Sohlenreliefdarstellung, Vermessung 2011.

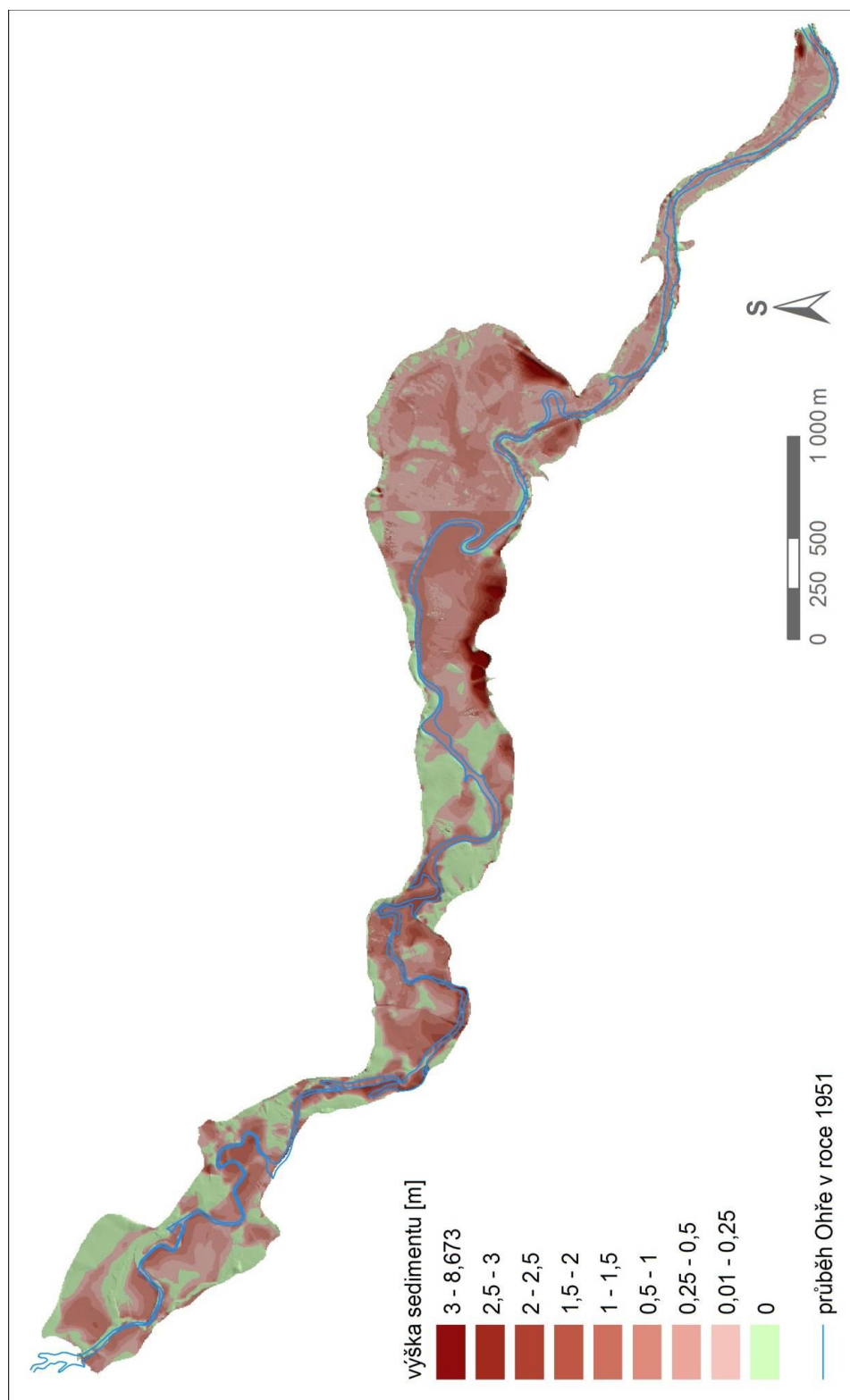


Bild Nr. 11: Darstellung der Sedimentmächtigkeit nach dem Abzug der Schichten 2011 und 1951

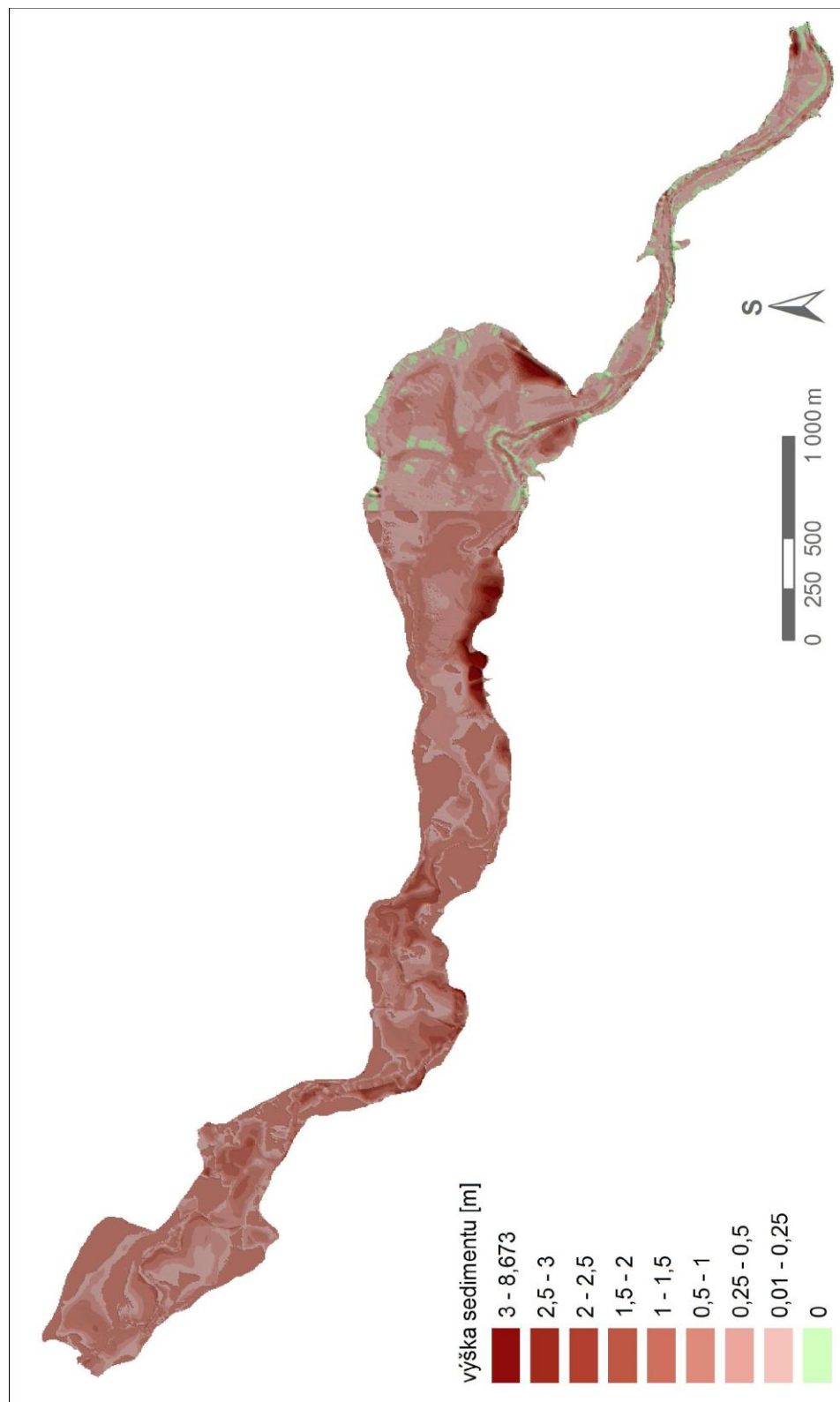


Bild Nr. 12: Darstellung der Sedimentmächtigkeit unter Bezugnahme der Prüfabstiche

Im Bereich der großen Bucht ist der Übergang zwischen den 2 verschiedenen Datenerhebungsmethoden zu erkennen.

Zum Schluss ist noch auf die ziemlich große Abweichung in den Primärdaten aufmerksam zu machen, konkret bei dem Punktfeld zu dem Relief 1951. Bei der Erstellung dieses Datensatzes konnten Fehler schon bei der Digitalisierung, Umwandlung aber auch bei der folgenden mithilfe von Interpolationsparametern durchgeführten Interpretierung in die Höhenlinien entstehen. Es wird mit einem möglichen Fehler 0,5 – 0,8 m gerechnet, was das Endvolumen wesentlich beeinflussen kann. An Stellen, wo die Daten aus dem Schiff gemessen wurden (etwa ein Drittel der Stauseegesamtfläche) sind die Daten ziemlich genau. So kann der Gesamtfehler bezogen auf die ganze Fläche auf ca. 30 % reduziert werden.

3.1.3 SEDIMENTPROBENAHMEN UND -ANALYSEN

Sedimentprobenahmen:

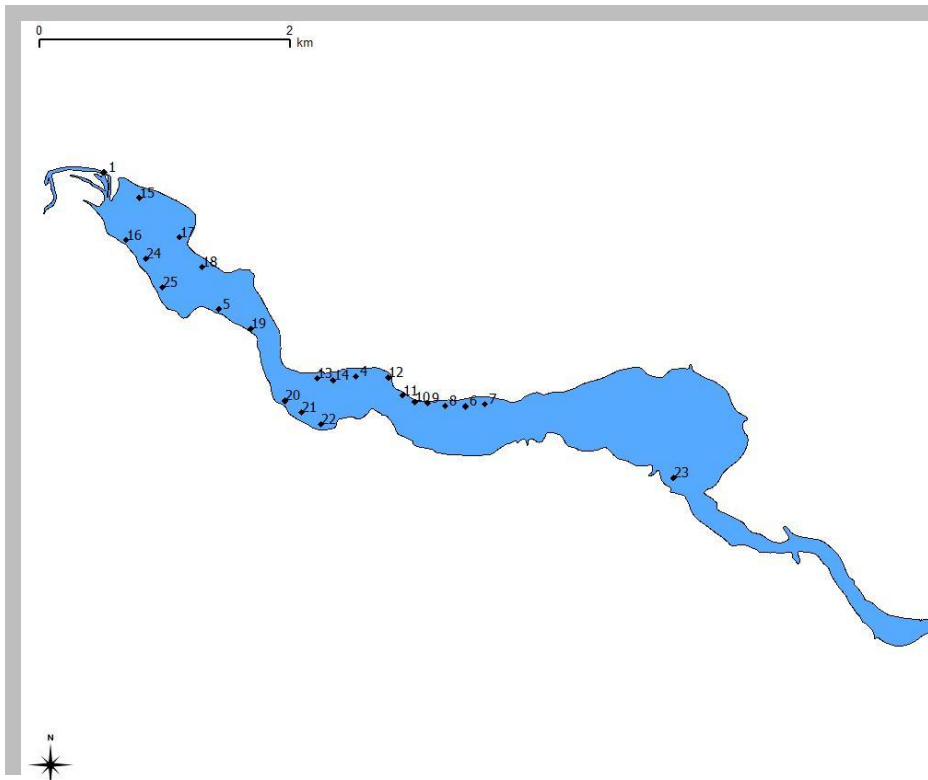
Die Sedimentprobenahmen fanden am 11. und 12.4. 2011 statt. Das Probenahmeteam nahm in der Überflutung des Stausees Skalka an 25 Stellen insgesamt 50 Proben ab.

Die Festlegung des Probenahmeverfahrens zeigte sich als problematisch, weil mit Rücksicht auf die Situation (Winterwasserspiegel, ungleichmäßige Sedimente, Regenwetter) es nicht möglich war abzuschätzen, was für eine Materialart und mit welcher Konsistenz abgenommen wird.

Es wurden drei Abnahmevergehensweisen geprüft:

- a) ein Kolbenprobenehmer
- b) eine Torfsonde
- c) ein Edelmann-Handbohrer

Der Kolbenprobenehmer hat sich aufgrund der hohen Sedimentviskosität nicht bewährt, die Torfsonde zeigte sich aufgrund hohen Anteils klastischer Ablagerungen (Sand, Feinkies) in den Sedimenten als ungeeignet. Als die günstigste Art der Probenahme zeigte sich also der Edelmann-Erdbohrer. Bei den Probenahmen ist aber dem Abbohren der einzelnen Schichten und präzisen Anschluss der lithologisch abweichenden Lagen Acht zu geben. Aus diesem Grund war es notwendig, einige Proben mehrmals abzunehmen.

Bild Nr. 13: Lokalisierung der Sedimentprobenahmestellen

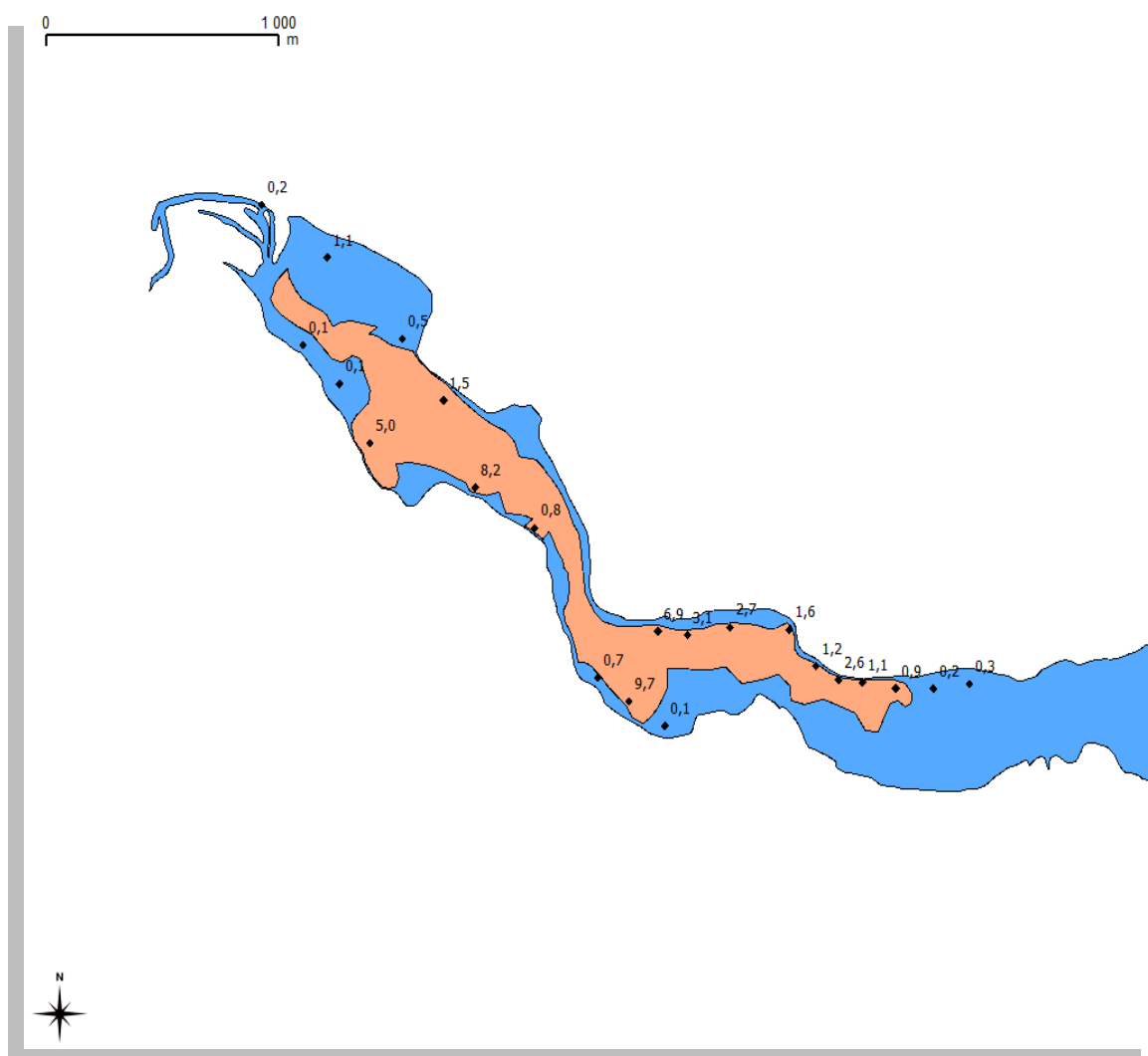
Es wurden 50 Proben an 25 Abnahmestellen abgenommen. Makroskopisch unterschiedliche Lagen wurden als selbstständige Proben bemustert.

Später wurde aus dem Raum des Ottos Wehrs (Ottův jez) am Fluss unterhalb des Damms des Stausees Skalka noch eine Vergleichsprobe (bezeichnet als 26/1) abgenommen.

Sedimentproben wurden mit Hilfe eines Edelmann-Handbohrers an insgesamt 26 Stellen bis in die Tiefe von 1,3 m abgenommen (von jeder Stelle Nr. 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 wurde eine bis drei Sedimentproben abgenommen). Die Proben wurden folgend mit einer Schaufel homogenisiert, viergeteilt und in spezielle Musterkoffer übertragen (siehe Protokoll über die Sedimentabnahmen BER-68/11 und BER-69/11). Nach der Abnahme wurden die Proben in eine Kühlbox eingelegt und in das akkreditierte Labor der Gesellschaft AQUATEST a.s. gebracht.

Auf folgendem Bild ist die geografische Verteilung der Abnahmestellen entlang der beiden Stauseeufer dargestellt.

Bild Nr. 14: Die nach dem Gewichtschnitt entsprechend der Abnahmestellemächtigkeit und der Lokalisierung der risikoreichen Sedimente umgerechneten Hg-Gehalte



Die Absetzbedingungen im oberen Teil des Stausees Skalka können als eine sehr dynamische, deltaartige Sedimentation mit typisch vertikal und auch horizontal schnell variabler Sedimentkörnung dargestellt werden. Stellenweise gibt es deutliche bodenbeständige Sedimentationspartien (z. B. das ursprüngliche Flussbett der Eger), aber die meisten Sedimente erscheinen als mehrfach übergesetzte Sedimente allochthonen Ursprungs. Dieser Stand entspricht den hohen Durchflüssen der Röslau und der Eger, wo die Summe der Durchflüsse in der Winterzeit bis 50 – 70 m³/s erreichen können.

In der folgenden Tabelle befinden sich kurze bei der Sedimentbemusterung gewonnene lithogische Beschreibungen der Gesteine.

Tabelle Nr. 8: Lithographische Beschreibung der Sedimente

Probe Nr.	Tief. von (m)	Tief. bis (m)	Mächt. (m)	Lithographische Beschreibung der Sedimente	Hg- Gehalt (mg/kg)
1	0	0,5	0,5	Ton, dunkelgrau, glimmerartig, Reste von organ.Stoffen	0,218
4/1	0	0,4	0,4	Staub, sandartig, braun mit organischer Beimischung	4,74
4/2	0,4	1	0,6	Feinkies, hellbraun	1,54
5/1	0	0,2	0,2	Ton, hellbraun, staubartig, glimmerartig, mit Limonitstreifen	14,5
5/2	0,2	0,5	0,3	Ton, hellgrau, schwach staubartig, mit Limonitstreifen	3,96
6/1	0	0,2	0,2	Ton, staubartig, schwach sandartig, mit organischer Beimischung, rostfarbig	0,32
6/2	0,2	0,5	0,3	Ton, dunkelgrau mit organischer Beimischung	0,102
7/1	0	0,2	0,2	Staub, braun, schwach sandartig, mit organischer Beimischung	0,892
7/2	0,2	0,5	0,3	Staub, tonartig, hellgrau, mit organischer Beimischung	0,1
7/3	0,5	1	0,5	Ton, staubartig, hellgrau, rostfarbig	0,132
8/1	0	0,2	0,2	Ton, braun, schwach sandartig, organ. Beimischung	1,81
8/2	0,2	0,4	0,2	Ton, hellbraun, schwach sandartig, organ. Beimischung	0,165
8/3	0,4	0,6	0,2	Ton, hellbraun, ockergelb, schwach sandartig	0,139
9/1	0	0,2	0,2	Sand, tonartig, braun, organ. Beimischung	0,335
9/2	0,2	0,5	0,3	Ton, sandartig, braun, organ. Beimischung	2,75
9/3	0,5	1	0,5	Ton, sandartig, hellbraun, organ. Beimischung	0,462
10/1	0	0,2	0,2	Ton, dunkelbraun, schwach sandartig, organ. Beimischung	3,91
10/2	0,2	0,5	0,3	Ton, hellgraubraun, organ. Beimischung	3,53
10/3	0,5	1	0,5	Ton, grau, mit organischer Beimischung	0,761
11/1	0	0,2	0,2	Ton, dunkelbraun, schwach sandartig, organ. Beimischung, glimmerartig	4,04
11/2	0,2	0,5	0,3	Ton, graubraun, mit organischer Beimischung	0,811
11/3	0,5	1	0,5	Ton, graubraun, schwach sandartig	0,263
12/1	0	0,2	0,2	Ton, graubraun, sandartig, mit organischen Resten	0,647
12/2	0,2	0,5	0,3	Ton, dunkelbraun, mit organischer Beimischung	0,994
12/3	0,5	1	0,5	Ton, graubraun, org.	2,42
12/4	0	0,2	0,2	Ton, dunkelbraun, mit organischer Beimischung	5,72
13/1	0	0,5	0,5	Ton, graubraun, mit organischen Resten	12,4
13/2	0,5	0,7	0,2	Ton, graubraun, rostfarbig	1,31
13/3	0,7	1	0,3	Ton, grau	0,346
14/1	0	0,2	0,2	Ton, graubraun, mit organischer Beimischung	11,8
14/2	0,2	0,5	0,3	Ton, grau ockergelb, org.	1,61
14/3	0,5	1	0,5	Ton, grau	0,493
15/1	0	0,2	0,2	Sand, grobkörnig bis Feinkies, glimmerartig, org.	0,1
15/2	0,2	0,7	0,5	Sand, grobkörnig bis mittelkörnig, glimmerartig, org.	0,13
16/1	0	0,4	0,4	Ton, grau, glimmerartig, org. Reste	0,1
16/2	0,4	1	0,6	Ton, grau, mit Sandstreifen, org.	0,1
17/1	0	0,4	0,4	Ton, staub-sandartig, rostfarbig-grau, glimmerartig	0,676
17/2	0,4	1,3	0,9	Ton, graubraun, sandartig, Feinkieszwischen-schichten, glimmerartig mit org.	0,398
18/1	0	0,15	0,15	Ton, staubartig, graubraun, Limonitzwischen-schichten, glimmerartig	9,51

18/2	0,15	1,3	1,15	Feinkies, rostfarbig-braun, glimmerartig org.	0,532
19/1	0	1	1	Ton, ockerbraun, durch Limonit verfärbt	0,837
20/1	0	0,5	0,5	Staub, sandartig, braun, mit organischer Beimischung	1,05
20/2	0,5	1	0,5	Sand, braun, staubartig, mit Übergang zum grobkörnigen Sand	0,256
21/1	0	0,5	0,5	Ton, staubartig, hellbraun, glimmerartig, Limonitkonkretion, org.	7,26
21/2	0,5	1	0,5	Ton, staubartig, braun, org.	12,2
22	0	0,5	0,5	Ton, grau-rostgefärbt, gestreift, glimmerartig, unregelmäßige Grobsandzwischen-schichten	0,103
23	0	0,5	0,5	Ton, sandartig, hellbraun, glimmerartig, org., mit Gneis- und Quarzfindlingen	0,1
24/1	0	0,2	0,2	Ton, grau, ohne Organik	0,1
25/1	0	0,4	0,4	Sand, tonartig, hellbraun, glimmerartig	6,87
25/2	0,4	0,8	0,4	Sand, hellbraun glimmerartig	3,09
26/1	0	0,2	0,2	Ton, staub-sandartig, glimmerartig, mit Quarz- und Feinkorngneisfindlingen, mit Beimischung von Frischschwebstoffen	0,329

Der Quecksilbergesamtgehalt in den abgenommenen Proben kann gegenüber dem Hintergrund in der Region als sehr erhöht bezeichnet werden. Im Körper der Sedimente kann die Belastungsquelle aber nicht eindeutig festgestellt werden. Einen erhöhten Quecksilbergehalt weisen ungleichmäßig alle untersuchten Sedimente auf, von den Sanden, über den Staub bis zu der Tonlage. Als maßgebend scheint der Gehalt organischer Beimischungen in Form von Detritus, der in allen Körnigkeitskategorien der Sedimente vorkommt. Dieser Tatsache entsprechen auch die statistischen Kennzahlen der Probengruppen, die keine Prägung der Gauss'schen Verteilung haben.

Tabelle Nr. 9: Statistische Darstellung der Quecksilbererhebung in den Sedimenten

Parameter	Hg
Probenanzahl	51
Minimum	0,1
Maximum	14,5
Bereich	14,4
Durchschnitt	2,489
Standardabweichung	3,692
Variationsbeiwert	1,48315
Schiefte	1,95
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,261

Tabelle Nr. 10: Aufteilung der Häufigkeit

Werte	Häufigkeiten
2	36
4	5
6	3
8	2
10	1
12	1
14	2
16	1

Die Analyse der Häufigkeitsaufteilung des Hg-Gehaltes in den Sedimenten und die Parameter der statistischen Kennzahlen deuten klar auf ungleichmäßige Verteilung der Hg-Gehalte in den Sedimenten, wo eine makroskopische Abhängigkeit oder Bindung auf die Sedimentierungsbedingungen schwer nachzuvollziehen ist. Diese Tatsache deutet aber klar auf den Mechanismus des Quecksilbereintrags in den Stausee Skalka. Mit höchster Wahrscheinlichkeit handelt es sich um eine physikalisch-chemische Bindung an tonhaltige Minerale und an den organischen Detritus. Bei dem organischen Detritus wird das Quecksilber wahrscheinlich an die anaerob sich zerlegende organische Masse gebunden. Bei diesen Prozessen entstehen Huminstoffe der Prägung von Humin- und Fulvinsäuren, die mit ihrer starken Eigenschaft, physikalisch-chemische Bindungen mit Metallelementen zu bilden, zum Transportmedium für das Metallquecksilber und weitere Metalle werden.

Dieser Tatsache sollten auch die höheren Hg-Gehalte und Metall-Gehalte allgemein in den Schwebstoffen entsprechen.

Das Ziel der Untersuchungen war weiter zu prüfen, ob die Stauseesedimente aus der Sicht ihrer weiteren Nutzung auf der Geländeoberfläche der Anlage Nr. 9 des Gesetzes Nr. 185/2001 GBl. (Gesetz Nr. 9/2009 GBl., mit dem das Gesetz Nr. 156/1998 GBl., über Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Pflanzenhilfsmittel und –substrate und agrochemische Prüfungen der Agrarböden /das Düngemittelgesetz/, im Wortlaut der späteren Vorschriften, und weitere zusammenhängende Vorschriften geändert werden) entsprechen.

Die Sedimente wurden entsprechend der Verordnung Nr. 294/2005 GBl., über Deponierungsbedingungen der Abfälle und ihre Verwertung auf der Oberfläche beschrieben.

Die Ergebnisse befinden sich im Kapitel 3.2.2 und in der Anlage D1-D3.

Mit Rücksicht auf den Winterwasserspiegel im Stausee und darauf, dass der Hg-Gehalt von der Mündung der Eger in der Richtung zum Damm allgemein zurückgeht, wurden die Probenahmen nur im oberen Teil des Stausees durchgeführt. Im unteren Teil des Stausees erwarten wir mit Rücksicht auf die überwiegend sandige Ausprägung der Ablagerungen keine höheren Hg-Gehalte in den Sedimenten. In diesen Sanden waren keine Quecksilberbelastungsträger, also tonhaltige Minerale und organischer Detritus, merkbar.

Eine Ausnahme kann das Sediment in der sog. großen Bucht (Velká zátoka) bilden, wo die Sedimentprobenahmen aus technischen Gründen nicht möglich waren.

3.1.4 FISCHPROBENAHMEN UND -ANALYSEN

Am 27.4.-28.4.2011 wurde im Stausee Skalka die Abfischung und Gewebeprobenahmen (Muskelmasse, Leber, Nieren) bei 11 Nachweisfischarten durchgeführt. Die Proben wurden dann hinsichtlich des Quecksilbergesamtgehaltes analysiert. Von den geforderten Fischarten konnte der Silberkarpfen und die Barbe nicht abgefangen werden. Diese Arten wurden durch der Aal und die Rotfeder ersetzt. Der Auftragnehmer war hier die Universität Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakultät für Fischerei und Wasserschutz (FROV JU), Südböhmisches Forschungszentrum für Aquakultur und biologische Vielfalt von Wassergemeinschaften (Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz - CENAKVA). Die Schlussfolgerungen und Ergebnisse sind im Kapitel 3.2.3. beschrieben.

Der komplette Bericht befindet sich in der Anlage D.4

3.1.5 ERSTELLUNG DER DATENBASIS

Die Datenbasis wurde im Programm MS ACCESS erstellt. In der Datenbasis befinden sich die gesamten dem Auftragnehmer bekannten Wasser-, Sediment- und Fischanalysen.

Die Datenbasisstruktur entspricht ihrem Zweck. Sie wurde als zielgerichtete alle untersuchten Aspekte der Quecksilberproblematik im Stausee Skalka verbindende Datenbasis zusammengestellt.

3.1.6 ERKUNDUNG DER ZUFAHRTSSTRABEN

Am 9.5. 2011 wurde eine Geländeerkundung durchgeführt, die auf die für den Einsatz der Technik und den Abtransport der Sedimente eventuell nutzbaren Verkehrswege ausgerichtet war. Ergebnisse der Geländeuntersuchung – siehe Kapitel 3.2.5.

3.2 ARBEITSERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

3.2.1 BESTIMMUNG DER SEDIMENTMENGE UND -KONTAMINIERUNG

Nach den durchgeführten Analysen und der Abschätzung der die Sohlenmorphologie und den Einfluss der Nebenzuläufe berücksichtigenden Sedimentierungsprozesse wurde die Fläche der risikoreichen Sedimente definiert. Diese Fläche bestimmt die Sedimente, bei welchen eine mögliche Überschreitung des Hg-Grenzwertes von 0,8 mg/kg Trockenmasse vorkommen kann. Die definierte Fläche ist auf dem Bild Nr. 11 mit einem kompakten Polygon dargestellt. In der Tabelle Nr. 6. ist das Sedimentvolumen angeführt.

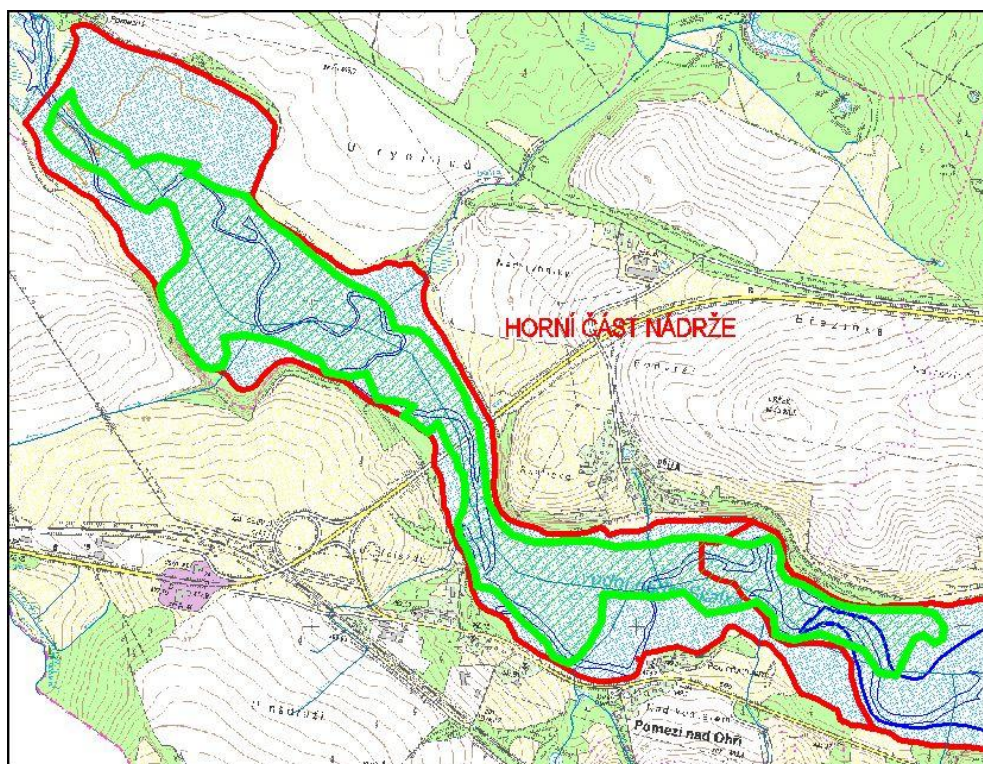


Bild Nr. 15: Fläche mit risikoreichen Sedimenten

Tabelle Nr. 11: Volumen der risikoreichen Sedimente

Bereich	Fläche		Sedimentvolumen		Volumen
	m ²	ha	m ³	T m ³	%
Stauseeoberteil	1 285 700	129	844 288	844	100
Davon risikoreiche Sedimente	672 175	67	455 626	456	54

3.2.2 ERGEBNISSE DER PROBENAHMEN UND –ANALYSEN ZUM ZWECK DER KLASSIFIZIERUNG NACH DEM ABFALLGESETZ

Aus den Ergebnissen der in der Anlage angeführten Analysen (Prüfprotokoll Nr. 3074/11) ergibt sich, dass die Sedimentprobe voll dem Umfang der Ablage Nr. 9 des Gesetzes Nr. 9/2009 GBl. entspricht und das abgebaute Sediment in Übereinstimmung mit diesem Gesetz zum Zuschütten von unterirdischen Räumen und zur Gestaltung von Geländeoberflächen eingesetzt werden kann.

Gemäß Verordnung Nr. 294/2005 GBl., über Deponierungsbedingungen der Abfälle und ihre Nutzung auf der Geländeoberfläche, wurde eine Grundbeschreibung des Abfalls durchgeführt:

Abfallgrundbeschreibung:

Bezeichnung: Die unter der Nummer 17 05 03 nicht angeführten Erde und Gesteine

Kat. Nr.: 17 05 04

Kategorie: O

Aufzählung der gefährlichen Eigenschaften: keine gefährlichen Eigenschaften

Physikalische Eigenschaften des Abfalls (Konsistenz, Farbe, Geruch. u.s.ä.): tonig-sandiges Sediment

Mischbarkeit des Abfalls mit anderen Abfallarten: es gibt keine unerwünschten chemischen Reaktionen

Daten zur Auswaschbarkeit – der Abfall entspricht der Auswaschbarkeitsklasse: der Abfall erfüllt die Tab. 2.1 - II. Auswaschbarkeitsklasse - Verordnung Nr. 294/05

Der Abfall erfüllt die Bedingungen für die Aufnahme auf Deponien der Klasse: S-O

Die Art und das Verfahren der Abfallbehandlung vor der Deponierung: ohne Behandlung

Die nach der Abfallübernahme auf der Deponie zu treffenden Maßnahmen: keine

Bestimmung der während der wiederholten Abfalllieferungen zu betrachtenden kritischen Parameter: Hg-Gehalt in der Trockenmasse während der Sanierungsmaßnahme

3.2.3 ERGEBNISSE DER FISCHANALYSEN

Die Ergebnisse zeigen, dass im Gewebe der analysierten Fische (vor allem der Raubarten - Rapfen, Zander, Barsch, Aal) aus dem Stausee Skalka sehr hohe Werte des Quecksilbergesamtgehaltes festgestellt wurden, die den bestehenden hygienischen Grenzwert oft mehrfach überschritten haben. Der hygienische Grenzwert wurde bei den meisten Muskelmasseproben der analysierten Raub- und auch Friedfische überschritten. Keine Grenzwertüberschreitung gab nur bei dem Karpfen. Bei dem Karpfen wurden die niedrigsten Werte der Hg-Konzentration festgestellt, weil er in den Stausee künstlich ausgesetzt wird und deshalb als die tatsächliche Verseuchung des Stausees widerspiegelnde Fischindikationsart nicht geeignet ist.

Bei den meisten analysierten Arten wurden die höchsten Konzentrationen in der Muskelmasse festgestellt; bei der Brachse in der Leber und bei dem Rapfen in den Nieren. In Standorten mit gewöhnlicher Quecksilberbelastung im Wasser werden bei den Fischen die höchsten Konzentrationen in der Muskelmasse festgestellt. Im Falle der aktuellen beträchtlichen Verseuchung werden vergleichbare Konzentrationen auch in der Leber und in den Nieren ermittelt. Das ist der Fall des Stausees Skalka.

Das Quecksilber ist ein Metall, das in den Organismen während ihres Lebens kumuliert. Bei Fischen werden also die höchsten Konzentrationen dieses Metalls im Gewebe der alten Raubfische (z. B. Hecht, Rapfen, Barsch, Aal, Zander) festgestellt, die sich in der Wasserwelt auf dem Gipfel der Nahrungskette befinden. Ein Vergleich der Verseuchungsstufe der einzelnen Arten untereinander dient bei dieser Probenzahl nur zur Orientierung. Einen eindeutigen Unterschied finden wir zwischen den Raubfischen und Friedfischen.

Aufgrund des Vergleichs des Quecksilbergehaltes in der Fischmuskelmasse zwischen den Jahren 2003, 2007 und 2011 gibt es keine offensichtliche

Änderungstendenz. Zwischen den einzelnen verglichenen Proben gab es Unterschiede in der Hg-Konzentration im Bereich von ca. $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$. Zu diesem Unterschied kann es z. B. durch das unterschiedliche Alter der in den einzelnen Jahren analysierten Fische kommen.

Der komplette Bericht befindet sich in der Anlage D.4

3.2.4 AUSWERTUNG DER ARCHIVANALYSEN

Die urkundlichen Probenanalysen wurden in die Probendatenbasis eingeordnet und in zeitlichen und räumlichen Zusammenhängen ausgewertet.

3.2.5 ZUFAHRTSSTRABEN

Die zum Stausee führenden Zufahrtsstraßen wurden aus der Sicht ihrer Nutzung für die Bewegung der Schwergeräte und für die Versetzung der Erde fachlich begutachtet. Die Kriterien waren ihre Art, der Bauzustand, die Breite, die Länge des Anschlusses an die Hauptstraße und die Ausprägung des Gebietes, das sie durchqueren. Die Bilddokumentation befindet sich in der Anlage D.5

Der zum Stausee führende Hauptverkehrsweg ist die Straße der I. Klasse Nr. 6 (E48); diese Straße wird durch die tschechische Straßen- und Autobahndirektion (Ředitelství silnic a dálnic ČR) verwaltet. Der nächste Verkehrsweg, der für die Transporte eingesetzt wird, ist die Straße der II. Klasse Nr. 606 zwischen Cheb und dem Anschluss an die E48; diese Straße wird durch Bezirksstraßenverwaltung und -instandhaltung der Bezirkes Karlovarský kraj (Krajská správa a údržba silnic Karlovarského kraje) verwaltet. Der weitere potentiell einsetzbare Verkehrsweg ist die Straße der III. Klasse Nr. 21328 für den Anschluss von Pomezná an die Straße E48 und die Straße der III. Klasse Nr. 21320 von der Gemeinde Skalka bis zum Anschluss an die Straße E48; diese Straßen werden durch die Bezirksstraßenverwaltung und -instandhaltung der Bezirkes Karlovarský kraj (Krajská správa a údržba silnic Karlovarského kraje) verwaltet. Die sonstigen potentiell betroffenen Wege und Grundstücke sind im Besitz der Gemeinden, des Staates und der Privatpersonen.

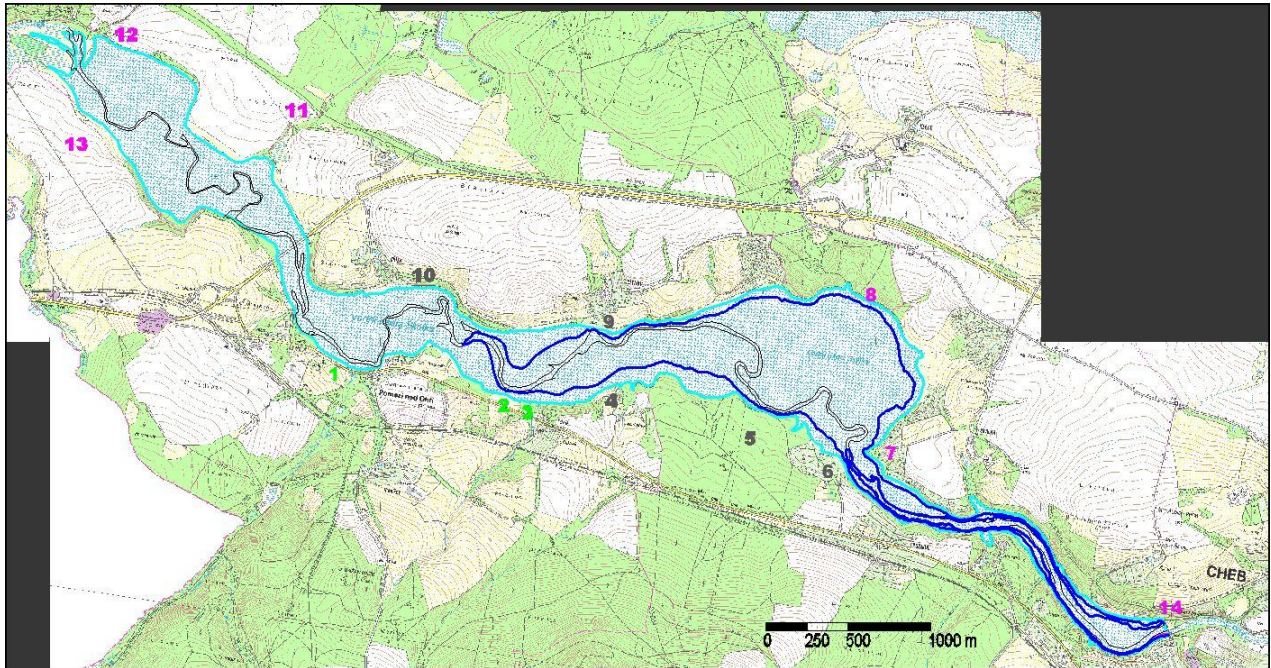
Im Zusammenhang mit der Nutzung der Verkehrswege ist zu betonen, dass über sie große Sedimentmengen verfrachtet werden, was ca. 100-250 Tausend LKW-Frachten mit dem Gewicht von ca. 30 t bedeutet. Diese Schwertransporte könnten diese Verkehrswege beschädigen. Der Bedarf der Verkehrserschließung des Stausees wird also von der gewählten Realisierungsart abhängen. Die einzelnen Stauseebereiche können mit einem internen Baustellenweg verbunden werden.

Die Einstufung wurde in drei Kategorien durchgeführt – geeignet, bedingt geeignet und ungeeignet.

Als für die Sedimentabfuhr geeignet wurden die an den Verkehrsweg Nr. 606 direkt anschließenden Zufahrten Nr. 1, 2, 3 ausgewertet. Der Verkehrsweg liegt hier in der Nähe des rechten Ufers. Das Ufer ist an dieser Stelle sanft.

Die Zufahrten Nr. 7, 8, 11, 12, 13 können als bedingt geeignet betrachtet werden. Ihr Einsatz ist in Abhängigkeit von der gewählten Technik weiter zu beurteilen. Im Falle der Zufahrten 11 und 13 müssten noch Übergänge über die Feldgrundstücke aufgebaut werden. Die Zufahrt 12 wäre aufgrund der Nähe der Standorte Rathsam und Pomezná kompliziert. Bei der Zufahrt 8 müsste ein Übergang über Waldgrundstücke und das steile Ufer gelöst werden. Bei den Zufahren 7 und 14 gibt es eine Komplikation im steilen Hang

und der Überquerung von besiedelten (Erholungs-) Gebieten. Die bestehenden Verkehrswege müssten bis zum Anschluss an die E48 befestigt und saniert werden.



Die Zufahrten Nr. 4, 5, 6, 9 und 10 werden als Zufahrtsstraßen nicht empfohlen. Ihre Nutzung würde den Ausbau von längeren Strecken befestigter Wege außerhalb des Stausees, die Durchfahrt von Schwergeräten durch Erholungsgebiete und komplizierte eigentumsrechtliche Beziehungen bei den Grundstücken bedeuten.

4. ZIELE UND ZIELPARAMETER DER ABHILFEMAßNAHMEN

4.1 ZIELE DER ABHILFEMAßNAHMEN

Die Ziele der Abhilfemaßnahmen hängen erstens mit der Beseitigung der Quecksilberbelastung der Umwelt und zweitens mit der Entsorgung der Sedimente, einer der Ursachen für die Blaualgenentwicklung im Stausee, zusammen.

Allgemeine Ziele der Abhilfemaßnahmen sind:

- Verbesserung der Wasserwirtschaftsfunktion des Stausees Skalka – Erhöhung des Rückhaltevermögens (Durchflussbesserstellung, Hochwasserschutz).
- Verbesserung des Erholungspotenzials durch die Verbesserung der Wassereigenschaften (Erholung, Angelsport, Agrotouristik)
- Einschränkung der Quecksilbereintragung in die Nahrungskette der im gegebenen Standort vorkommenden Tiere einschl. der Bewohner, Aufhebung der Gesundheitsrisiken.
- Sorge für den guten Stand auch in der Zukunft.

Aus der Sicht der Gesetzanforderungen handelt es sich um folgendes:

- Allgemeine Erfüllung der in den Plan des Stromgebietes der Eger und der unteren Elbe implementierten Ziele der Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG
- Erfüllung der Anordnung Nr. 61/2003 GBl., Parameter und Werte der zulässigen Oberflächenwasserbelastung
- Erfüllung der Verordnung Nr. 159/2003 GBl., mit der das zum Baden bestimmte Oberflächenwasser definiert wird
- Verordnung (EG) Nr. 221/2002 der Kommission, zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminationen in Lebensmitteln

4.2 RECHTLICHER RAHMEN DER SEDIMENTENTFERNUNG

Auf den Umgang mit den Sedimenten beziehen sich folgende Rechtsvorschriften:

- das Gesetz Nr. 185/2001 GBl., über Abfälle
- die Verordnung Nr. 257/2009 GBl., über die Nutzung der Sedimente auf landwirtschaftlichen Flächen
- die Verordnung Nr. 294/2005., über Bedingungen der Abfalllagerung auf Deponien und Abfallnutzung auf der Geländeoberfläche

- Tschechische Bergbehörde **Nr. 99/1992 GBI.**, über die Errichtung, den Betrieb, die Sicherstellung und Entsorgung der Anlagen für die Abfalllagerung in unterirdischen Räumlichkeiten

Die Anforderungen an den Schadstoffgehalt in den Sedimenten gemäß diverser Rechtsvorschriften (mg/kg Trockenmasse) sind in der Tabelle Nr. 7 dargestellt (übernommen von [5]).

Tabelle Nr. 12: Anforderungen an den Schadstoffgehalt in den Sedimenten gem. diverser Rechtsvorschriften (mg/kg Trockenmasse)

Vorschrift	Anlage Nr. 9 des Ges. Nr. 185/2001 GBI., über Abfälle, in gültiger Fassung	Tabelle Nr. 10.1 VO Nr. 294/2005 GBI.	VO über den Einsatz der Sedimente auf dem Agrarboden Nr. 257/2009
Parameter	Schadstoffkonzentrationsgrenzwerte in den abgebauten Erden und Nebengesteinen, einschl. der Sedimente aus Wasserbecken und Wasserläufen	Anforderungen an den Schadstoffgehalt in den auf der Geländeoberfläche eingesetzten Abfällen	Grenzwerte der risikoreichen Elemente und Stoffe in den Sedimenten
As	30	10	30
Ba	600		
Be	5		5
Cd	2,5	1	1
Co	30		30
Cr		200	200
Cu	100		100
Hg ¹⁾	0,8	0,8	0,8
Ni	80	80	80
Pb	100	100	100
V	180	180	180
Zn	600		300
BTEX ²⁾	0,6	0,4	0,4
PAU ³⁾	6	6	6
PCB ⁴⁾	0,2	0,2	0,2
Kohlenwasserstoffe C10-C40	300	300	300
Trichloräthylen	0,05		
Tetrachloräthylen	0,05		
EOX		1	
DDT			0,1

Möglichkeiten der Nutzung der Sedimente aus dem Stausee Skalka sind folgend (angepasst aus [5]):

a) Nutzung auf landwirtschaftlichen Flächen gemäß den Bedingungen der Verordnung Nr. 257/2009 GBl., über die Sedimentnutzung auf landwirtschaftlichen Flächen

Sedimente, die dem Anhang Nr. 1 der Verordnung Nr. 257/2009 GBl. entsprechen, sind bei der Nutzung auf landwirtschaftlichen Flächen kein Abfall. Wenn sie gleichzeitig die strengeren Grenzwerte der Anlage Nr. 3 der Verordnung Nr. 257/2009 GBl. erfüllen, müssen die Flächen, wo sie eingesetzt werden, nicht geprüft werden. Wenn die Sedimente der Anlage Nr. 1 entsprechen, nicht aber den wesentlich strengeren Grenzwerten der Anlage Nr. 3, muss die Fläche, wo sie angebracht werden, geprüft und der Sedimenteinsatz durch eine Bilanzberechnung der Zulässigkeit der geplanten Anwendung behandelt werden.

Aufgrund der Anforderung auf enormen Schutz der Agrarflächen und der möglichen durch eine unkorrekte Nutzung der Sedimente aus der Verödung der Flächen gegebenen Risiken wurden die Grenzwerte der Anlage Nr. 3 ziemlich scharf definiert. Das Prinzip der Bilanzberechnung des Sedimenteinsatzes im Verhältnis max. 1:3 zu der Tiefe der Muttererde sollte ausreichend sein, um die Erde bei der Grenzwerteinhaltung zu schützen. Die Einschränkung der Anwendung ist nicht nur durch die Einhaltung (Grenzwernerfüllung unter anderem auch für das Korngerüst) sondern auch durch weitere Anforderungen gegeben, besonders durch die Einhaltung der höchsten Anwendungsdosis und die Einhaltung des Höchstverhältnisses 1:3 (mit weiteren Einschränkungen im Falle zu kleiner Mächtigkeit der Muttererde).

Aus der Sicht des Volumens und der unsicheren Qualität ist diese Anwendungsweise für die Sedimente aus dem Stausee Skalka nur im beschränkten Maße möglich.

b) die Nutzung der Sedimente als Nichtabfälle auf Flächen außerhalb von Agrarflächen gem. § 2 Abs. 1 Buchst. h) und der Anlage Nr. 9 des Gesetzes Nr. 185/2001 GBl., über Abfälle in gültiger Fassung;

Wenn die Sedimente aus Wasserläufen oder Becken die Grenzwerte der Anlage Nr. 9 des Gesetzes erfüllen, müssen sie nach dem Abfallgesetz nicht an andere Personen übergeben werden. Das ist eine theoretische legislative Einstufung für die vorgeschlagene Lagerung der Sedimente.

c) Nutzung der Sedimente als Rohstoffe für die Produktion von Komposten als registrierten Düngemittel oder in Vorrichtungen, die gemäß der Verordnung Nr. 341/2008 GBl., über Einzelheiten der Behandlung der biologisch abbaubaren Abfälle und über die Änderung der Verordnung Nr. 294/2005 GBl., über die Bedingungen der Abfalldeponierung und Nutzung der Abfälle auf Geländeoberflächen und Änderung der Verordnung Nr. 383/2001 GBl., über die Einzelheiten der Abfallbehandlung betrieben werden;

Aus der Sicht der Mengen und der unsicheren Qualität ist diese Behandlungsart für die Sedimente aus dem Stausee Skalka nur im beschränkten Maße möglich.

d) Nutzung der Sedimente als Abfälle im Sinne der Verordnung Nr. 294/2005 GBl., über die Bedingungen der Abfalllagerung auf Deponien und ihre Nutzung auf Geländeoberflächen, Anlage Nr. 11.

Die Nutzung der Sedimente als Abfälle im Sinne der Verordnung Nr. 294/2005 GBl., der Anlage Nr. 11, ist von der Erfüllung der strengen Grenzwerte (allgemein bis unreal z. B. bei dem Arsen) in der Tabelle Nr. 10.1 und bei der Nutzung von mehr als 1000 Tonnen

auch von einer Risikobewertung nach der Verordnung der Tschechischen Bergbehörde (ČBÚ) Nr. 99/1992 GBl. in gültiger Fassung abhängig.

Aus der Sicht der Mengen und der unsicheren Qualität ist diese Behandlungsart für die Sedimente aus dem Stausee Skalka nur für einen bestimmten Teil der Sedimente möglich.

5. MÖGLICHKEITEN DER SEDIMENTSANIERUNG UND LAGERUNG

5.1 MÖGLICHKEITEN DER SEDIMENTDEKONTAMINATION

Die Dekontamination der durch Quecksilber betroffenen Festfraktion erfolgt meistens mit den Verfahren der Erstarrung/Stabilisierung, der thermische Desorption und Vitrifikation und das vor allem on site oder ex situ. Möglichkeiten für eine in situ Dekontamination der mit Quecksilber verseuchten Sedimente beschränken sich auf das Verfahren des Abbaus in Verbindung mit folgendem Phytoremediations- und Air-Strippingverfahren.

Das eigene Sanierungsprojekt der Sohlensedimente aus dem Stausee Skalka sollte in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Risikoanalyse und der vorausgesetzten Nutzung des Stausees stattfinden. Die Beseitigung der Sohlensedimente mit dem Abbau hat erstens eine Sanierungsfunktion (direkte Quecksilberentfernung aus der Umwelt) und zweitens eine fördernde Funktion (Erhöhung der Wassersäule und Gesundung des durch das Blaualgenvorkommen betroffenen Stausees). Als Sanierungsverfahren erscheint das also als primär und es kann durch fördernde Phytoremediations- und Air-Strippingmethoden begleitet werden. Die Phytoremediation ist eine Methode, die das Quecksilber aus dem Oberflächenwasser und aus Sedimenten durch biologische Umwandlungen im Pflanzengewebe direkt entsorgt. Einige Wasserpflanzen, z. B. Algenfarn (*Azolla caroliniana*) können in Form von Hg^{2+} in der Trockenmasse große Quecksilbermengen und zwar bis 578 mg/dm^3 binden, was bei der Dekontaminierung der Ökosysteme genutzt wird. Im Rahmen von Pilotvorhaben wurden auch Wasserpflanzen der Gattung *Oryza sativa* und *Populus deltoides* (nach US EPA) geprüft, die nachweislich die Quecksilberione zur elementaren Form umwandelnden Enzyme produzieren. Die Risikoanalyse kann also aufgrund der Ergebnisse die Nutzung der Sümpfe nach dem Abbau als fördernde Sanierungsmaßnahme empfehlen. Aufgelöstes und sorbiertes elementares Quecksilber kann in der Wassersäule auch mit Hilfe der Durchlüftung freigesetzt werden, was hauptsächlich in anoxischen und anaeroben Bedingungen wichtig ist, weil das elementare Quecksilber in der Anwesenheit von Sauerstoff ziemlich leicht zum löslicheren HgO oxidiert.

Für die genaue Bestimmung einer geeigneten Technologie ist im Rahmen der Risikoanalyse eine Artbildungsanalyse der einzelnen Quecksilberformen (organisches, elementares und Ionenquecksilber), einschl. ihrer proportionalen Vertretung und eine Aktualisierung des Konzeptionsmodells der Quecksilberverfrachtung in den betroffenen Ökosystemen durchzuführen. Die Methodik dieser Erhebung rechnet mit Probenahmen der Sedimente, des Oberflächenwassers aus dem Stausee und der Pflanzen, bei welchen dann mit der Methode HPLC eine Analyse des Quecksilbergesamtgehaltes und weiter eine

Analyse der einzelnen Quecksilberformen ($\text{Hg}_{\text{tot.}}$, $\text{Hg}(0)$, Hg^{2+} , Methylquecksilber, Dimethylquecksilber) durchgeführt wird. Zu diesem Zweck sollten die Proben in Profilen an jeder Stauseeseite entlang der ganzen Stauseelänge abgenommen werden - Schrittbereich á 100 m je 1 Probe. Insgesamt sollte es sich um ca. 120 Sedimentproben, 30 Wasserproben und 15 Pflanzengewebeproben handeln, von denen ca. 25 Proben für die Artbildungsanalyse ausgesucht werden sollten. Mit Rücksicht auf die durchgeführten Analysen ist anzunehmen, dass das meiste Quecksilber im Stausee Skalka auf Faulschlamm und zwar in elementarer Form gebunden ist. Das Quecksilber ist auf die organischen Detrituspartikel gebunden und durch die Wirkung von physikalisch-chemischen Bindungen an die Humin- und Fulvinsäurenmolekülen.

5.2 MÖGLICHKEITEN DES SEDIMENTABBAUS

Gegenwärtig gibt es folgende Konzeptionen der Sedimententsorgung:

Trockener Weg - im entleerten Becken unter dem Einsatz von Erdarbeitmaschinen. Nach der Entleerung des Stausees werden die Sedimente relativ austrocknen, was noch durch die in den Hauptentwässerungsgraben, das ursprüngliche Bett, führenden Entwässerungsrinnen unterstützt wird. Die technologische Methode hängt vor allem von der Mächtigkeit der Anlagerungsschicht, von der Sohlentragfähigkeit für die Schwergeräte und der Sohlendurchlässigkeit ab. Der Schlamm wird durch Bagger oder Lader abgenommen oder mit einem Bulldozer gescharrt, auf Verkehrsmittel beladen und weggebracht. Die Sohlentragfähigkeit entscheidet über den Einsatz von Rad- oder Raupengeräten und über den Umfang der neu zu bauenden vorübergehenden Plattenstraßen. Vor dem eigenen Abbau wird der Stausee zum Zweck des getrennten Abbaus entsprechend der Schlammqualität und dem -charakter in Abschnitte aufgeteilt.

Nasser Weg mit Hilfe von auf dem Spiegel schwimmenden Saugbaggern. Die Sedimente werden im Gemisch mit Wasser abgesaugt und direkt auf die Bestimmungsstelle oder in Lagunen zur weiteren Entwässerung umgepumpt.

Weitere Möglichkeiten gibt es mit Eimerkettenbaggern oder mit dem Abschuss des Schlammes.

Vorläufig wurde der trockene Weg mit dem Einsatz von Erdarbeitmaschinen vorgeschlagen. Dieses Verfahren minimiert die Aufwirbelung der verseuchten Sedimente. Mit nassem Weg kann der untere Teil des Stausees und die Räume unter dem nicht absenkbaren Spiegel abgebaut werden.

5.3 MÖGLICHKEITEN DER SEDIMENTLAGERUNG

Der Raum für die Sedimentlagerung wird durch seine Qualität und sein Volumen bestimmt. Im Rahmen der vorgelegten Machbarkeitsstudie wurden keine konkreten Lagerungsstellen vorgeschlagen. Wichtig ist die Minimierung der Transportentfernungen, weil die Transportkosten einen wesentlichen Bestandteil der Kosten bilden.

In der Kostenabschätzung der Machbarkeitsstudie wurde die Nutzung der im Atlas der Abfallentsorgungsanlagen eingetragenen Deponien [7] nicht in Betracht genommen. Diese Deponien haben eine beschränkte Kapazität und sind hauptsächlich für andere Abfallarten bestimmt. Die abgebauten Sedimente können auf diesen Deponien teilweise als Zwischenlagen zwischen den einzelnen Schichten oder zur Rekultivierung der

Deponien eingesetzt werden. Es handelt sich um Deponien für sonstige Abfälle (S-OO) Tisová u Sokolova, Vintřov, Božičany, Bražec u Hradiště und Černošín im Umkreis von ca. 40 km.

Aus dem Plan der Abfallwirtschaft des Bezirkes Karlovarský kraj [6] wurden folgende zu sanierende Bergbaustandorte im Kreis Sokolov ausgesucht: Nové Sedlo, Krásno, Vřesová und Družba. Diese in der Fläche umfangreichen Räume wurden erst vorläufig vorgeschlagen und sind noch weiter zu bewerten und aus der Sicht der Lagerungsmöglichkeiten zu beurteilen: eine hydrogeologische Beurteilung der Einflüsse auf das Grundwasser, Koordinierung mit den Rekultivierungsplänen, Koordinierung mit den Abbauplänen, die Abfallpolitik des Bezirkes Karlovarský kraj.

6. GRUNDKONZEPTION DER ABHILFEMAßNAHMEN

Mit Rücksicht auf die ermittelten Tatsachen über die Sedimentverseuchung wird als einzige Abhilfemaßnahme der Abbau von höchstmöglichen Sedimentmengen in Betracht genommen. Eine Null-Variante wurde nicht erarbeitet; eine Variante, wo keine Maßnahme durchgeführt wird, empfehlen wir in der Risikobewertung zu beurteilen.

Der Stausee wurde in oberen, mittleren und unteren Bereich aufgeteilt. Der obere Bereich, wo die Sedimentqualität monitoriert wurde, stellt den überfluteten Teil dar, der sich unter dem Winterbetriebsspiegel befindet. Es handelt sich um den Bereich von dem Stauseekopf bis zur Gemeinde Pomezí nad Ohří. Im oberen Bereich wurde die Sedimentabtragung in zwei Abschnitten vorgeschlagen. Die Aufteilung in Abschnitte wurde wegen der Möglichkeit durchgeführt, den Spiegel bei Arbeiten im Abschnitt 1 auf dem Niveau ca. 438 m. ü. M. zu halten, also mäßig über dem Winterspiegel. Die Aufteilung in Abschnitte ermöglicht, dass sich die aufgewirbelten Sedimente im unteren Abschnitt setzen, wo sie im Rahmen der Folgeetappe abgebaut werden.

Den mittleren Stauseebereich bildet der Teil zwischen den Gemeinden Cetnov und Skalka. Es handelt sich vor allem um den sog. Stauseebauch. Den unteren Bereich bildet der schmalste Teil in der Länge von ca. 2,2 km über dem Stausee. Im mittleren und unteren Beckenteil wurde kein Monitoring der Quecksilberbelastung in den Sohlesedimenten durchgeführt, der Abbau der Sedimente wird hier vorläufig auch empfohlen.

Trotzdem, dass die durch das Quecksilber mehr belasteten Partikel in einzelnen Sedimentschichten vorkommen, wurde der Abbau der einzelnen Schichten wegen der Aufwändigkeit nicht vorgeschlagen. Die Mächtigkeiten und die Flächenverteilung im Stausee sind so variabel, dass ein separater Abbau der Schichten mit gewöhnlichen und wirtschaftlich zugänglichen Verfahren nicht real ist.

Es bleibt die Möglichkeit, die mehr belasteten Bereiche während eines ausführlicheren Monitorings im Rahmen von weiteren Erkundungsarbeiten oder während der Realisierung genauer zu lokalisieren.

Das zeitliche Vorgehen der Arbeiten wird von den Anforderungen seitens der wasserwirtschaftlichen und energetischen Nutzung abhängen. Die Abbaudauer wird von

dem Umfang der eingesetzten Technik abhängen. Die Dauer wurde auf 2 bis 4 Jahre für den oberen Abschnitt und 3 bis 5 Jahre für den unteren Abschnitt abgeschätzt.

Gemäß der durchgeführten Analysen entsprechen die Sedimente den Kriterien der Anlage Nr. 9 des Gesetzes Nr. 9/2009 GBl. Das abgebaute Sediment kann zur Befüllung von unterirdischen Räumen und Geländeoberflächengestaltungen eingesetzt werden. Für die Lagerung der Sedimente wurde deshalb der Grubenraum im Standort Sokolov und alternativ die Flächen um den Stausee herum vorgeschlagen. Diese Möglichkeiten wurden aber bisher noch nicht näher erörtert.

Den größten Anteil an den Gesamtkosten stellen die Transport- und Lagerungskosten dar.

Mit Rücksicht auf die niedrige Wirksamkeit der Phytomediationsverfahren und die hohen Kosten des Entseuchungsverfahrens wurden diese Maßnahmen nicht vorgeschlagen.

Vorgeschlagen wurden die **Variante 1 – Abbau des oberen Stauseeabschnittes** und **Variante 2 – Abbau des ganzen Stausees**.

Die Teilvarianten 1A, 1B und 2A und 2B berücksichtigen anhand der Gefahrenlage verschiedene Standorte und Arten der Sedimentlagerung (siehe Kapitel 3.2.1)

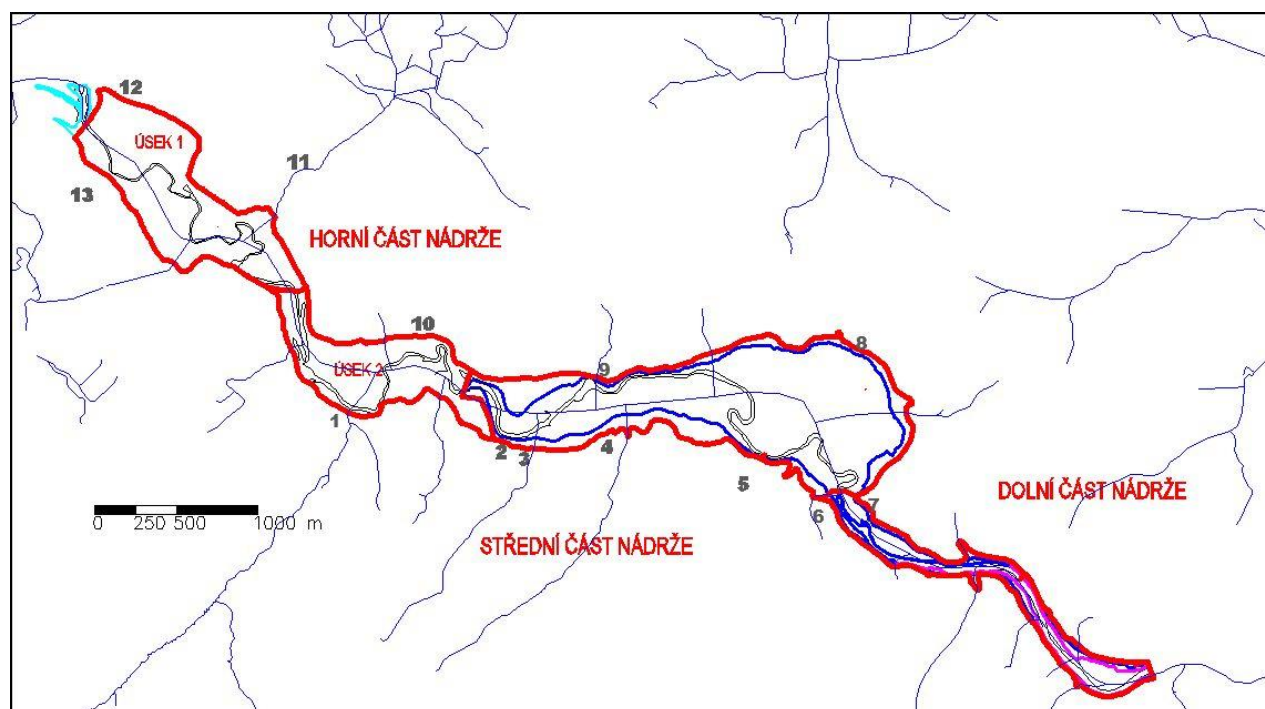


Bild Nr. 16: Aufteilung des Stausees in Bereiche und Arbeitsabschnitte

7. UMFANGSBILANZ ZUR REALISIERUNG DER ABHILFEMAßNAHMEN

Die Tabellen Nr. 8 und 9 stellen die Bilanz der Mengen und Flächen der einzelnen Staubereiche dar

Tabelle Nr. 13: Sedimentgesamtbilanz

Bereich	Fläche		Sedimentvolumen		Ø Sedimenttiefe
	m ²	ha	m ³	T m ³	m
Oberer Stauseeteil	1 285 700	129	844 288	844	0,66
Abschnitt 1	672 175	67	455 626	456	
Abschnitt 2	664 950	66	444 686	445	
Mittlerer Stauseeteil	1 409 075	141	751 386	751	0,56
Unterer Stauseeteil	346 750	35	84 635	85	0,32
Stausee Skalka insgesamt	3 041 525	304	1 680 308	1 680	0,58

Tabelle Nr. 14: Bilanz des risikoreichen Sedimentes im oberen Stauseeteil

Bereich	Fläche		Sedimentvolumen		Vol.
	m ²	ha	m ³	T m ³	%
Oberer Teil insgesamt	1 285 700	129	844 288	844	100
Davon risikoreiche Sedimente	672 175	67	455 626	456	54
Risikoreiche Sedimente Abschnitt 1	362 775	36	212 092	212	
Risikoreiche Sedimente Abschnitt 2	309 400	31	243 534	244	
Risikoarme Sedimente – Oberer Teil	613 525	61	388 662	389	46

8. TECHNISCHE LÖSUNG

8.1 BESTIMMUNG DER VARIANTEN

8.1.1 VARIANTE 1 – ABBAU DES OBEREN STAUSEETEILES

In dieser Variante werden Sedimente im oberen Stauseebereich abgebaut. Das wurde in zwei Abschnitten vorgeschlagen. Der Abschnitt 1 stellt die Fläche von dem Stauseekopf bis zu der Brücke der Straße II. Klasse Nr. 606 dar. Der Abschnitt 2 stellt den Teil von der Brücke bis zum Level des Winterspiegels dar.

Vorgeschlagen wird die Sedimententfernung auf trockenem Wege. Vor dem Abbau wird der Stausee auf den notwendigen Level entleert und die Sedimente natürlich und mit

der Hilfe von Entwässerungsrinnen ausgetrocknet. Die Entwässerungsrinnen werden entsprechend der Sedimentkörnigkeit und der Sohlenmorphologie in vorausgesetzten 50m-Abständen gebaut. Für das Anfahren der Kraftfahrzeuge wird im Umkreis des Stausees ein Hauptbaustellenverkehrsweg aus Betonplatten aufgebaut. Aus diesem Weg werden dann Nebenzubringer abzweigen. Die Dichte der Bauverkehrswege wird von der eingesetzten Technik und der Erreichung der notwendigen Sohlentragfähigkeit abhängen. Es werden Baustellenverkehrswege in Streifen nach ca. 100 m vorausgesetzt, damit die Transportentfernung der Sedimente durch das Schirren nicht mehr als 50 m beträgt. Das Bett der Eger und der Nebenflüsse werden mit Viadukten überwunden. Das werden vorübergehende Brücken oder Schleusen mit vorgeschlagenem Durchfluss von ca. Q_1 sein.

Die Zufahrtsstraßen zu dem oberen Teil des Abschnittes 1 (Zufahrten 11, 12, 13) sind für den Zweck der Baustelle noch eigentumsrechtlich und technisch vorzubereiten.

Der Zutritt zu dem Abschnitt 2 wird von den Zufahrten 1, 2 oder 3 vorausgesetzt. Als Baustellenstraße kann der ehemalige Weg zum Stausee genutzt werden, der ein wenig über das Gelände herausragt. Auf diesem Weg könnte an der Stelle der ehemaligen Brücke an der Zufahrt 1 eine vorübergehende Brückenkonstruktion aufgebaut werden.

Die Variante 1A rechnet mit Verlagerungen der abgebauten Sedimente in die Umgebung der Stadt Sokolov in einer Entfernung von 35 km. Die Variante 1B rechnet mit Verlagerungen der risikoreichen Sedimente in die Umgebung der Stadt Sokolov in einer Entfernung von 35 km und mit Verlagerungen der risikoarmen Sedimente in die Stauseeumgebung in die Entfernung von 10 km.

8.1.2 VARIANTE 2 - ABBAU DES GAZEN STAUSEES

In dieser Variante wird eine ähnliche technologische Vorgehensweise, wie bei der Variante 1 vorgeschlagen. Abgebaut werden Sedimente aus dem ganzen Stauseeraum.

Die Variante 2A rechnet mit der Abfuhr des gesamten Stauseevolumens in den Standort Sokolov, die Variante 2B rechnet mit der Abfuhr von 50 % der Sedimente in den Standort Sokolov und 50 % auf das Gelände in der Stauseeumgebung.

8.2 ERGÄNZUNGSMABNAHMEN GEGEN DAS SEDIMENTABSCHWEMMEN

Als Maßnahme gegen das Abschwemmen der Sedimente bei den Arbeiten, die folgend das Bett unter dem Stausee verseuchen könnten, wurde eine Kapazitätsvergrößerung des Betts im Stausee auf $Q_2 \approx 100 \text{ m}^3/\text{s}$ vorgeschlagen. Die Kapazitätsvergrößerung wird mit einer Ausbreitung oder Ergänzung des bestehenden Betts durch ein neues gleichlaufendes Bett durchgeführt, dessen Sohle mit einer Geo-Textilie verfestigt wird. Während der Arbeiten im Flussbett wird darüber hinaus eine Filtrationsanlage für vorkommende Schwebstoffe aufgebaut. Sie wird aus einer Holz- oder Metallsperre der Größe ca. 3x30 m bestehen, die um austauschbare Streifen aus einem Filtrationsstoff (Textilie) ergänzt wird. Durchschnittlicher Durchfluss durch das Bett im Staubereich beträgt $6,32 \text{ m}^3/\text{s}$.

9. AUSWERTUNG DER VARIANTEN

Die Varianten werden nur aus wirtschaftlicher Sicht ausgewertet. Es ist offensichtlich, dass der ideale Stand und die empfohlene Variante der Abbau der Sedimente aus dem ganzen Stausee ist. In dieser Variante werden die verseuchten Sedimente im höchsten Maße entfernt und so der höchste Einfluss auf die Zielerfüllung erreicht. Es ist offensichtlich, dass die größte Auswirkung auf die Gesamtkosten die Sedimenttransportentfernungen haben werden.

Tabelle Nr. 15: Kosten für die Variante 1A

Variante 1A Abbau des oberen Stauseeteiles				
Volumen der Sedimente		844 288	m ³	
Fläche des Stauseeoberteiles		1 409 075	m ²	
Abfuhr Entfernung		35	km	
Erdarbeiten im Staugebiet	ME	Zahl	CZK/ME	insges. CZK
Beseitigung der Bäume und Sträucher	m ²	25 000	70	1 750 000
Ausgrabungen der Sedimente	m ³	844 288	100	84 428 765
Waagerechte Versetzung der Sedimente im Staugebiet	m ³	1 409 075	50	70 453 750
Ausgrabungen der Entwässerungsrinne	m ³	42 272	70	2 959 058
Abtransport der Sedimente	ME	Zahl	CZK/ME	insg. CZK
Vorübergehende Bahn aus Platten (zweifacher Einsatz der Platten)	m ²	31 704	1000	31 704 188
Abtransport 1 m ³ in die Entfernung 35 km	m ³	844 288	875	738 751 694
Lagerung der Sedimente auf der Abfuhrstelle	ME	Zahl	CZK/ME	insg. CZK
Lagerung der Schüttstoffe	m ³	844 288	50	42 214 383
Ergänzende Maßnahmen	ME	Zahl	CZK/ME	insg. CZK
Bettgestaltung für den Durchsatz der Hochwasserdurchflüsse	m	4 000	5000	20 000 000
Anlage zum Auffangen der schwebenden Sedimente	St.	5	500000	2 500 000
Baustellenüberführungen des Hauptlaufes/der Nebenläufe	St.	20	50000	1 000 000
Wegeerneuerung entlang des Stausees	m ²	20 000	1500	30 000 000
Insgesamt				1 025 761 836
Preis pro 1 m ³ Sedimentes				1 215

Tabelle Nr. 16: Kosten für die Variante 1B

Variante 1B Abbau des oberen Stauseeteiles				
Volumen der Sedimente		844 288	m ³	
Fläche des Stauseeobereteiles		1 409 075	m ²	
Abfuhr Entfernung risikohafte Sedimente		35	km	
Abfuhr Entfernung sonstige Sedimente		5	km	
Erdarbeiten im Staugebiet	ME	Zahl	CZK/ME	insges. CZK
Beseitigung der Bäume und Sträucher	m ²	25 000	70	1 750 000
Ausgrabungen der Sedimente	m ³	844 288	100	84 428 765
Waagerechte Versetzung der Sedimente im Staugebiet	m ³	1 409 075	50	70 453 750
Ausgrabungen der Entwässerungsrinne	m ³	42 272	70	2 959 058
Abtransport der Sedimente	ME	Zahl	CZK/ME	insg. CZK
Vorübergehende Bahn aus Platten (zweifacher Einsatz der Platten)	m ²	31 704	1000	31 704 188
Abtransport 1 m ³ in die Entfernung 35 km	m ³	455 626	875	398 672 684
Abtransport 1 m ³ in die Entfernung 10 km	m ³	388 662	125	48 582 716
Lagerung der Sedimente auf der Abfuhrstelle	ME	Zahl	CZK/ME	insg. CZK
Lagerung der Schüttstoffe	m ³	844 288	50	42 214 383
Ergänzende Maßnahmen	ME	Zahl	CZK/ME	insg. CZK
Bettgestaltung für den Durchsatz der Hochwasserdurchflüsse	m	4 000	5000	20 000 000
Anlage zum Auffangen der schwebenden Sedimente	St.	5	500000	2 500 000
Baustellenüberführungen des Hauptlaufes/der Nebenläufe	St.	20	50000	1 000 000
Wegeerneuerung entlang des Stausees	m ²	20 000	1500	30 000 000
Insgesamt				734 265 543
Preis pro 1 m ³ Sedimentes				870

Tabelle Nr. 17: Kosten für die Variante 2A

Variante 2A Abbau des ganzen Stausees				
Volumen der Sedimente		1 680 308	m ³	
Fläche des Stauseeoberteiles		3 041 525	m ²	
Abfuhr Entfernung		35	km	
Erdarbeiten im Staugebiet	ME	Zahl	CZK/ME	insges. CZK
Beseitigung der Bäume und Sträucher	m ²	25 000	70	1 750 000
Ausgrabungen der Sedimente	m ³	1 680 308	100	168 030 810
Waagerechte Versetzung der Sedimente im Staugebiet	m ³	3 041 525	50	152 076 250
Ausgrabungen der Entwässerungsrinne	m ³	91 246	70	6 387 203
Abtransport der Sedimente	ME	Zahl	CZK/ME	insg. CZK
Vorübergehende Bahn aus Platten (zweifacher Einsatz der Platten)	m ²	68 434	1000	68 434 313
Abtransport 1 m ³ in die Entfernung 35 km	m ³	1 680 308	875	1 470 269 588
Lagerung der Sedimente auf der Abfuhrstelle	ME	Zahl	CZK/ME	insg. CZK
Lagerung der Schüttstoffe	m ³	1 680 308	50	84 015 405
Ergänzende Maßnahmen	ME	Zahl	CZK/ME	insg. CZK
Bettgestaltung für den Durchsatz der Hochwasserdurchflüsse	m	7 000	5000	35 000 000
Anlage zum Auffangen der schwebenden Sedimente	St.	10	500000	5 000 000
Baustellenüberführungen des Hauptlaufes/der Nebenläufe	St.	40	50000	2 000 000
Wegeerneuerung entlang des Stausees	m ²	40 000	1500	60 000 000
Insgesamt				2 052 963 568
Preis pro 1 m ³ Sedimentes				1 222

Tabelle Nr. 18: Kosten für die Variante 2B

Variante 2B Abbau des ganzen Stausees				
Volumen der Sedimente		1 680 308	m ³	
Fläche des Stauseeoberteiles		3 041 525	m ²	
Abtransport Entfernung 50%		35	km	
Abtransport Entfernung 50%		5	km	
Erdarbeiten im Staugebiet	ME	Zahl	CZK/ME	insges. CZK
Beseitigung der Bäume und Sträucher	m ²	25 000	70	1 750 000
Ausgrabungen der Sedimente	m ³	1 680 308	100	168 030 810
Waagerechte Versetzung der Sedimente im Staugebiet	m ³	3 041 525	50	152 076 250
Ausgrabungen der Entwässerungsrinne	m ³	91 246	70	6 387 203
Abtransport der Sedimente	ME	Zahl	CZK/ME	insg. CZK
Vorübergehende Bahn aus Platten (zweifacher Einsatz der Platten)	m ²	68 434	1000	68 434 313
Abtransport 1 m ³ in die Entfernung 35 km	m ³	840 154	875	735 134 794
Abtransport 1 m ³ in die Entfernung 10 km	m ³	840 154	125	105 019 256
Lagerung der Sedimente auf der Abfuhrstelle	ME	Zahl	CZK/ME	insg. CZK
Lagerung der Schüttstoffe	m ³	1 680 308	50	84 015 405
Ergänzende Maßnahmen	ME	Zahl	CZK/ME	insg. CZK

Bettgestaltung für den Durchsatz der Hochwasserdurchflüsse	m	7 000	5000	35 000 000
Anlage zum Auffangen der schwebenden Sedimente	St.	10	500000	5 000 000
Baustellenüberführungen des Hauptlaufes/der Nebenläufe	St.	20	50000	1 000 000
Wegeerneuerung entlang des Stausees	m ²	40 000	1500	60 000 000
Insgesamt				1 421 848 030
Preis pro 1 m ³ Sedimentes				846

In der folgenden Tabelle sind die Kosten der einzelnen Varianten zusammengefasst. Die Kosten wurden um eine Sicherheitsreserve in der Höhe 25 % erhöht. Der Endpreis kann darüber hinaus um die Vergebührung der Lagerung der als Abfall bewerteten Sedimente erhöht werden.

Tabelle Nr. 19: Vergleich der Varianten, Kostenaufstockung um die Sicherheitsreserve

Variante	Sediment-volumen	Kosten	Gesamtkosten einschl. Reserve
	T m ³	Mio. CZK	25%
1A	844	1026	1282
1B	844	734	918
2A	1 680	2053	2566
2B	1 680	1422	1777

10. ZUSAMMENFASSUNG, SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

10.1 IST-STAND-ZUSAMMENFASSUNG

Es ist ohne Zweifel, dass die Sedimente im Stausee Skalka durch die Quecksilbereinträge in den Sedimentationsraum langfristig kontaminiert werden. Dieser Stand beeinflusst das Biotop im Stausee, dessen Gipfel die Raubfischpopulation bildet. Das Fleisch und die Organe der Raubfische weisen eine bis dreifache Überschreitung der hygienischen Normen aus. Eine weitere Verbreitung der Verseuchung außerhalb des Stausees, z. B. durch Vögel, halten wir derzeit für unerheblich. Weder auf der tschechischen noch auf der bayerischen Seite sind andere Wege der Hg-Kontamination bekannt, als durch die Sedimente, Schwebstoffe und das Wasser.

Gegenwärtig kennen wir keine andere Entsorgungsart dieser beträchtlichen Umweltbelastung, als den Abbau der Teichsedimente, mindestens im Bereich, der als das Polygon der risikoreichen Sedimente gekennzeichnet ist (siehe Bild Nr. 12). Die Sanierungsmethoden wie Air-Tripping und Phytoremediation halten wir für ergänzende Verfahren, die als mögliche Entsorgungsarten des stark belasteten Restwassers (air stripping) oder als Endsanierung der Restbelastung nach dem Abbau (Phytoremediation) eingesetzt werden können.

Die abgebauten Stoffe oder ihr überwiegender Teil werden höchstwahrscheinlich keinen Abfall im Sinne der gegenwärtigen Legislative bilden und es sollte möglich sein, sie auf die Geländeoberfläche zu lagern.

Die Realisierungskosten wurden in den Varianten auf 1,5 - 2,5 Mrd. CZK abgeschätzt (Variante mit dem Abbau der gesamten Sedimente). Die Kosten der weiteren Vorprojekt- und Projektvorbereitung können auf weitere 20 - 50 Mio. CZK abgeschätzt werden. Die Dauer der Vorprojekt- und Projektvorbereitung kann 1-3 Jahre betragen. Die folgende Realisierung wird auf ca. 3 - 8 Jahre abgeschätzt, je nach der eingesetzten Technologie und der Lagerungsart der abgebauten Stoffe.

10.2 ZUSAMMENARBEIT MIT DER BAYERISCHEN SEITE

Aus den bisher durchgeführten Arbeiten und den Ergebnissen der Arbeitsbesprechungen mit der bayerischen Seite ist offensichtlich, dass im Zusammenhang mit der durchgeführten Wasserlaufrevitalisierung oder den naturnahen Maßnahmen am Fluss Kösse von Marktredwitz bis zu dem Zusammenlauf mit der Röslau und dann an der Röslau bis zur Einmündung in die Eger die Quecksilberverfrachtung in den Stausee Skalka ohne erforderliche Maßnahmen noch weitere Jahrzehnte weitergehen wird.

Die Aufmerksamkeit ist außer der Sedimententsorgung also auch auf die Minimierung der künftigen Eintragung der kontaminierten Sedimente in den Raum des Stausees Skalka zu widmen.

Diese Maßnahmen sind aber nur auf der bayerischen Seite möglich. Aus diesem Grund wird außer dem Abbau der Sedimente noch der Ausbau eines Beckens an der

Röslau auf deutschem Gebiet empfohlen. Das Becken sollte eine für die Sedimentablagerung optimale Dimension haben.

In Zusammenarbeit mit der bayerischen Seite ist eine Identifizierung und Deskription der Wasserlaufabschnitte der Eger von dem Zusammenlauf mit der Röslau bis zur Einmündung in den Stausee Skalka durchzuführen und zwar mit der gleichen Methodik, die auf der bayerischen Seite eingesetzt wird.

Nach der Durchführung von diesen Arbeiten kann eine vollständige Bestandsaufnahme der Quellen der sekundären Belastung erfolgen, die den möglichen Umfang und die Intensität der künftigen Eintragung kontaminierten Wassers, Schwebstoffe und Sedimente widerspiegeln kann.

10.3 SONSTIGE SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Das Projekt wird wahrscheinlich in das Verfahren der Beurteilung der Umweltauswirkungen (EIA) nach dem Gesetz Nr. 100/2001 eingeschlossen.

Die Realisierungskosten wurden auf 1,5 - 2,5 Mrd. CZK abgeschätzt. Die Kosten der weiteren Vorprojekt- und Projektvorbereitung können auf weitere 20 - 50 Mio. CZK abgeschätzt werden. Die Vorprojektvorbereitung kann 1-3 Jahre dauern. Die folgende Realisierung wird sich auf ca. 3 - 8 Jahre belaufen. In die Gesamtkosten sind auch die Maßnahmen in Form vom Rückhalte-/Absetzbecken auf deutschem Gebiet einzuschließen.

Aufgrund der Unsicherheit bei der Feststellung des Sedimentvolumens im Stausee Skalka wurde bei der Kostenbestimmung eine Haushaltsreserve in der Höhe von 25 % berechnet.

Es wird empfohlen, eine Risikoanalyse nach der methodischen Anleitung des Umweltministeriums durchzuführen, in deren Rahmen das Monitoring der Sedimente erweitert, die Verseuchungsgefahr präzisiert und die vorgeschlagenen Varianten und die Null-(maßnahmelose)-Variante erweitert werden sollte.

Weiter wird empfohlen, eine geobotanische Untersuchung der Auen der Röslau und der Eger auf dem tschechischen Gebiet und eine Laboranalyse für die Feststellung der Quecksilbergehalte im Pflanzengewebe durchzuführen und mögliche natürliche im Projektgebiet wachsende Pflanzen für die Phytoremediation zu ermitteln.

11. ZITIERTE UND VERWENDETE INFORMATIONSQUELLEN

- [1] Verfahrensanleitung UM, Grundsätze für die Erstellung einer Machbarkeitsstudie für Maßnahmen zur Wiedergutmachung des mangelhaften Zustandes der verseuchten Standorte, UM, Juni 2007
- [2] Chemische Quecksilberformen in den Wasserökosystemen - Eigenschaften, Ebenen, Kreislauf und Festlegung. Chem. Blätter 1000, 860-876 (2006)
- [3] Plan des Stromgebietes der Eger und der unteren Elbe
- [4] Quecksilberbetrachtung in den Grenzgewässern mit der BRD 2010, staatliches Unternehmen povodí Ohře, Abteilung der Wasserwirtschaftslabors
- [5] Zeitschrift Abfallforum 2/2011, Sedimente und Rechtsvorschriften
- [6] Plan der Abfallwirtschaft des Bezirkes Karlovarský Kraj
- [7] Atlas der Abfallentsorgungsanlagen, Wasserwirtschaftsforschungsinstitut T.G.M. 2010
- [8] <http://www.kr-karlovarsky.cz/Cyklo/priroda/rathsam.htm>
- [9] Marhold J. 1980: Übersicht der Industrietoxikologie, Avicenum, Praha, str. 109-117
- [10] Miller Z., 2011: Quecksilbervorkommen in den Aueböden des Oberlaufs der Eger, DP, ZF JU, České Budějovice
- [11] Křivánek S. et al 2009: Quecksilberbelastung in der Röslau und im Stausee Skalka, Gemeinsamer Bericht, Anlage 5, Bericht von der 11. Sitzung des Ständigen Ausschusses Bayern-Tschechien, ohne Seitenbezifferung
- [12] Maršálek P. et al. 2005: Mercury and Methylmercury Contamination of Fish from Skalka Reservoir: A Case Study, ACTA VETERINARIA, Brno, 74, 427-434