

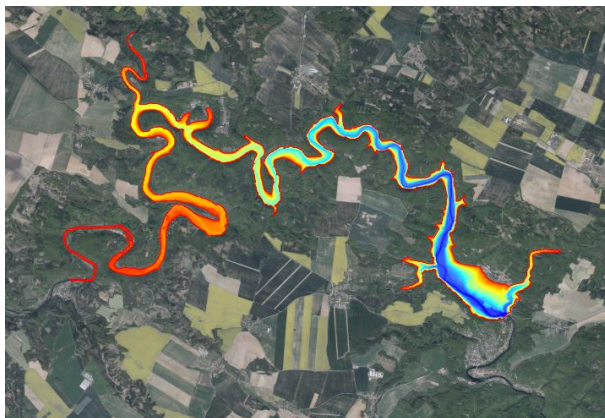


„Sedimentbilanz – Teil 2“

Bericht – Monitoring der Stauraumsohle

SEDECO (ATCZ 28)

Work package T1





Project coordination:

Helmut Habersack¹, Daniel Marton², Ludmila Kovářová,³ Jürgen Gruber⁴

Authors: David Jílek², Daniel Marton²

Picture front page: IWHW/BOKU

Brno, December 2022

The project was cofinanced by the „European Regional Development Fund“.





EUROPEAN UNION

Interreg
EUROPEAN UNION
Austria-Czech Republic

European Regional Development Fund

SEDECO (ATCZ 28)

Sedimente, Ökosystemdienstleistungen und Wechselwirkungen mit Hochwasser und Dürre in der AT-CZ Grenzregion

Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ

Work package T1:

Sedimenttransport und -management / Transport a management sedimentů

Project final report

¹ **University of Natural Resources and Life Science, Vienna**
Department of Water, Atmosphere and Environment
Institute of Water Management, Hydrology and Hydraulic Engineering

² **Vysoké učení technické v Brně**
Faculty of Civil Engineering
Institute of Landscape Water Management

³ **Povodí Moravy, s.p.**

⁴ **BOKU – Wasserbaulabor Errichtungs- und Betriebs-Gesellschaft m.b.H.**

⁵ **Federal Agency for Water Management, Vienna**
Institute for Hydraulic Engineering and Calibration of Hydrometrical
Current-Meters



Abstrakt DE

Das Ziel des abschließenden Berichtes ist eine Beschreibung der Methodologie und der Verarbeitung sowie Auswertung der Vermessungsdaten zu den Stauraumsohlen, die zur Erstellung von digitalen Geländemodellen (DGM) der Sohlenhöhen für die Stauseen Vranov, Znojmo und den oberen Speicher der Stauanlage Nové Mlýny verwendet wurden. Unter Verwendung von DGM wurden anschließend aktualisierte Konturlinien von benetzten Flächen und Volumina bzw. bathygraphische Kurven der Speicher abgeleitet, die mit bathygraphischen Kurven aus den Betriebsvorschriften der jeweiligen Stauanlagen verglichen wurden. Anhand des Vergleichs konnte die Verlandung der Stauseen quantifiziert und die Volumenänderung durch die Veränderung der Stauraumsohle und die Sedimentation abgeschätzt werden.

Das Ergebnis des Berichtes ist eine graphische und tabellarische Darstellung der Veränderung des Stauraumvolumens in Form von eigentlichen bathygraphischen Kurven, der Veränderung des Stauraumvolumens bezogen auf den Pegelstand in dem Stausee und nicht zuletzt die relative Veränderung der Funktionsvolumina und des Gesamtvolumens der Stauräume.

Abstrakt CZ

Cílem závěrečné zprávy je popis metodologie, zpracování a vyhodnocení dat měření dna nádrží, pomocí kterých byly sestaveny digitální výškové modely terénu (DEM) dna nádrží Vranov, Znojmo a horní nádrže Nové Mlýny. Pomocí DEM byly následně odvozeny aktualizované čáry zatopených ploch a objemů, resp. batygrafické křivky nádrže, které byly porovnány s batygrafickými křivkami z manipulačních řádů k vodním dílům. Na základě porovnání bylo možné kvantifikovat zanesení nádrží a provést odhad změny objemů vlivem změny dna nádrží a jejich sedimentace.

Výsledkem zprávy je grafické a tabelární zpracování změny objemů nádrží ve formě samotných batygrafických křivek, změny objemu nádrže vztažené k výšce vody v nádrži a v neposlední řadě relativní změně funkčních objemů a celkového objemu nádrží.

Inhalt

Abstrakt DE.....	1
Abstrakt CZ	2
1 Einleitung und Zielsetzung	4
2 Methodologie.....	4
2.1 ArcGIS-Software.....	4
2.1.1 Punkte einlesen	5
2.1.2 Raster erstellen	5
2.1.3 Ein digitales Höhenraster erstellen	6
2.1.4 Ausschneiden des Stauraums	7
2.1.5 Berechnung von Volumina und Erstellung der Konturlinie der benetzten Volumina	8
2.2 Daten	9
2.2.1 Der obere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny.....	9
2.2.2 Der untere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny	11
2.2.3 Vranov	15
2.2.4 Znojmo.....	17
3 Bearbeitung und Bewertung der Ergebnisse	18
3.1 Digitales Höhenmodell – DGM der Stauräume	18
3.2 Bathygraphische Kurven – Konturlinien der benetzten Flächen und Volumina	21
3.3 Auswertung der Ergebnisse	23
3.3.1 Der obere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny.....	23
3.3.2 Der untere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny	24
3.3.3 Vranov	27
3.3.4 Znojmo.....	29
3.4 Bewertung der funktionellen Stauraumvolumina.....	31
4 Fazit	33
5 Unterlagen.....	34

1 Einleitung und Zielsetzung

Das Projekt ATCZ28 SEDECO befasste sich in dem Arbeitspaket T1 „Sedimenttransport und -management“ unter anderem mit dem Monitoring des Sedimenttransports und mit seinen Auswirkungen auf die Stauseen Vranov, Znojmo und den oberen Speicher der Stauanlage Nové Mlýny, die sich in dem Einzugsgebiet des Flusses Thaya befinden. Der Bericht ist der zweite Teil der Aktivität A.T1.3 „Sedimentbilanz“ und basiert auf den Ergebnissen von Messungen, die in der Aktivität A.T1.2 „Monitoring der Dynamik der Stauraumsohle“ durchgeführt wurden. Es handelt sich im Wesentlichen um eine Zusammenfassung der laufenden Fortschrittsberichte *„Bericht 25 – Modellierung der Stauraumsohle und Volumenberechnung für die Stauanlage Nové Mlýny mithilfe der ArcGIS- und Atlas-Software“*, *„Bericht 29 – Erstellung eines digitalen Geländemodells der Stauraumsohle der Stauanlage Nové Mlýny anhand von Vermessungen und anschließende Analyse von bathygraphischen Linien“*, *„Berichte 33 und 36 - Erstellung eines digitalen Geländemodells der Stauraumsohle der Stauanlage Vranov anhand von Vermessungen und anschließende Analyse von bathygraphischen Linien“* sowie *„Bericht 42 – Erstellung eines digitalen Geländemodells der Stauraumsohle der Stauanlage Znojmo anhand von Vermessungen und anschließende Analyse von bathygraphischen Linien“*.

Das Ziel des Berichtes ist eine Beschreibung der Methodologie und der Verarbeitung sowie Auswertung der Vermessungsdaten von den Stauraumsohlen, die zur Erstellung von digitalen Geländemodellen (DGM) der Sohlenhöhen für die Stauanlagen Vranov, Znojmo und den oberen Speicher der Stauanlage Nové Mlýny verwendet wurden. Unter Verwendung von DGM wurden anschließend aktualisierte Konturlinien von benetzten Flächen und Volumina bzw. bathygraphische Kurven der Speicher abgeleitet, die mit bathygraphischen Kurven aus den Betriebsvorschriften der jeweiligen Stauanlagen verglichen wurden. Anhand des Vergleichs konnte die Verlandung der Stauräume quantifiziert und die Volumenänderung durch Sedimentation abgeschätzt werden.

2 Methodologie

Die Methodologie der Datenverarbeitung, der Erstellung des DGM und der Auswertung von bathygraphischen Kurven basiert auf der Arbeit mit der ArcGIS-Software bzw. mit einem Teil des Programms, das als ArcMap bekannt ist. Die vorbenannte Software ist für die Arbeit mit einem Geoinformationssystem bestimmt, das kartenorientierte Aufgaben und räumliche Analysen bearbeitet.

2.1 ArcGIS-Software

Das folgende Kapitel stellt eine genaue Anleitung zur Verarbeitung und Auswertung von Vermessungsdaten in dem Programm ArcMap dar. Die Methodik wird auf dem Beispiel der Volumenberechnung für den oberen Teil der Stauanlage Nové Mlýny beschrieben.

Bei der Arbeit mit der ArcMap-Software ist es wichtig, das einleitende Koordinatensystem „JTSK Krovak EastNorth“ für die korrekte Darstellung der Daten, die Erstellung des digitalen Höhenrasters und die anschließende Berechnung der Volumina einzustellen. Diese Einstellung wird in dem Menü *Layers* gemacht. Im nächsten Schritt wird die Orthofotokarte der Tschechischen Republik über die Schaltfläche *Add Data from ArcGIS Online* eingelesen. Diese dient als Unterlage für das Modell und gleichzeitig als Kontrolle, dass die einzelnen Outputs an den richtigen Stellen dargestellt werden.

2.1.1 Punkte einlesen

Zum Einlesen der Punkte ist die Werkzeugleiste *ArcToolbox* zu aktivieren. Hier befindet sich die Registerkarte *Conversion tools* und darin das Feature *To dBase*. Nach dem Aktivieren des Features sind die Eingabedaten auszufüllen, indem Sie die einzelnen vorgefertigten Textdateien einlesen. Nach der Bestätigung wird je eine Datei im .dbf-Format für jeden Teil der Daten in den ausgewählten Ordner erstellt. Danach ist eine der erstellten .dbf-Dateien in der Registerkarte *Add XY Data* auszuwählen. Hier ist unter anderem wichtig, die richtige Spalte für die X-, Y- und Z-Koordinaten zu wählen, aber das Überschreiben der Spalten in der Textdatei erleichtert die Zuordnung. Abschließend sollte die Einstellung des Koordinatensystems folgen, aber da die Punkte im S-JTSK auf eine Weise vermessen sind, die der Einstellung von ArcMap entspricht, kann dieser Schritt übersprungen werden. Nach der korrekten Einstellung wird der erste Teil der Punkte aufgezeichnet. Dann wird dieser Vorgang für alle .dbf-Dateien wiederholt, bis alle Sammlungen von Punkten aufgezeichnet sind.

Der nächste Schritt besteht darin, alle Sammlungen von Punkten zu verbinden. In dem Ordner *Data Management Tools* befindet sich der Ordner *General*, der das Feature *Merge* enthält. Nach dem Aktivieren des Features werden alle Sammlungen von Punkten ausgewählt und nach Bestätigung zu einem einheitlichen Ganzen zusammengefasst.

2.1.2 Raster erstellen

Das Schlüsselfeature zum Erstellen eines Rasters für das Gelände und die Stauraumsohle aus den vermessenen Punkten heißt *Point to Raster* und befindet sich in der Registerkarte *Conversion Tools* und in dem Ordner *To Raster*. Nach dem Aufruf des Features werden die zusammengeführten Punkte als Eingabedatei und die Höhe, d. h. die Z-Koordinate, als Hauptwert (*Value field*) ausgewählt. Danach wird ein Geländerraster erstellt, das in den Einstellungen farblich angepasst werden kann, um ihn möglichst übersichtlich darzustellen. Leider wird das Raster nur an den Stellen der vermessenen Punkte generiert, aber die Lücken zwischen ihnen werden nicht automatisch nachberechnet, siehe die Abbildung 1.

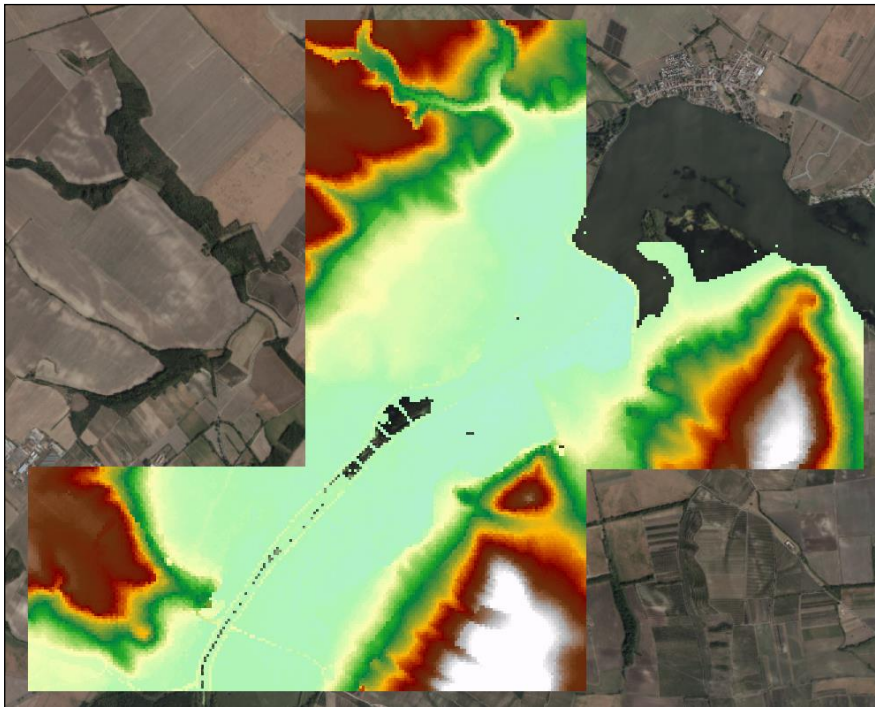


Abb. 1. Raster für das Gelände und die Stauraumsohle.

2.1.3 Ein digitales Höhenraster erstellen

Zur Komplettierung des Modells ist die Erstellung eines digitalen Höhenmodells, des sogenannten Digital Elevation Model (DGM), notwendig, das auch zum Aufzeichnen von Höhenschichtlinien verwendet wird. In diesem Moment wird das DGM bei der Modellierung der umgebenden Landschaft nicht so genau sein, da hier große Lücken bestehen. Es wird ausreichend genau sein, erst wenn die Stauraumsohle zwischen den einzelnen Querschnittprofilen aufgezeichnet wird.

Das DGM wird durch das Klicken auf die Registerkarte *Spatial Analyst Tools* erstellt, wo sich das Feature *Topo to Raster* in dem Ordner *Interpolation* befindet. Nach der Auswahl des erwünschten Features wird ein Satz zusammengeführter Punkte als Eingabe ausgewählt. Weiterhin ist es notwendig, die Z-Werte und den Typ der Werte als Höhenpunkte (*PointElevation*) in dem Fenster auszuwählen. Danach wird das DGM bereits modelliert. In den Modelleinstellungen ist es wiederum möglich, seine Farben anzupassen sowie die Anzahl der Höhenbereiche einzustellen.

Basierend auf dem DGM werden Höhenschichtlinien dargestellt. Ebenfalls in der Registerkarte *Spatial Analyst Tools*, diesmal allerdings in dem Ordner *Surface*, gibt es das Feature *Contour*, in welcher das DGM als Eingabedatensatz ausgewählt wird, und der Abstand der Höhenschichtlinien kann nun beliebig eingestellt werden (z. B. je 2 m). Danach werden die Höhenschichtlinien dargestellt. Die Abbildung 2 zeigt ein DGM mit dargestellten Höhenschichtlinien.

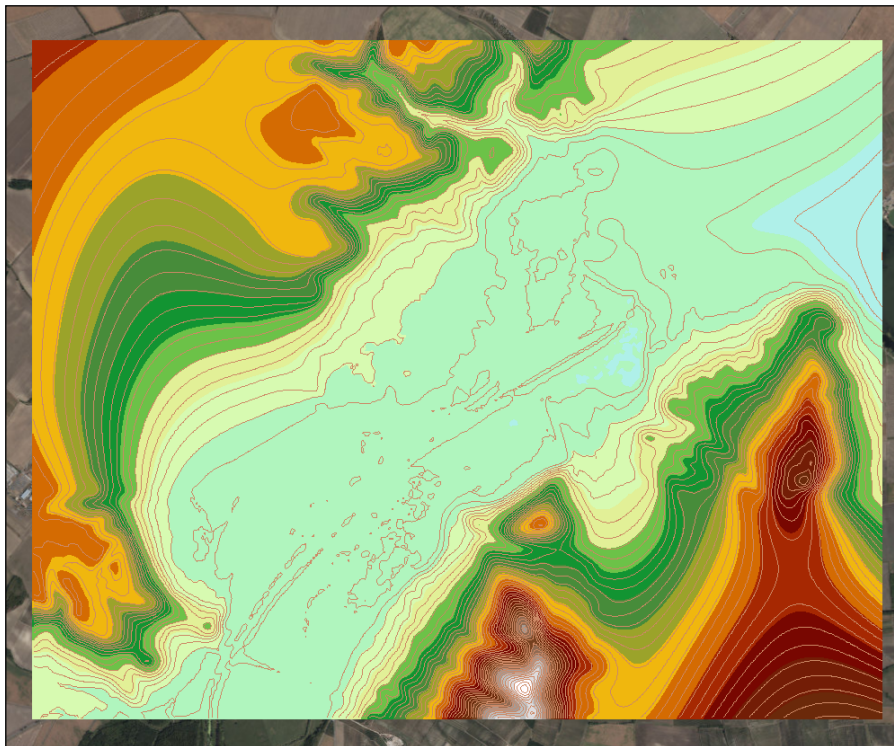


Abb. 2. Digitales Höhenraster des DGM und dargestellte Höhenschichtlinien.

2.1.4 Ausschneiden des Stauraums

Für die Berechnung des Stauraumvolumens müssen zunächst die Grenzen des Stauraums bestimmt werden, da ArcMap sonst das Volumen der Wasseroberfläche auch außerhalb des Stauraums berechnet, und solche Ergebnisse sind bedeutungslos. Auf 3D-Karten oder bei einer Ortsbesichtigung lässt sich feststellen, dass es Böschungen mit einem Weg rund um den Stausee gibt, die als Uferkante betrachtet werden können und damit eine ideale Grenze für die Volumenberechnung bei maximaler Füllung darstellen.

Aus diesem Grund muss ein Polygon manuell erstellt werden, das gemäß der Orthofotokarte und den Höhenschichtlinien abgezeichnet werden kann. Dieses Polygon wird dann aus dem DGM ausgeschnitten, und ein genaues Raster der Stauraumsohle wird erstellt, aus dem das Volumen schon einfach berechnet werden kann.

Das Ausschneiden aus dem DGM erfolgt durch die Eingabe von *Extract by Mask* in die Feature-Suchfunktion. Hier wird das DGM als Haupteingabe und das erstellte Polygon als zweite Eingabe ausgewählt. Nach der Bestätigung wird ein Rasterausschnitt für den Stauraum erstellt. Die Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt des Stauraums.



Abb. 3. Ausgeschnittenes Raster des oberen Speichers.

2.1.5 Berechnung von Volumina und Erstellung der Konturlinie der benetzten Volumina

Das Volumen wird berechnet, indem die Option *Surface Volume* durch die Feature-Suche aktiviert und das ausgeschnittene Raster als Input in diesem Feature ausgewählt wird. Als Nächstes wird die Berechnung unterhalb der Referenzebene (*Reference Plane – BELOW*) ausgewählt, und als Referenzebene wird die Pegelstandhöhe eingegeben, für die das Volumen berechnet werden soll. Der Höhenlagenbereich ist in der Layerlegende neben dem Stauraumraster angegeben. Danach wird eine Textdatei erstellt, in der das Volumen angegeben ist. Dieser Vorgang wird für den gesamten Höhenlagenbereich der Pegelstandhöhen in Schritten von anderthalb oder einem Meter wiederholt. Die berechneten Volumina werden in das Programm MS Excel kopiert, wo die Konturlinie der benetzten Stauraumvolumina modelliert wird, siehe die Abbildung 4.

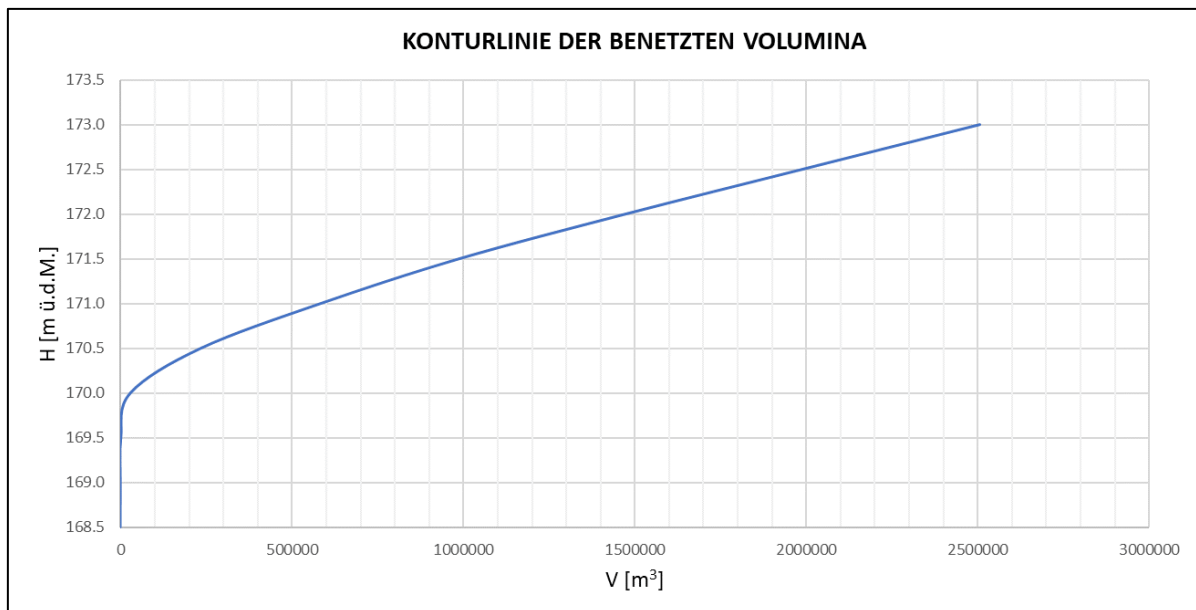


Abb. 4. Mit ArcMap berechnete Konturlinie der benetzten Volumina.

2.2 Daten

Ein wichtiger Bestandteil der Auswertung war die Datenerfassung und -aufbereitung. Die Daten stammten im Allgemeinen aus drei Quellen: Die erste Datenquelle waren die Vermessungsdaten aus der Stauraumsohlenvermessung mit einem Echolot-Messboot. Die zweite Datenquelle waren die Vermessungsdaten von Querschnittprofilen, die mittels GPS-Messungen manuell vermessen wurden, und die dritte Datenquelle waren die Daten zur breiteren Umgebung der Stauanlagen, die mithilfe des Digitalen Reliefmodells der Tschechischen Republik der 5. Generation (DMR 5G) dargestellt sind.

2.2.1 Der obere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny

Als erster in Bezug auf die Datenaufbereitung und die DGM-Erstellung und als „Test“ betrachteter Stauraum wurde der obere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny bearbeitet. Es ist ein Teil der Stauanlage zwischen den beiden Brücken in der Nähe der Dörfer Drnholec und Brod nad Dyjí, siehe die Abbildung 5.

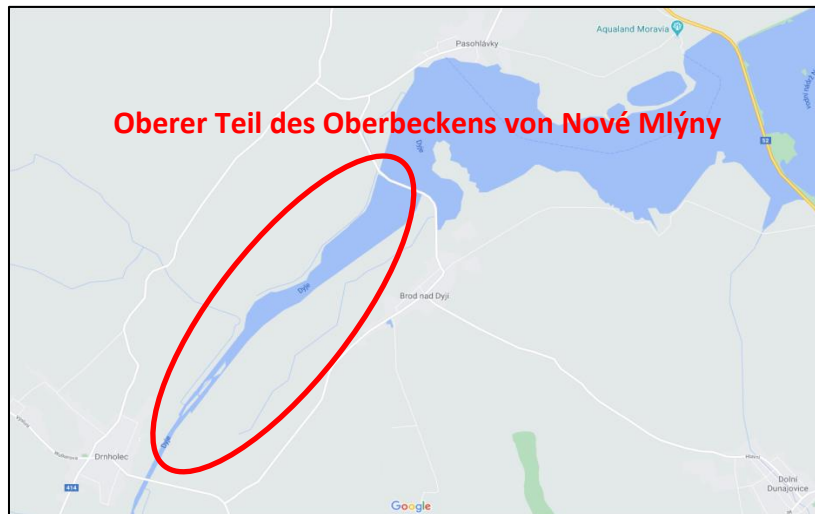


Abb. 5. Der obere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny (Quelle: Google Maps).

Die Daten für die DGM-Modellierung bestanden aus drei Teilen. Der erste Teil stammte aus der Vermessung der Stauraumsohle mit dem Echolot-Messboot von der Gesellschaft Vars. Die Vermessung wurde im Jahr 2016 durchgeführt und ist in der Abbildung 6 schwarz markiert. Der zweite Teil der Daten stellen Querschnittprofile dar, die nachträglich von der BUT in Brünn vermessen wurden, wobei die Vermessung 2018 in jenen flachen Bereichen des Stauraums durchgeführt wurde, wo es nicht mehr möglich war, die Vermessung mit dem Echolot-Messboot durchzuführen. In der Abbildung 6 ist der Teil rot markiert. Eine ausführliche Beschreibung der Vermessung in dem Jahr 2018 ist dem Zwischenbericht „Bericht 1 – Bericht über die Vermessung der Querschnittprofile des Thaya-Gerinnens im Zufluss zum Oberbecken der Stauanlage Nové Mlýny“ zu entnehmen. Der letzte Teil der Daten besteht als das bereits erwähnte DMR 5G-Modell der weiteren Umgebungslandschaft von dem Tschechischen Landvermessungs- und Katasteramt.

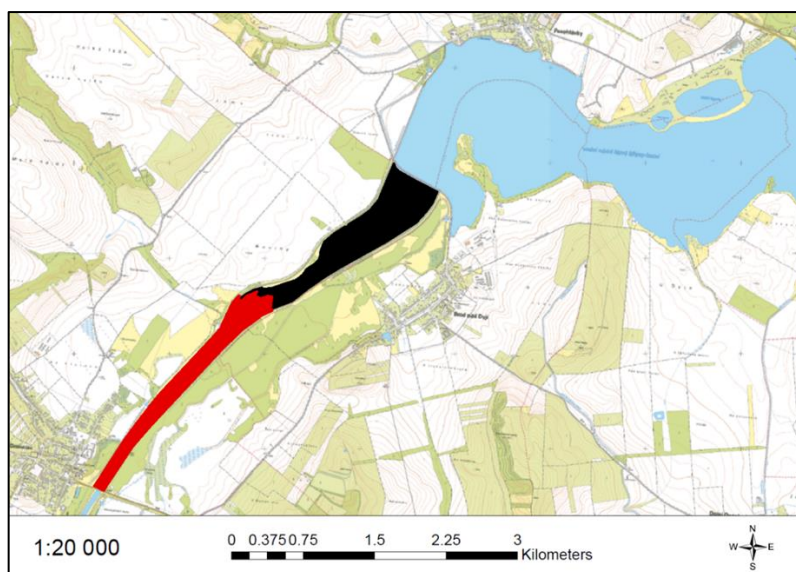


Abb. 6. Aufteilung der Vermessungsdaten in dem oberen Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny.

Alle Datensätze wurden in dem JTSK-Koordinatensystem durch Messungen ermittelt, und nach der Aufbereitung und Zusammenführung bilden sie einen Eingabedatensatz für die DGM-Erstellung. Alle drei Teile der Daten mussten so aufbereitet werden, dass sie in demselben Format vorliegen und in einer Textdatei gespeichert werden, die in die Programme geladen werden kann (.txt). In den einzelnen Datensätzen müssen die Punkte in drei Spalten untereinander aufgeführt werden. In der ersten Spalte sind es die X-Koordinaten, in der zweiten die Y-Koordinaten und in der dritten die jeweiligen Höhenlagen als Z-Koordinaten. Die Titel der einzelnen Spalten müssen mit einem Tabulator oder ein Leerzeichen getrennt werden, um die einzelnen Daten in ArcGIS miteinander verbinden zu können, siehe die Abbildung 7.

Nove_Mlyny_komplet_05xyz – Poznámkový blok				
Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápověda
x	y	z		
-608865.28	-1195510.81	171.12		
-608864.79	-1195510.87	171.17		
-608864.29	-1195510.93	171.22		
-608869.19	-1195509.80	170.17		
-608864.72	-1195510.37	171.12		
-608864.23	-1195510.44	171.19		
-608863.73	-1195510.50	171.23		
-608863.24	-1195510.57	171.32		
-608862.74	-1195510.63	171.42		
-608862.24	-1195510.69	171.51		
-608861.75	-1195510.76	171.58		
-608861.25	-1195510.82	171.59		
-608870.11	-1195509.17	170.19		
-608869.62	-1195509.23	170.20		

Abb. 7. Beispiel der aufbereiteten Punkte.

2.2.2 Der untere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny

Als zweiter Stauraum in Hinblick auf die Datenaufbereitung und die DGM-Erstellung wurde der untere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny bearbeitet. Das ist der Teil der Stauanlage in der Nähe des Dorfes Pasohlávky, siehe die Abbildung 8.

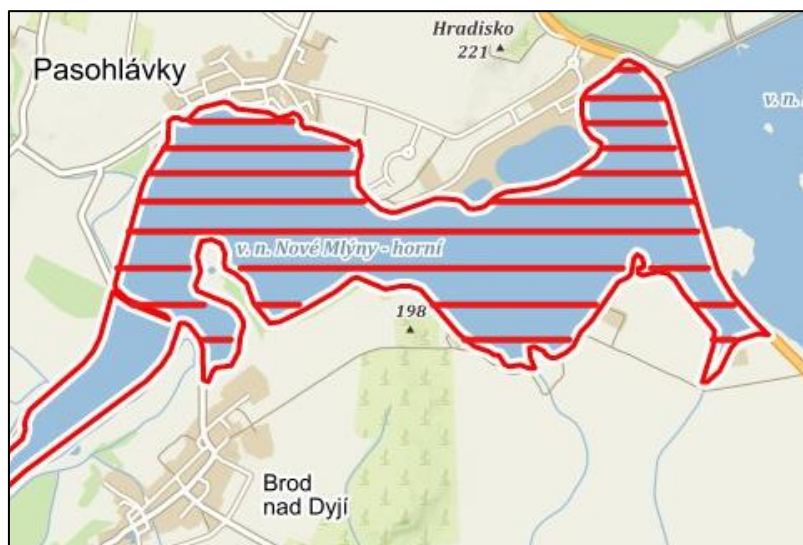


Abb. 8. Der untere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny (Quelle: Mapy.cz).

Die Daten für die DGM-Modellierung bestanden aus drei Teilen. Der erste Teil waren die Vermessungsdaten zu Querschnittprofilen von der manuellen geodätischen Vermessung aus dem Jahre 2003. Die zweite Vermessung war die Vermessung der Stauraumsohle mit dem Echolot-Messboot des Projektpartners Povodí Moravy s.p. aus dem Jahre 2020 und die letzten Daten sind die DMR 5G-Daten der weiteren Umgebungslandschaft von dem Tschechischen Landvermessungs- und Katasteramt.

2.2.2.1 Aufbereitung der Vermessungsdaten 2003

Die Vermessungsdaten von der Stauraumsohle des unteren Teils des Oberbeckens von Nové Mlýny wurden in einem bereits aufbereiteten Format bereitgestellt. Konkret handelte es sich um eine Datei im DGN-Format. In der Datei waren sämtliche vermessenen Punkte der Stauraumsohle sowie die Uferlinien bereits eingezeichnet. Die bereitgestellte Datei war jedoch in der 2D-Form, und die vermessenen Punkte enthielten deshalb keine Information über die Z-Koordinaten (Höhe). Diese Information wurde als Text in einem Textfeld bei jedem Punkt eingegeben. Diese Werte der Z-Koordinate bezogen sich auf eine Vergleichsebene von 100 m ü.d.M.

Zur Erstellung des DGM war es notwendig, dass die X-, Y-, Z-Koordinaten den einzelnen vermessenen Punkten zugeordnet wurden. Zu diesem Zweck wurde die Autodesk CIVIL 3D-Software verwendet, die über die Feature „*Text to elevation*“ verfügt, welche die Z-Koordinate (Höhe) mit dem im jeweiligen Textfeld angegebenen Wert den Textfeldern zuweist. Um diese Feature richtig nutzen zu können, mussten folgende Schritte durchgeführt werden:

1. Griffpunkte der Textfelder sämtlicher vermessenen Punkte auf die gleiche Position einstellen,
2. die Textfelder mittels der Griffpunkte an die Stelle der vermessenen Punkte verschieben (Textfelder mit Höhen lagen nicht direkt an der Stelle der jeweiligen vermessenen Punkte),
3. die Genauigkeit der Verschiebung bei 50 zufällig ausgewählten Punkten quer durch die gesamte Datei überprüfen,
4. die Feature „*Text to elevation*“ verwenden und die Z-Koordinate den Textfeldern zuweisen,
5. unnötige Ebenen (z. B. Uferlinien) ausblenden,
6. lediglich die Textfelder in das DXF-Format exportieren -> den Textfeldern waren die X-, Y-Koordinaten zugeordnet, und mit der Feature aus dem Pkt. 4 nun auch die Z-Koordinate.

Bei der Überprüfung der Genauigkeit des Verschiebens der Textfelder an die Position der vermessenen Punkte wurde eine Genauigkeit von weniger als 1 mm bei allen überprüften Punkten erreicht. Diese Abweichung wurde als vernachlässigbar akzeptiert, und die erhaltene DXF-Datei konnte anschließend in die ArcMap-Software importiert werden, um ein DGM zu erstellen. Die Abbildung 9 zeigt den Export von Längsprofilen von der Vermessung 2003 für den unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny.

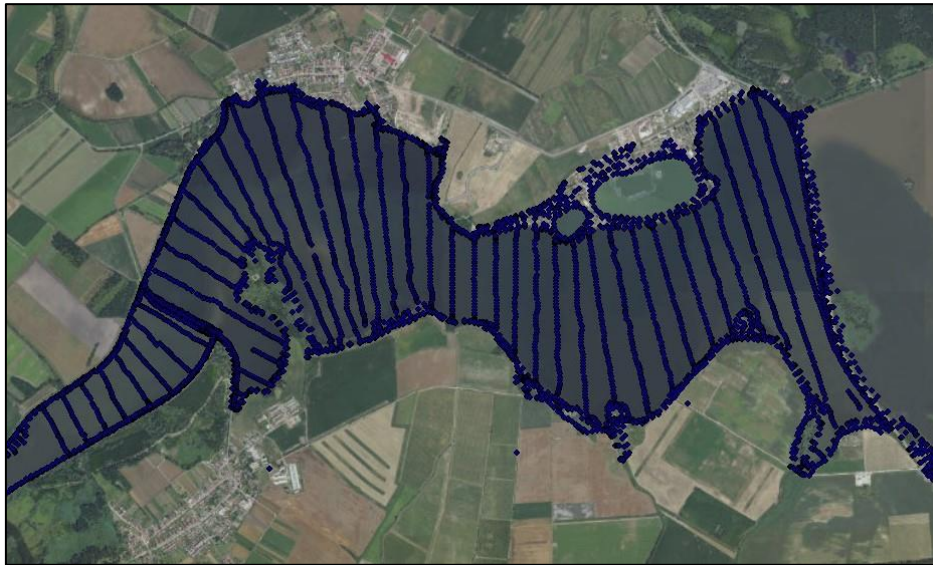


Abb. 9. Verteilung der Vermessungsprofile aus dem Jahre 2003 in dem unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny (unterlegt mit einer Orthofotokarte).

2.2.2.2 Aufbereitung der Vermessungsdaten 2020

Die Daten von der Vermessung der Stauraumsohle in dem unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny aus dem Jahre 2020 wurden in Rohform als 36 Textdateien bereitgestellt, welche die XY-Koordinaten (Koordinatensystem GPS und UTM WGS84 32N) einzelner vermessenen Punkte und dazu die entsprechende Wassertiefe enthielten. Mit den Dateien wurde eine weitere Datei im XLSX-Format mitgeliefert, die eine Liste der Messtage und den aktuellen Wasserstand im Stauraum an diesen Tagen enthielt. Jeder der Tage entsprach einem Satz der vermessenen Punkte, siehe das Beispiel des Ergebnisses einer Messung in der Abbildung 10 a).

Um diese Dateien zum Importieren von Punktwolken in die ArcMap-Software verwenden zu können, mussten sie zunächst aufbereitet werden. Die Aufbereitung bestand darin, den Header zu entfernen, Zeilen herauszufiltern, die keine Daten enthalten (START/STOP-Zeilen, die den Beginn und das Ende der Messung bzw. deren Unterbrechung anzeigen) und die Z-Koordinate der einzelnen vermessenen Punkte umzurechnen. Die Z-Koordinate des vermessenen Sohlenpunktes wurde durch Subtrahieren der zum vermessenen Punkt zugeordneten Wassertiefe von der Pegelstandhöhe für die jeweilige Vermessung aus der XLSX-Datei und anschließendes Subtrahieren von 100 errechnet, um die Höhenlagen mit der

Referenzebene in Beziehung zu setzen, die bei der Vermessung 2003 verwendet wurde. Aufgrund der großen Datenmenge in den Textdateien war es nicht möglich, diese Dateien mithilfe gängiger Texteditoren (wie z.B. Notepad oder MS Excel) zu bearbeiten. Für diese Aufbereitung wurde ein Skript in der Programmiersprache Python erstellt. Das resultierende Datenformat mit drei Spalten für die X-, Y-, Z-Koordinaten ist der Abbildung 10 b) zu entnehmen.

01_27_5_xyzZ – Poznámkový blok				
Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápověda
Header				
48.88774663				
16.55613427				
48.90372152				
16.59353187				
2				
Decimal				
1.01.33				
pointExport				
EndHeader				
START 129, 185=12				
16.58270416	48.90151996;	2.83		
16.58270552	48.90152888;	2.83		
16.58269200	48.90152977;	2.84		
16.58270552	48.90152888;	2.84		
16.58269335	48.90153869;	2.86		

01_27_5_xy – Poznámkový blok				
Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápověda
x	y	z		
16.58270416	48.90151996	68.55999999999997		
16.58270552	48.90152888	68.55999999999997		
16.58269200	48.90152977	68.54999999999998		
16.58270552	48.90152888	68.54999999999998		
16.58269335	48.90153869	68.52999999999997		
16.58269200	48.90152977	68.55999999999997		
16.58270552	48.90152888	68.55999999999997		
16.58269335	48.90153869	68.55999999999997		
16.58269335	48.90153869	68.55999999999997		

Abb. 10. Beispiel der vermessenen Punkte a) vor der Aufbereitung, b) nach der Aufbereitung, Vermessung 2020.

Die erhaltenen Dateien mit Punktwolken wurden dann in die ArcMap-Software importiert, um ein DGM zu erstellen. Die Abbildung 11 zeigt den Gesamtexport der verfügbaren Vermessungen für den unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny. Die grünen Punkte sind die Daten der Längsprofile für die Vermessung 2003 und die blaue Schraffur entspricht der Vermessungsfläche 2020.

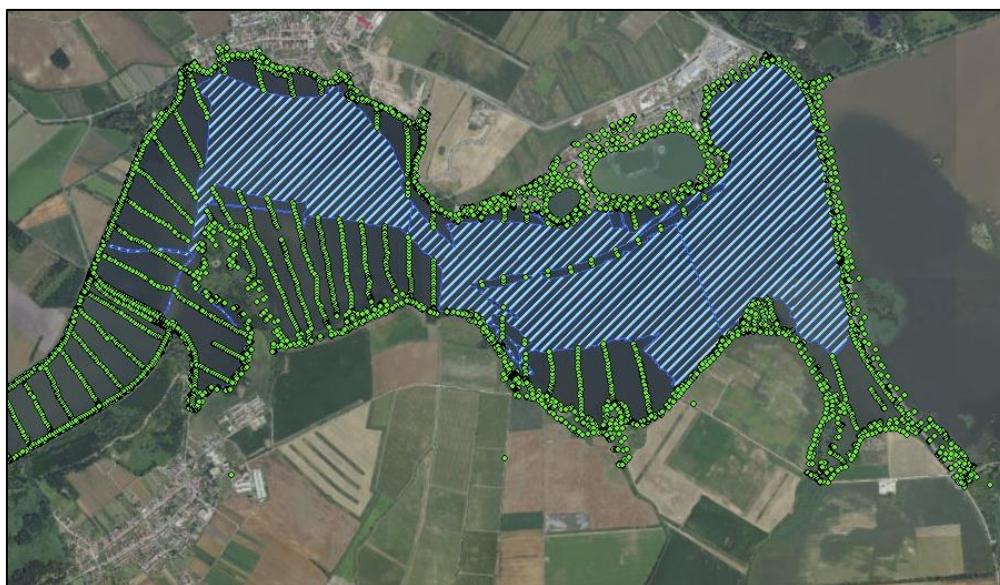


Abb. 11. Darstellung der zusammengeführten Vermessungsdaten 2003 und 2020 von dem unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny.

2.2.3 Vranov

Als dritter Stauraum in Hinblick auf die Datenaufbereitung und die DGM-Erstellung wurde die Stauanlage Vranov bearbeitet. Die Daten für die DGM-Modellierung bestanden aus drei Teilen. Der erste Teil war die Vermessung der Stauraumsohle mit dem Echolot-Messboot des Projektpartners Povodí Moravy s.p. aus dem Jahre 2021. Der zweite Teil der Daten war die manuelle Nachvermessung der nicht vermessenen Teile der Stauraumsohle mithilfe einer GPS-Station, und der letzte Teil der Daten sind die DMR 5G-Daten der Umgebungslandschaft von dem Tschechischen Landvermessungs- und Katasteramt.

2.2.3.1 Aufbereitung der Vermessungsdaten 2021

Die Daten aus der Vermessung der Stauraumsohle in der Stauanlage Vranov aus dem Jahre 2021 wurden in Rohform als Textdateien aus drei Messkampagnen bereitgestellt, die von dem PP3 Povodí Moravy s.p. in den Monaten August, September und Oktober an insgesamt 17 Messungstagen durchgeführt wurden. Die Daten enthalten die XY-Koordinaten (Koordinatensystem GPS und UTM WGS84 32N) einzelner vermessener Punkte und dazu die entsprechende Wassertiefe, siehe die Abbildung 12a). Um diese Dateien zum Importieren von Punktwolken in die ArcMap-Software verwenden zu können, mussten sie zunächst aufbereitet werden. Die Aufbereitung war identisch mit der Datenaufbereitung für den unteren Teil des Oberbeckens Nové Mlýny. Das heißt das Entfernen des Headers, das Herausfiltern von Zeilen, die keine Daten enthalten (START/STOP-Zeilen, die den Beginn und das Ende der Messung bzw. deren Unterbrechung anzeigen) und die Umrechnung der Z-Koordinate der einzelnen vermessenen Punkte. Das resultierende Datenformat mit drei Spalten mit den Koordinaten X, Y, Z ist der Abbildung 10b) zu entnehmen.

Header			
48.90588531			
15.79540103			
48.91801167			
15.82069759			
2			
Decimal			
1.01.33			
pointExport			
EndHeader			
START 129, 185=12			
15.80459978	48.91422250;	20.36	
15.80460877	48.91422250;	20.36	
15.80460877	48.91422250;	20.33	
15.80461775	48.91422250;	20.34	
15.80461775	48.91422250;	20.28	
15.80461775	48.91422250;	20.24	
15.80462673	48.91422842;	20.23	
15.80462673	48.91422250;	20.21	
15.80463572	48.91422250;	20.18	
15.80463572	48.91422842;	20.17	
15.80464470	48.91422250;	20.16	
15.80464470	48.91422250;	20.14	
15.80465368	48.91422250;	20.11	

01_24_8_xy – Poznámkový blok				
Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápověda
x	y	z		
15.80459978	48.91422250	20.36		20.36
15.80460877	48.91422250	20.36		20.36
15.80460877	48.91422250	20.33		20.33
15.80461775	48.91422250	20.34		20.34
15.80461775	48.91422250	20.28		20.28
15.80462673	48.91422842	20.24		20.24
15.80462673	48.91422250	20.23		20.23
15.80463572	48.91422250	20.21		20.21
15.80463572	48.91422842	20.18		20.18

Abb. 12. Beispiel der vermessenen Punkte a) vor der Aufbereitung, b) nach der Aufbereitung, Vermessung 2021.

Die erhaltenen Dateien mit Punktwolken wurden dann in die ArcMap-Software importiert, um ein DGM zu erstellen. Die Abbildung 13 zeigt den Export bzw. den Bereich der Vermessungsdaten für die Stauanlage Vranov.

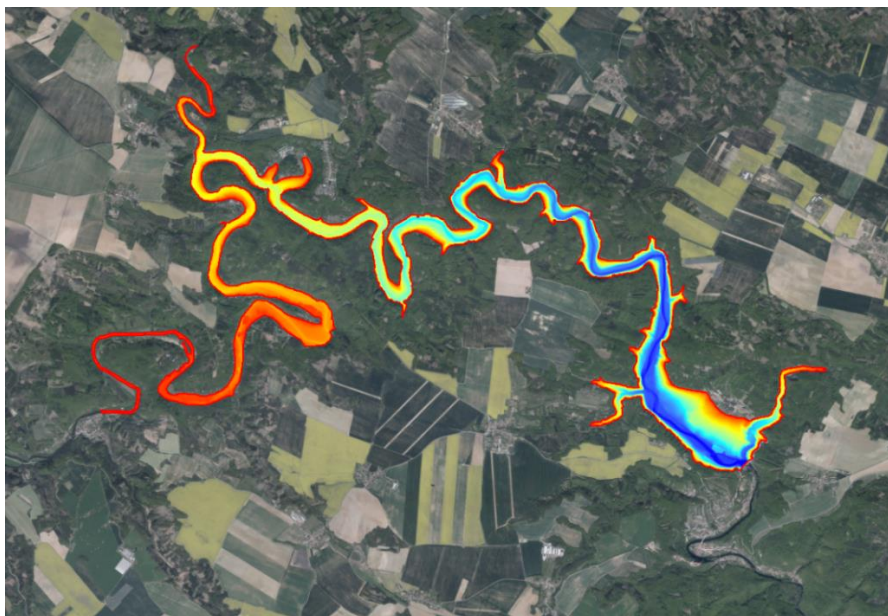


Abb. 13. Vermessung der Stauraumsohle aus dem Jahre 2021 in der Stauanlage Vranov (unterlegt mit einer Orthofotokarte).

Nach der anfänglichen Erstellung des DGM und der Ableitung der bathygraphischen Kurven folgte die Analyse der nicht vermessenen Teile der Stauanlage Vranov. Aus den Kartenunterlagen und dem DGM wurden insgesamt 22 Bereiche ermittelt, in denen die Vermessung mit dem Echolot-Messboot aufgrund des niedrigen Wasserstandes in dem Stauraum nicht möglich war, siehe die Abbildung 14.

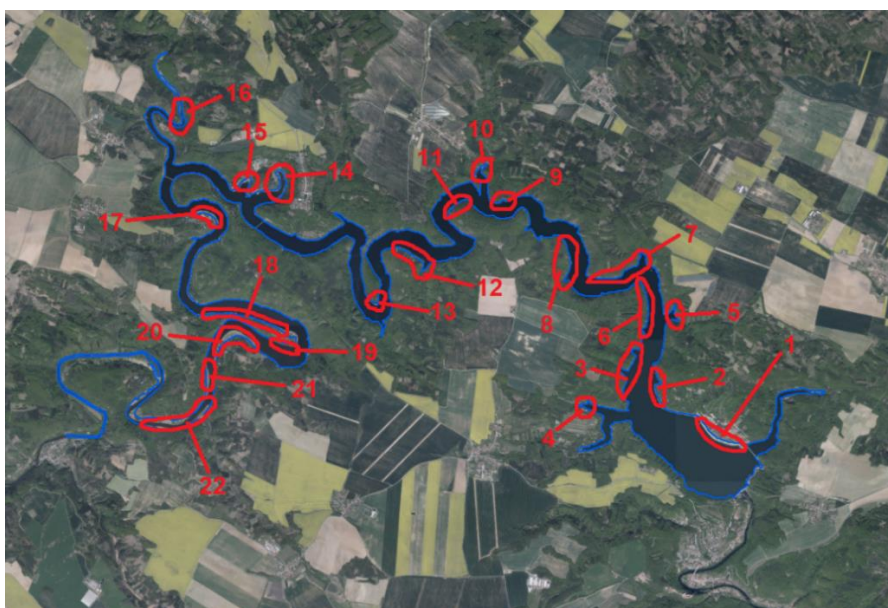


Abb. 14. Nicht vermessene Bereiche der Stauanlage Vranov.

Die nicht vermessenen Bereiche wurden am 26. November 2021 zuerst besichtigt. Anschließend erfolgte am 3. Dezember 2021 die erste Vermessung mit einem GPS-Gerät, die am linken Ufer des Stausees durchgeführt wurde, namentlich in den Abschnitten 1, 2, 5, 7, 9 und 10. Die Daten wurden aktualisiert, und auf dieser Grundlage wurde ein neues DGM 2021 erstellt, aktualisiert um die GPS-Vermessung. Es folgte eine zweite Vermessung, die am 20. Januar 2022 durchgeführt wurde und bei welcher die als 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22 gekennzeichneten Abschnitte des Stauraums am linken Ufer des Stausees vermessen wurden. Die dritte Vermessung fand anschließend am 25. Februar 2022 statt, wobei die als 3, 4, 20 gekennzeichneten Abschnitte des Stauraums am rechten Ufer des Stausees vermessen wurden.

2.2.4 Znojmo

Als vierter Stauraum in Hinblick auf die Datenaufbereitung und die DGM-Erstellung wurde die Stauanlage Znojmo bearbeitet. Die Daten für die DGM-Modellierung bestanden aus zwei Teilen. Der erste Teil war die Vermessung der Stauraumsohle mit dem Echolot-Messboot des Projektpartners Povodí Moravy s.p. aus dem Jahre 2022. Der zweite Teil der Daten sind die DMR 5G-Daten der Umgebungslandschaft von dem Tschechischen Landvermessungs- und Katasteramt.

2.2.4.1 Aufbereitung der Vermessungsdaten 2022

Die Daten aus der Vermessung der Stauraumsohle der Stauanlage Znojmo aus dem Jahre 2022 wurden in Rohform als Textdateien aus zwei im Monat Juni durchgeführten Messkampagnen mit insgesamt 3 Messtagen bereitgestellt. Die Daten enthalten wiederum die XY-Koordinaten in (Koordinatensystem GPS und UTM WGS84 32N) einzelner vermessener Punkte und dazu die entsprechende Wassertiefe. Um diese Dateien zum Importieren von Punktwolken in die ArcMap-Software verwenden zu können, mussten sie ebenfalls zunächst aufbereitet werden. Die Aufbereitung bestand darin, den Header zu entfernen, Zeilen herauszufiltern, die keine Daten enthalten (START/STOP-Zeilen, die den Beginn und das Ende der Messung bzw. deren Unterbrechung anzeigen) und die Z-Koordinate der einzelnen vermessenen Punkte umzurechnen. Die Z-Koordinate des vermessenen Sohlenpunktes wurde durch Subtrahieren der zum vermessenen Punkt zugeordneten Wassertiefe von der Pegelstandhöhe für die jeweilige Vermessung errechnet. Die erhaltenen Dateien mit Punktwolken wurden dann in die ArcMap-Software importiert, um ein DGM zu erstellen. Die Abbildung 15 zeigt den Export bzw. den Bereich der Vermessungsdaten für die Stauanlage Znojmo.

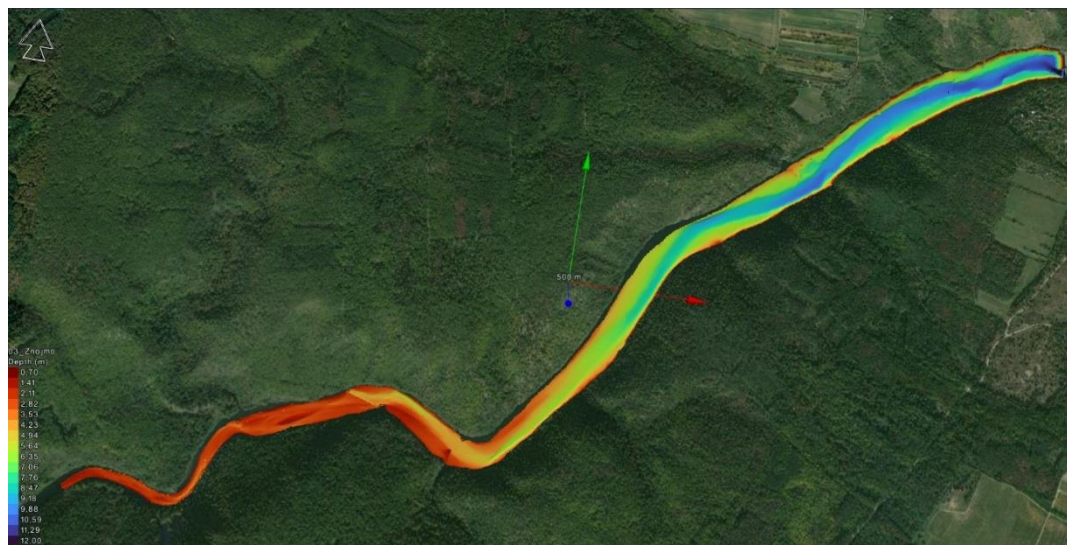


Abb. 15. Gebiet der Vermessungen in der Stauanlage Znojmo aus dem Jahre 2022.

3 Bearbeitung und Bewertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse werden in Form von erstellten endgültigen DGM-Modellen anhand der verarbeiteten Vermessungen der Stauanlagen sowie als entsprechende graphische Darstellungen von bathygraphischen Kurven bzw. Konturlinien von benetzten Flächen und Volumina dargestellt.

3.1 Digitales Höhenmodell – DGM der Stauräume

In der Abbildung 16 ist das DGM des oberen Teils des Oberbeckens von Nové Mlýny dargestellt. In der Abbildung 17 ist das DGM für den unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny anhand der Vermessung aus dem Jahre 2003 dargestellt, die Abbildung 18 zeigt dann das DGM für den unteren Teil des Oberbeckens der Stauanlage Nové Mlýny anhand der Vermessung aus dem Jahre 2020. Die Abbildung 19 ist das erstellte DGM für die Stauanlage Vranov und die Abbildung 20 das erstellte DGM für die Stauanlage Znojmo.

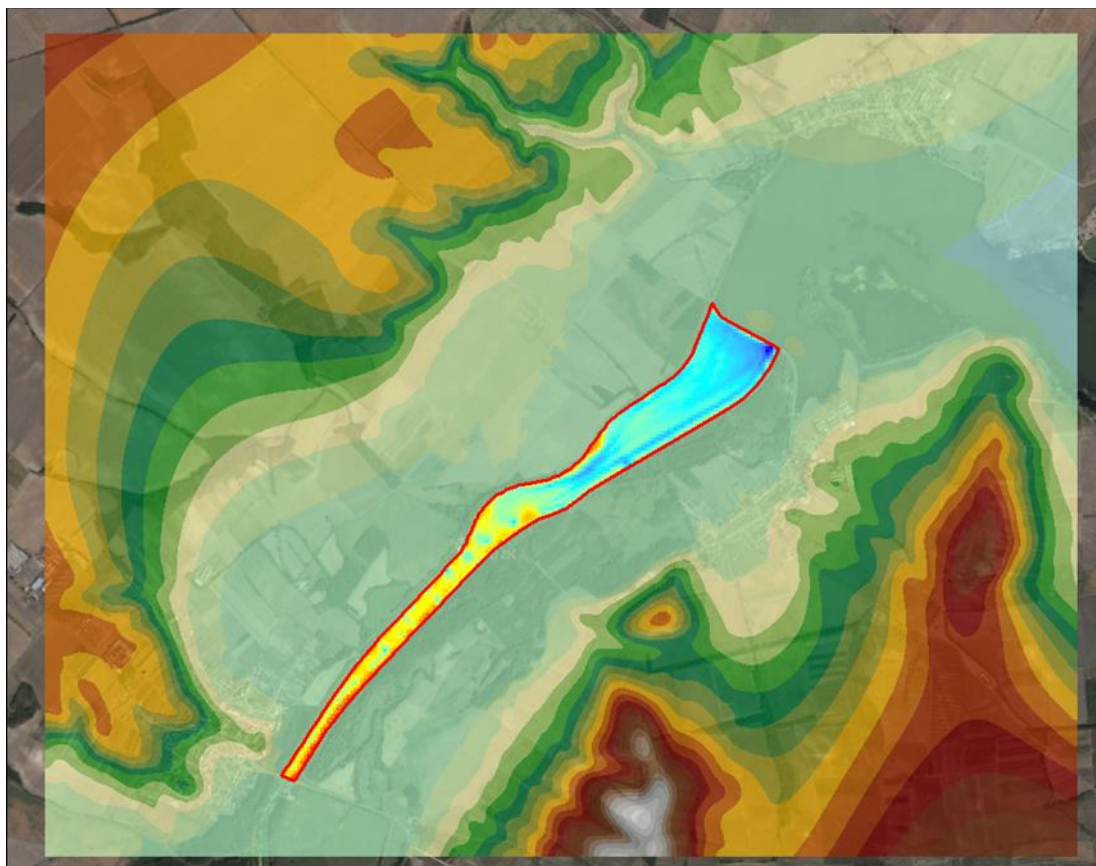


Abb. 16. DGM des oberen Teils des Oberbeckens von Nové Mlýny.

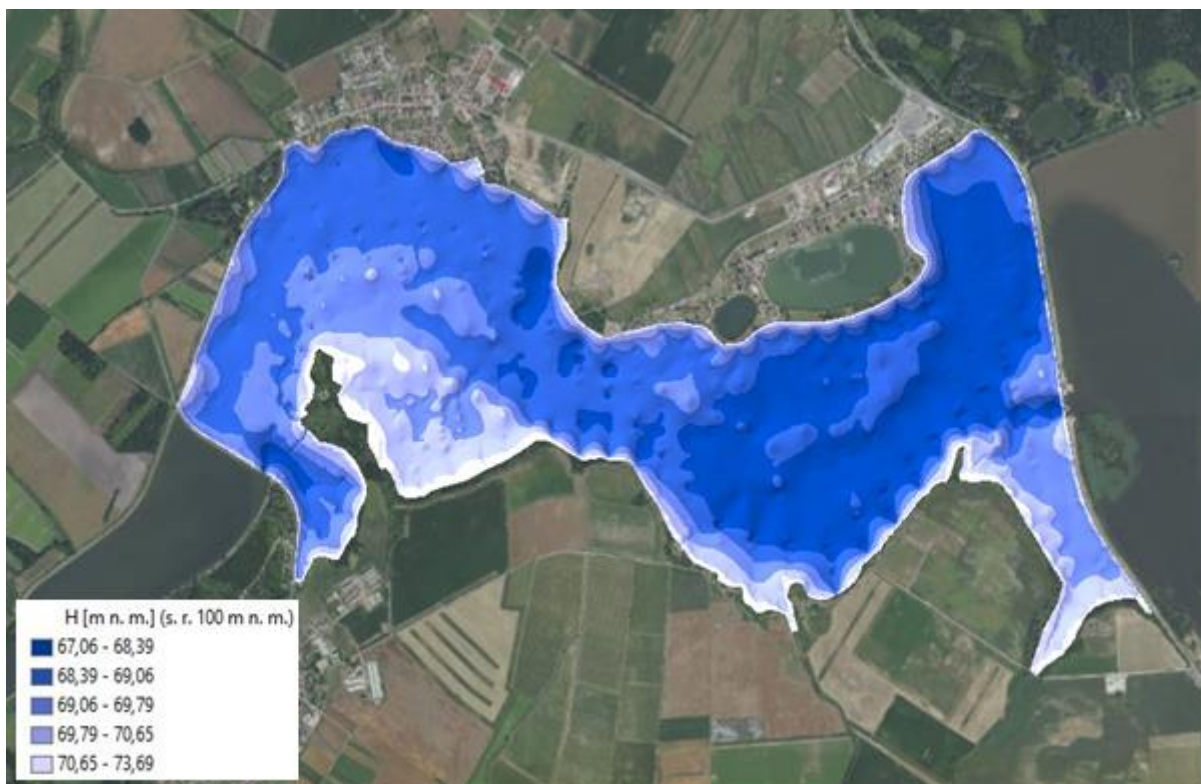


Abb. 17. DGM des unteren Teils des Oberbeckens von Nové Mlýny anhand der Vermessung 2003.

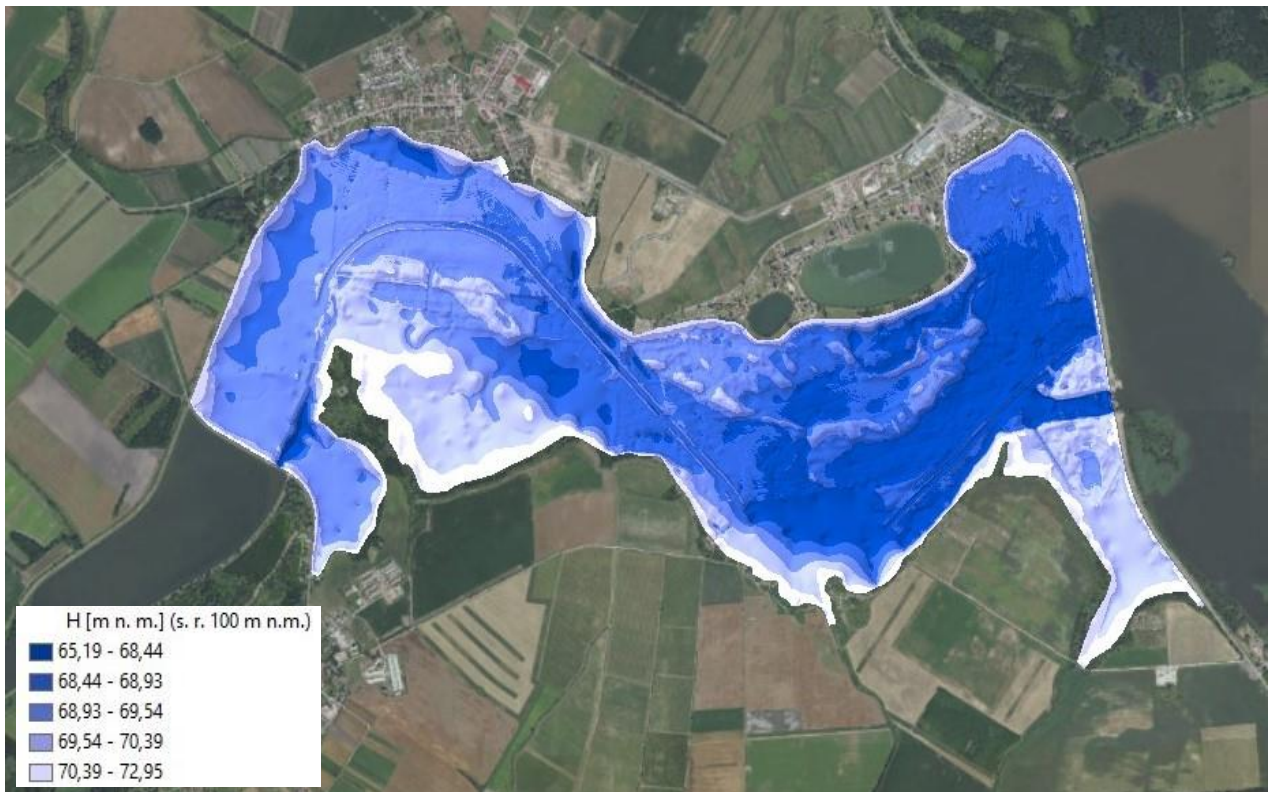


Abb. 18. DGM des unteren Teils des Oberbeckens von Nové Mlýny anhand der Vermessung 2020.

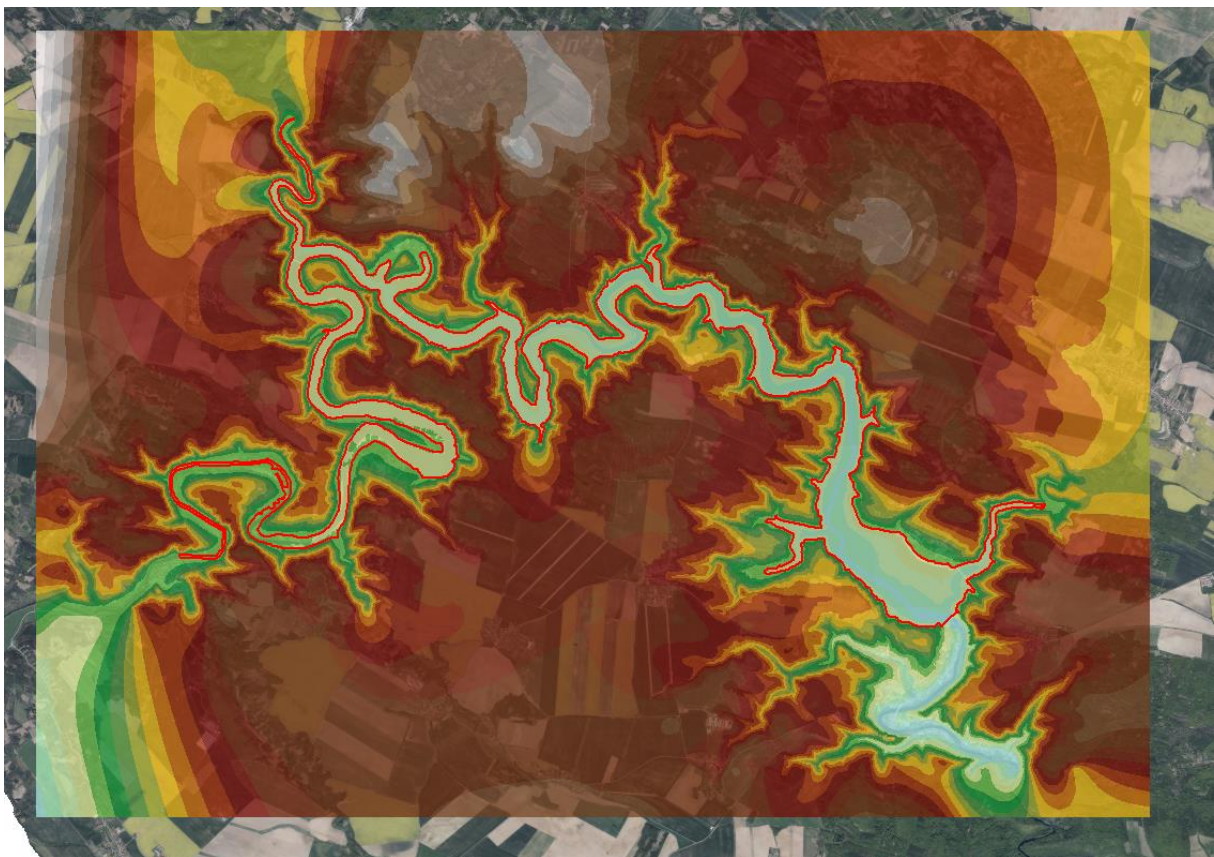


Abb. 19. DGM der Stauanlage Vranov.

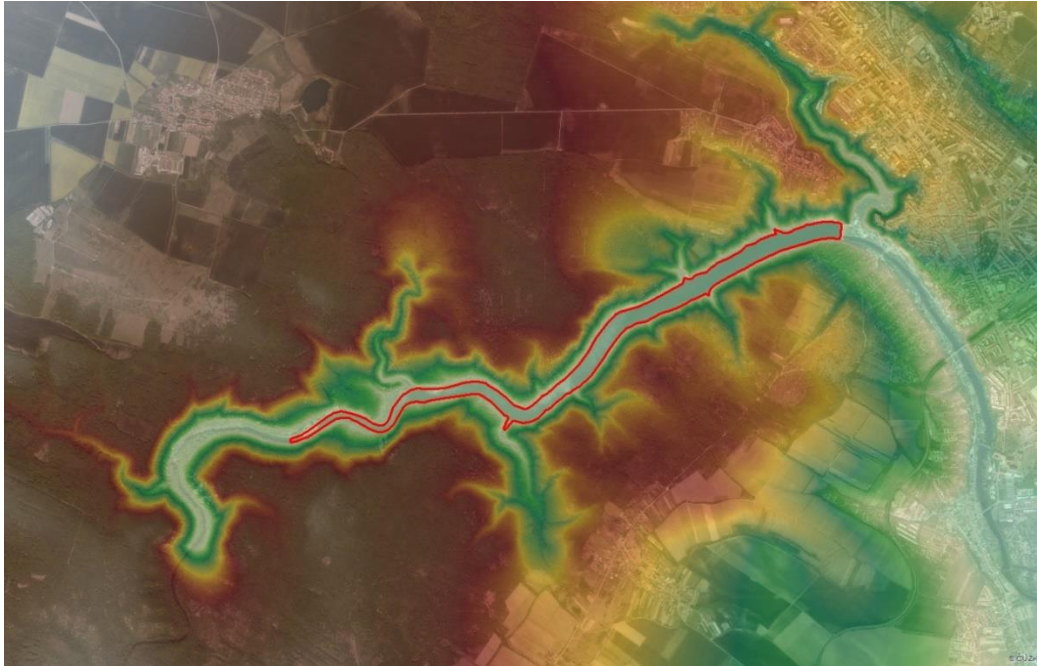


Abb. 20. DGM der Stauanlage Znojmo.

3.2 Bathygraphische Kurven – Konturlinien der benetzten Flächen und Volumina

Auf der Abbildung 21 ist die Konturlinie der benetzten Volumina für den oberen Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny dargestellt. Die Abbildung 22 zeigt die erarbeiteten Konturlinien der benetzten Flächen und Volumina für den unteren Teil der Stauanlage Nové Mlýny anhand der Vermessung aus dem Jahre 2003 und der Vermessung aus dem Jahre 2020. Die Abbildung 23 zeigt die erarbeiteten Kurven für die Stauanlage Vranov und die Abbildung 24 die erarbeiteten Kurven der benetzten Flächen und Volumina für die Stauanlage Znojmo.

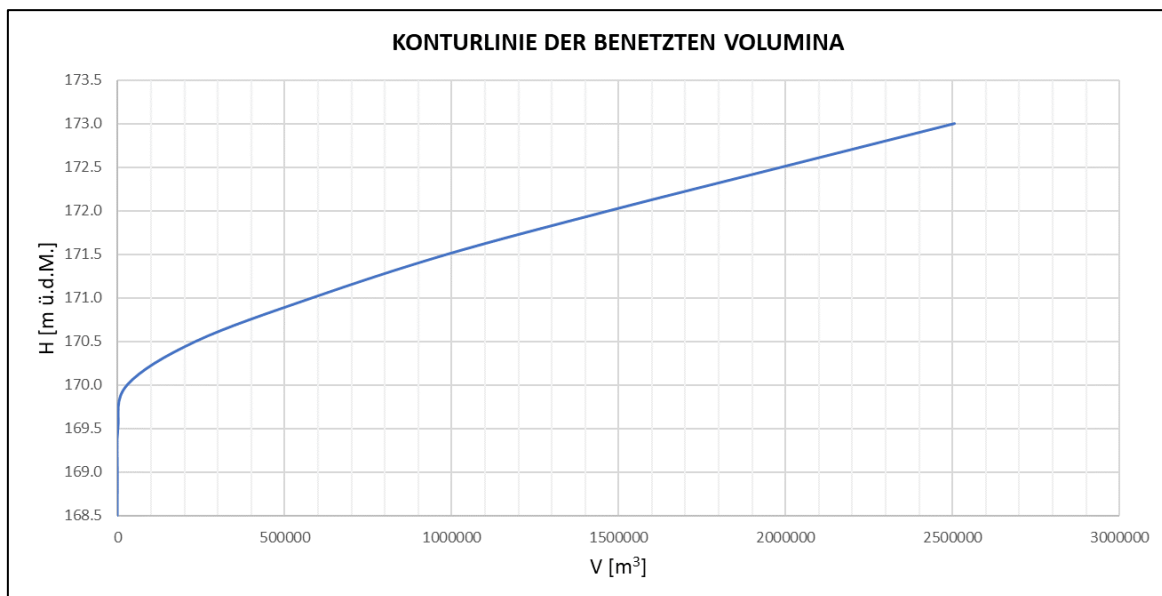


Abb. 21. Konturlinie der benetzten Volumina in dem oberen Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny.

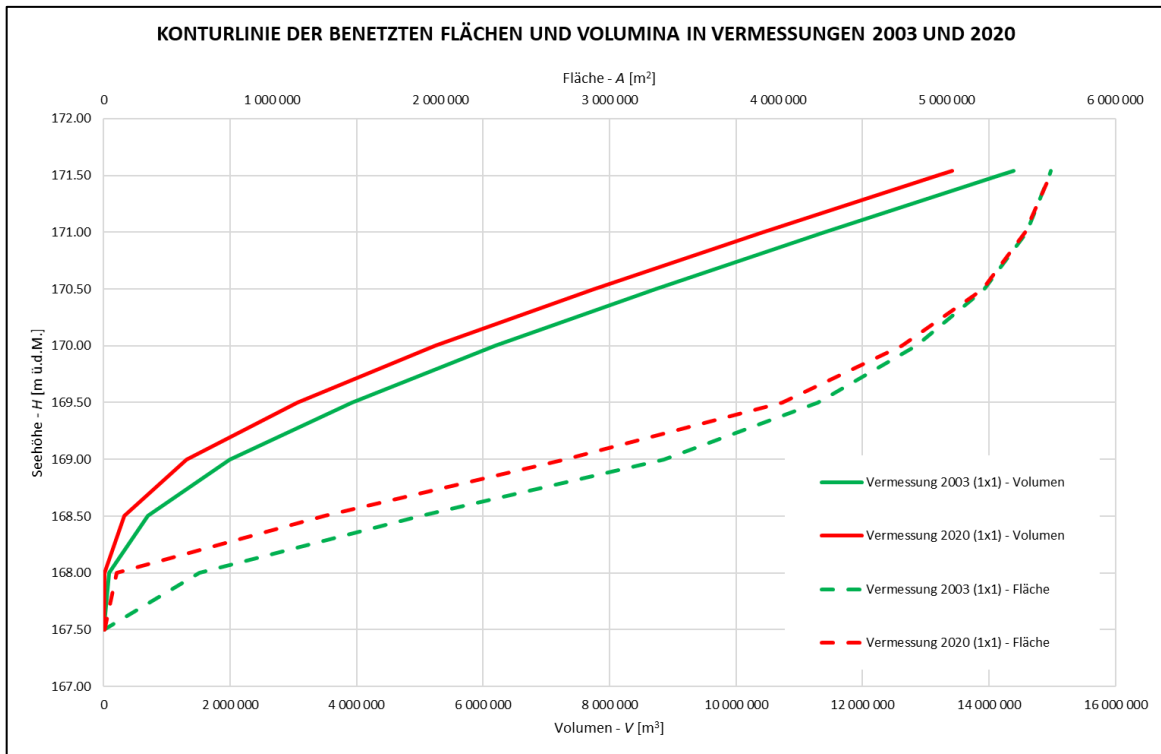


Abb. 22. Konturlinie der benetzten Flächen und Volumina in dem unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny, Vermessungen 2003 und 2020.

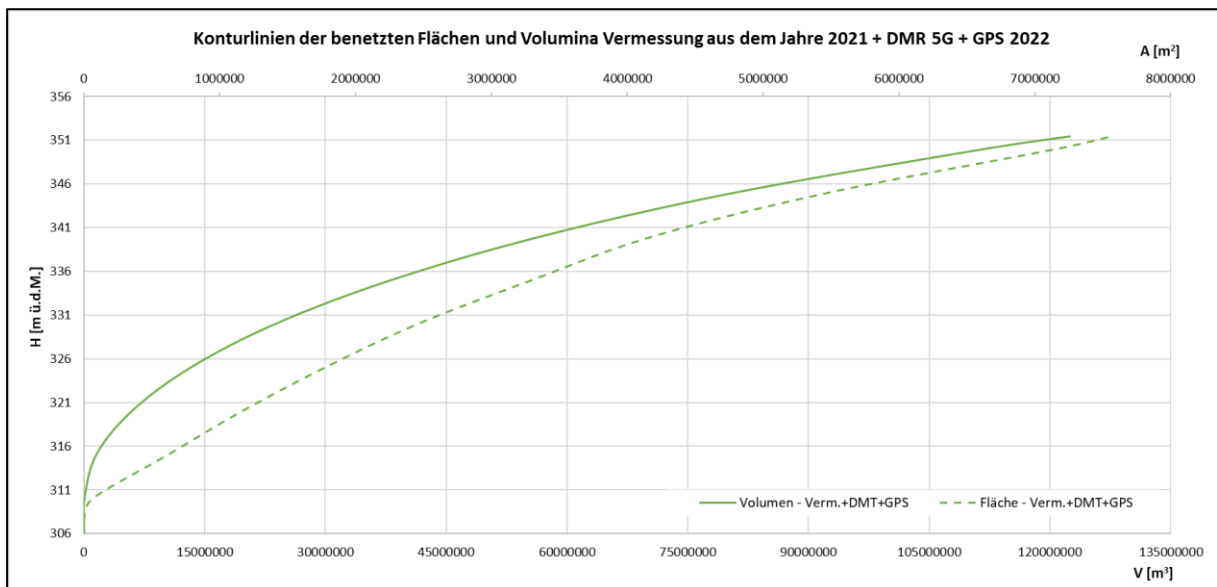


Abb. 23. Konturlinien der benetzten Flächen und Volumina der Stauanlage Vranov.

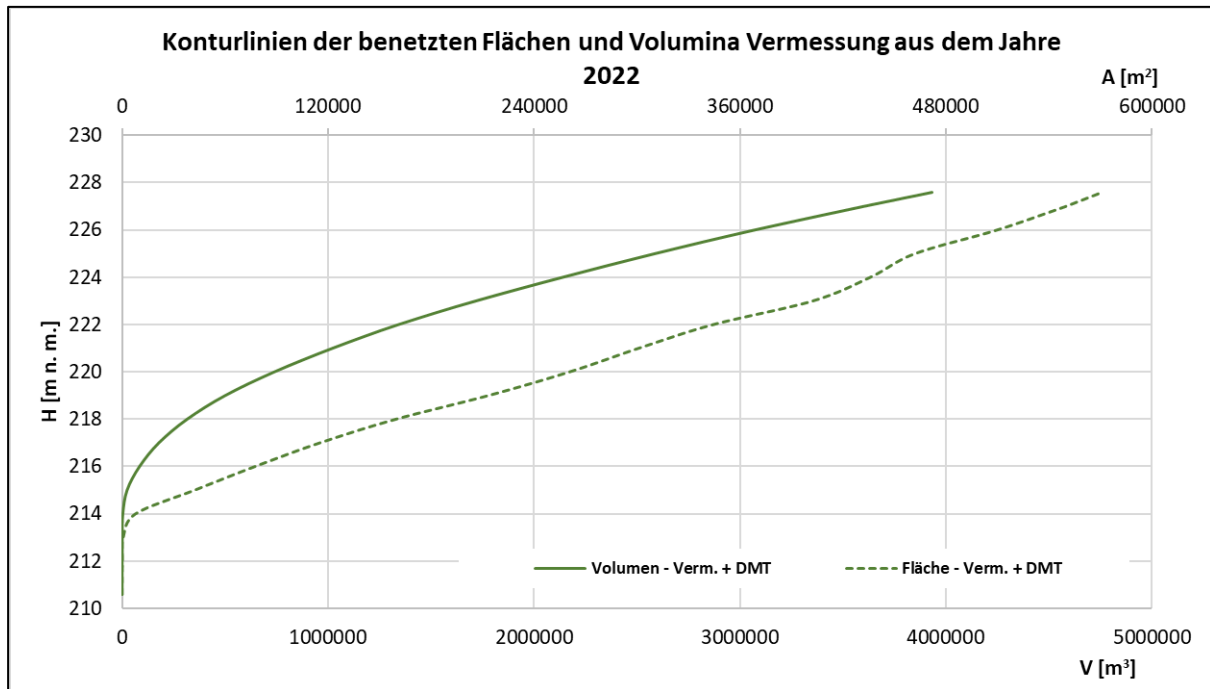


Abb. 24. Konturlinien der benetzten Flächen und Volumina der Stauanlage Znojmo.

3.3 Auswertung der Ergebnisse

Ein wichtiger Indikator für den Zustand des Stauraumvolumens ist der Vergleich der neu vermessenen bzw. erarbeiteten Konturlinien von benetzten Flächen und Volumina mit Daten der bathygraphischen Kurven, die in den Betriebsvorschriften für die jeweiligen Stauanlagen aufgeführt sind. Eine weitere Möglichkeit ist die Berechnung der relativen Unterschiede in der Veränderung der Stauraumvolumina, die Erstellung von Differenzkarten, und das nur in dem Fall, dass entsprechende Daten zu deren Erstellung vorliegen, und nicht zuletzt Analysen der Veränderungen der Stauraumvolumina in Bezug auf den Pegelstand im Stauraum.

3.3.1 Der obere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny

Die erarbeitete bathygraphische Kurve in Form einer Konturlinie der benetzten Volumina in dem oberen Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny kann mit den Daten aus der Betriebsvorschrift nicht sinnvoll verglichen werden, weil die bathygraphische Kurve in der Betriebsvorschrift für den unteren Teil des Oberbeckens bestimmt wurde. Die Bestimmung der Verlandung und die Abschätzung des Rauminhalts der Ablagerungen in diesem Teil des Stauraums und damit auch der Veränderung dessen Stauraumvolumens sind in dem Abschlussbericht „O.T1.1 Nachhaltige Sedimentmanagementstrategie für den Stauraum Nové Mlýny, Abschlussbericht – Zusammenfassung der Lösungsergebnisse.“ ausführlicher beschrieben, der auf den Ergebnissen basiert, die in dem Zwischenbericht „Bericht 14 – Simulation der historischen Entwicklung der Verlandung des Oberbeckens von VD Nové Mlýny.“ ausführlich beschrieben sind.

Die resultierende Konturlinie der benetzten Volumina, die im Wesentlichen die erste scharfe Berechnung und Prüfung der verwendeten Methoden war, wird als Beispiel der resultierenden Konturlinie der benetzten Volumina in der Abbildung 21 dargestellt.

3.3.2 Der untere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny

Für den unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny sah die Situation bei der Auswertung der Ergebnisse anders aus. Für den Vergleich standen Daten aus der Betriebsvorschrift sowie aus den Vermessungen in den Jahren 2003 und 2020 zur Verfügung. Aus diesem Grund kann eine Zusammenfassung der Ergebnisse tabellarisch als Tabellen Nr. 1 und 2 dargestellt werden, aus denen der Vergleich der bathygraphischen Kurven anhand der Messergebnisse aus den Jahren 2003 und 2020 mit der Betriebsvorschrift für die Stauanlage (MŘ 2001) ersichtlich ist.

Tab. 1. Vergleich der bathygraphischen Kurven anhand der Betriebsvorschrift und der Vermessung 2003, einschließlich der Bestimmung des relativen Volumenunterschieds.

H [m ü.d.M.]	MŘ 2001		Vermessung 2003		Unterschied Vermessung 2003 – MŘ		
	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	ΔV [%]
167.50	0	0	89	1 537	89	1 537	-
168.00	112 477	619 049	90 790	568 070	-21 687	-50 979	-19.28
168.50	724 291	1 853 894	701 203	1 882 141	-23 088	28 247	-3.19
169.00	2 012 568	3 273 114	1 997 985	3 319 471	-14 583	46 357	-0.72
169.50	3 913 965	4 179 025	3 921 103	4 233 080	7 138	54 055	0.18
170.00	6 172 727	4 833 328	6 194 374	4 818 118	21 647	-15 210	0.35
170.50	8 704 416	5 261 162	8 708 552	5 221 658	4 136	-39 504	0.05
171.00	11 409 888	5 501 761	11 391 530	5 471 744	-18 358	-30 017	-0.16
171.50	14 132 601	5 652 224	14 163 761	5 608 872	31 160	-43 352	0.22
171.54	14 313 275	5 750 000	14 388 245	5 614 722	74 970	-135 278	0.52
171.54	14 313 275	5 750 000	14 388 245	5 614 722	74 970	-135 278	0.52

Tab. 2. Vergleich der bathygraphischen Kurven anhand der Betriebsvorschrift und der Vermessung 2020, einschließlich der Bestimmung des relativen Volumenunterschieds.

H [m ü.d.M.]	MŘ 2001		Vermessung 2020		Unterschied Vermessung 2020 – MŘ		
	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	ΔV [%]
167.50	0	0	2 812	6 841	2 812	6 841	-
168.00	112 477	619 049	12 947	75 429	-99 530	-543 620	-88.49
168.50	724 291	1 853 894	323 412	1 310 055	-400 879	-543 839	-55.35
169.00	2 012 568	3 273 114	1 315 209	2 732 899	-697 359	-540 215	-34.65
169.50	3 913 965	4 179 025	3 062 058	4 021 564	-851 907	-157 461	-21.77
170.00	6 172 727	4 833 328	5 246 325	4 735 581	-926 402	-97 747	-15.01
170.50	8 704 416	5 261 162	7 745 472	5 209 882	-958 944	-51 280	-11.02
171.00	11 409 888	5 501 761	10 422 237	5 464 910	-987 651	-36 851	-8.66

H [m ü.d.M.]	MŘ 2001		Vermessung 2020		Unterschied Vermessung 2020 – MŘ		
	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	ΔV [%]
171.50	14 132 601	5 652 224	13 194 224	5 611 963	-938 377	-40 261	-6.64
171.54	14 313 275	5 750 000	13 418 816	5 617 222	-894 459	-132 778	-6.25

Das graphische Ergebnis sind dann die bathygraphischen Kurven anhand der Werte aus der Betriebsvorschrift 2001 und den Ergebnissen der Vermessungen aus den Jahren 2003 und 2020, siehe die Abbildung 25.

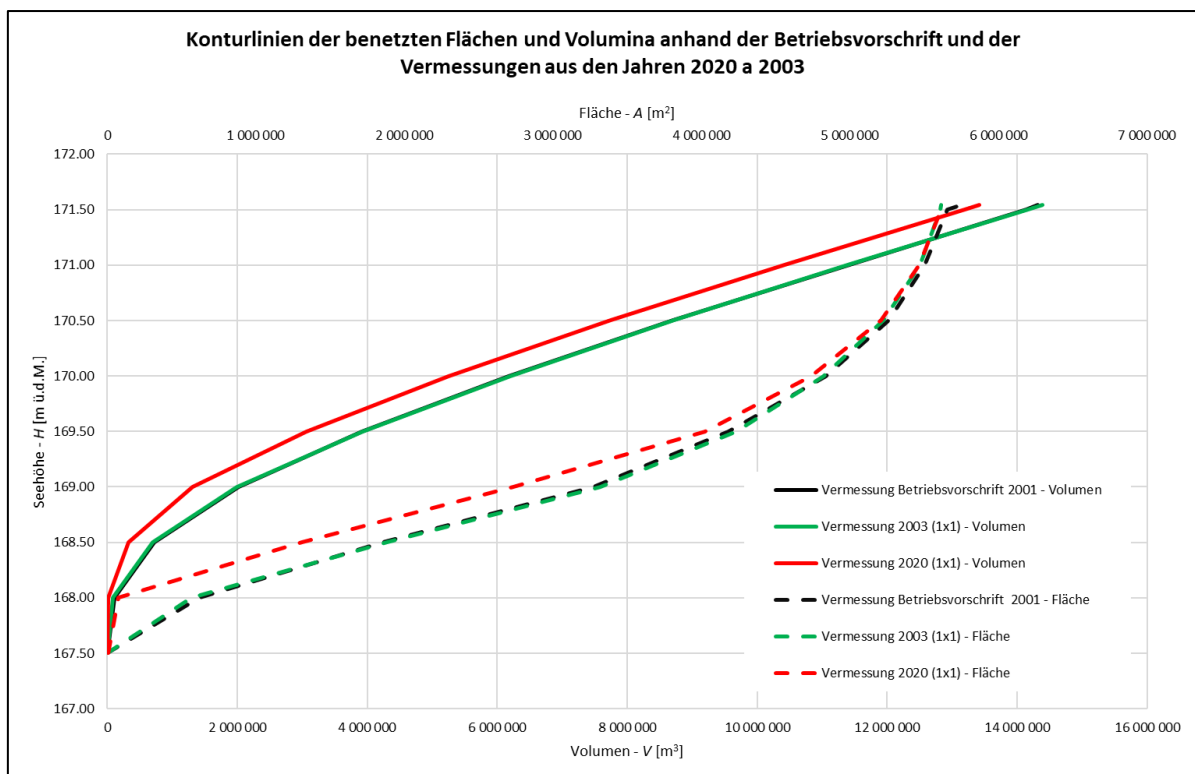


Abb. 25. Konturlinie der benetzten Flächen und Volumina in dem unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny, Betriebsvorschrift 2001, Vermessungen 2003 und 2020.

Aus den DGM 2003 und 2020 konnte auch eine Differenzkarte erstellt werden, und zwar wurden die DGMs für die Vermessungen 2020 und 2003 mithilfe der Feature *Raster calculator* voneinander subtrahiert, und die positiven Differenzwerte entsprechen dann den Sedimentablagerungen auf der Stauraumsohle. In der Karte sind die Ablagerungen auf einer Skala von gelb bis braun und die Kolke auf einer Skala von grün bis blau eingefärbt. Die Differenzkarte der Sedimentablagerungen bzw. der Veränderungen der Stauraumsohle in dem unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny ist in der Abbildung 26 dargestellt.

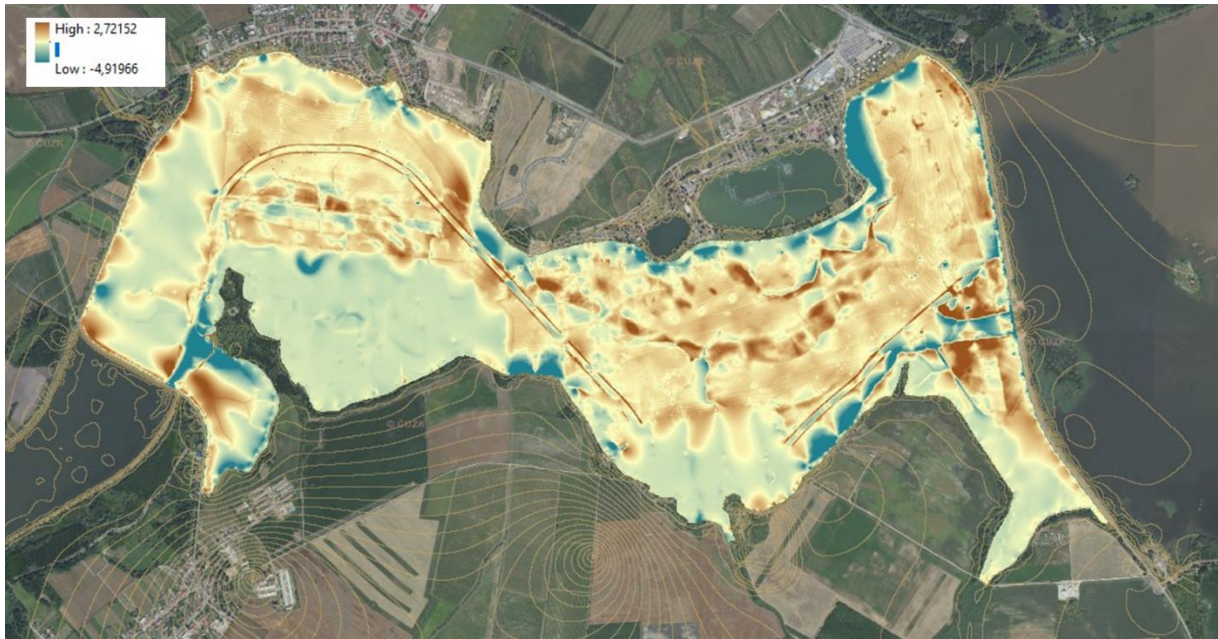


Abb. 26. Differenzkarte der Stauraumsohle in dem unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny für das DGM anhand der Vermessungen 2003 und 2020.

Eine weitere Reihe von Ergebnissen ist in der Abbildung 27 dargestellt, wo die Veränderung des Volumens bzw. der Verlandung bezogen auf die Pegelstandhöhe in dem Stauraum ersichtlich ist. Die rote Linie stellt die kumulative Volumenänderung mit der Pegelstandhöhe in dem Stauraum dar und beschreibt die Gesamtänderung des Wasservolumens, also auch die Verlandung des Stauraums bezogen auf die Pegelstandhöhe von 171,54 m ü.d.M. Die blaue Linie stellt dann einen partiellen Unterschied bezogen auf den gegebenen Wasserstand dar, d.h. sie zeigt jene Stellen bzw. Pegelstandhöhen mit der größten Volumenänderung und potenziell auch der größten Stauraumverlandung. Die eingezeichneten Pegelstandhöhen für den Reserveraum M_s und den Betriebsraum M_z begrenzen den Betriebsstauraum der Stauanlage. Aus der Grafik ist klar ersichtlich, dass die Volumenänderung zwischen den Vermessungen 2003 und 2020 einen Wert von -969.500 m^3 bei der Pegelstandhöhe von 171,54 m ü.d.M. erreicht, und dass die größte Volumenänderung sowie die mögliche Verlandung des Stauraums bis zur Pegelstandhöhe von 169,5 m ü.d.M. in dem Stauraum realisiert wird.

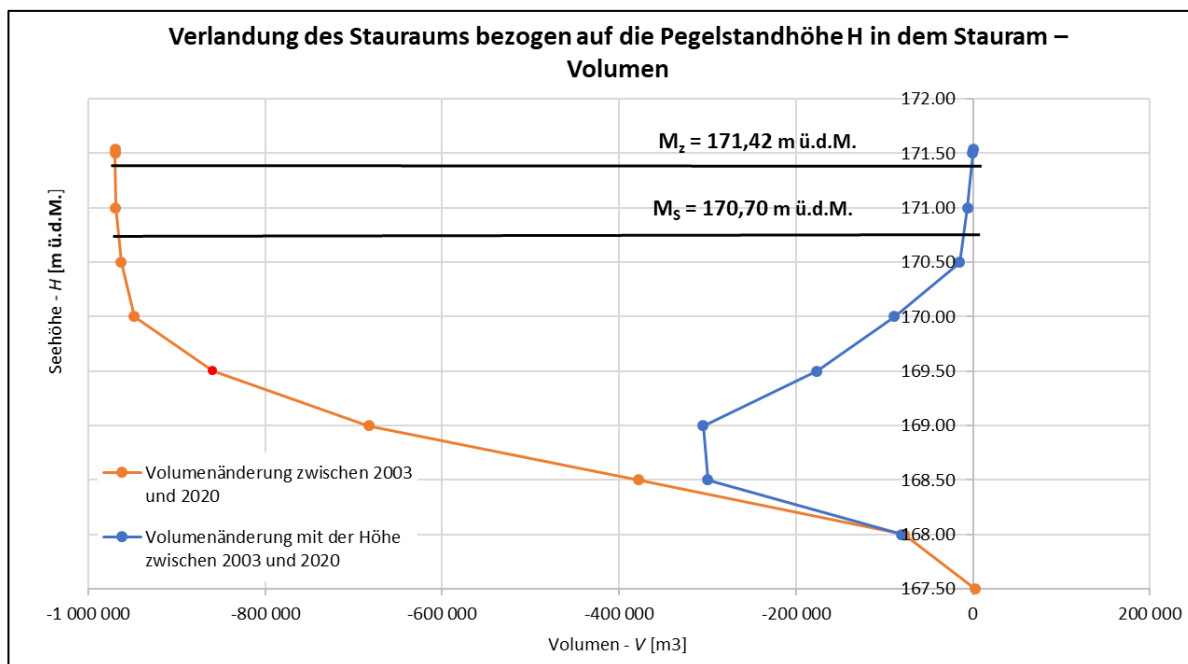


Abb. 27. Veränderung des Stauraumvolumens bezogen auf die Pegelstandhöhe zwischen den Vermessungen 2003 und 2020.

3.3.3 Vranov

Für die Stauanlage Vranov standen lediglich die Daten aus der Betriebsvorschrift MŘ sowie die vereinigten Daten aus der Vermessung aus dem Jahre 2021 und der anschließenden GPS-Nachvermessung aus dem Jahre 2022 für den Vergleich zur Verfügung. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist tabellarisch dargestellt, siehe die Tabelle 3, die einen Vergleich der bathygraphischen Kurven anhand der Betriebsvorschrift mit den Ergebnissen aus der zusammengeführten Vermessung aus dem Jahre 2021 + DMR 5G + GPS 2022 zeigt.

Tab. 3. Vergleich der bathygraphischen Kurven anhand der Betriebsvorschrift und der Vermessung 2021 + DMR 5G + GPS 2022, einschließlich der Bestimmung des relativen Volumenunterschieds.

H [m ü.d.M.]	MŘ		Vermessung 2021 + DMR 5G + GPS 2022		Unterschied Vermessung – MŘ		
	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	ΔV [%]
306	0	0	0	0	0	0	-
306.66	3 462	1 090	17	394	-3 445	-696	-99.5
310	1 159 615	365 064	43 392	62 245	-1 116 223	-302 819	-96.3
315	3 312 857	908 929	1 478 391	614 063	-1 834 466	-294 866	-55.4
320	8 884 286	1 444 643	5 889 186	1 161 027	-2 995 100	-283 616	-33.7
325	16 655 441	1 982 907	13 204 144	1 771 864	-3 451 297	-211 043	-20.7
330	27 843 402	2 688 290	23 723 054	2 457 622	-4 120 348	-230 668	-14.8
335	43 581 626	3 595 651	38 072 628	3 294 651	-5 508 998	-301 000	-12.6
340	63 664 477	4 652 626	56 681 979	4 185 530	-6 982 498	-467 096	-11.0

H [m ü.d.M.]	MŘ		Vermessung 2021 + DMR 5G + GPS 2022		Unterschied Vermessung – MŘ		
	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	ΔV [%]
345	89 442 582	5 268 372	80 687 143	5 475 842	-8 755 439	207 470	-9.8
350	121 988 818	6 068 485	111 716 520	7 153 938	-10 272 298	1 085 453	-8.4
351.46	132 696 000	7 625 000	122 468 778	7 566 308	-10 227 222	-58 692	-7.7

Das graphische Ergebnis sind dann die bathygraphischen Kurven anhand der Werte aus der Betriebsvorschrift und den Ergebnissen der Vermessungen 2021 + DMR 5G + GPS 2022, siehe die Abbildung 28.

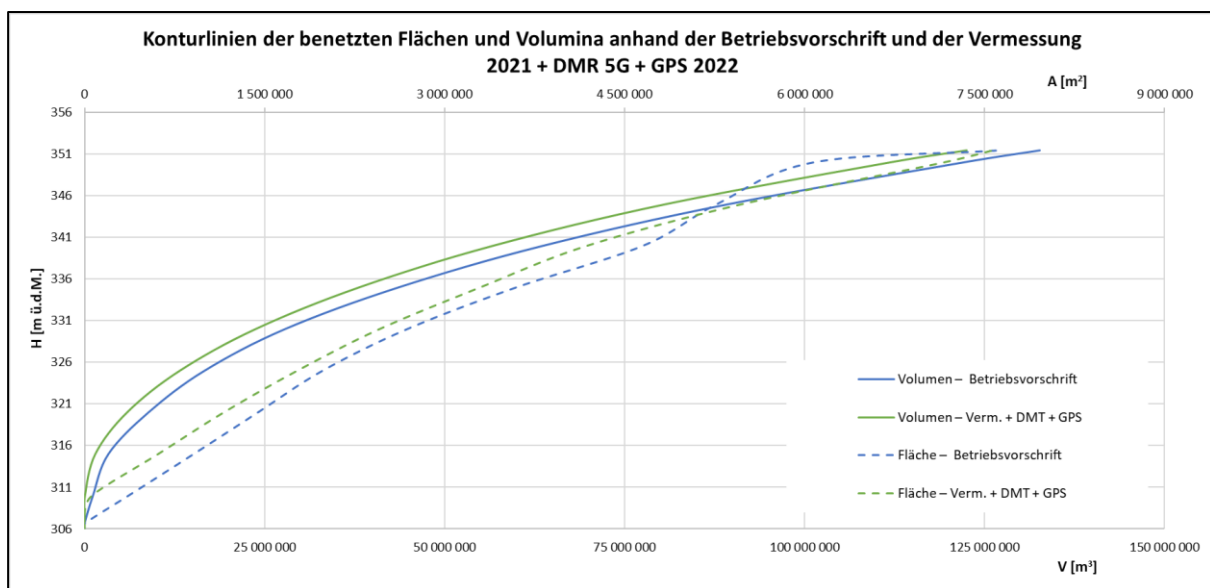


Abb. 28. Konturlinie der benetzten Flächen und Volumina der Stauanlage Vranov.

Weitere Ergebnisse sind in der Abbildung 29 dargestellt, wo die Veränderung des Volumens bzw. der Verlandung bezogen auf die Pegelstandhöhe in dem Stauraum ersichtlich ist. Die blaue Linie stellt die kumulative Volumenänderung mit der Pegelstandhöhe in dem Stauraum dar und beschreibt die Gesamtänderung des Wasservolumens, also auch die Verlandung des Stauraums bis zur Pegelstandhöhe von 351,46 m ü. M. Die orangefarbene Linie stellt dann einen partiellen Unterschied bezogen auf den gegebenen Wasserstand dar, d.h. sie zeigt jene Stellen bzw. Pegelstandhöhen mit der größten Volumenänderung und potenziell auch der größten Stauraumverlandung. Die eingezeichneten Pegelstandhöhen für den Reserveraum M_5 und den Betriebsraum M_2 begrenzen den Betriebsstauraum der Stauanlage. Aus der Grafik ist klar ersichtlich, dass die Volumenänderung zwischen dem Volumen aus der Betriebsvorschrift und der zusammengeführten Vermessung von 2021 + DMR 5G und GPS 2022 einen Wert von $-10.227.222 \text{ m}^3$ bei der Pegelstandhöhe von 351,46 m über dem ü.d.M. erreicht, und dass die größte Volumenänderung sowie die mögliche Verlandung des Stauraums bis zur Pegelstandhöhe des Reserveraums von 331,45 m ü.d.M.

sowie dann bei der Pegelstandhöhe von ca. 335 m ü.d.M. bis 350 m ü.d.M., also in dem Staugebiet der Stauanlage, realisiert wird.

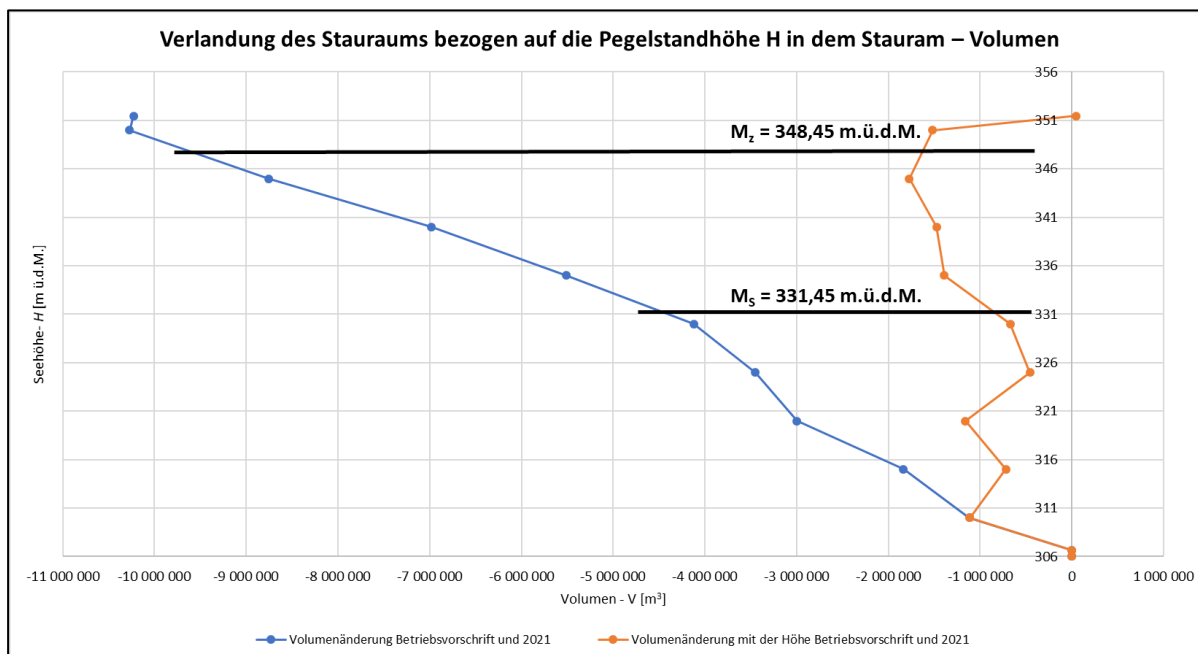


Abb. 29. Veränderung des Stauraumvolumens bezogen auf die Pegelstandhöhe zwischen der Betriebsvorschrift und der zusammengeführten Vermessung von 2021 + DMR 5G sowie GPS 2022.

3.3.4 Znojmo

Für die Stauanlage Znojmo standen lediglich die Daten aus der Betriebsvorschrift MŘ sowie die Vermessungsdaten aus dem Jahre 2022 für den Vergleich zur Verfügung. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in tabellarischer Form dargestellt, siehe die Tabelle 4, die einen Vergleich der bathygraphischen Kurven anhand der Betriebsvorschrift mit den Ergebnissen aus der zusammengeführten Vermessung aus dem Jahre 2022 + DMR 5G zeigt.

Tab. 4. Vergleich der bathygraphischen Kurven anhand der Betriebsvorschrift und der Vermessung 2022 + DMR 5G, einschließlich der Bestimmung des relativen Volumenunterschieds.

H [m ü.d.M.]	MŘ		Vermessung 2022 + DMR 5G		Unterschied Vermessung – MŘ		
	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	ΔV [%]
210.59	0	0	0	0	0	0	-
211	50 111	13 667	0	0	-50 111	-13 667	-
212	172 333	47 000	60	153	-172 273	-46 847	-
213	294 556	80 333	442	664	-294 114	-79 669	-
214	416 778	113 667	2 942	7 782	-413 836	-105 885	-99.3
215	539 000	147 000	23 679	42 165	-515 321	-104 835	-95.6
216	661 222	180 333	84 020	77 384	-577 202	-102 949	-87.3
217	783 444	213 667	177 734	115 127	-605 710	-98 540	-77.3

H [m ü.d.M.]	MŘ		Vermessung 2022 + DMR 5G		Unterschied Vermessung – MŘ		
	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	V [m ³]	A [m ²]	ΔV [%]
218	905 667	247 000	315 204	159 479	-590 463	-87 521	-65.2
219	1 027 889	280 333	499 537	213 308	-528 352	-67 025	-51.4
220	1 250 074	313 667	738 627	260 653	-511 447	-53 014	-40.9
221	1 616 107	347 000	1 020 857	300 884	-595 250	-46 116	-36.8
222	1 982 140	380 333	1 340 354	344 277	-641 786	-36 056	-32.4
223	2 368 332	411 250	1 717 074	402 363	-651 258	-8 887	-27.5
224	2 804 433	440 069	2 137 724	435 777	-666 709	-4 292	-23.8
225	3 270 617	470 876	2 586 496	461 882	-684 121	-8 994	-20.9
226	3 773 786	502 593	3 070 331	509 728	-703 455	7 135	-18.6
226.99	4 290 000	533 000	3 594 935	549 410	-695 065	16 410	-16.2
227	4 294 833	533 367	3 600 430	549 783	-694 403	16 416	-16.2
227.59	4 580 000	539 967	3 930 917	570 815	-649 083	30 848	-14.2

Das graphische Ergebnis sind dann die bathygraphischen Kurven anhand der Werte aus der Betriebsvorschrift und den Ergebnissen der Vermessung 2022 + DMR 5G, siehe die Abbildung 30.

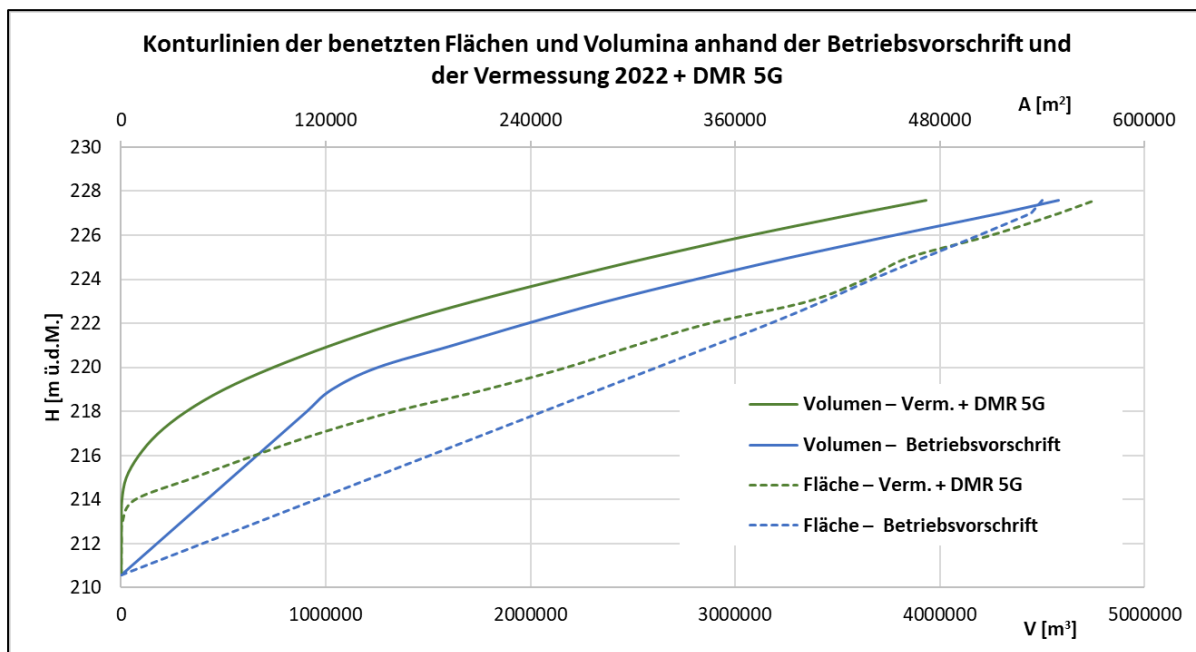


Abb. 30. Konturlinie der benetzten Flächen und Volumina in der Stauanlage Znojmo.

Weitere Ergebnisse sind in der Abbildung 31 dargestellt, wo die Veränderung des Volumens bzw. der Verlandung bezogen auf die Pegelstandhöhe in dem Stauraum ersichtlich ist. Die blaue Linie stellt die kumulative Volumenänderung mit der Pegelstandhöhe in dem Stauraum dar und beschreibt die Gesamtänderung des Wasservolumens, also auch die Verlandung des Stauraums bis zur Pegelstandhöhe von 227,59 m ü.d.M. Die orangefarbene Linie stellt dann einen partiellen Unterschied bezogen auf den gegebenen Wasserstand dar,

d.h. sie zeigt jene Stellen bzw. Pegelstandhöhen mit der größten Volumenänderung und potenziell auch der größten Stauraumverlandung. Die eingezeichneten Pegelstandhöhen für den Reserveraum M_s und den Betriebsraum M_z begrenzen den Betriebsstauraum der Stauanlage. Aus der Grafik ist klar ersichtlich, dass die Volumenänderung zwischen dem Volumen aus der Betriebsvorschrift und der zusammengeführten Vermessung von 2022 + DMR 5G einen Wert von -649.083 m^3 bei der Pegelstandhöhe von $227,59 \text{ m}$ ü.d.M. erreicht, und dass die größte Volumenänderung sowie die mögliche Verlandung des Stauraums bis zur Pegelstandhöhe des Reserveraums von $219,59 \text{ m}$ ü.d.M. realisiert wird.

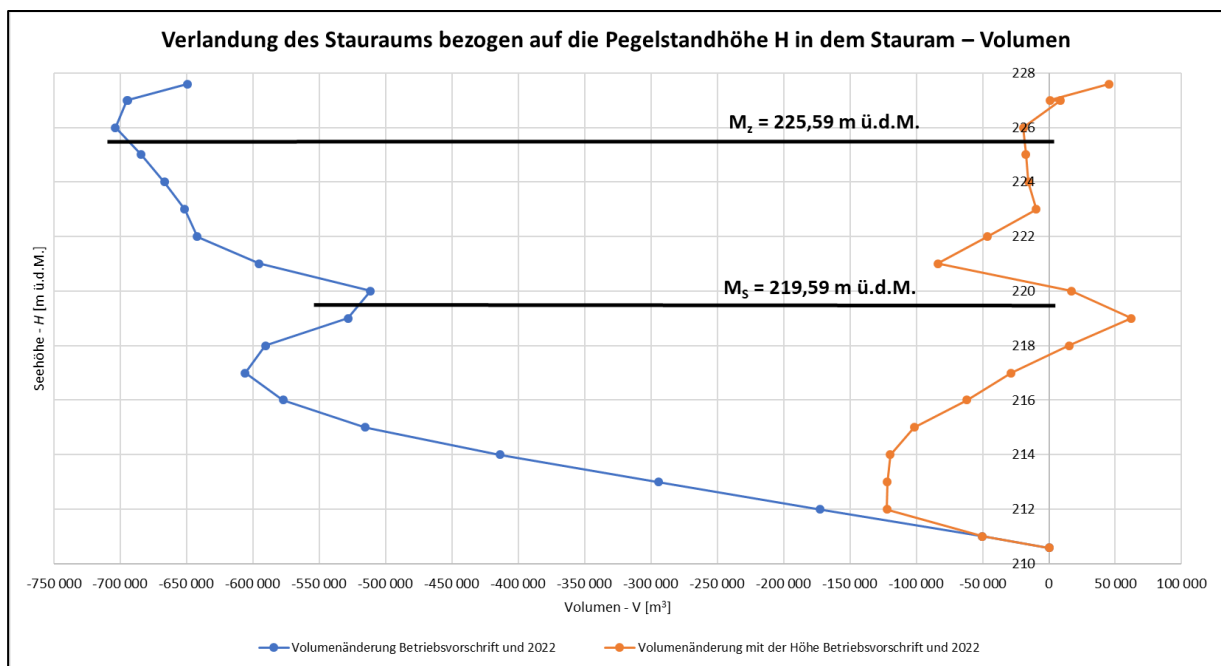


Abb. 31. Veränderung des Stauraumvolumens bezogen auf die Pegelstandhöhe zwischen der Betriebsvorschrift und der zusammengeführten Vermessung von 2022 + DMR 5G.

3.4 Bewertung der funktionellen Stauraumvolumina

Die letzte der Ergebnisauswertungen war die Beurteilung der Auswirkungen der Verlandung bzw. der Veränderung der Bathygraphie der Stauraumsohle auf die funktionellen Volumina der betrachteten Stauanlagen. Die Auswertung erfolgte für das Reserveraumvolumen V_s , das Betriebsraumvolumen V_z , den beherrschbaren und unbeherrschbaren Rückhalteraum V_{ro} und V_{rn} sowie das Gesamtvolumen des Stauraums V_{TOTAL} . Zu den Volumenänderungen wurden auch relative Unterschiede in m^3 und in % berechnet. Die Ergebnisse sind in folgenden Tabellen dargestellt: für den unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny in der Tabelle 5, für die Stauanlage Vranov in der Tabelle 6 und für die Stauanlage Znojmo in der Tabelle 7. Die Tabelle 8 zeigt die Veränderungen des Gesamtvolumens der Stauanlagen Vranov und Znojmo sowie des unteren Teils des Oberbeckens von Nové Mlýny (HNNM).

Tab. 5. Veränderung der funktionellen Volumina in dem unteren Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny zwischen der Betriebsvorschrift und der Vermessung 2020, einschließlich der Bestimmung des relativen Volumenunterschieds.

	H [m ü.d.M.]	V _{MŘ} [m ³]	V ₂₀₂₀ [m ³]	Relativer V-Unterschied [%]
V _s	170,70	9 769 000	8 816 178	9.75
V _Z	171,42	3 970 000	3 934 528	0.89
V _{ro}	171,54	574 000	668 110	-16.40
V_{TOTAL}		14 313 275	13 418 816	6.25

Tab. 6. Veränderung der funktionellen Volumina in der Stauanlage Vranov zwischen der Betriebsvorschrift und der Vermessung 2021, einschließlich der Bestimmung des relativen Volumenunterschieds.

	H [m ü.d.M.]	V _{MŘ} [m ³]	V ₂₀₂₁ [m ³]	Relativer V-Unterschied [%]
V _s	331.45	31 840 000	27 884 431	12.42
V _Z	348.45	79 668 000	74 212 983	6.85
V _{ro}	350.10	11 157 000	10 355 563	7.18
V _{rn}	351.46	10 031 000	10 015 802	0.15
V_{TOTAL}		132 696 000	122 468 778	7.71

Tab. 7. Veränderung der funktionellen Volumina in der Stauanlage Znojmo zwischen der Betriebsvorschrift und der Vermessung 2022, einschließlich der Bestimmung des relativen Volumenunterschieds.

	H [m ü.d.M.]	V _{MŘ} [m ³]	V ₂₀₂₂ [m ³]	Relativer V-Unterschied [%]
V _s	219.59	1 100 000	640 600	41.76
V _Z	225.59	2 450 000	2 231 358	8.92
V _{ro}	226.99	740 000	722 977	2.30
V_{TOTAL}		4 290 000	3 594 935	16.20

Tab. 8. Veränderung der Gesamtvolumina der Stauräume zwischen der Betriebsvorschrift und der neuen Vermessung, einschließlich der Ermittlung des relativen Volumenunterschieds.

Stauanlage	V _{TOTAL} - MŘ [m ³]	V _{TOTAL} - neue Verm. [m ³]	Relativer Unterschied [m ³]	Relativer Unterschied [%]
Vranov + Znojmo	136 986 000	126 063 714	10 922 286	7.97
Vranov + Znojmo + HNNM	151 299 275	139 482 530	11 816 745	7.81

4 Fazit

Unter Verwendung des Programms ArcGIS – ArcMap wurden digitale Höhenmodelle des Geländes (DGM) zur Vermessung der Stauraumsohle in folgenden Stauanlagen erstellt: i) der obere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny, ii) der untere Teil des Oberbeckens von Nové Mlýny, iii) Vranov und iv) Znojmo. Anschließend wurden bathygraphische Kurven der Stauanlagen aus dem DGM der Stauraumsohlen abgeleitet, und die Auswirkung der veränderten Bathygrafie der Stauraumsohlen bzw. der Sohlenveränderungen durch Verlandung wurde abgeschätzt.

Der wichtigste Input waren die Daten aus der Vermessung der Stauraumsohle mit einem Echolot-Messboot, das von dem Projektpartner PP3, dem Staatsbetrieb Povodí Moravy, im Rahmen des aktuellen Projektes angeschafft und betrieben wurde. Zusätzliche Inputs waren Daten in Form von historischen Vermessungen, die von dem PP3 Povodí Moravy bereitgestellt wurden, manuelle GPS-Nachvermessungen, die von dem Projektpartner PP2 BUT in Brünn durchgeführt wurden, und das digitale Reliefmodell der Tschechischen Republik der 5. Generation von dem Tschechischen Landvermessungs- und Katasteramt.

Mittels moderner georeferenzierter Softwaretools und aktueller Vermessungen der Sohle der Stauanlagen konnte eine wertvolle Analyse der Veränderung der Stauraumsohle und des Volumens der jeweiligen Stauseen durchgeführt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Veränderungen des Gesamtvolumens der Stauanlagen zwischen 6 und 16 % liegen. Die Volumenänderungen der Reserveräume reichen von 10 bis 40 % und die Volumenänderungen der Betriebsräume von 1 bis 9 %. Die Gesamtänderung des Volumens der Stauseen Vranov und Znojmo und des Oberbeckens von Nové Mlýny beträgt knappe 8 %. Aus der obigen Analyse ist ersichtlich, dass die überwiegende Verlandung der Stauanlagen in den Bereichen des Reservestauraums stattfindet.

Das eigentliche Monitoring in Kombination mit der Auswertung der Messungen dient als wertvolles Instrument zur Langzeitüberwachung der Entwicklungsdynamik der Stauraumsohle und des Zustands der Funktionsvolumina. Aus der Sicht des Betriebes der Stauanlagen wird das Echo-Messboot bei dem langfristigen und nachhaltigen Betrieb und Management der vom PP3, dem Staatsunternehmen Povodí Moravy, verwalteten Stauanlagen behilflich sein.

5 Unterlagen

1. *Betriebsvorschrift für die Stauanlage Nové Mlýny – Oberbecken an dem Fluss Thaya, km 58,085. Povodí Moravy s.p. 2001.*
2. *Betriebsvorschrift für die Stauanlage Vranov an dem Fluss Thaya, km 175,405. Povodí Moravy s.p. 2011.*
3. *Betriebsvorschrift für die Stauanlage Znojmo an dem Fluss Thaya, km 132,730. Povodí Moravy s.p. 2006.*
4. *Bericht 14 – Simulation der historischen Entwicklung der Verlandung des Oberbeckens von VD Nové Mlýny.*
5. *Bericht 25 – Modellierung der Stauraumsohle und Volumenberechnung für die Stauanlage Nové Mlýny mithilfe der ArcGIS- und Atlas-Software.*
6. *Bericht 29 – Erstellung eines digitalen Geländemodells der Stauraumsohle der Stauanlage Nové Mlýny anhand von Vermessungen und anschließende Analyse von bathygraphischen Linien*
7. *Berichte 33 und 36 - Erstellung eines digitalen Geländemodells der Stauraumsohle der Stauanlage Vranov anhand von Vermessungen und anschließende Analyse von bathygraphischen Linien.*
8. *Bericht 42 – Erstellung eines digitalen Geländemodells der Stauraumsohle der Stauanlage Znojmo anhand von Vermessungen und anschließende Analyse von bathygraphischen Linien.*
9. *O.T1.1 Nachhaltige Sedimentmanagementstrategie für den Stauraum Nové Mlýny, Abschlussbericht – Zusammenfassung der Lösungsergebnisse.*