



**Monitoring von Sedimenteinträgen in Stehenden Ge-
wässern mittels vereinfachtem Echoloteinsatz als
Entscheidungshilfe erforderlicher Gegenmaßnah-
men**

(Akronym: MonSeGeEnt)

AZ 38587/01-33/2



Coburg, 30.05.2025

Drittmittelgeber: Deutsche Bundesstiftung Umwelt
An der Bonau 2
D-49090 Osnabrück
Postfach 1705
D-49007 Osnabrück
Phone: 0049-(0)9633/501
Fax: 0049-(0)9633/197

Auftragnehmer: Fakultät Design + Bauen, Studiengang Bauingenieurwesen – Fachgebiet
Wasserbau, Siedlungswasserwirtschaft und Vermessung
Hochschule Coburg
University of Applied Sciences Coburg
Am Hofbräuhaus 1a
D-96450 Coburg - Germany
Phone: 0049-(0)9561/317-123
E-Mail: andreas.weiss@hs-coburg.de

ISAT – Institut für Sensor- und Aktortechnik
Hochschule Coburg
University of Applied Sciences Coburg
Am Hofbräuhaus 1b
D-96450 Coburg - Germany
Phone: 0049-(0)9561/317-522
E-Mail: klaus.drese@hs-coburg.de

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. Andreas Weiß
Prof. Dr. Klaus Stefan Drese
M. Eng. Pascal Haas
B. Eng. Benedikt Stromer

Kurzfassung

Das Projekt „Monitoring von Sedimenteinträgen in Stehenden Gewässern mittels vereinfachtem Echoloteinsatz als Entscheidungshilfe erforderlicher Gegenmaßnahmen“ hatte zum Ziel kostengünstige Echolotsysteme aus der Fischerei, sogenannte Fischfinder, hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit zur bathymetrischen Vermessung von stehenden Gewässern zu evaluieren. Insgesamt wurden in diesem Projekt fünf Echolotsysteme, in einem Preissegment von ca. 150,- € bis maximal 4.000,- € genutzt und bewertet. Die Vermessungen wurden mit einem Schlauchkissenboot auf 5 verschiedenen Gewässern durchgeführt. Die Vermessungen lieferten, in Anlehnung an die Richtlinien der international hydrographic Organization (IHO) mit einem kleinsten zulässigen Fehler von 0,15 m, akzeptable Ergebnisse. Mit dem Lowrance HDS mit Active Imaging HD 3in1 Geber konnten die geringsten Messabweichungen erzielt werden. Zu beachten ist jedoch, dass Vermessungen möglichst in Zeiten ohne Vegetation stattfinden sollten, da diese die Sensoren und die daraus resultierenden Ergebnisse teilweise vor Probleme stellen kann. Es wurde daher ein Programmtool entwickelt, womit sich derartige Abweichungen durch Vegetation oder andere Störeinflüsse teilweise korrigieren lassen. Es wird empfohlen, Gewässer mit einer höheren Frequenz zu vermessen. Bei den genutzten Geräten wurde zum Großteil mit einer Frequenz von 200 kHz vermessen. Allgemein ist es ratsam eine regelmäßige Gewässervermessung, z. B. im Jahresturnus, durchzuführen. Gute Echolotsysteme sind bereits für ca. 1.500,- € im Bundle mit Display, Sensor, Halterungen und einer externen GPS-Antenne erhältlich. Die Vermessungsdaten der stehenden Gewässer geben schlussendlich einen Aufschluss darüber, ob und in welchem Umfang dieses verlandet. Stellt sich dabei heraus, dass verstärkt Sedimente abgelagert werden, muss das Einzugsgebiet analysiert und Maßnahmen umgesetzt werden. Zur Analyse können Bestandsdaten wie z. B. Grenzen des Einzugsgebiets, Geländemodelle, Flächennutzungskarten oder auch Bodenabtragskarten der Länder herangezogen werden. Weiterhin wird empfohlen mit Tools zu arbeiten, welche die Berechnung von Bodenerosionen vereinfachen. Genutzt werden können dazu länderspezifisch ABAG interaktiv (für kleine Flächen), iBalis und besonders die MoRE-DE Toolbox. Letztere ist deutschlandweit verfügbar und gibt sowohl Eingangs- als auch Ausgangsdaten an jedem beliebigen Punkt wieder. Werden dabei erosive Flächen festgestellt, können unterschiedlichste Maßnahmen zur Reduzierung ausgeführt werden. Sind die Einträge nicht auf erosive Flächen zurückzuführen, besteht die Möglichkeit von Einträgen durch Industrie- und Siedlungsgebiet, durch Uferabbrüche in der Gewässerstrecke oder durch sich am Gewässer befindende Vegetation und Fauna.

Zum Abschluss des Projekts wurde eine Kompaktinfo entworfen, an der sich Kommunen, Städte und Gewässerunterhaltungspflichtige orientieren können, wie bei der Beurteilung eines Gewässers in Bezug auf Verlandung vorgegangen werden kann und was zu beachten ist.

Abstract

The project „Monitoring sediment inputs in standing waters using simplified echo sounder technology to aid decision-making regarding necessary countermeasures“ aimed to evaluate cost-effective echo sounder systems used in the fishing industry, so-called fish finders, with regard to their suitability for bathymetric surveying of standing waters. A total of five echo sounder systems, ranging in price from approximately 150,- € to a maximum of 4.000,- € were used and evaluated in this project. The surveys were conducted using a boat on five different standing waters. The surveys delivered acceptable results, based on the guidelines of the International Hydrographic Organization (IHO), with a minimum permissible error of 0,15 m. The lowest measurement errors were achieved with the Lowrance HDS with Active Imaging HD 3-in-1 transducer. However, it should be noted that measurements should, if possible, be carried out during periods without vegetation, as this can sometimes cause problems for the sensors and the resulting results.

A software tool was therefore developed that can partially correct such deviations caused by vegetation or other interference. It is recommended to survey standing waters at a higher frequency. The devices used were mostly surveyed at a frequency of 200 kHz. In general, it is advisable to conduct regular water surveys, e.g., annually. Useable depth sounder systems are available for around 1.500,- € in bundles including a display, sensor and an external GPS antenna.

The survey data from standing waters ultimately provide information about whether and to what extent they are silting up. If it turns out that increased sediment deposition is occurring, the catchment area must be analyzed and measures implemented. Existing data such as catchment boundaries, terrain models, landuse maps, or even soil erosion maps for the federal states can be used for the analysis. Furthermore, we recommend working with tools that simplify the calculation of soil erosion. Depending on the country, these can be used for this purpose: ABAG interactive (for small areas), iBalis, and especially the MoRE-DE Toolbox. The MoRe-DE Toolbox is available throughout Germany and provides both input and output data for any point. If erosive areas are identified, a wide variety of mitigation measures can be implemented. If the inputs are not due to erosive surfaces, there is the possibility of inputs from industrial and residential areas, from bank collapses in the waterway or from vegetation and fauna located along the waterway.

At the end of the project, a compact information document was developed that municipalities, cities and those responsible for waterway maintenance can use to determine how to proceed when assessing a water body with regard to silting up and what needs to be taken into account.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	II
Abstract	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	XII
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	XIV
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 Erosion	3
2.2 Gewässervermessung	5
2.2.1 Messverfahren	5
2.2.2 Genauigkeitsanspruch	9
3 Gewässer des Forschungsprojekts	11
3.1 Goldbergsee in Coburg (Hochwasserrückhalt und Biotopsee)	11
3.2 Froschgrundsee in Rödental / Schönstädt (Hochwasserrückhalt)	13
3.3 Baggersee in Schönbrunn bei Bad Staffelstein	15
3.4 Matthäus-Kraus-See in Kösten bei Bad Staffelstein	16
3.5 Ehemaliger Steinbruch bei Gefrees	17
4 Vermessung der untersuchten Gewässer	19
4.1 Geräte und Aufbau	19
4.1.1 Deeper Smart Sonar Pro+	22
4.1.2 Lowrance Hook Reveal 5	24
4.1.3 Lowrance Elite FS 9	26
4.1.4 Garmin GPSMAP 8410xsv	28
4.1.5 Lowrance HDS 16 LIVE	31
4.1.6 ADCP SonTek RS5	32
4.1.7 Bewertung der Sensorfeatures	33

4.2	Untersuchungen in Laborumgebung	34
4.2.1	Exemplarische Analyse des Lowrance Elite FS9 und des Lowrance HDI Heckgeber 83/200/455/800 kHz	34
4.2.2	Messungen an einer Teststrecke	38
4.3	Auswertung der Geländedaten.....	41
4.3.1	Verwendete Software	41
4.3.2	Punktbezogene Auswertung.....	44
4.3.3	Flächenbezogene Auswertung	59
4.3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse und kritische Betrachtung der Messverfahren	69
4.4	Datennutzung über Citizen Science	75
4.5	Analyse ausgewählter Einflussfaktoren auf die Qualität der bathymetrischen Daten	76
4.5.1	Frequenz.....	77
4.5.2	Vegetation und fehlerhafte Tiefen	78
4.5.3	GPS-Signal	79
4.6	Zusammenfassung der Ergebnisse der Vermessungen und Laboruntersuchungen.	81
5	Vorgehensweise bei der Beurteilung eines Gewässers in Bezug auf Verlandungen.....	84
5.1	Anzeichen für die Verlandung eines Gewässers erkennen	84
5.1.1	Bodenabtragsgleichung (ABAG)	85
5.1.2	Regenerosität (R-Faktor)	90
5.1.3	Bodenerodierbarkeit (K-Faktor).....	91
5.1.4	Hangneigung und Hanglänge (S- und L-Faktor).....	94
5.1.5	Bewirtschaftung (C-Faktor).....	95
5.1.6	Bearbeitung (P-Faktor).....	95
5.2	Wie können Eintrittspfade lokalisiert werden	96
5.2.1	Tools zur Lokalisierung	99
6	Potenzielle Maßnahmen zur Reduzierung von Einträgen	101

6.1	Exemplarische Maßnahmen für den Goldbergsee	105
6.2	Exemplarische Maßnahmen für den Froschgrundsee	122
6.3	Exemplarische Maßnahmen für den Baggersee Schönbrunn und Matthäus-Krauss-See	135
7	Öffentlichkeitsarbeit.....	138
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	139
	Literaturverzeichnis	140
	Softwareverzeichnis	142
	Anhang 01: Fotodokumentation Itz vom 13.01.2025.....	143
	Anhang 02: Fotodokumentation Effelder vom 21.01.2025	145
	Anhang 03: Kompaktinfo	147

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Erosion (Quelle: Umweltbundesamt, 2022)	4
Abbildung 2:	Unterschiedliche Echolotsysteme (Quelle: Bundesanstalt für Gewässerkunde, 2025)	7
Abbildung 3:	Frequenzabhängige Dämpfung von Schall in Seewasser (Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Free_field_attenuation.gif , aufgerufen am 15.04.2025)	8
Abbildung 4:	Abstrahlwinkel bei unterschiedlichen Frequenzen (Quelle: https://www.mybait.de/magazin/die-richtige-geberfrequenz-am-echolot-fuer-das-2d-sonar-einstellen/#unterschiede , aufgerufen am 05.05.2025)	9
Abbildung 5:	Genauigkeitsanforderungen IHO (Quelle: IHO – Standards for Hydrographic Surveys, S-44 Edition 6.1.0, 2022, S. 18)	10
Abbildung 6:	Lage Goldbergsee (Quelle: www.atlas.bayern.de , mit eigenen Ergänzungen, aufgerufen am 05.05.2025)	11
Abbildung 7:	Naturschutzgebiete Goldbergsee (Quelle: www.umweltatlas.bayern.de , aufgerufen am 05.05.2025)	12
Abbildung 8:	Lage Froschgrundsee (Quelle: www.atlas.bayern.de , mit eigenen Ergänzungen, aufgerufen am 05.05.2025)	13
Abbildung 9:	Naturschutzgebiete Froschgrundsee (Quelle: www.umweltatlas.bayern.de , aufgerufen am 05.05.2025)	14
Abbildung 10:	Lage Baggersee Schönbrunn (Quelle: www.atlas.bayern.de , mit eigenen Ergänzungen, aufgerufen am 05.05.2025)	15
Abbildung 11:	Einzugsgebiet Baggersee Schönbrunn (Quelle: www.umweltatlas.bayern.de , aufgerufen am 05.05.2025)	16
Abbildung 12:	Lage Matthäus-Kraus See (Quelle: www.atlas.bayern.de , mit eigenen Ergänzungen, aufgerufen am 05.05.2025)	16
Abbildung 13:	Lage ehemaliger Steinbruch bei Gefrees (Quelle: www.atlas.bayern.de , mit eigenen Ergänzungen, aufgerufen am 05.05.2025)	17
Abbildung 14:	Ansicht Steinbruch bei Gefrees (Quelle: eigene Aufnahme)	18
Abbildung 15:	Zugang Steinbruch bei Gefrees (Quelle: eigene Aufnahme)	18
Abbildung 16:	Versuchsaufbau Schlauchboot (Quelle: eigene Darstellung)	21
Abbildung 17:	NMEA-2000 Netzwerk (Quelle: https://www.blauwasser.de/nmea2000-netzwerk-aufbau-installation-verkabelung , aufgerufen am 05.05.2025)	22
Abbildung 18:	Deeper Smart Sonar Pro + (Quelle: https://deepersonar.com/de-de/products/deeper-sonar-pro , aufgerufen am 05.05.2025)	24
Abbildung 19:	Lowrance Hook Reveal 5 Anschlüsse (Quelle: eigene Darstellung)	25
Abbildung 20:	Lowrance Hook Reveal 5 Hauptmenü (Quelle: eigene Darstellung)	25
Abbildung 21:	Lowrance Hook Reveal 5 Frequenzen (Quelle: eigene Darstellung)	26
Abbildung 22:	Lowrance Hook Reveal 5 Schnellmenü (Quelle: eigene Darstellung)	26

Abbildung 23:	Lowrance Elite FS 9 Rückseite (Quelle: eigene Darstellung).....	27
Abbildung 24:	Lowrance Elite FS 9 Hauptmenü (Quelle: eigene Darstellung).....	28
Abbildung 25:	Garmin GPSMAP 8410xsv Rückseite	29
Abbildung 26:	Garmin GPSMAP 8410xsv Startseite (Quelle: eigene Darstellung).....	30
Abbildung 27:	Garmin GPSMAP 8410xsv Sonar (Quelle: eigene Darstellung)	30
Abbildung 28:	Lowrance HDS 16LIVE Rückseite (Quelle: eigene Darstellung).....	31
Abbildung 29:	ADCP (Quelle: eigene Darstellung).....	32
Abbildung 30:	Amplitude der Impedanz des Lowrance HDI Heckgeber 83/200/455/800 kHz (Quelle: eigene Darstellung)	34
Abbildung 31:	Anregesignale des Lowrance Elite FS9 für 83 kHz, 200 kHz, Medium Chirp, High Chirp (Quelle: eigene Darstellung).....	36
Abbildung 32:	Amplitudenspektren der Anregesignale des Lowrance Elite FS9 für 83 kHz, 200 kHz, Medium Chirp, High Chirp (Quelle: eigene Darstellung).....	37
Abbildung 33:	Foto des Beckens für Laboruntersuchungen (Quelle: eigene Darstellung).....	38
Abbildung 34:	Schematische Darstellung des Laboraufbaus, nicht maßstabsgetreu, Querschnitt (Quelle: eigene Darstellung).....	39
Abbildung 35:	Echogramm und erkannte Tiefes des Elite FS 9 bei 200 kHz am Laboraufbau mit Referenztiefe (Quelle: eigene Darstellung)	40
Abbildung 36:	Oberfläche ReefMaster 2.0 (Quelle: eigene Darstellung)	42
Abbildung 37:	Website FishDeeper (Quelle: https://maps.fishdeeper.com/de , aufgerufen am 05.05.2025)	44
Abbildung 38:	Systematische und zufällige Messabweichung (Quelle: https://www.sixsigmablackbelt.de/systematische-messabweichung/ , aufgerufen am 30.04.2025)	45
Abbildung 39:	Lage der punktbezogenen Vergleiche am Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)	46
Abbildung 40:	Abweichungen der Tiefen der Fischfinder zur Referenz im punktbezogenen Vergleich und deren MA (gestrichelte Linie) am Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)	48
Abbildung 41:	Lage der punktbezogenen Vergleiche am Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)	49
Abbildung 42:	Abweichungen der Tiefen der Fischfinder zur Referenz im punktbezogenen Vergleich und deren MA (gestrichelte Linie) am Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)	51
Abbildung 43:	Lage der punktbezogenen Vergleiche am Schönbrunner Baggersee (Quelle: eigene Darstellung).....	52
Abbildung 44:	Abweichungen der Tiefen der Fischfinder zur Referenz im punktbezogenen Vergleich und deren MA (gestrichelte Linie) am Baggersee Schönbrunn (Quelle: eigene Darstellung).....	53
Abbildung 45:	Lage der punktbezogenen Vergleiche am Matthäus-Krauss-See (Quelle: eigene Darstellung).....	55

Abbildung 46:	Abweichungen der Tiefen der Fischfinder zur Referenz im punktbezogenen Vergleich und deren MA (gestrichelte Linie) am Matthäus-Kraus-See (Quelle: eigene Darstellung)	56
Abbildung 47:	Lage der punktbezogenen Vergleiche am Steinbruch bei Gefrees (Quelle: eigene Darstellung).....	58
Abbildung 48:	Beispiel Querschnitt (Quelle: eigene Darstellung)	61
Abbildung 49:	Mittlere Abweichungen der Tiefenmessungen im Vergleich der Echolote und der Gewässer (Quelle: eigene Darstellung)	70
Abbildung 50:	Standardabweichung der Abweichungen der Tiefenmessungen im Vergleich der Echolote und der Gewässer (Quelle: eigene Darstellung).....	71
Abbildung 51:	Beispielhafte Erläuterung der Entstehung von höheren Abweichungen der Tiefe durch größere Abstrahlwinkel (Quelle: eigene Darstellung).....	77
Abbildung 52:	Ausschnitt des Echogramms des Lowrance Hook Reveal vom 28.05.2025 am Goldbergsee mit der erkannten Tiefe des Fischfinders bei starker Vegetation (Quelle: eigene Darstellung)	78
Abbildung 53:	Ausschnitt des Echogramms des Lowrance Hook Reveal vom 28.05.2025 am Goldbergsee mit der erkannten Tiefe des Fischfinders und des Algorithmus bei starker Vegetation (Quelle: eigene Darstellung).....	79
Abbildung 54:	Ausschnitt einer Tiefenkarte des Goldbergsees vom 09.08.2024 bei gleichzeitiger Befahrung mit dem Lowrance Hook Reveal und dem Lowrance HDS 16 Live (Quelle: eigene Darstellung).....	80
Abbildung 55:	Übersicht iBalis-Portal (Quelle: https://www.stmelf.bayern.de/ibalis/S3ly_mKpfKncTPib4-litw/S3l2b , aufgerufen am 05.05.2025)	87
Abbildung 56:	Oberfläche ABAG interaktiv (Quelle: https://abag.lfl.bayern.de/index.html , aufgerufen am 05.05.2025)	88
Abbildung 57:	Regenerosivität im jährlichen Mittel (Quelle: https://www.umweltbundesamt.de/monitoring-zur-das/handlungsfelder/boden/bo-i-3/indikator , aufgerufen am 05.05.2025).....	90
Abbildung 58:	Videoausschnitt des Regensimulators des LfL (Quelle: https://youtu.be/PzjiubMdygY , Minute 3:23, aufgerufen 05.05.2025).....	91
Abbildung 59:	Erodierbarkeit der Ackerböden durch Wasser in Deutschland (Quelle: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Bilder/Bodenerosion/Bod_BoEro_KarteErodierbarkeitWasser_g.html?nn=4919530 , aufgerufen am 05.05.2025)	93
Abbildung 60:	Schematische Darstellung der in MoRE berücksichtigten Pfade für die Modellierung von Stoffeinträgen (Quelle: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 2025).....	97
Abbildung 61:	Überlagerung des MoRE Analysegebiets mit dem EZG des Goldbergsees (Quelle: eigene Darstellung).....	105
Abbildung 62:	Überlagerung der Geländemodelle beim Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung).....	107
Abbildung 63:	Punktwolke Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)	109

Abbildung 64:	Vergleich aller Vermessungen mit GNSS-Koordinatenpunkten am Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)	110
Abbildung 65:	Hypsografische Kurve Goldbergsee (Quelle: https://www.hnd.bayern.de/speicher/oberer_main_elbe/goldbergsee-seepegel-24165900/gebiet , aufgerufen am 05.05.2025)	111
Abbildung 66:	Höhenlinien 5-m-Intervall am Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung).....	112
Abbildung 67:	Darstellung des Bodenabtrags im MoRE Analysegebiet „Lauterbach von Quelle bis Mündung 24164“ (Quelle: https://stoffeintraege-more.de/karten/ , aufgerufen am 05.05.2025)	114
Abbildung 68:	Darstellung des Bodenabtrags mit Anbindung an ein Gewässer im MoRE Analysegebiet „Lauterbach von Quelle bis Mündung 24164“ (Quelle: https://stoffeintraege-more.de/karten/ , aufgerufen am 05.05.2025).....	115
Abbildung 69:	Ausschnitt Luftbild Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung).....	117
Abbildung 70:	Identifizierung falscher Bearbeitungsrichtungen im Einzugsgebiet des Goldbergsees (Quelle: eigene Darstellung).....	118
Abbildung 71:	Gewässer ohne erkenntlichen Gewässerrandstreifen (Quelle: eigene Darstellung).....	119
Abbildung 72:	Ausbildung Gewässerrandstreifen (www.lfu.bayern.de , aufgerufen am 05.05.2025).....	120
Abbildung 73:	Draufsicht dezentraler Rückhalt Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung).....	121
Abbildung 74:	Querschnitt Muldenausbildung Goldbergsee (Haas, 05.05.2025).....	122
Abbildung 75:	Überlagerung des MoRE Analysegebiets mit dem EZG des Froschgrundsees (Quelle: eigene Darstellung)	123
Abbildung 76:	Überlagerung der Geländemodelle beim Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung).....	125
Abbildung 77:	Punktwolke Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)	126
Abbildung 78:	Überschneidung der Drohne mit Bestands- und Neuvermessung (Quelle: eigene Darstellung).....	127
Abbildung 79:	Vergleich aller Vermessungen mit GNSS-Koordinatenpunkten am Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)	128
Abbildung 80:	Hypsografische Kurve Froschgrundsee (Quelle: https://www.hnd.bayern.de/pegel/oberer_main_elbe/schoenstaedt-seepegel-24160801/gebiet? , aufgerufen am 20.05.2025)	129
Abbildung 81:	Darstellung des Bodenabtrags im MoRE Analysegebiet „ltz von Quelle bis oberhalb Lauterbach - 20320“ (Quelle: https://stoffeintraege-more.de/karten/ , aufgerufen am 05.05.2025)	130
Abbildung 82:	Darstellung des Bodenabtrags mit Anbindung an ein Gewässer im MoRE Analysegebiet „ltz von Quelle bis oberhalb Lauterbach - 20320“ (Quelle: https://stoffeintraege-more.de/karten/ , aufgerufen am 05.05.2025).....	131
Abbildung 83:	Begehung EZG Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung).....	132
Abbildung 84:	Verbreitung Effelder im Einzugsgebiet des Froschgrundsees (Quelle: eigene Darstellung).....	134

Abbildung 85:	Fiktive Verbreitung der Effelder im Einzugsgebiet des Froschgrundsees Querschnitt (Quelle: eigene Darstellung)	134
Abbildung 86:	Ansicht Lowrance HDS 16 LIVE auf dem Schönbrunner See (Quelle: eigene Darstellung)	135
Abbildung 87:	Zulauf Matthäus-Krauss-See (Quelle: eigene Darstellung).....	136
Abbildung 88:	Tiefenkarte Matthäus-Krauss-See (Quelle: eigene Darstellung)	137

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Stauraumaufteilung Goldbergsee (Quelle: https://www.hnd.bayern.de/speicher/oberer_main_elbe/goldbergsee-seepegel-24165900/stammdaten , aufgerufen am 05.05.2025)	12
Tabelle 2:	Stauraumaufteilung Froschgrundsee (Quelle: https://www.hnd.bayern.de/pegel/oberer_main_elbe/schoenstaedt-seepegel-24160801/stammdaten? , aufgerufen am 05.05.2025)	14
Tabelle 3:	Subjektiver Vergleich der genutzten Sensoren (Quelle: eigene Darstellung)	33
Tabelle 4:	Punktbezogene Auswertung Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung) (MA: mittlere Abweichung; StdA: Standard Abweichung)	47
Tabelle 5:	Punktbezogene Auswertung Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)	50
Tabelle 6:	Punktbezogene Auswertung Schönbrunner Baggersee (Quelle: eigene Darstellung)	52
Tabelle 7:	Punktbezogene Auswertung Matthäus-Krauss-See (Quelle: eigene Darstellung)	55
Tabelle 8:	Vergleich der punktbezogenen Abweichungen am Steinbruch bei Gefrees (Quelle: eigene Darstellung)	58
Tabelle 9:	Berechnung des flächenbezogenen Fehlers mit unbearbeiteten Geländemodellen am Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)	62
Tabelle 10:	Berechnung des flächenbezogenen Fehlers mit bearbeiteten Geländemodellen am Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)	62
Tabelle 11:	Berechnung des flächenbezogenen Fehlers mit unbearbeiteten Geländemodellen am Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)	64
Tabelle 12:	Berechnung des flächenbezogenen Fehlers mit bearbeiteten Geländemodellen am Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)	64
Tabelle 13:	Berechnung des flächenbezogenen Fehlers mit unbearbeiteten Geländemodellen am Schönbrunner Baggersee (Quelle: eigene Darstellung)	66
Tabelle 14:	Berechnung des flächenbezogenen Fehlers mit Ausgrenzung von Tiefen > 6,00 m am Schönbrunner Baggersee (Quelle: eigene Darstellung)	66
Tabelle 15:	Berechnung der flächenbezogenen Abweichung mit unbearbeiteten Geländemodellen am Matthäus-Krauss-See (Quelle: eigene Darstellung)	68
Tabelle 16:	Berechnung der flächenbezogenen Abweichung mit bearbeiteten Geländemodellen am Matthäus-Krauss-See (Quelle: eigene Darstellung)	68
Tabelle 17:	Maximalen Tiefen am ehemaligen Steinbruch bei Gefrees (Quelle: eigene Darstellung)	69
Tabelle 18:	Zusammenstellung der mittleren punktbezogenen Fehler der Echolote im Vergleich zum ADCP (Quelle: eigene Darstellung)	73
Tabelle 19:	Zusammenstellung der mittleren punktbezogenen absoluten Fehler der Echolote im Vergleich zum ADCP (Quelle: eigene Darstellung)	73
Tabelle 20:	Zusammenstellung der mittleren absoluten flächenbezogenen Fehler der unbearbeiteten Geländemodelle der Echolote im Vergleich zum ADCP	74

Tabelle 21:	Zusammenstellung der mittleren absoluten flächenbezogenen Fehler der bearbeiteten Geländemodelle der Echolote im Vergleich zum ADCP	74
Tabelle 22:	Einstufung der natürlichen Erosionsgefährdung (E_{nat}) durch Wasser (Quelle: DIN 19708, S. 7, 2022).....	89
Tabelle 23:	Einstufung der Erosionsgefährdung (E) durch Wasser (Quelle: Din 19708, S. 8, 2022)	89
Tabelle 24:	P-Faktoren für Konturnutzung bei unterschiedlichen Neigungen (Quelle: DIN 19708, S. 16, 2022)	96
Tabelle 25:	Maßnahmen gegen Einträge in ein Gewässer (Quelle: eigene Darstellung)	103
Tabelle 26:	Flächennutzung MoRE Analysegebiet „Lauterbach von Quelle bis Mdg 24164“ (Quelle: https://stoffeintraege-more.de/statistik , aufgerufen am 05.05.2025)	106
Tabelle 27:	Bodenab- und Sedimenteintrag in Bezug zu den Flächennutzungen am Goldbergsee (Quelle: https://stoffeintraege-more.de/statistik , aufgerufen am 05.05.2025)	116
Tabelle 28:	Flächennutzung MoRE Analysegebiet „Itz von Quelle bis oberhalb Lauterbach - 20320“ (Quelle: www.stoffeintraege-more.de).....	123

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung oder Symbol	Einheit	Erklärung
ABAG		Allgemeine Bodenabtragsgleichung
BBodSchG		Bundesbodenschutzgesetz
DIN		Deutsches Institut für Normung e. V.
DWA-A		Arbeitsblatt der Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
DWA-M		Merkblatt der Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
ha		Hektar
Hz		Hertz
IHO		International Hydrographic Organization
kHz		Kilohertz
LfL		Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LDBV		Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
LfU		Bayerisches Landesamt für Umwelt
MA	Meter	Mittlere Abweichung
m ü. NHN		Meter über Normalhöhennull
StdA	Meter	Standardabweichung der Abweichung
WWA		Wasserwirtschaftsamt

1 Einleitung

Zunehmend intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen, Extremwetterereignisse, sowie die Abholzung der Wälder sind Ereignisse und Entwicklungen, welche zu stofflichen Einträgen in fließende und stehende Gewässer beitragen. Diese Einträge sind nach wie vor einer der Hauptgründe für die Nichterreichung der gewässerökologischen Ziele der Wasserrahmenrichtlinie, wobei nicht nur die rein partikulären Einträge, sondern auch die anhaftenden Schadstoffe ein großes Problem darstellen.

Im Bereich der Siedlungsentwässerung wird durch die Dimensionierung baulicher Maßnahmen nach der DWA-A-102 versucht, den Großteil der Feinkornfraktion mit anhaftenden Schadstoffen zurückzuhalten und somit die Situation vor allem qualitativ zu verbessern. Der große Vorteil bei der Siedlungsentwässerung ist jedoch, dass die Sedimente überwiegend in Leitungssystemen, wie Rohre und Gräben abfließen und somit gebündelt in eine Behandlung eingeleitet werden können. Schwieriger wird dies bei der Betrachtung von Gewässern. Hierbei sind nicht nur die oft erhöhten Abflüsse das Problem, sondern vielmehr die Größe und Topografie des Einzugsgebietes, die Vielzahl an potenziellen Eintrittspfaden, unvorhersehbare Ereignisse und letztendlich das gesellschaftliche Verhalten. In Verbindung mit erhöhten Abflüssen bzw. Fließgeschwindigkeiten ist eine Teilmobilisierung möglich, jedoch sedimentiert das Feinkorn, vor allem in Bereichen mit reduzierten Geschwindigkeiten (Aufweitungen, Gefällewechsel, ...) und besonders in stehenden Gewässern. Durch dieses vermehrte Absetzen in beruhigten Bereichen kommt es zur Verschlammung und somit auch zur Verringerung des Wasser-/Stauvolumens, was z. B. bei Hochwasserrückhaltebecken nachteilig wirken kann. Zudem entsteht ein maßgeblicher Eingriff in den Feststoffhaushalt. Das Ziel sollte deshalb sein, Einträge in ein Gewässersystem zu reduzieren oder durchzuleiten. Sofern dies nicht möglich ist, gilt es Sedimenteinträge gezielt abzusetzen und gegebenenfalls wieder zu entfernen.

Durch ein kontinuierliches Monitoring, Sammeln und Auswerten von Bestandsdaten, einem zielführenden Management und einer sinnvollen Projektplanung ist es möglich, Eintrittspfade zu spezifizieren, Gegenmaßnahmen zu ergreifen und stoffliche Einträge zu begrenzen. Um zu erkennen, wie stark ein Gewässer verlandet, ist es essenziell, regelmäßige Vermessungen der Gewässersohle durchzuführen. So wird erkenntlich, wie sich die Sohle verändert, wo mögliche Ablagerungen stattfinden, wie sich diese verhalten und aus welchem Einzugsgebiet stoffliche Einträge resultieren bzw. welche Eintragspfade verantwortlich sind. Da für den überwiegenden Teil der Gewässer die jeweiligen Bundesländer oder Kommunen zuständig sind, fehlt jedoch oft das Personal, Kapital, Equipment oder die Einsicht der Notwendigkeit dieser Maßnahmen, weshalb im nachfolgenden aufgezeigt wird, wie eine kostengünstige Vermessung

aussehen kann, um rechtzeitig nachteilige Sohlveränderungen zu erkennen. Weiterhin soll dargestellt werden, welche Eintrittspfade vorkommen und wie mögliche Gegenmaßnahmen aussehen können.

2 Grundlagen

2.1 Erosion

Erosion (lat. „*erodere*“ = ausnagen) bezeichnet den Transport von Bodenteilchen und der an sie gebundenen Stoffe und wird hauptsächlich durch klimatische Bedingungen wie starke Regenereignisse oder Wind hervorgerufen. Zusätzlich wird Erosion durch die Topografie (Hangneigung und -länge) und die Geologie (Bodenbeschaffenheit, -zusammensetzung und -lagerung) beeinflusst. Dies sind jedoch ausschließlich die natürlichen Einflussfaktoren, welche bei einem ganzjährig bedeckten Boden nur wenig Einfluss nehmen. Ein wesentlich größerer Einfluss entsteht durch menschliche Eingriffe. Erst durch den landwirtschaftlichen Anbau und die dadurch offengelegten Böden kann es durch die natürlichen Einflussfaktoren zu erhöhten Erosionen kommen. Weiterhin werden künftig auch die immer länger und extremer werdenden Trockenphasen, sowie die anschließenden Starkregenereignisse eine bedeutende Rolle spielen. (vgl. www.Umweltbundesamt.de)

Die Erosion bzw. das Abtragen der obersten Bodenschicht (Mutterboden oder Oberboden) ist nicht nur nachteilig für Gewässer, sondern auch für die Landwirtschaft. Da insbesondere der Oberboden nährstoffreich ist und somit den Ertrag steigert, sollte der Verbleib dieser Bodenschicht auch im Interesse der Landwirtschaft liegen. Weiterhin haben Landwirte die Pflicht nach Bundes-Bodenschutzgesetz (§§ 4 und 17 BBodSchG), die Böden vor Gefahren zu schützen und Vorsorge zu treffen. Auch weitere Rechtsbereiche, wie die europäische Wasserrahmenrechtslinie (EG-WRRL) oder das Bundes-Naturschutzgesetz (BNatSchG) schaffen Verbindungen zur Erosion und somit zum Schutz des Bodens und der Gewässer.

Bei der Erosion muss zwischen folgenden Formen unterschieden werden:

- Bodenerosion,
 - linienhafte Erosion durch Wasser,
 - Rillenerosion (Eindringtiefe 2,00 cm bis 10,00 cm),
 - Rinnenerosion (Eindringtiefe 10,00 cm bis 40,00 cm),
 - Grabenerosion (Eindringtiefe > 40,00 cm),
 - flächenhafte Erosion durch Wasser (Denudation) (vgl. DWA-M 921),
 - Tunnelerosion (unterirdisch, tritt meist bei Steilhängen auf),
- Winderosion (Deflation).

Bei der Bodenerosion finden insgesamt 3 Prozesse statt (vgl. **Abbildung 1**). Bei der Ablösung (Erosion) wird transportierbares Material (Feinkorn) durch Wasser bzw. durch einen Abfluss

2.2 Gewässervermessung

In einem Gewässer können unterschiedliche Parameter gemessen werden. Darunter etwa der Trübungsgrad, Wassertemperatur, Wasserstand, Fließgeschwindigkeiten oder die Höhenlage der Gewässersohle. Weiterhin muss zwischen einem fließenden und einem stehenden Gewässer unterschieden werden. Bei einem Fließgewässer werden zur Definition der Sohle vor allem Querschnitte gemessen und einer Kilometrierung zugeordnet. Abweichend ist dies bei einem stehenden Gewässer, hier werden die Tiefenmessungen einem georeferenzierten Koordinatensystem zugeordnet, um so ein digitales Geländemodell und letztendlich Höhen- und Tiefenlinienkarten generieren zu können. Weiterhin sind die digitalen Geländemodelle unerlässlich, um Stauraumvolumen, beispielsweise bei einem stehenden Gewässer mit Hochwasserschutzfunktion, zur ermitteln. Besonders bei stehenden Gewässern besteht die Gefahr der Verlandung, da hier die Fließgeschwindigkeit gegen null tendiert. Deshalb sollten regelmäßige Vermessungen in begrenzten Zeitabständen durchgeführt werden.

Bei der Vermessung von Fließgewässern geht es nicht ausschließlich um die Verlandung, vielmehr wird durch die Querprofile deutlich, wie sich ein Gewässer verändert und umgestaltet. Zudem sind dies wichtige Bestandteile für eine hydraulische Berechnung von beispielsweise Wasserständen und der Ermittlung von Hochwassergefahren inklusive der Visualisierung.

Gegenüber der Landesvermessung, bei welcher die aufzunehmenden Punkte meistens zugänglich und sichtbar sind, ist bei der Bathymetrie das zu vermessende Gelände oft uneinsehbar. Deshalb ist es zumeist schwieriger, Unebenheiten und plötzliche Geländeänderungen zu erkennen und Bruchkanten zu definieren. Weiterhin können die Gewässersohle bzw. die Unterkante eines Gewässers unterschiedlich betrachtet werden. So kann z. B. die Schicht zwischen dem Medium Wasser und dem angrenzenden Boden bestimmt, obwohl die abgelagerte Schlammschicht zum Großteil aus Wasser besteht, oder die ursprüngliche Gewässersohle vermessen werden. Fundiertere Ergebnisse werden durch die erste Variante geschaffen, da Ablagerungen und die daraus resultierenden Stauraumreduzierungen damit eingehen. Jedoch bleibt hier zu erwähnen, dass Vergleichsmodelle notwendig sind und diese durch regelmäßige Vermessungen geschaffen werden müssen.

2.2.1 Messverfahren

Für die Erhebung bathymetrischer Daten von Binnengewässern existieren verschiedenste Messverfahren, die jeweils für unterschiedliche Bedingungen geeignet sind. Entscheidend bei der Wahl eines geeigneten Verfahrens sind dabei, unter anderem, Einflüsse wie die Gewässertiefe, Vegetation, Gewässertrübung, Gewässerfläche, Wetter, Zugänglichkeit des Gewässers oder Natur- und Tierschutz.

2.2.1.1 Optische Systeme

Bei der Landesvermessung kommen derzeit primär GNSS-Rover, Tachymeter, optische Messsysteme wie Laserscanner oder Photogrammetrie zum Einsatz. Durch das Medium Wasser wird der Einsatz dieser Geräte nur bedingt möglich. GNSS-Rover und Tachymeter können ausschließlich zur Lagebestimmung im 2D-Bereich oder zur Tiefenbestimmung in Flachwasserbereichen genutzt werden. Photogrammetrie ist nur eingeschränkt geeignet, da Lichtbrechungen und Spiegelungen bereits auf der Wasseroberfläche stattfinden und die Gewässertrübung die maximale Gewässertiefe stark einschränkt. Photogrammetrie wird daher meist lediglich unterstützend zu anderen Messverfahren eingesetzt. Bei optischen Messverfahren werden auch laserbasierte Verfahren verwendet, die insbesondere mit hoher horizontaler Auflösung auch drohnengestützt größere Gewässer effizient vermessen können. Nachteilig ist dabei jedoch insbesondere die Abhängigkeit von der Gewässertiefe und der Trübung des Wassers, weshalb diese nur eingeschränkt für sehr flache Gewässer unter geeigneten Bedingungen genutzt werden können.

2.2.1.2 Akustische Systeme

Wesentlich häufiger kommen akustische Messsysteme zum Einsatz. Diese Systeme können sowohl durch ein bemanntes als auch durch ein unbemanntes Boot über Fernsteuerung zum Einsatz kommen. In Zusammenarbeit mit GNSS-Rover oder Tachymeter können somit Tiefen (1D-Messung durch akustisches Messsystem) und Lagen (2D- oder 3D-Messung möglich) bestimmt werden. Als akustische Messsysteme können Echolote verwendet werden. Dabei wird mithilfe eines Schallwandlers, auch Geber genannt, ein elektrisches Signal in eine akustische Welle gewandelt. Die Schallwelle breitet sich im Wasser aus, reflektiert am Gewässerboden und wird am Geber wiederum von einem akustischen in ein elektrisches Signal gewandelt. Durch die Zeitmessung zwischen Aussenden und Empfangen der Schallwelle kann bei bekannter Schallgeschwindigkeit eine Tiefe errechnet werden.

Echolotsysteme sind in unterschiedlichen Ausführungen für dementsprechende Zwecke verfügbar. Unterschieden wird zwischen Single Beam, Multi Beam und Fächerlot (vgl. **Abbildung 2**).

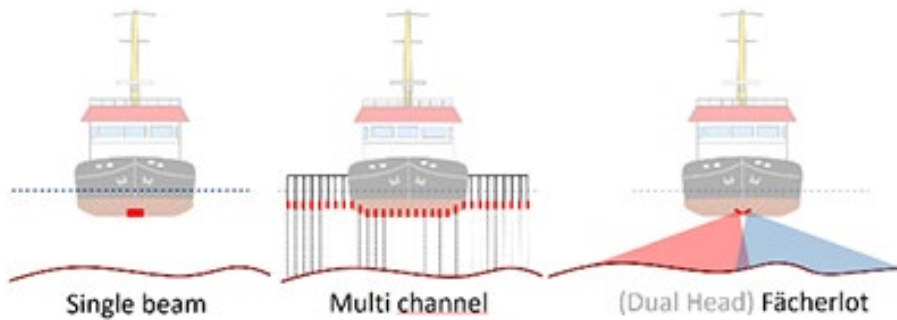


Abbildung 2: Unterschiedliche Echolotsysteme (Quelle: Bundesanstalt für Gewässerkunde, 2025)

Ein Single-Beam oder Dual-Beam-Echolot besteht aus einem Sender, welcher gleichzeitig als Empfänger dient. Dieser misst die Tiefe senkrecht vom Sensor. Für eine flächenhafte Vermessung ist deshalb wichtig, ein möglichst enges Raster zu wählen. Der Sensor kann dabei an ein bemanntes, wie auch an ein unbemanntes Boot angebracht werden.

Ein Multi-Channel-Echolot ist ein System mit einer Vielzahl von Single-Beam-Echoloten. Dabei wird eine beliebige Anzahl an Single-Beam-Echoloten nebeneinander befestigt und in ihrer Lage vermessen. Dadurch ist es möglich, eine bestimmte Fläche in einer wesentlich geringeren Zeit zu kartieren.

Bei einem Fächerecholot werden Signale fächerförmig von einem Sender ausgestrahlt. Der Empfänger ist hierbei oft unabhängig vom Sender. Abhängig von der Wassertiefe wird dabei ein schmalerer oder breiterer Streifen vermessen. Ähnlich dem Multi-Channel-Echolot ist es möglich, große Flächen in geringer Zeit zu vermessen und zu rekonstruieren. Dabei kommen beim Fächerlot üblicherweise Piezoarrays zum Einsatz, wodurch aktiv die Richtung des ausgesendeten Schallsignals gesteuert werden kann. Das Prinzip gleicht dabei dem von medizinischen Ultraschallgeräten.

Die Frequenz der verwendeten Ultraschallsignale wird anwendungsabhängig ausgewählt. Aufgrund der frequenzabhängigen Schalldämpfung von Wasser sind niedrige Frequenzen sinnvoll, wie **Abbildung 3** veranschaulicht. Bei niedrigen Frequenzen ist dadurch bei gleicher Strecke der Schallwelle das Empfangsecho am Echolot stärker als bei höheren Frequenzen.

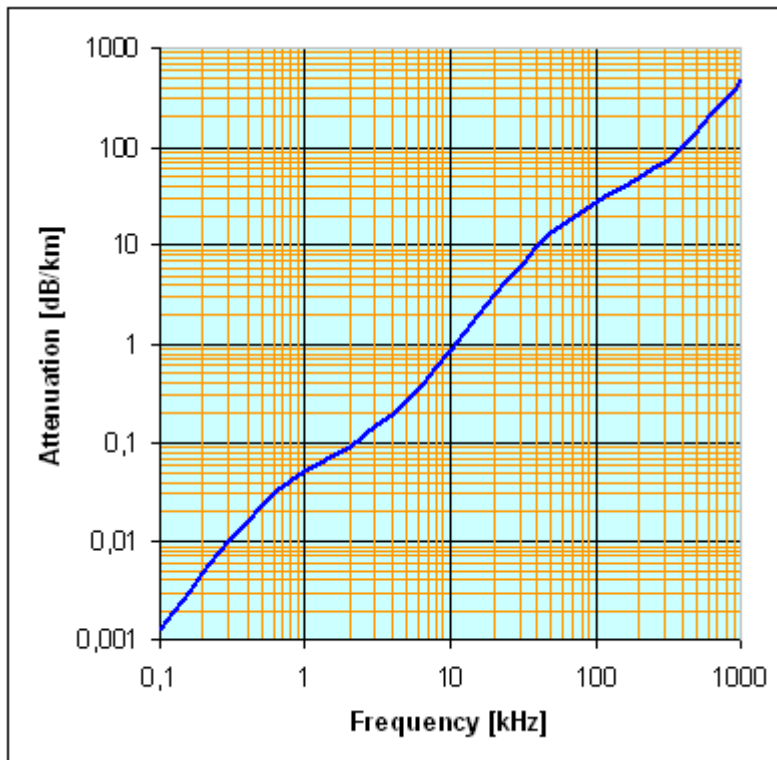


Abbildung 3: Frequenzabhängige Dämpfung von Schall in Seewasser (Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Free_field_attenuation.gif, aufgerufen am 15.04.2025)

Befinden sich außerdem Vegetation oder Partikel im Wasser, erhöht sich die frequenzabhängige Dämpfung zusätzlich. Höhere Frequenzen werden durch Vegetation stärker gedämpft als niedrige Frequenzen. Hinsichtlich der Dämpfung der Schallwelle sollten somit möglichst niedrige Frequenzen verwendet werden.

Der Nachteil von niedrigen Frequenzen besteht jedoch darin, dass sich der Abstrahlwinkel (vgl. **Abbildung 4**) deutlich vergrößert. Je tiefer hierbei das Gewässer ist, desto größer wird die Fläche, von der das Signal reflektiert. Dies ist vor allem bei stark ungleichmäßigen Gewässersohlen nachteilig, da die Tiefe aufgrund mehrerer Reflexionen nicht eindeutig bestimmt werden kann. Die gemessene Tiefe entspricht dann nicht der tatsächlichen Tiefe. Daher sollte soweit möglich mit hohen Frequenzen gemessen werden, um eine höhere horizontale Auflösung zu erzielen. Für kostengünstige Fischfinder, die auf die Erkennung von Fischen und die Bestimmung der Gewassertiefe ausgelegt sind, liegen gängige Frequenzen bei 50 kHz bis 800 kHz. Dabei wird eine sinnvolle Mitte aus frequenzabhängiger Dämpfung und der frequenzabhängigen horizontalen Auflösung gewählt. Für flache Gewässer, die in diesem Projekt relevant sind, sollte mit Frequenzen von ≥ 200 kHz gemessen werden, um ein optimales Ergebnis zu erhalten (Mic, 2013). Für flache Gewässer hat die Dämpfung durch Wasser aufgrund der geringen Strecke kaum Einfluss (ca. 0,5 dB bei 200 kHz bei 5 m Tiefe), während ein kleiner Abstrahlwinkel für eine höhere Ortsauflösung relevanter ist.

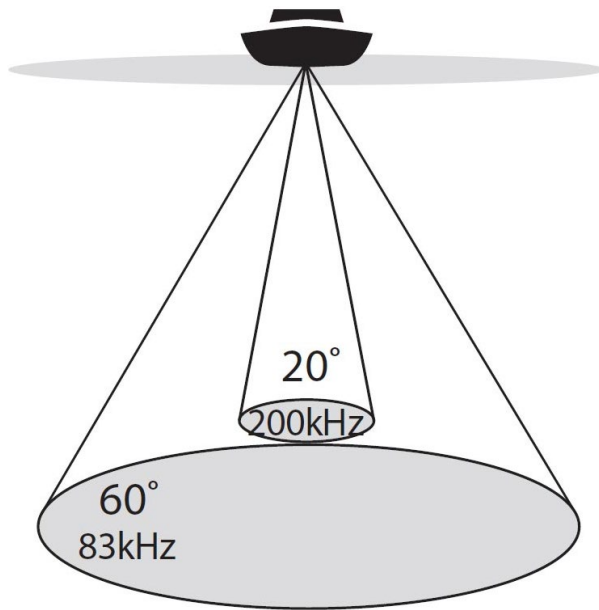


Abbildung 4: Abstrahlwinkel bei unterschiedlichen Frequenzen (Quelle: <https://www.mybait.de/magazin/die-richtige-geberfrequenz-am-echolot-fuer-das-2d-sonar-einstellen/#unterschiede>, aufgerufen am 05.05.2025)

Im Vergleich zu anderen Messverfahren, werden akustische Messverfahren häufig aufgrund ihrer hohen Reichweite von bis zu mehreren Kilometern selbst in trüben Gewässern bevorzugt. Außerdem sind akustische Messverfahren dazu in der Lage in den Gewässerboden einzudringen, wodurch neben den Tiefendaten aus der gleichen Messung auch Informationen zur Bodenbeschaffenheit gewonnen werden können. Nachteilig ist insbesondere, dass bei akustischen Messmethoden der Schallwandler sich stets im Wasser befinden muss, was in schwer zugänglichen Gewässern oder Gewässern mit starkem Bewuchs nahe der Gewässeroberfläche hinderlich ist.

2.2.2 Genauigkeitsanspruch

Grundlegend für die Verwertbarkeit einer hydrographischen Vermessung ist die Festlegung einer erforderlichen Genauigkeit. Zu nennen ist die DIN 18709-3 für Gewässervermessung, in welcher jedoch ausschließlich Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen erläutert werden. Eine Eingrenzung hingegen gibt die International Hydrographic Organization (IHO) in ihrer Ausgabe „Standards for Hydrographic Surveys, S-44 Edition 6.1.0, 2022“. Diese Angaben beziehen sich auf die Schifffahrt, geben jedoch einen internationalen Standard für die Anforderung an Gewässervermessungen.

Die IHO teilt die Genauigkeitsanforderung insgesamt in 5 Bereiche auf (vgl. **Abbildung 5**), wobei in diesem Projekt ausschließlich die rot markierte Spalte „Exclusive Order“ berücksichtigt wird. Diese fordert die höchsten Anforderungen an die Genauigkeit und ist für Bereiche

gedacht, in denen strenge Anforderung an den minimalen Unterkielabstand und an die Manövrierfähigkeit gestellt werden. Zu betonen ist dabei jedoch, dass dieser Standard für befahrene Gewässer relevant ist, um durch dokumentierte Tiefen Havarien zu vermeiden und nicht für Volumenbetrachtungen von Wasserrückhaltebecken oder Ähnlichem entwickelt ist. Der Standard wird hier dennoch übernommen, um eine standardisierte Genauigkeit angeben zu können.

Reference	Criteria	Order 2	Order 1b	Order 1a	Special Order	Exclusive Order
Chapter 1	Area description (Generally)	Areas where a general description of the sea floor is considered adequate.	Areas where underkeel clearance is not considered to be an issue for the type of surface shipping expected to transit the area.	Areas where underkeel clearance is considered not to be critical but features of concern to surface shipping may exist.	Areas where underkeel clearance is critical	Areas where there is strict minimum underkeel clearance and manoeuvrability criteria
Section 2.6	Depth THU [m] + [% of Depth]	20 m + 10% of depth *Ba5, Bb2	5 m + 5% of depth *Ba8, Bb3	5 m + 5% of depth *Ba8, Bb3	2 m *Ba9	1 m *Ba10
Section 2.6 Section 3.2 Section 3.2.3	Depth TVU (a) [m] and (b)	a = 1.0 m b = 0.023 *Bc7, Bd4	a = 0.5 m b = 0.013 *Bc8, Bd6	a = 0.5 m b = 0.013 *Bc8, Bd6	a = 0.25 m b = 0.0075 *Bc10, Bd8	a = 0.15 m b = 0.0075 *Bc12, Bd8
Section 3.3	Feature Detection [m] or [% of Depth]	Not Specified	Not Specified	Cubic features > 2 m, in depths down to 40 m; 10% of depth beyond 40 m *Be5, Bf3 beyond 40m	Cubic features > 1 m *Be6	Cubic features > 0.5 m *Be9
Section 3.4	Feature Search [%]	Recommended but Not Required	Recommended but Not Required	100% *Bg9	100% *Bg9	200% *Bg12
Section 3.5	Bathymetric Coverage [%]	5% *Bh3	5% *Bh3	≤ 100% *≤ Bh9	100% *Bh9	200% *Bh12

Abbildung 5: Genauigkeitsanforderungen IHO (Quelle: IHO – Standards for Hydrographic Surveys, S-44 Edition 6.1.0, 2022, S. 18)

Zur Berechnung des maximal erlaubten Fehlers ist die Formel nach Gleichung 1 notwendig.

$$f_{max} = \sqrt{[a^2 + (b \times d)^2]} \quad \text{Gl. 1}$$

a = konstanter Tiefenfehler, als Summe aller konstanten Fehler

b = Faktor des tiefenabhängigen Lotfehlers

d = Tiefe

Mit dieser Formel und den Faktoren in Spalte 7 und Zeile 4 aus **Abbildung 5** ergibt sich in Abhängigkeit zur gemessenen Tiefe ein zulässiger Fehler. Dieser zulässige Fehler beträgt durch den Faktor a, auch bei einer Tiefe die gegen null geht, mindestens 0,15 m. Dieser Grenzwert wird bei der Auswertung der Vermessungen im hiesigen Forschungsprojekt als Zielgröße berücksichtigt.

3 Gewässer des Forschungsprojekts

Für das durch die DBU geförderte Forschungsprojekt wurden insgesamt vier Gewässer in Bayern für die Vermessung ausgewählt. Darunter zwei große Hochwasserrückhaltebecken im Dauerstau, bei welchen vor allem die Verlandung und die daraus resultierende Volumenverkleinerung untersucht werden soll, und zwei weitere Gewässer in der Nähe des Mains, bei welchen die Vermessungsdaten und die Messmethodik nochmals verifiziert werden soll. Bei den beiden Hochwasserrückhaltebecken wurden im Vorfeld bereits Vermessungen durch das Wasserwirtschaftsamt Kronach veranlasst, durchgeführt und die Ergebnisse zur Verfügung gestellt. Weiterhin wurden Daten und Pläne zu den technischen Bauwerken weitergegeben. Im Verlauf des Projekts gab es zusätzlich die Möglichkeit, einen ehemaligen Steinbruch zu vermessen. Diese wurde durchgeführt, um auch Gewässer mit Tiefen von bis zu 25,00 m als Testobjekt zu vermessen.

3.1 Goldbergsee in Coburg (Hochwasserrückhalt und Biotopsee)

Der Goldbergsee ist ein Stausee und liegt zwischen den Stadtteilen Neuses und Beiersdorf bei Coburg. Ursprünglich als Hochwasserschutz für Coburg konzipiert, ist dieser heute auch ein beliebtes Ausflugsziel für Touristen. Der See kann eine Fläche von bis zu 145 ha, je nach Füllstand, einnehmen. Das Einzugsgebiet erstreckt sich dabei über 51,90 km² und beinhaltet mehrere kleine Bäche, Vorfluter von landwirtschaftlich genutzten Flächen und Siedlungen, welche in den Goldbergsee eingeleitet werden. Das Hauptgewässer ist der Sulzbach, welcher anschließend in Coburg zuerst der Lauter und danach der Itz zufließt (vgl. **Abbildung 6**).



Abbildung 6: Lage Goldbergsee (Quelle: www.atlas.bayern.de, mit eigenen Ergänzungen, aufgerufen am 05.05.2025)

Weiterhin befindet sich ein Großteil des Gewässers im Vogel- und Naturschutzgebiet (**Abbildung 7**).

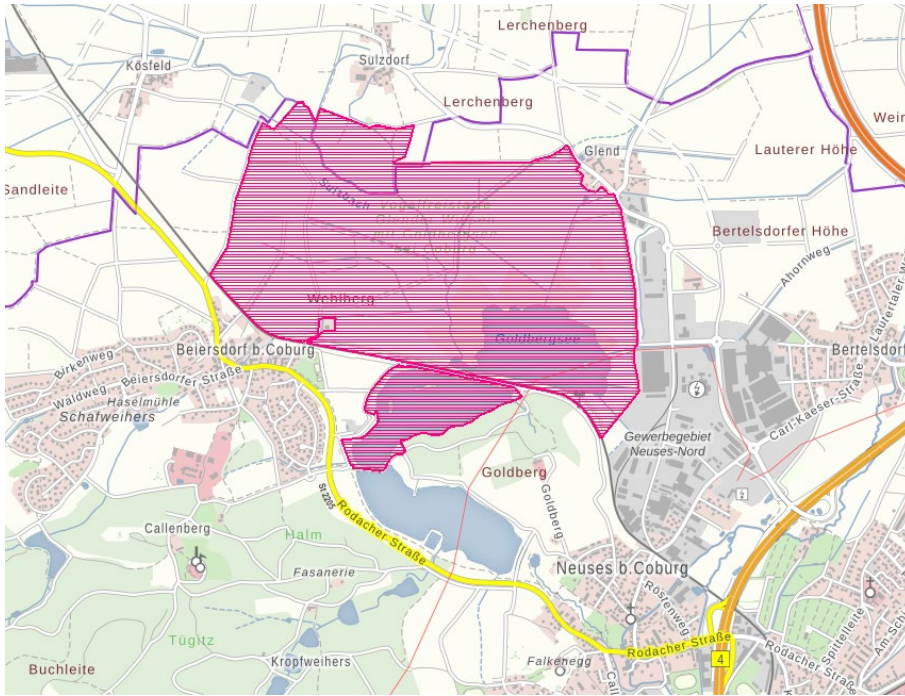


Abbildung 7: Naturschutzgebiete Goldbergsee (Quelle: www.umweltatlas.bayern.de, aufgerufen am 05.05.2025)

Daten zum technischen Bauwerk sowie der aktuelle Pegelstand sind unter www.hnd.bayern.de frei zugänglich und werden in **Tabelle 1** aufgezeigt. Die Topografie des Einzugsgebiets hat seine maximale Höhe bei knapp 550,00 m ü. NHN und verläuft sich bis zum tiefsten Absenkziel auf 294,00 m ü. NHN, wodurch sich eine Höhendifferenz im Einzugsgebiet von ca. 256,00 m ergibt. Der Staudamm wurde als Erddammschüttung 2010 hergestellt.

Tabelle 1: Stauraumaufteilung Goldbergsee (Quelle: https://www.hnd.bayern.de/speicher/oberer_main_elbe/goldbergsee-seepegel-24165900/stammdaten, aufgerufen am 05.05.2025)

Staumarke in m ü. NHN nach DHHN12	Stauraumaufteilung
294,00	Tiefstes Absenkziel
297,70	Stauziel Sommer (01.05. bis 30.09.)
295,70	Stauziel
299,05	Vollstau
300,65	Hochwasserstauziel
302,00	Dammkrone

3.2 Froschgrundsee in Rödental / Schönstadt (Hochwasserrückhalt)

Der Froschgrundsee dient ebenfalls als Hochwasserrückhaltebecken für die Stadt Coburg und befindet sich nördlich von Coburg in Rödental bzw. Schönstadt in Bayern. Bei Vollstau liegt die Wasserfläche auch zum Teil im Landkreis Sonneberg in Thüringen. Weiterhin befindet sich das insgesamt 129,30 km² große Einzugsgebiet zum Großteil in Thüringen, was die Durchführung von Maßnahmen an Fließgewässern länderübergreifend im Einzugsgebiet, nach Aussage des WWA Kronach, erschwert. Dem Froschgrundsee fließt die Itz und die Effelder zu (vgl. **Abbildung 8**). Etwa 2,00 km vor dem Zufluss der Itz in den Froschgrundsee fließt die Grümpen der Itz zu. Das Hauptgewässer, welches nach dem Durchfließen des Froschgrundsees weiterfließt, ist die Itz. Diese durchquert die gesamte Stadt Coburg und fließt zwischen Baunach und Breitengüßbach in der Nähe von Bamberg dem Main zu. Der Froschgrundsee befindet sich bei Flusskilometer 63,30 km.

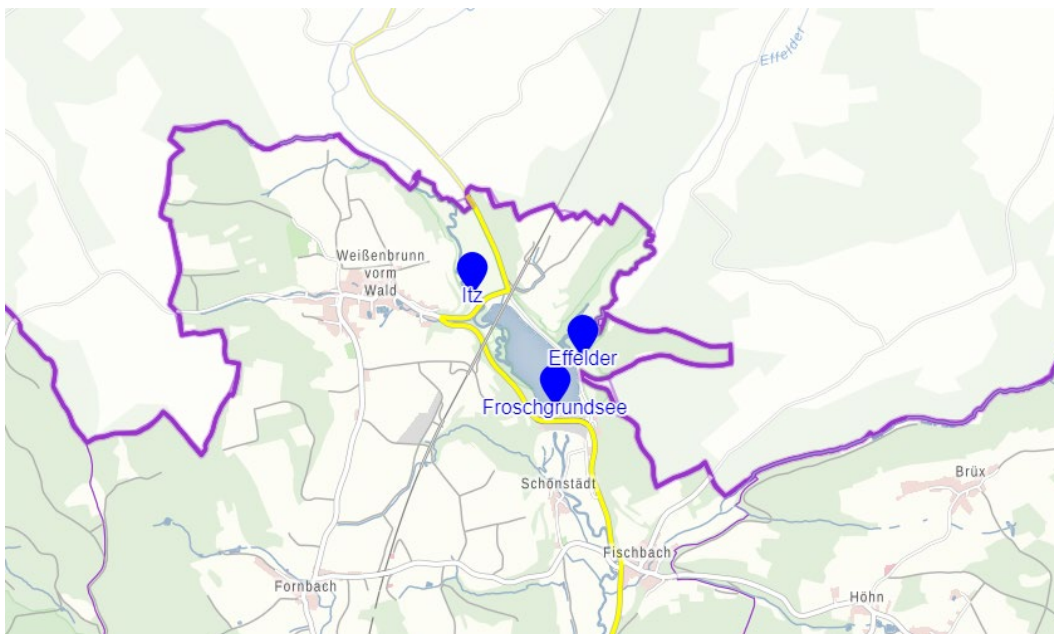


Abbildung 8: Lage Froschgrundsee (Quelle: www.atlas.bayern.de, mit eigenen Ergänzungen, aufgerufen am 05.05.2025)

In direkter Umgebung ist der Froschgrundsee westlich, nördlich und östlich von Naturschutzgebieten umgeben (vgl. **Abbildung 9**). Nur im südlichen Teil entlang des Dammbauwerks ist dies nicht der Fall. Gegenüber dem Goldbergsee ist die Wasserfläche bisher noch kein Natur- oder Vogelschutzgebiet, wodurch Eingriffe ins Gewässer noch leichter umsetzbar sind.

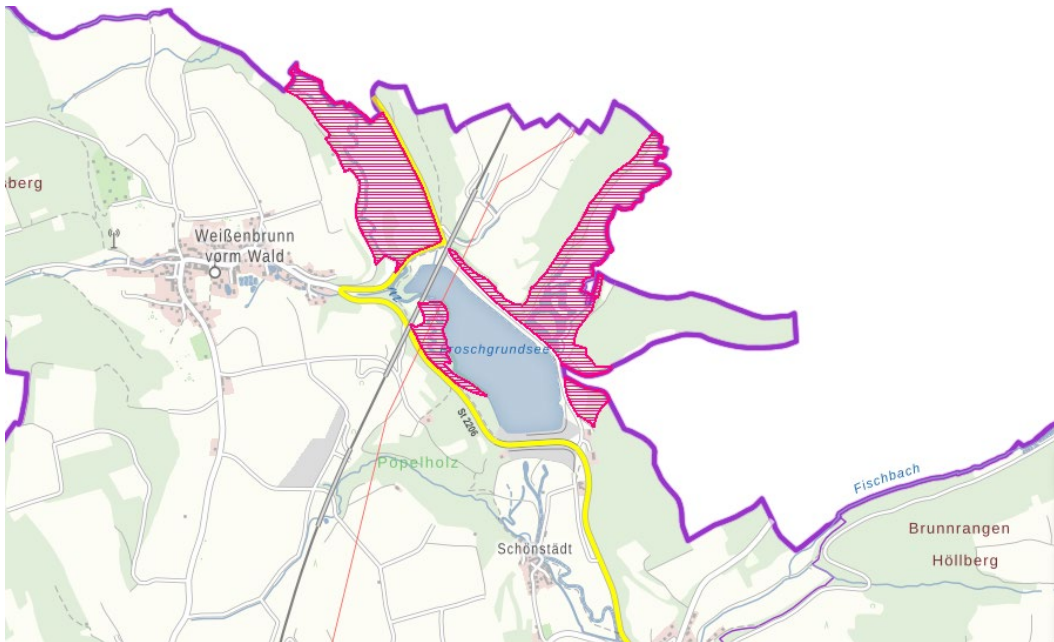


Abbildung 9: Naturschutzgebiete Froschgrundsee (Quelle: www.umweltatlas.bayern.de, aufgerufen am 05.05.2025)

Daten zu den Pegelständen, Abflüssen und zu dem technischen Bauwerk sind unter www.hnd.bayern.de frei zugänglich. Die Stauraumaufteilung ist in **Tabelle 2** dargestellt. Der höchste Punkt im Einzugsgebiet befindet sich auf ca. 850,00 m ü. NHN. Den tiefsten Punkt stellt das tiefste Absenkziel des Froschgrundsees dar. Dies entspricht einer Differenz von etwa 510,00 Höhenmetern im Einzugsgebiet. Dadurch wird verdeutlicht, dass sich das Einzugsgebiet zum Großteil im Mittelgebirge befindet.

Tabelle 2: Stauraumaufteilung Froschgrundsee (Quelle: https://www.hnd.bayern.de/pegel/oberer_main_elbe/schoenstaedt-seepegel-24160801/stammdaten?, aufgerufen am 05.05.2025)

Staumarke in m ü. NHN nach DHHN12	Stauraumaufteilung
340,00	Tiefstes Absenkziel
344,50	Stauziel Sommer (01.05. bis 30.09.)
343,90	Stauziel
356,70	Vollstau
356,70	Hochwasserstauziel
359,00	Dammkrone

Der Staudamm des Froschgrundsees ist wie der des Goldbergsees als Erddammschüttung ausgeführt. Jedoch ist dieser mit 19,00 m Höhe wesentlich höher ausgebaut.

3.3 Baggersee in Schönbrunn bei Bad Staffelstein

Der Baggersee in Schönbrunn ist Eigentum des Anglerclubs Lichtenfels - Staffelstein und Umgebung 1921 e. V. und befindet sich in direkter Nähe zum Main (vgl. **Abbildung 10**). Der See ist zwischen Lichtenfels und Bad Staffelstein bei Schönbrunn gelegen und besitzt eine Wasseroberfläche von ca. 26,00 ha.

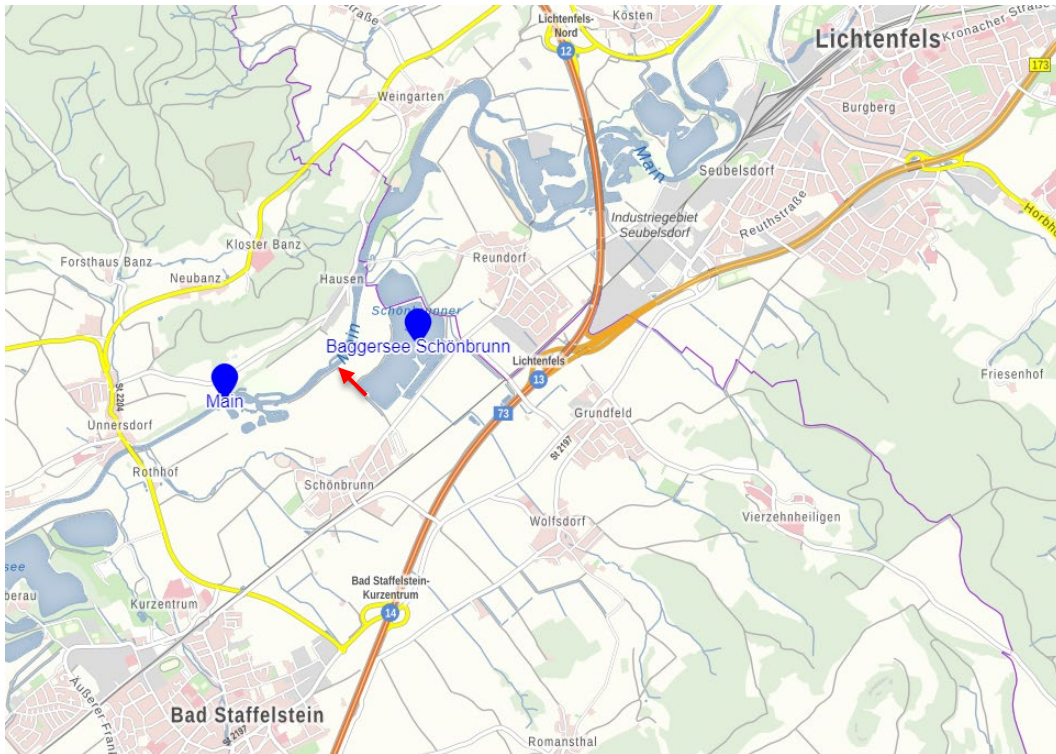


Abbildung 10: Lage Baggersee Schönbrunn (Quelle: www.atlas.bayern.de, mit eigenen Ergänzungen, aufgerufen am 05.05.2025)

Der See ist ausschließlich für Freizeitaktivitäten wie dem Angelsport gedacht. Zudem existieren keine nennenswerten Zuflüsse. Einzig das Schönbrunner Wasser bzw. der Krausenbach, welcher seinen Ursprung am nahe gelegenen Krausenberg hat, fließen dem Schönbrunner See im südöstlichen Bereich zu. Auf der ca. 3,20 km langen Strecke vom Ursprung bis zum See durchquert der Bach ausschließlich die Ortschaft Wolfsdorf. Deutlich wird dadurch, dass das Einzugsgebiet flächenmäßig stark begrenzt ist. Dies geht aus den Luftbildern und den ATKIS-Daten hervor.

Bei der Betrachtung der rot dargestellten Einzugsgebiete im Umweltatlas ist jedoch zu erkennen, dass das Einzugsgebiet kleiner ist als angenommen (vgl. **Abbildung 11**). So fließt der Krausenbach nicht wie erwartet dem Baggersee Schönbrunn zu, sondern durchquert die Ortschaft Schönbrunn und fließt westlich etwa 1,5 km entfernt vom See dem Main zu. Weiterhin sind keine Natur- oder Vogelschutzgebiete am oder in der Nähe des Gewässers vorhanden. Durch den im südwestlichen Bereich gelegenen Auslauf gelangt der Abfluss des Sees auf kurzem Weg direkt in den Main.



Abbildung 11: Einzugsgebiet Baggersee Schönbrunn (Quelle: www.umweltatlas.bayern.de, aufgerufen am 05.05.2025)

3.4 Matthäus-Kraus-See in Kösten bei Bad Staffelstein

Auch der Matthäus-Kraus-See ist Eigentum des Anglerclubs Lichtenfels - Staffelstein und Umgebung 1921 e. V. und befindet sich unweit vom Baggersee Schönbrunn, etwa 2,5 km nord-östlich, entfernt. Die genaue Lage befindet sich bei Kösten, südwestlich von Lichtenfels (vgl. **Abbildung 12**).

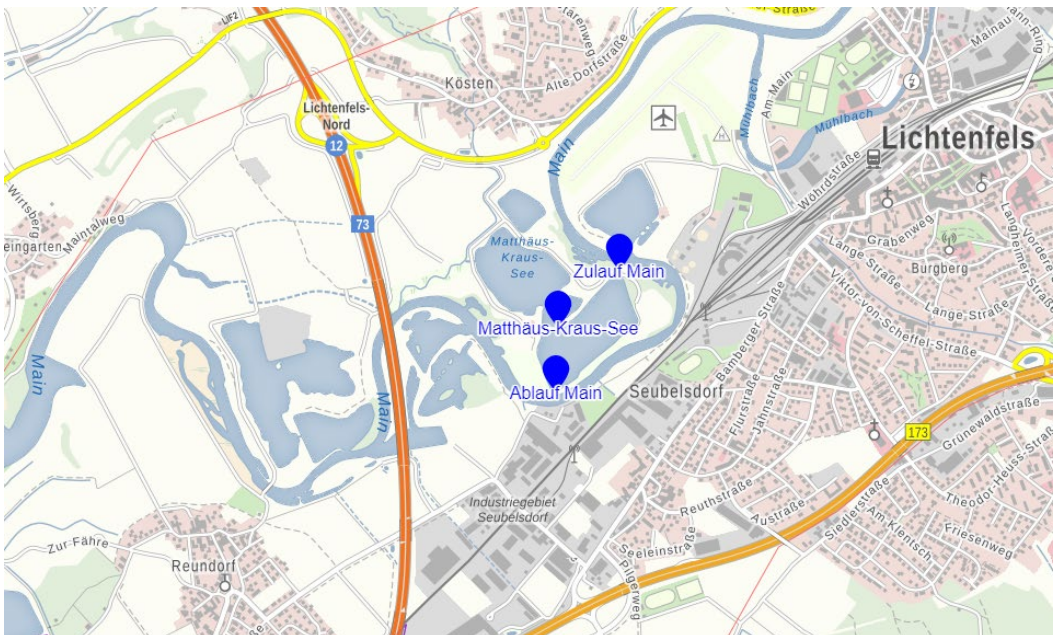


Abbildung 12: Lage Matthäus-Kraus See (Quelle: www.atlas.bayern.de, mit eigenen Ergänzungen, aufgerufen am 05.05.2025)

Die Wasseroberfläche beträgt etwa 16 ha und der See wird durch den Main gespeist. Der See besteht aus zwei größeren Flächen, welche durch eine ca. 40 m breite Engstelle verbunden sind. Der südöstliche Teil ist direkt am Zulauf und Ablauf mit dem Main verbunden, darüber hinaus existieren keine weiteren Zuflüsse. Einzig im nordöstlichen Teil gibt es einen weiteren Ablauf. Bei diesem Gewässer müsste das Einzugsgebiet gleich dem Einzugsgebiet der vorliegenden Mainstrecke definiert werden. Jedoch ist zu erwähnen, dass nur ein Teil des Mains

zufließt, vielmehr wird der Großteil des Abflusses in einer Schleife um den Matthäus-Kraus-See geleitet.

3.5 Ehemaliger Steinbruch bei Gefrees

Zur Verifizierung der Tiefenmessungen wurde nach einem Gewässer mit einer größeren Tiefe gesucht. Dabei wurde durch den Sporttauchclub Stadtsteinach e.V. ermöglicht, einen ehemaligen Steinbruch in Gottmannsberg, in der Nähe von Gefrees im Fichtelgebirge, mit dem Vermessungsboot zu befahren (vgl. **Abbildung 13**). Dieser wird durch den Tauchverein zu Übungszwecken genutzt und soll laut diesem eine maximale Tiefe von etwa 27,00 m haben. Die Wasserfläche beträgt ca. 7.000 m² und ist somit das flächenbezogen kleinste Gewässer im Projekt. Das Gewässer ist von steilen Steinklippen umgeben und besitzt ausschließlich einen Zugang.



Abbildung 13: Lage ehemaliger Steinbruch bei Gefrees (Quelle: www.atlas.bayern.de, mit eigenen Ergänzungen, aufgerufen am 05.05.2025)

Es gibt keine offensichtlichen Zuflüsse, weshalb davon ausgegangen wird, dass der Steinbruch durch Regen-, Schichten und Grundwasser gespeist wird. Aus diesem Grund ändert sich bei eintretenden Regen die Lage des Wasserspiegels schnell, wie auch an den Ablagerungen und den feuchten Stellen an den Steinklippen erkenntlich war. In **Abbildung 14** und **Abbildung 15** werden Ansichten von oben auf den Steinbruch dargestellt. Dabei sind die steilen Klippen und die schwierige Zuwegung zu erkennen.



Abbildung 14: Ansicht Steinbruch bei Gefrees (Quelle: eigene Aufnahme)



Abbildung 15: Zugang Steinbruch bei Gefrees (Quelle: eigene Aufnahme)

4 Vermessung der untersuchten Gewässer

Die Vermessung von Binnengewässern hat den Zweck, Veränderung an der Sohle zu erkennen, um daraus Rückschlüsse auf den Sedimenteintrag und das Fassungsvermögen zu schließen.

Um die Tiefendaten der Gewässer zu bestimmen, können wie in 2.2.1 erläutert, verschiedene Verfahren genutzt werden. Für die Unterhaltungspflichtigen vieler Gewässer ist eine regelmäßige professionelle Tiefenvermessung durch einen Dienstleister finanziell häufig nicht leistbar. Eine kostengünstige Lösung, mit der sich mit geringen Kenntnissen in der Bathymetrie ausreichend genaue Tiefendaten erheben lassen, wird benötigt.

Eine mögliche Lösung sind kostengünstige Fischfinder, die von mehreren Wettbewerbern insbesondere für die Verwendung in der Freizeitfischerei angeboten werden. Diese akustischen Single-Beam-Systeme bestehend aus einem Modul mit Display und einem Geber sind konzipiert, um in Seen oder Flüssen durch Reflexionen der Schallwelle an Fischen diese zu lokalisieren. Am Display wird ein kontinuierliches Echogramm angezeigt, das die Reflexion am Boden und an Fischen oder der Vegetation farblich in unterschiedlicher Intensität hervorhebt. Während die Fischfinder ursprünglich beim Angeln das Ziel haben, Fische zu identifizieren, werten sie gleichzeitig die Reflexionen des Schallsignals am Gewässerboden aus, um die Tiefe zu bestimmen. Da die Systeme auch GPS zur Positionsbestimmung verwenden, können sie dazu genutzt werden, bathymetrische Datensätze aufzunehmen. Die technische Funktionsweise der Fischfinder ist anhand der Single-Beam-Systeme in 2.2.1.2 bereits erläutert worden.

In diesem Projekt soll anhand der in Abschnitt 3 beschriebenen Seen die Handhabung und Genauigkeit von ausgewählten kostengünstigen Fischfindern untersucht werden, um deren Eignung für die Tiefenvermessung von stehenden Gewässern zu bestimmen. Nach Beschreibung der verwendeten Fischfinder werden die Tiefenmessungen der Gewässer erläutert und ausgewertet. Dabei werden insbesondere die Genauigkeit der Messungen und die Einflussfaktoren auf die Genauigkeit betrachtet.

4.1 Geräte und Aufbau

Im Vorlauf dieses Projekts wurde bereits der Aufbau mit einem ferngesteuerten Boot auf einer kleineren Seefläche im Zuge der Bachelorarbeit „Vermessung kleiner Standgewässer mittels verschiedener Methoden (Haas, Pascal, 2022)“ getestet.

Die Möglichkeit einer ferngesteuerten Bootsvariante konnte in diesem Fall ausgeschlossen werden, da:

- nur eine begrenzte Reichweite des Bootes möglich war (Faktor Fernsteuerung),
- keine ausreichende Dimensionierung bezüglich der Größe und Schwere der zu verwendenden Geräte (Kartenplotter, Echolotsensor und Stromquelle) möglich waren,
- ein direktes Eingreifen am Echolot nicht möglich gewesen wäre,
- die Stabilität des ferngesteuerten Bootes zu gering war und
- der Schiffsantrieb teilweise zu sehr durch Unterwasservegetation gestört wurde.

Aus diesen Gründen wurde sich gegen ein ferngesteuertes und für ein bemanntes Schlauchboot mit elektrischem Außenborder entschieden. Außenborder bedeutet, dass sich der Motor und die Antriebsschraube außerhalb vom Boot befinden. Durch diese Variante wurde es auch möglich, gleichzeitig mit zwei und teilweise sogar mit drei Systemen zu messen. Erste Versuchsaufbauten wurden dabei in der Hochschule Coburg am Campus Design im Wasserbaulabor durchgeführt.

Das Schlauchboot besteht aus insgesamt vier Luftkammern (Seitenteile, Front und Rumpf bzw. Unterteil), einem Einlegeboden aus Holz und zwei verschiebbaren Sitzbänken. Am Heck des Schlauchboots konnte der etwa 1,5 kW starke Elektro-Außenbordmotor, sowie zwei Edelstahlhalterungen mit Dosenlibellen und Stangen zur Befestigung der Echolotsensoren / Geberhalterung (vgl. **Abbildung 16**) angebracht werden. Angetrieben wird der Motor mit einem 12 V und 100 Ah starken externen Akku, welcher innerhalb des Boots am Heck positioniert wurde. Zur genaueren Positionsbestimmung (ausschließlich Lagekoordinaten) ist zusätzlich eine Lowrance Point-1 10 Hz GPS-Antenne mit elektronischem Kompass an Bord. Das Problem ohne externe GPS-Antenne wäre dabei, dass sich der interne GPS-Empfänger im Kartenplotter/Monitor befindet und somit verschoben zu den Tiefenmessungen ist. Durch ein innenliegendes Gewinde an einer Geberhalterung und einer etwa 0,50 m langen Verlängerung mit abschließender Aluminiumplatte konnte die externe GPS-Antenne direkt über dem Echolotsensor platziert werden und liefert somit die korrekten Koordinaten, wobei Toleranzfehler der Antenne beachtet werden müssen.



Abbildung 16: Versuchsaufbau Schlauchboot (Quelle: eigene Darstellung)

Die GPS-Antenne konnte mit drei Geräten verbunden werden. Um dies zu ermöglichen, musste ein NMEA-2000 Netzwerk aufgebaut werden. Ein NMEA-2000 Netzwerk ist in der Schifffahrt bereits bekannt. Es dient dazu, verschiedenste Daten wie etwa Motordaten, Wetterdaten, Koordinaten, Echolotdaten und weitere auf einem Bildschirm zu vereinen. Das Netzwerk besteht aus einem Hauptstrang oder Backbone, (**Abbildung 17**) und den Anschlussteilen. Dabei ist der Hauptstrang durch T-Stecker oder sonstige Mehrfachstecker beliebig erweiterbar. Zu Beginn und am Ende der Hauptleitung muss immer ein Endwiderstand angebracht sein. Weiterhin muss beachtet werden, dass das Netzwerk eine 12 V Stromversorgung benötigt, auch wenn bereits angeschlossene Geräte eine Stromversorgung besitzen.

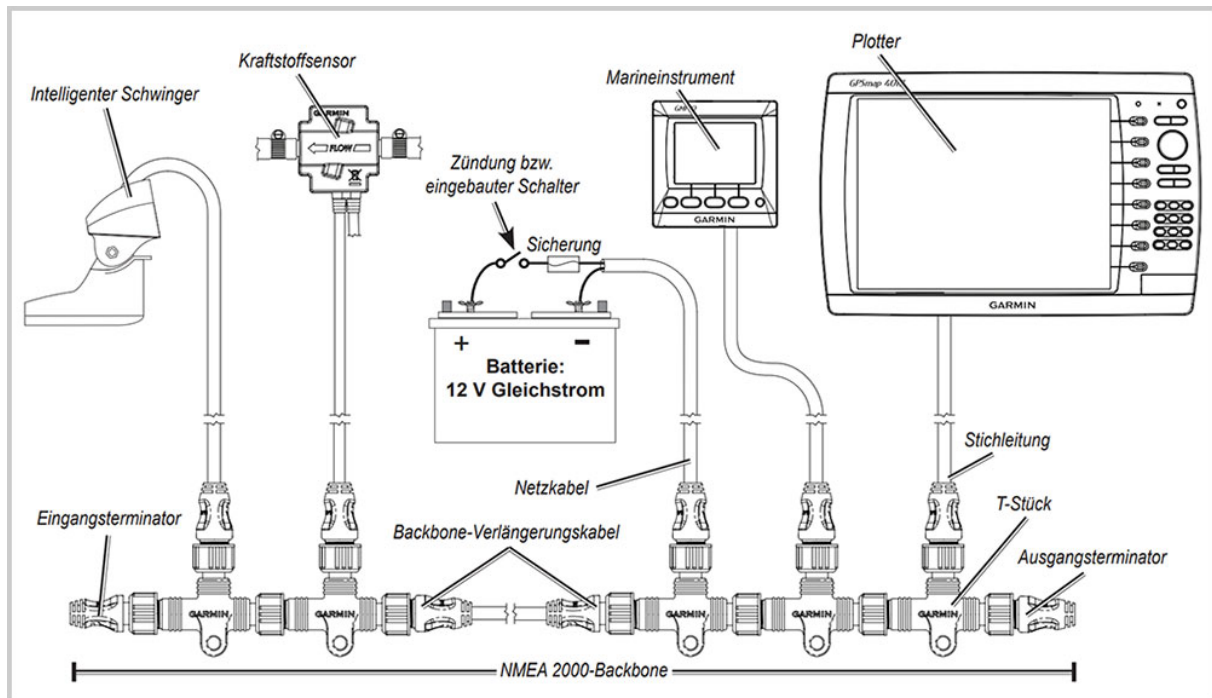


Abbildung 17: NMEA-2000 Netzwerk (Quelle: <https://www.blauwasser.de/nmea2000-netzwerk-aufbau-installation-verkabelung>, aufgerufen am 05.05.2025)

Zusätzlich war während der Befahrung der Gewässer ein Feuerlöscher, eine Rettungsweste, ein Signalhorn und -licht und ein Schöpfgefäß an Bord (Vorgabe Wasserwirtschaftsamt), wodurch die Bewegungsfreiheit etwas beeinträchtigt wurde und aufgrund der Platzverhältnisse somit nur die Zuladung von einer Person zuließ.

Das Schlauchboot wurde auf einem 750 kg Anhänger mit den Abmessungen von ca. 1,00 m x 2,00 m transportiert, dabei waren jedoch keine Aufbauten am Boot angebracht. Diese mussten vor Ort, nachdem das Boot ins Wasser gelassen wurde, mit einem Zeitaufwand von etwa 30 Minuten von zwei Personen angebaut und eingeladen werden.

Das Wechseln der Sensoren an den Geberhalterungen und den Kartenplottern erfolgte zum Großteil im Vorfeld im Wasserbaulabor. Die Echolotsysteme wurden mit einem zusätzlichen Akku mit 12 V und 40 Ah betrieben. Insgesamt konnte mit dem Akku für den Motor mindestens 5,0 h ununterbrochen gemessen werden, wobei der Akku für die Echolotsysteme maximal halb entladen war. Bei den Vermessungen wurde darauf geachtet, dass die Geschwindigkeit zwischen 3,0 km/h und maximal 5,0 km/h lag, um das Verzerren oder Beeinflussen der gemessenen Tiefen zu minimieren.

4.1.1 Deeper Smart Sonar Pro+

Der Deeper Smart Sonar Pro+ ist das kompakteste und mit ca. 200,- € Anschaffungskosten auch das günstigste Gerät von den im Forschungsprojekt genutzten. Der Sensor ist in einem kugelförmigen Gehäuse integriert (vgl. **Abbildung 18**) und als Display dient ein Smartphone

oder Tablet. Kosten für ein Smartgerät sind in den Anschaffungskosten von ca. 200,- € nicht berücksichtigt.

Zur Verbindung des Displays mit dem Deeper und zur Einrichtung wird die Fish Deeper App benötigt. Diese ist für Android und IOS-Betriebssysteme frei verfügbar. Der Deeper Smart Sonar Pro+ schaltet sich selbst ein, sobald dieser mit Wasser in Berührung kommt, was durch zwei außenliegende Kontakte ermöglicht wird. Nachteilig dabei ist, dass alle Einstellungen zunächst bearbeitet werden können, sobald sich der Deeper im Wasser befindet. Die Verbindung zwischen Deeper und Display wird durch WiFi ermöglicht. Die Reichweite der Verbindung ist dabei teilweise vom Smartgerät abhängig, ist jedoch auf 100,00 m begrenzt. Der Deeper ermöglicht einen Tiefenscan von bis zu 80,00 m mit Frequenzen von 90 kHz und 290 kHz, wobei der Öffnungswinkel des Ausstrahlkegels 55° und 15° beträgt. Sobald der Deeper mit dem Smartgerät verbunden ist, werden die Daten automatisch in der App aufgezeichnet und gespeichert. Weiterhin werden automatisiert Tiefenkarten mit einem Farbschema durch die App angefertigt. Der große Vorteil den der Deeper aufweist, ist die Datenübertragung bzw. Datenverarbeitung. Die gemessenen Daten können als CSV-Datei heruntergeladen und somit einfach in einem Texteditor weiterverarbeitet werden. Es werden neben den Längen- und Breitengraden sowie Tiefen und Zeitstempeln zusätzlich noch die Rohdaten des Echsignals, die reflektierten Echostärken in jeder Tiefe aufgenommen.

Alle Einstellungen zum Deeper, sowie zum aktuellen Sonarbild am Display werden in der Fish Deeper App eingestellt. Die App ist kostenfrei verfügbar, kann jedoch kostenpflichtig erweitert werden. Die Erweiterung erlaubt es, auf die Community und somit auf alle aufgezeichneten Daten und Tiefseekarten der Community zuzugreifen. Weiterhin können dadurch 2D-Härtenkarten, welche laut Angaben die unterschiedlichen Eigenschaften von weichen, schlammigen bis harten, sandigen Böden in einer Karte darstellen, sowie 3D-Geländekarten erstellt werden. Die Kosten für die Erweiterung betragen 5,99 €/Monat oder 24,99 €/Jahr (Stand 2024).

Obwohl das Gerät ursprünglich für den Angelsport gedacht ist, wird auf der offiziellen Internetseite (abrufbar unter <https://deepersonar.com/de-de/pages/research-and-surveying-with-deeper-sonar>) bereits mit Einsätzen in Forschung und Vermessung geworben. Im Fokus stehen dabei allerdings die Geräte Deeper Smart Sonar PRO+ 2 und Deeper Smart Sonar CHIRP+ 2 sowie die 2D-Härtenkarten, welche durch den Premiumzugang in der Fish Deeper App ermöglicht werden.

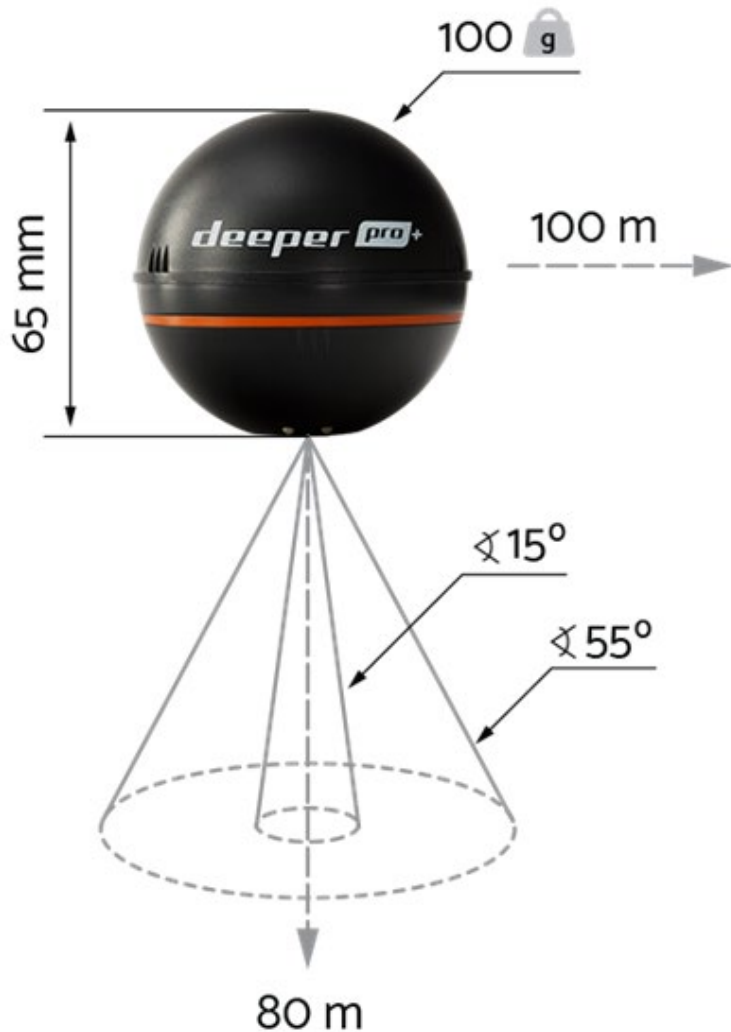


Abbildung 18: Deeper Smart Sonar Pro + (Quelle: <https://deepersonar.com/de-de/products/deeper-sonar-pro>, aufgerufen am 05.05.2025)

4.1.2 Lowrance Hook Reveal 5

Das Lowrance Hook Reveal 5 kostet ca. 380,- € und besteht aus einem Schwinger und einem 5 Zoll Kartenplotter (Display). Zusätzlich besitzt das Echolot einen internen GPS-Empfänger, welcher im Display verbaut ist. Der Schwinger (Lowrance HDI Geber 83/200 für Hook Reveal) sendet die Signale im kHz-Bereich aus und wird über ein Kabel mit dem Kartenplotter verbunden. Zur Speicherung von größeren Daten kann zusätzlich seitlich eine Micro-SD Karte mit einer maximalen Speicherkapazität von 32 GB eingebracht werden, was bei einer Vermessung von einem Gewässer empfehlenswert ist. Nachdem der Kartenplotter und der Schwinger mit einer 12 V Spannungsquelle verbunden sind, kann dieses Echolot gestartet werden. Zu erwähnen ist, dass das Lowrance Hook Reveal 5 nicht mit einer externen GPS-Antenne ausgestattet werden kann, da es nur einen Anschluss für Stromversorgung und Schwinger gibt (**Abbildung 19**), für die externe GPS-Antenne ist jedoch eine NMEA-2000 Anschluss notwendig.



Abbildung 19: Lowrance Hook Reveal 5 Anschlüsse (Quelle: eigene Darstellung)

Nachdem das Gerät gestartet wurde, öffnet sich ein Textfeld worin erläutert wird, dass das GPS des Lowrance Hook Reveal 5 ausschließlich als Navigationshilfe genutzt werden soll und der Nutzer für alles andere selbst verantwortlich ist. Nachdem dies mit der Entertaste (rechte Taste unter dem Steuerkreuz) bestätigt wird, öffnet sich das Hauptmenü des Geräts (vgl. **Abbildung 20**). Hierbei können im Reiter oben links Einstellungen zu beispielsweise Einheiten getätigt werden. Im Reiter oben rechts ist die Datenablage. Darin befinden sich alle aufgezeichneten Daten. Weiterhin gibt es drei Überpunkte, nämlich die Karte, das Sonar und der Sidescan. Diese Punkte können auch zusammengelegt und somit auf einem geteilten Bildschirm dargestellt werden.

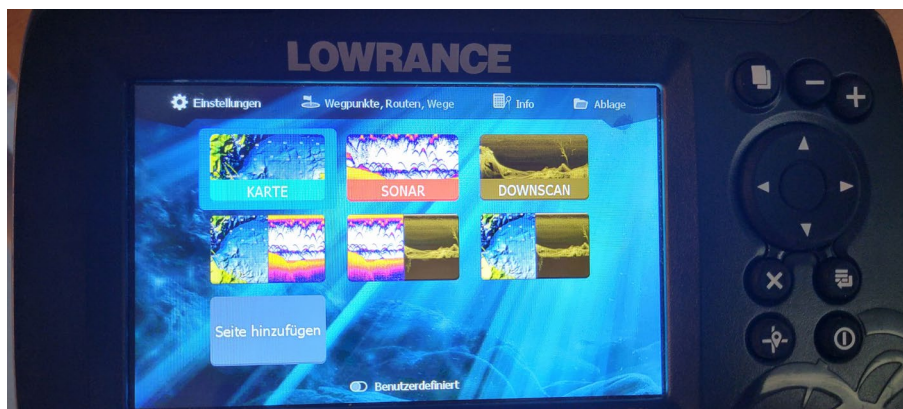


Abbildung 20: Lowrance Hook Reveal 5 Hauptmenü (Quelle: eigene Darstellung)

Die wichtigsten Punkte für die Vermessung sind die Karte zur Orientierung und das Sonar für manuelle Einstellungen. Für die manuellen Einstellungen muss mit dem Steuerkreuz und der Entertaste der Überpunkt Sonar aktiviert werden. Anschließend öffnet sich die Ansicht, wie sie in **Abbildung 21** dargestellt ist. Um die zusätzlichen Einstellungen zu öffnen, muss die Entertaste nochmals betätigt werden. Dadurch wird es ermöglicht, die Frequenz zu ändern. Es können hierbei auch weitere Einstellungen zur etwaigen Störunterdrückungen getätigt werden.

Diese Einstellungen betreffen jedoch nur das aktuelle Bild und nicht die gespeicherten Daten oder die aufgenommenen Punkte.

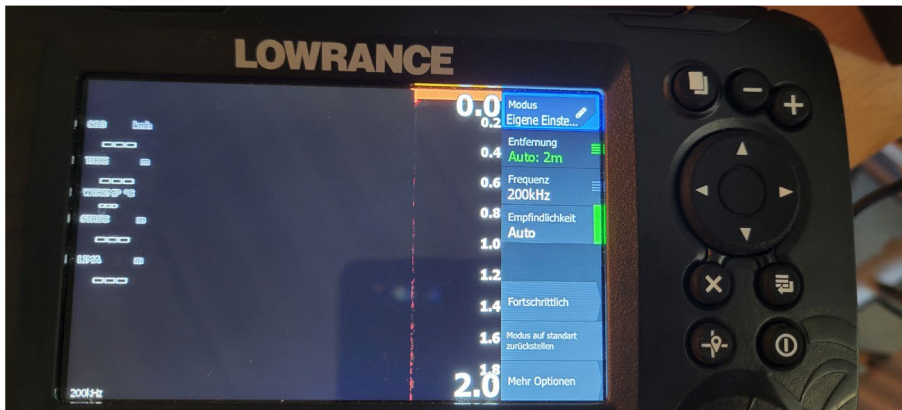


Abbildung 21: Lowrance Hook Reveal 5 Frequenzen (Quelle: eigene Darstellung)

Nachdem die gewollte Frequenz und die Ansicht auf einen geteilten Bildschirm mit Karte und Sonar eingestellt sind, kann die Vermessung gestartet werden. Die Aufzeichnung der Daten kann in dem Reiter „Einstellungen“ aktiviert werden. Eine andere Möglichkeit ist die Nutzung der Schnelleinstellungen. Dazu kann an beliebiger Stelle die Powertaste kurz betätigt werden, wodurch sich das Menü aus **Abbildung 22** öffnet. Durch das Aktivieren von „Log Sonar“ werden alle Daten in einer SL2-Datei aufgezeichnet. Wichtig zu erläutern ist, dass die Aufnahme automatisch nach einer Datenmenge von 2,00 GB beendet wird, was etwa 2,0 bis 2,5 Stunden Messzeit bedeutet. Anschließend muss die Aufzeichnung neu aktiviert werden, was jedoch nur wenige Sekunden in Anspruch nimmt.

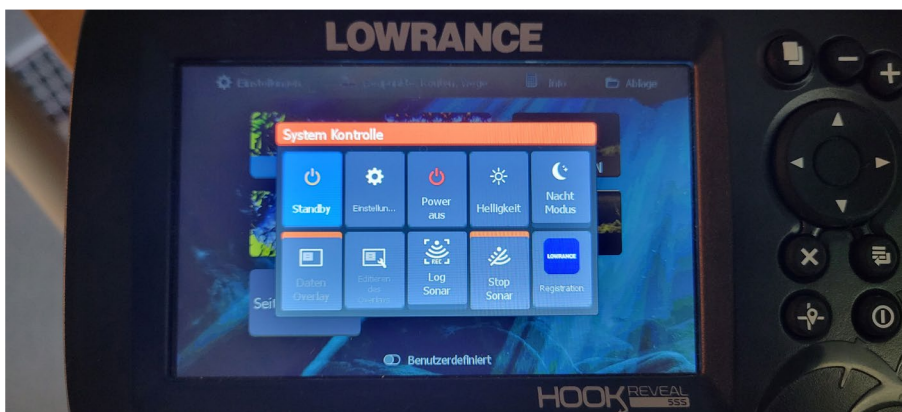


Abbildung 22: Lowrance Hook Reveal 5 Schnellmenü (Quelle: eigene Darstellung)

4.1.3 Lowrance Elite FS 9

Das Lowrance Elite FS 9 ist das zweite von insgesamt drei Lowrance-Echoloten und kostete zum Zeitpunkt des Projektes ca. 1.000,- €. Hinzu kommen die Kosten für einen Geber. In diesem Fall wurde ein Lowrance HDI Geber 83/200/455/800 kHz XSONIC 9Pin empfohlen, welcher etwa 300,- € kostet, wodurch sich das Gesamtpaket auf etwa 1.300,00 € beläuft. Der

Aufbau und Vorgang beim Lowrance Elite FS 9 ist ähnlich zum Lowrance Hook Reveal 5. Die zwei größten Unterschiede sind zum einen das Touch-Display und zum anderen die Möglichkeit der Nutzung einer externen GPS-Quelle durch die Integration des Geräts in ein NMEA-2000-Netzwerk, was durch den Stecker auf der Rückseite ermöglicht wird (vgl. **Abbildung 23**). Die Auswahl der externen GPS-Quelle wird über den Reiter „Einstellungen“ durchgeführt. Teilweise wird die externe Antenne automatisch gewählt, dies sollte jedoch kontrolliert werden.



Abbildung 23: Lowrance Elite FS 9 Rückseite (Quelle: eigene Darstellung)

Alle weiteren Bedienermöglichkeiten sind gleich zum Lowrance Hook Reveal 5, jedoch wird bei Betrachtung des Hauptmenüs in **Abbildung 24** deutlich, dass mehr Überpunkte zur Auswahl stehen. Auffällig sind dabei die Überpunkte „Sidescan“ und „Instrumente“. Der Sidescan ist zwar für die Abtastung größerer Flächen gedacht, jedoch wird dies ausschließlich am Gerät dargestellt und es ist auch nicht möglich, Punktdaten zu generieren. Der Überpunkt „Instrumente“ wird durch die Verbindung mit einem NMEA-2000-Netzwerk möglich. Dies ist jedoch für das Vorgehen in diesem Projekt nicht relevant und wird daher auch nicht genauer erläutert. Zu erwähnen ist, dass auch zwischen Sonar und Downscan ausschließlich Unterschiede bei der Darstellung am Display festgestellt werden konnten. Bei den aufgezeichneten Daten gibt es keine separaten Punkte. Die Datenaufzeichnung bei diesem Gerät kann als SL2-Datei oder als SL3-Datei durchgeführt werden. Beide Dateitypen können anschließend im Programm ReefMaster weiterverarbeitet werden.



Abbildung 24: Lowrance Elite FS 9 Hauptmenü (Quelle: eigene Darstellung)

Die Änderung der Frequenz und der Start der Aufzeichnung wird gleich dem Lowrance Hook Reveal 5 durchgeführt. Auch hier muss beachtet werden, dass die Aufnahme bei einer Größe von 2,00 GB (ca. 2,0 h bis 3,0 h) beendet und anschließend neu gestartet werden muss. Weiterhin wird empfohlen, eine externe Speicherkarte mit einer maximalen Speicherkapazität von 32,00 GB hinzuzufügen.

4.1.4 Garmin GPSMAP 8410xsv

Das Echolot von Garmin liegt in Bezug auf die Anschaffungskosten bei ca. 2.800,- € im Bundle mit einem Echolotgeber. Bei Betrachtung der Rückseite in **Abbildung 25** ist eine Vielzahl an Kopplungsmöglichkeiten vorhanden. Dabei gibt es Anschlüsse für Netzkabel, HDMI, USB, NMEA-2000 und weitere. Die wichtigsten Anschlüsse in diesem Projekt sind die für Stromversorgung, Geber und NMEA-2000-Netzwerk. Weiterhin kann oben links die Abdeckung geöffnet werden, unter welcher sich die Slots für die Speicherkarten befinden. Nach Herstellerangaben gibt es hierzu keine Begrenzung der Speicherkapazität.



Abbildung 25: Garmin GPSMAP 8410xsv Rückseite

Sobald alle benötigten Geräte angeschlossen und mit der 12 V Spannungsquelle verbunden sind, kann das Gerät auf der Vorderseite mit dem Powerknopf aktiviert werden. Anschließend öffnet sich das in **Abbildung 26** dargestellte Hauptmenü. Das Prinzip ist ähnlich zu den Lowrance-Echoloten, jedoch ist das Layout abweichend gestaltet. Bei Betätigung des mittleren Buttons öffnen sich die Überpunkte Karten, Echolot, Kombination, SmartMode und Schiff. Bei Aktivieren eines Überpunkts werden gleichzeitig mehrere Unterpunkte geöffnet, welche anschließend aktiviert werden können und somit am Display sichtbar sind. So können gleich dem Lowrance eigene Variationen von den Anzeigeooptionen am Display zusammengestellt werden. Empfehlenswert ist es auch hier, das Display in die Karten- und Echolotansicht zu teilen.

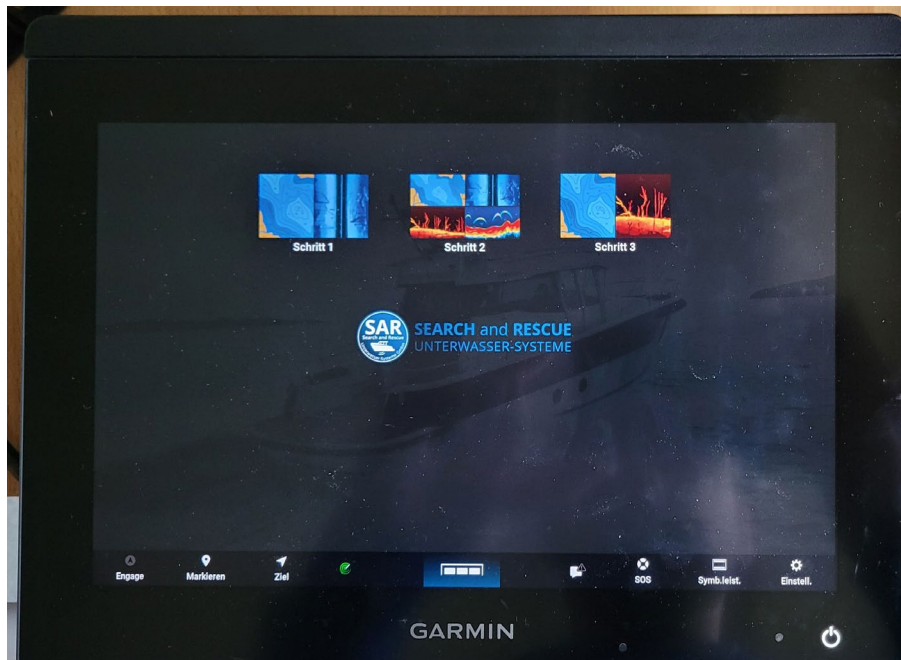


Abbildung 26: Garmin GPSMAP 8410xsv Startseite (Quelle: eigene Darstellung)

Vor dem Start der Vermessung muss die gewählte Frequenz eingestellt werden. Dies ist ebenfalls gleich wie bei den Lowrance-Echoloten. Hierzu muss der Überpunkt Echolot aufgerufen und aktiviert werden. Anschließend ist es möglich, auf der rechten Seite (vgl. **Abbildung 27**) Einstellungen zum Sonar vorzunehmen. Dabei kann die Frequenz entweder direkt eingegeben oder über die Kegelbreite definiert werden. Weiterhin sind Einstellung zu Störgeräuschen oder Darstellungen möglich. Diese haben jedoch lediglich auf das gezeigte Bild am Display Einfluss. Die maximale Frequenz im Sonarmodus beträgt 240 kHz.

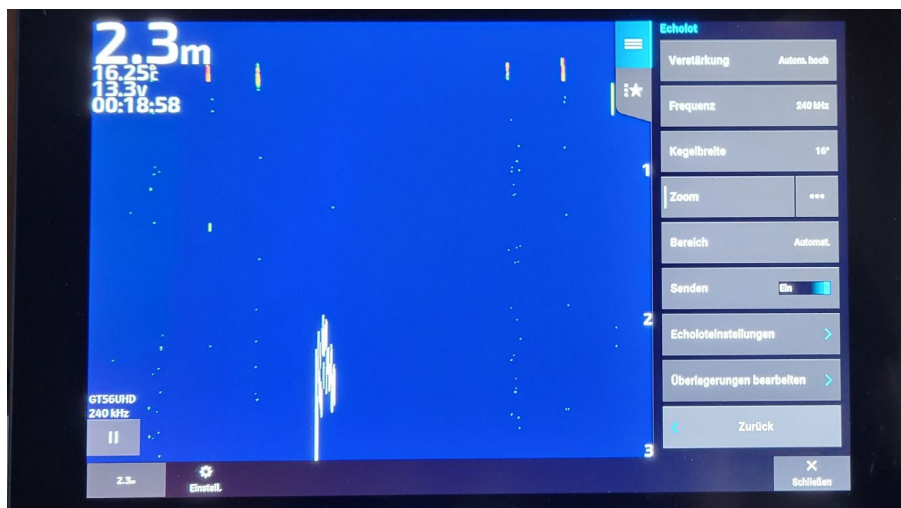


Abbildung 27: Garmin GPSMAP 8410xsv Sonar (Quelle: eigene Darstellung)

Das Aufzeichnen der Daten ist mit diesem Gerät vergleichsweise komplizierter und aufwendiger. Direkt am Gerät kann im Überpunkt Karte und in den anschließenden Einstellungen „Quickdraw Contours“ aktiviert werden. Dadurch erstellt das Gerät direkt eine Tiefenkarte mit

Höhenlinien. Das Problem dabei ist, dass diese Karte weder exportiert werden kann noch externe Daten aufzeichnet. Es ist zwar möglich, mit diesem Gerät Daten aufzuzeichnen und zu speichern, jedoch ist nicht bekannt, was darin aufgezeichnet wird und wie diese weiterverarbeitet werden können. Nach Rücksprache mit dem Anbieter (Echolotzentrum Schlageter) wurde klar, dass die Aufzeichnung von Höhen- und Lagedaten bei diesem Gerät ausschließlich über das NMEA-2000 Netzwerk möglich ist. Dadurch wurde es notwendig, einen NMEA-2000 zu USB-Typ A Adapter zu nutzen. Empfohlen wird der Adapter „ACTISENSE-NGT-1-USB-NMEA 2000 zu USB-PC-Schnittstelle“ (Kosten ca. 250,- €). Weiterhin ist es dadurch notwendig, einen PC bei der Vermessung mit an Bord zu führen, um die Daten über die NMEA-2000 Schnittstelle direkt auslesen und speichern zu können. Die weitere aufwendige Vorgehensweise bei der Auswertung der Daten wird in Kapitel 4.2 genauer erläutert.

Durch diese notwendige Anschaffung betrugen die Gesamtkosten für dieses Gerät ca. 3.050,- €, wobei der PC für die Befahrung hinsichtlich der Kosten nicht inkludiert ist.

4.1.5 Lowrance HDS 16 LIVE

Das Lowrance HDS 16 Live ist das letzte der insgesamt 5 genutzten Echolote und kostet im Bundle mit einem Active Imaging 3in1 Geber ca. 4.800,- €. Das Gerät besitzt einen 16 Zoll Bildschirm und weist die gleichen Funktionen wie das Lowrance Elite FS 9 auf. Eine Besonderheit ist die Möglichkeit, zwei Geber gleichzeitig anzuschließen (vgl. **Abbildung 28**). Ein weiterer Zusatz ist die Option, Filme und Videos am Display zu verfolgen. Darüber hinaus ist dieses Gerät exakt wie das Lowrance Elite FS 9 aufgebaut und zu bedienen.



Abbildung 28: Lowrance HDS 16LIVE Rückseite (Quelle: eigene Darstellung)

Der große Bildschirm bietet wenig Vorteile bei der Vermessung mit einem Schlauchboot, da durch das Equipment der Platz von vornherein begrenzt ist. Auch können durch einen kleineren Kartenplotter die Kosten für das Gerät gesenkt werden.

4.1.6 ADCP SonTek RS5

Bei diesem Gerät handelt es sich um einen Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). Dieses ADCP wurde durch die Universität Kassel kostenfrei zur Verfügung gestellt und für Referenzmessungen genutzt. Nach Herstellerangaben beträgt die Tiefengenauigkeit $1,0 \% \pm 0,005 \text{ m}$. Bei einer maximal zulässigen Tiefe von 6,00 m ergibt sich ein maximaler Fehler von $\pm 0,065 \text{ m}$. Durch eine externe GNSS-Antenne gibt der Hersteller eine Lagegenauigkeit von $< 0,30 \text{ m}$ an.

Im Normalfall wird das ADCP zur Erstellung von Querprofilen bei Fließgewässern genutzt, da damit zusätzlich Strömungsgeschwindigkeiten gemessen werden können. Jedoch wurde es in diesem Fall genutzt, um möglichst genaue Höhen- und Lagekoordinaten der Gewässersohle zu generieren. Dafür wurde das ADCP-Boot am Vermessungsboot befestigt (vgl. **Abbildung 29**) und gleichzeitig zu den weiteren Vermessungen über das Gewässer gezogen.

Die Kosten des Gerätes sind maßgeblich von der Ausstattung (GPS-Antenne, motorisiert, ...) abhängig. Bekannt ist aus einer Anfrage, dass sich das ADCP im Preissegment von über 25.000,- € befindet.



Abbildung 29: ADCP (Quelle: eigene Darstellung)

Durch die flächige und daraus folgende lange Vermessung musste beachtet werden, dass das Tablet, mit welchem die Einstellungen für das ADCP getätigt werden, nicht in den Standby-Modus schaltet, da ansonsten die bisherigen Aufzeichnungen verloren gehen. Die aufgezeichneten Daten können mit einem USB-Stick auf den PC übertragen und anschließend in dem Programm RSQ geöffnet werden. Genaue Erläuterung folgt in Kapitel 4.2.

4.1.7 Bewertung der Sensorfeatures

Nachfolgend wurden die Hauptmerkmale und Erfahrungswerte der Sensoren gegenübergestellt.

Tabelle 3: Subjektiver Vergleich der genutzten Sensoren (Quelle: eigene Darstellung)

	Deeper	Lowrance Hook Reveal 5	Lowrance Elite FS 9	Garmin GPSMAP 84	Lowrance HDS 16 Live	ADCP RS 5
Kosten	200,- €	380,- €	1.300,- €	3.050,- €	4.800,- €	> 25.000,-€
Genauigkeit	X	X	X	X	X	1,00 % ± 0,005 m
Bedienerfreund- lichkeit	4	4	4	2	4	3
Datenausgabe / Weiterverarbeitung	5	4	4	1	4	5
Kompaktheit	5	4	4	3	2	4
Beachtung von Wassertemperatur	4	X	4	4	4	5
Stabilität	2	3	5	5	5	3
Bewertung: X = keine Angaben; 1 = sehr schlecht; 2 = schlecht; 3 = neutral; 4 = gut; 5 = sehr gut						

4.2 Untersuchungen in Laborumgebung

4.2.1 Exemplarische Analyse des Lowrance Elite FS9 und des Lowrance HDI Heckgeber 83/200/455/800 kHz

Anhand des Lowrance Elite FS9 und des Lowrance HDI Heckgeber 83/200/455/800 kHz wurden die Eigenschaften eines Echolots und eines Gebers exemplarisch untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass die anderen Echolote ähnliche Methoden verwenden und sich die Ergebnisse daher auch auf die anderen im Projekt verwendeten Echolote übertragen lassen.

Mithilfe eines Omicron Lab Bode 100 Netzwerk Analysators wurde eine Impedanzmessung des Gebers bei Raumtemperatur durchgeführt, um die Resonanzen des Schallwandlers zu messen.

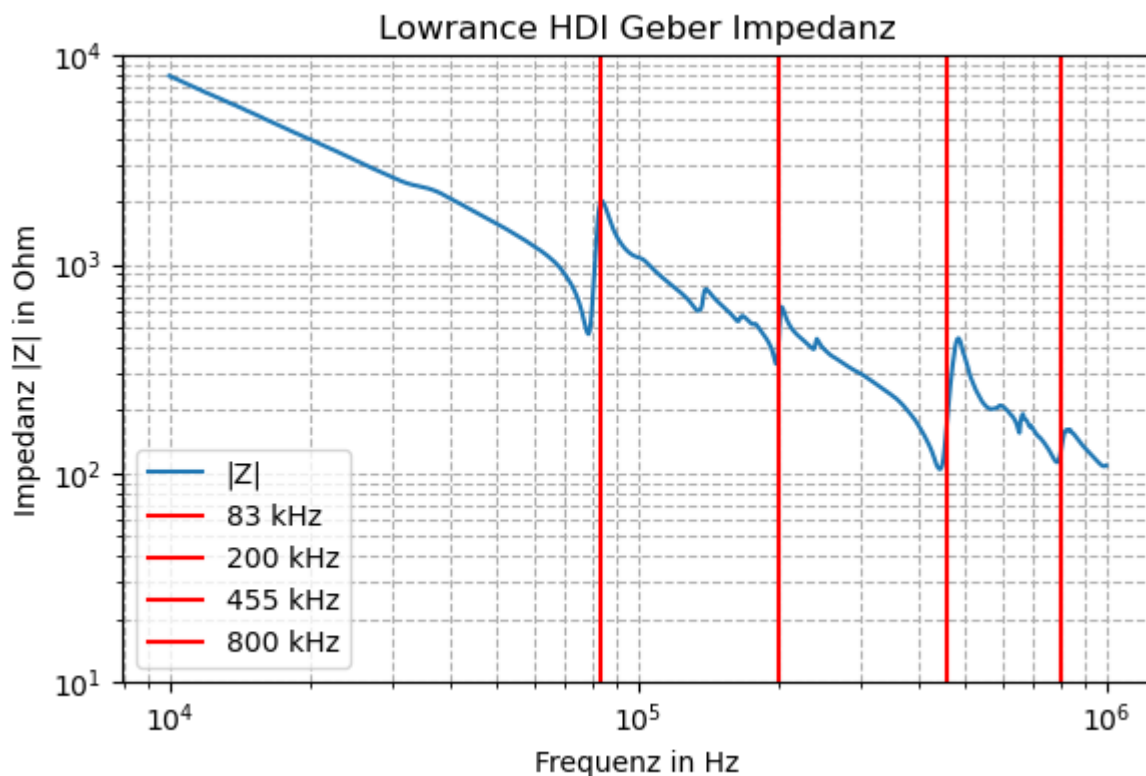


Abbildung 30: Amplitude der Impedanz des Lowrance HDI Heckgeber 83/200/455/800 kHz (Quelle: eigene Darstellung)

Das Impedanzspektrum zeigt ein für Schallwandler typisches Bild mit verschiedenen Resonanzen und deren Antiresonanzen sowie aufgrund des kapazitiven Verhaltens eine mit steigender Frequenz fallende Impedanz. Die Darstellung zeigt, dass die vom Hersteller angegebenen Sendefrequenzen in den Resonanzen des Schallwandlers sichtbar sind. Der Wandler zeigt nur wenige parasitäre Resonanzen außerhalb der gewünschten Resonanzen. In den Resonanzen wird ein höherer Teil der elektrischen Energie in mechanische Energie umgewandelt,

wodurch man ein stärkeres Sendesignal erzielt. Da die Impedanz mit höheren Frequenzen sinkt, ist zudem allgemein bei höheren Frequenzen ein stärkeres Sendesignal zu erwarten. Damit kann der in 2.2.1.2 erläuterten frequenzabhängigen Dämpfung von Wasser teilweise entgegengewirkt werden. Für kurze Laufstrecken wirkt die Dämpfung in Wasser nur geringfügig, weshalb bei geringen Tiefen höhere Frequenzen sogar stärkere Empfangsamplitude erreichen können. Dies ist ein weiterer Vorteil der Verwendung von Sendefrequenzen von 200 kHz oder höher.

Neben der Impedanz des Gebers wurden außerdem die vom Lowrance Elite FS9 erzeugten Sendesignale untersucht. Am Elite FS9 lassen sich für die Anregung beim Sonar die Einstellungen „83 kHz“, „200 kHz“, „Medium Chirp“ und „High Chirp“ auswählen. Die im Impedanzspektrum in **Abbildung 30** zu sehenden Resonanzen bei 455 kHz und 800 kHz werden für den Downscan und den Sidescan verwendet und werden hier nicht betrachtet. Um die Anregesignale des primären Sonars zu untersuchen, wurde die Spannung am Kabel vom Elite FS9 zum HDI Geber mit einem Differenzastkopf und einem LeCroy WaveRunner HRO64 Zi Oszilloskop bei Raumtemperatur gemessen.

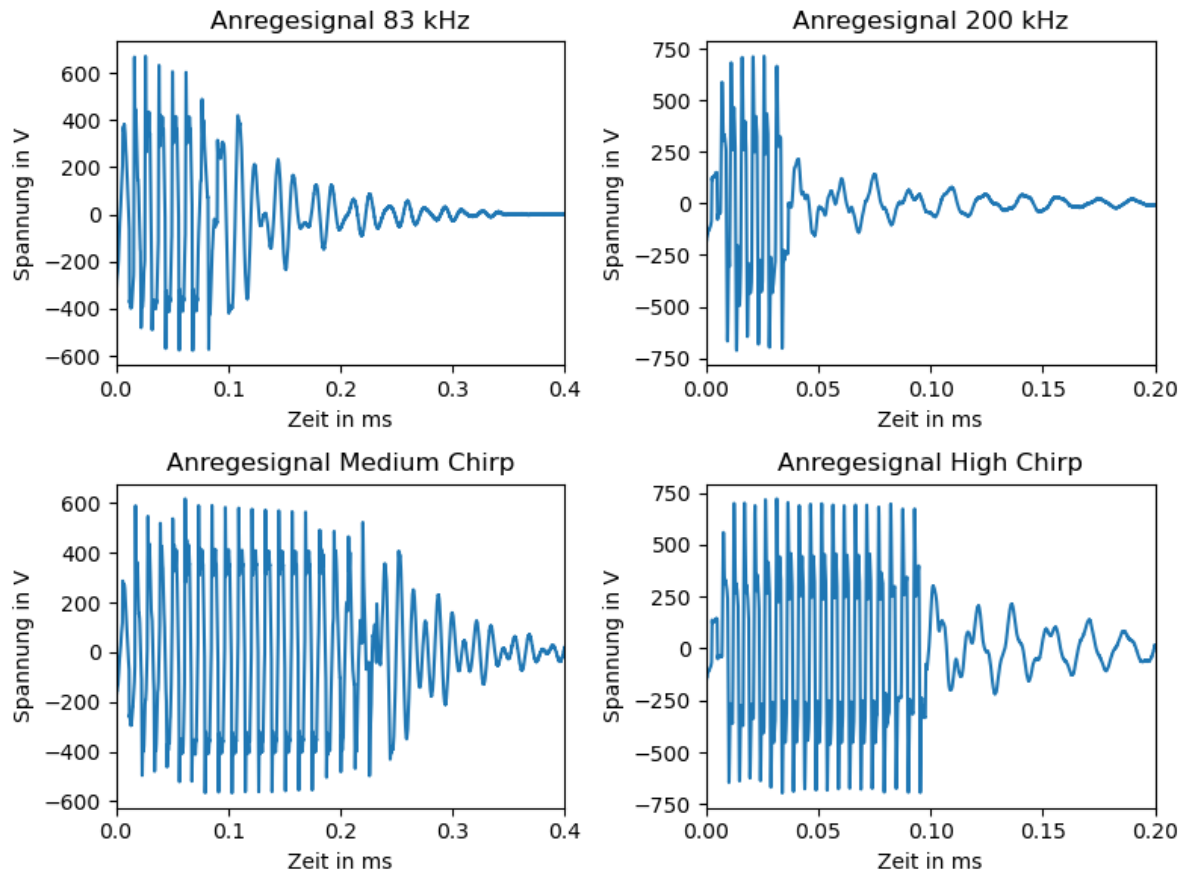


Abbildung 31: Anregesignale des Lowrance Elite FS9 für 83 kHz, 200 kHz, Medium Chirp, High Chirp (Quelle: eigene Darstellung)

Die Darstellung zeigt, dass der Geber mit einem Rechteck-Burst mit einer Spitzen-Spitzen-Spannung von ca. 1200 V bzw. ca. 1500 V angeregt wird. Ein Rechteck-Anregesignal ist breitbandig, aber für die Anwendung geeignet, um hohe Amplituden zu erzielen. Bei allen Signalen ist ein deutliches Nachschwingen des Schallwandlers mit ca. 60 kHz zu erkennen. Das zeigt sich auch bei Betrachtung der Frequenzspektren der Anregesignale in **Abbildung 32**. Ein Nachschwingen des Wandlers ist meist unerwünscht, da sich das Nachschwingen auch im Empfangssignal zeigt. Für die Anwendung und aufgrund der Vorverarbeitung mit der Einhüllenden des Empfangssignals, ist das Nachschwingen jedoch unproblematisch.

Auffällig ist außerdem, dass sich die Anregung mit 83 kHz und Medium Chirp sowie die Anregung mit 200 kHz und High Chirp lediglich in der Länge des Rechteck-Signals unterscheiden, in Amplitude und Frequenz jedoch gleichen. Durch ein längeres Signal lassen sich höhere Empfangsamplituden des Echos erzielen, jedoch sinkt dadurch auch die Auflösung der Genauigkeit und die minimale Tiefe. Laut Herstellerangaben sollten sich der Medium und der High Chirp in der Frequenz verändern. Die Spektren lassen darauf schließen, dass sich innerhalb eines Pings oder einer Anregung die Frequenz nicht ändert, jedoch ist es möglich, dass zwischen den Anregungen die Frequenz variiert wird.

Es ist außerdem zu erkennen, dass mit den Anregesignalen, die bei 200 kHz arbeiten, höhere Spannungsamplituden erreicht werden, als mit den Anregesignalen bei 83 kHz. Dies ist durch die zuvor erläuterte niedrigere Impedanz bei höheren Frequenzen zu erklären.

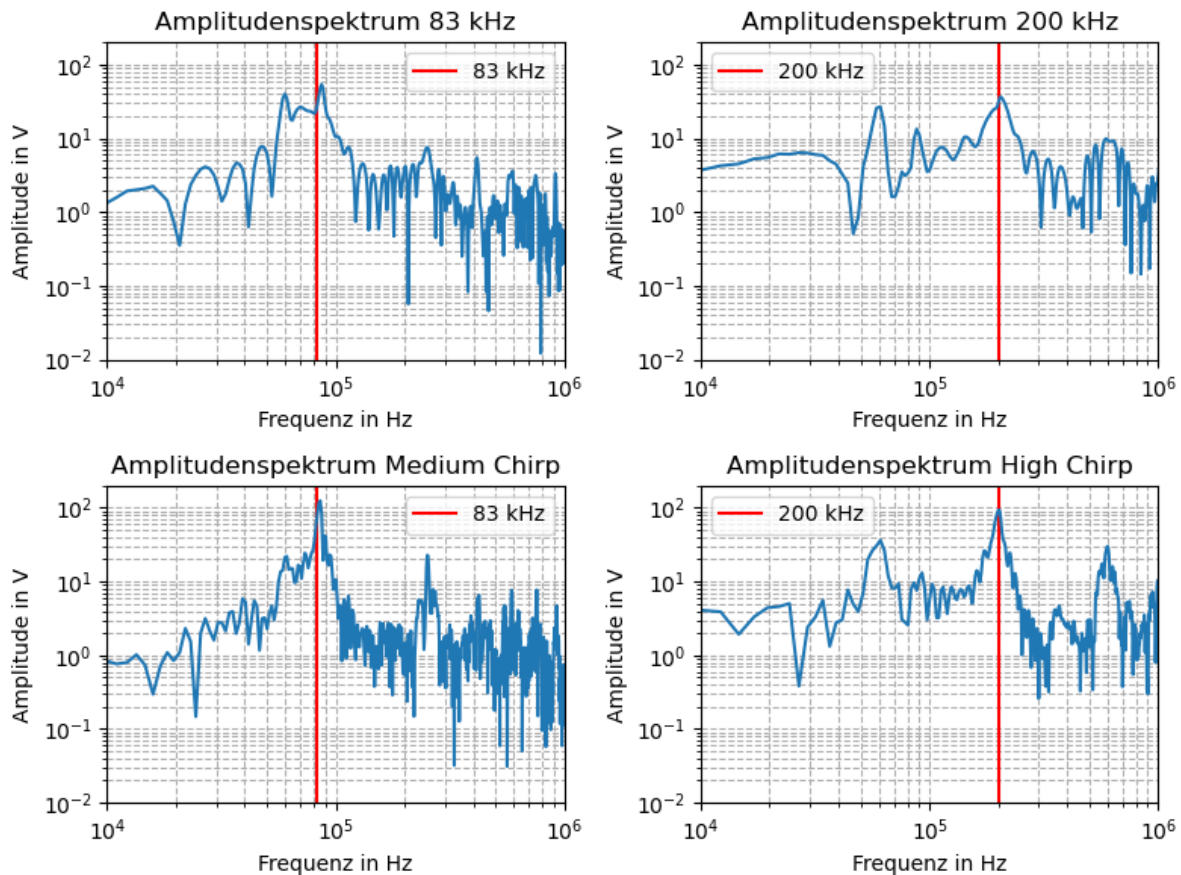


Abbildung 32: Amplitudenspektren der Anregesignale des Lowrance Elite FS9 für 83 kHz, 200 kHz, Medium Chirp, High Chirp (Quelle: eigene Darstellung)

Die Analyse der Anregesignale und der Impedanz des Gebers zeigt, dass Echolot und Geber sinnvoll aufeinander abgestimmt sind und für die Anwendung vorteilhafte Eigenschaften aufweisen. Es lässt sich außerdem darauf schließen, dass mit höheren Frequenzen stärkere Signale erzeugt werden können. Daher sollte bei flachen Gewässern am Echolot mit 200 kHz oder mit dem High Chirp gearbeitet werden. Mit einem Puls-Kompressionsverfahren, das in Sonaren häufig zum Einsatz kommt, lassen sich häufig deutlich bessere Signal-zu-Rausch-Verhältnisse und höhere Auflösungen erzielen. Die Chirp (Compressed High Intensity Radiated Pulse; „chirp“ = engl. „zwitschern“) Anregesignale weisen jedoch nicht die typische Frequenzänderung im Anregesignal auf. Inwiefern ein Puls-Kompressionsverfahren und welche Art in den Echoloten tatsächlich verwendet wird, ist unbekannt. Für die Vermessungen am See wurde daher mit dem herkömmlichen Sonar mit 200 kHz gearbeitet, um reproduzierbare und gut vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Eine weitere Überprüfung der Eignung der High Chirp Anregung wäre sinnvoll.

4.2.2 Messungen an einer Teststrecke

Es wurden neben den Freifelduntersuchungen Messungen anhand einer Teststrecke in Laborumgebung durchgeführt. Der Aufbau ist in nachfolgender **Abbildung 33** dargestellt. Der Aufbau ist eine Holzkonstruktion die mit einem Dichtmaterial ausgelegt ist. Der Geber wurde mithilfe von Aluminiumprofilen unterhalb der Wasseroberfläche positioniert und lässt sich in Längsrichtung des Beckens bewegen.



Abbildung 33: Foto des Beckens für Laboruntersuchungen (Quelle: eigene Darstellung)

Innerhalb des Beckens wurden exemplarisch verschiedene Materialien eingebracht, um das Verhalten des Wandlers und der Reflexionen für unterschiedliche Untergründe zu untersuchen. Im linken Bereich befindet sich kein weiteres Material, daher wird der Boden dort als idealisierte schallharte Oberfläche mit voller Reflexion betrachtet. Bei den anderen Materialien wird von einer höheren Streuung und geringerer Reflexion ausgegangen.

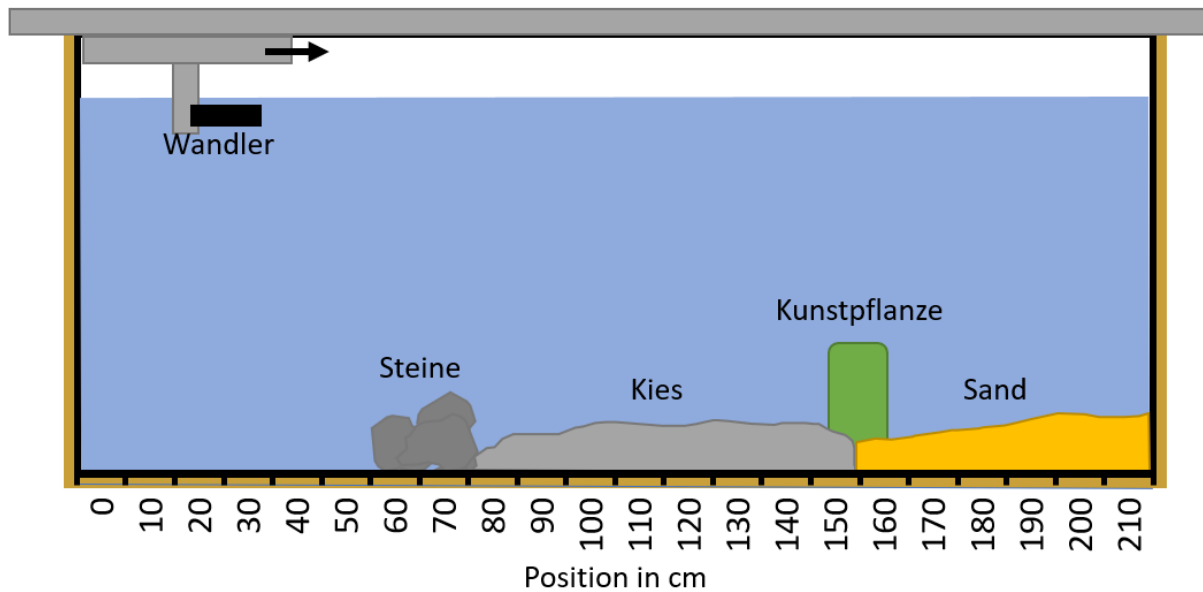


Abbildung 34: Schematische Darstellung des Laboraufbaus, nicht maßstabsgetreu, Querschnitt (Quelle: eigene Darstellung)

Der Wandler wurde beginnend bei 30 cm in 10 cm Schritten und regelmäßigen zeitlichen Abständen verschoben. Aufgrund der Geometrie der Aufhängung des Wandlers konnte nicht bei 0 cm, sondern bei 30 cm begonnen werden. Die Tiefen wurden für jede Position händisch mithilfe eines Zollstocks bestimmt und unterliegen damit durch Ungenauigkeiten beim Ablesen und der Ausrichtung und Positionierung des Zollstocks Abweichungen von bis zu ± 1 cm. Die über diese Methode gemessenen Tiefen werden als Referenz angenommen. Da die Steine im Laboraufbau nur in geringer Zahl positioniert wurden und die Höhen sehr unregelmäßig sind, wurde auf Höhe der Steine die Bodentiefe als Referenztiefe aufgenommen.

Die Messdaten des Elite FS 9 für eine Sendefrequenz von 200 kHz sind in Form eines Echogramms mit den vom Gerät erkannten Tiefen und den Referenztiefen in **Abbildung 35** dargestellt. Da sich der Wandler während der Messung 7 cm unterhalb der Wasseroberfläche befand, wurde das Echogramm und die Tiefen des Fischfinders mit einem entsprechenden Offset versehen.

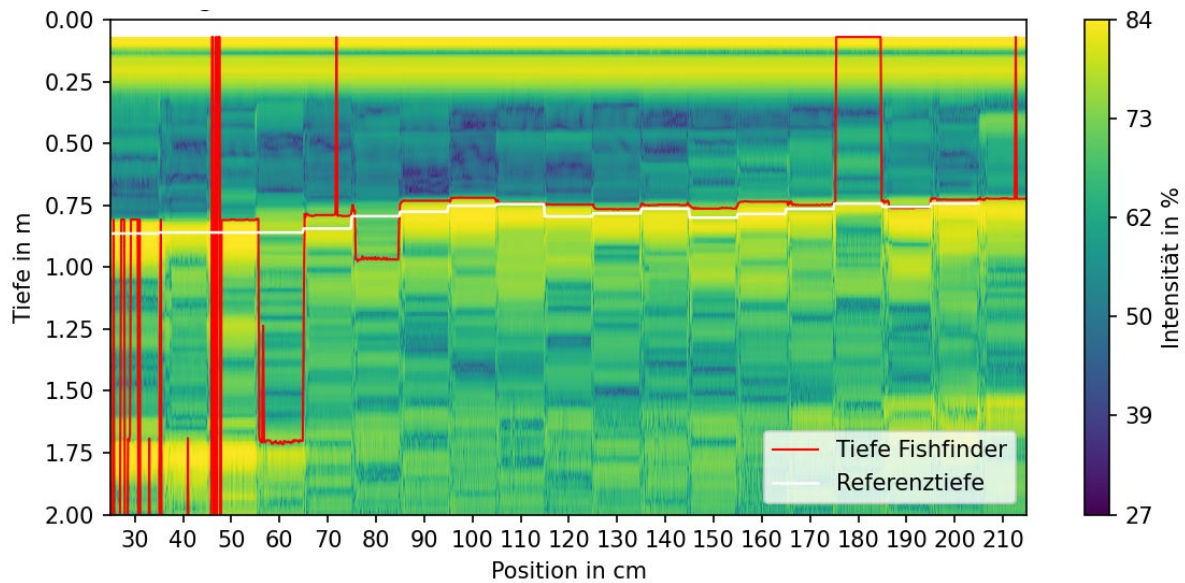


Abbildung 35: Echogramm und erkannte Tiefe des Elite FS 9 bei 200 kHz am Laboraufbau mit Referenztiefe (Quelle: eigene Darstellung)

Es lässt sich in **Abbildung 35** erkennen, dass die Tiefe des Fischfinders und der Referenzgrundsätzlich übereinstimmen. Insbesondere jedoch im Bereich der harten Reflexionen im Bereich von 30 cm bis 80 cm ist eine deutliche zweite Reflexion bei ca. 1,75 m und außerhalb des abgebildeten Bereichs eine dritte Reflexion zu erkennen, da die Schallwelle mehrfach zwischen dem Boden und der Wasseroberfläche reflektiert wird. Diese Mehrfachreflexionen erkennt der Fischfinder fälschlicherweise als Tiefe. Im Bereich der Steine ist das Intensitätsmaximum etwas höher als die Referenztiefe, da die Schallwelle teilweise an den Steinen reflektiert. Für die realitätsnahen Böden, Kies und Sand, erkennt der Fischfinder abgesehen von der Messung bei 180 cm zuverlässig die Tiefe nahe der Referenztiefe. Die Abweichungen betragen maximal bis zu 5 cm. Im Mittel bestimmt der Fischfinder die Tiefe jedoch zu hoch, was verschiedene Ursachen haben kann. Ungenauigkeiten in der Signalverarbeitung des Fischfinders, wie ein zeitlicher Offset des Echogramms um die Länge des Anregesignals könnte ein möglicher Grund sein. Da die Signalverarbeitung des Fischfinders jedoch unbekannt ist, kann hier keine konkrete Ursache festgestellt werden. Durch nähere Untersuchungen ließe sich die systematische Abweichung jedoch vermutlich quantisieren, um sie im Nachgang korrigieren zu können.

Im Bereich der Kunstpflanze sind oberhalb der Bodentiefe erhöhte Intensitäten der Reflexionen an den Blättern zu vermuten. Eine stichhaltige Zuordnung erlaubt das Echogramm jedoch nicht. Es wird daher vermutet, dass die vorhandene schwache Vegetation die Schallwelle nur geringfügig reflektiert.

Die Untersuchungen am Laboraufbau zeigen, dass der Lowrance Elite FS 9 Fischfinder die Tiefe bei realitätsnahen Untergründen mit einer Abweichung von maximal 5 cm misst. Messungenauigkeiten zeigen sich bei Wassertiefen kleiner als 60 cm.

4.3 Auswertung der Geländedaten

Insgesamt wurden 5 Gewässer im Zeitraum vom 28.05.2024 bis 16.10.2024 vermessen. Dabei wurde jede Vermessung mit einem bemannten Boot durchgeführt, wobei das Boot bei jeder Vermessung mit dem in Kapitel 4.1 genannten Elektromotor betrieben wurde.

Zur Auswertung der Daten waren mehrere Programme für die jeweiligen Echolote und das ADCP-Gerät erforderlich. Für das Garmin GPSMAP musste zusätzlich ein NMEA-2000-Adapter implementiert werden.

4.3.1 Verwendete Software

Die nachfolgenden Programme wurden für die Datenauswertung genutzt:

- ReefMaster 2.0 für Lowrance-Geräte,
- Actisense NMEA Reader für das Garmin GPSMAP,
- Fish Deeper App für den Deeper Smart Sonar Pro+ und
- RSQ v3.0 von SonTek für das ADCP SonTek RS5.

Alle genutzten Programme sind entweder kostenfrei oder beim Kauf der Geräte und Adapter frei nutzbar. Einzig das Programm ReefMaster 2.0 ist kostenpflichtig. Die Vorgehensweise bei der Auswertung der Daten verlief zumeist gleich.

ReefMaster 2.0

Bei allen 3 genutzten Lowrance-Geräten werden SL2- bzw. SL3-Daten ausgegeben. Diese Dateien können im ReefMaster über den Reiter „FILE“ und anschließend über „Import Logs and Waypoints“ importiert werden (vgl. **Abbildung 36**).

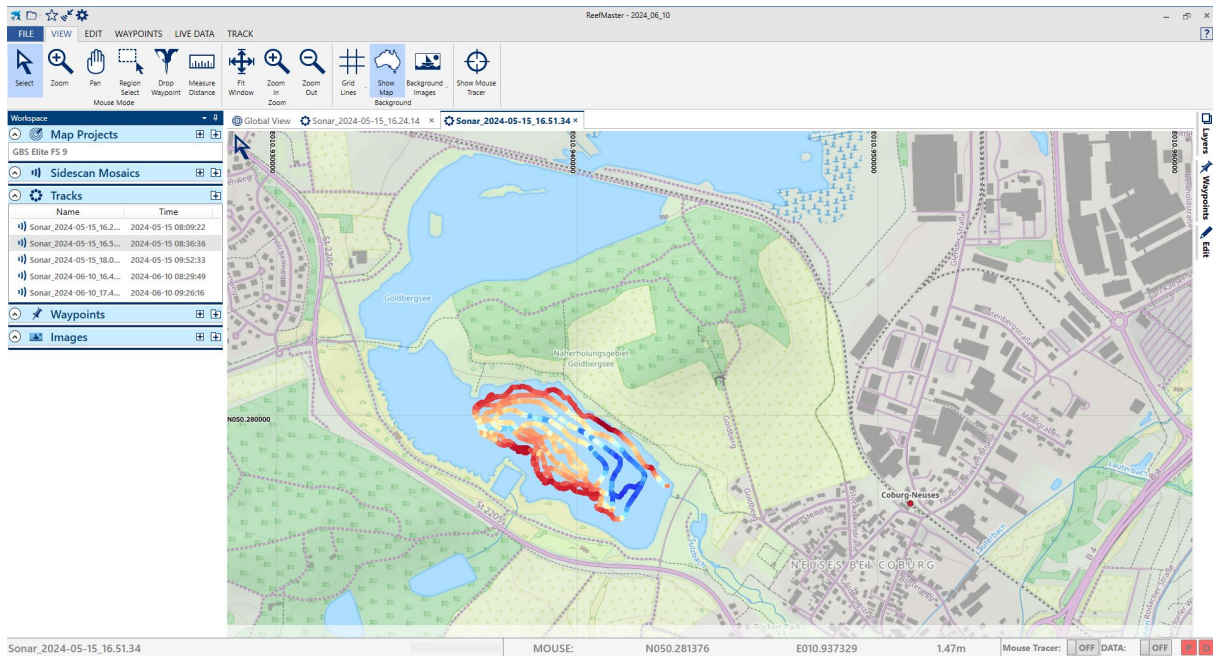


Abbildung 36: Oberfläche ReefMaster 2.0 (Quelle: eigene Darstellung)

Diese Sonaraufnahmen werden im Workspace und dem Punkt „Tracks“ auf der linken Seite angezeigt. Durch einen Doppelklick können die Sonardaten geöffnet und damit angezeigt werden. Mit einem Rechtsklick auf die Daten können diese exportiert werden.

Mögliche Exportformate sind:

- Shapefile,
- CSV Format,
- GPX-Format,
- Humminbird™,
- Google Earth™,
- Lowrance™ USR.

Die Auswertung in diesem Projekt hat ausschließlich mit den Shapefile und dem CSV Format stattgefunden. Weiterhin ist es möglich, eigene Projekte und Karten direkt in ReefMaster 2.0 zu erstellen, sowie Volumina und Bodenklassifikationen zu ermitteln. Diese Funktionen wurden jedoch nur teilweise genutzt, da dies ausschließlich mit den Daten der Lowrance-Geräte möglich war. Um alle Systeme und Vermessungen miteinander vergleichen zu können, wurden andere Programme genutzt. Wichtigster Teil von ReefMaster ist der Export der SL2- und SL3-Dateien. Sollte sich jedoch herausstellen, dass vor allem eines der Lowrance-Geräte fundierte Daten liefert, ist es möglich, mit diesem Programm weiterzuarbeiten und sich somit teilweise teure und komplexe CAD-Programme zu sparen.

Actisense NMEA Reader

Der NMEA Reader besteht aus 3 Teilen, aus dem Adapter vom NMEA-2000 Netzwerk zum USB-A-Port, dem Programm / NMEA Reader sowie der ActisenseCLOUD. Das Programm dient ausschließlich dazu, alle empfangenen Daten aus dem NMEA-2000 Netzwerk aufzuzeigen und zu speichern. Die wichtigsten Daten für das Projekt sind die Koordinaten und die Wassertiefen. Durch dieses Programm werden die Daten in einer EBL-Datei gespeichert, diese muss in die ActisenseCLOUD (abrufbar unter <https://actisense.cloud/>; Stand 2024) hochgeladen werden. Hier ist es anschließend möglich, unterschiedliche Dateiformate herunterzuladen (KML-, GPX-, Excel- und MDF-Format). Zu beachten ist jedoch, dass die Dateigrößen der aufgezeichneten EBL-Dateien nicht größer als 27 MB sein dürfen.

In der Anwendung erwies es sich als schwierig, den Bezug zwischen Lagekoordinaten und Tiefenmessungen herzustellen, da dies bei keinem Datei-Format wiedergegeben werden konnte. So mussten im Excel Format zum einen die Höhen der GPS-Antenne (engl.: Altitude) und zum anderen die Wassertiefen (engl.: Water depth) und zusätzlich noch das KML-Format heruntergeladen werden. Die KML-Datei beinhaltet alle Koordinaten (X-, Y- und Z-Koordinaten), die Z-Koordinate ist hierbei jedoch auf die GPS-Antenne bezogen und schwankt stark. Im Excel Format mit den Angaben zur Höhe ist zu jeder Z-Koordinate ein Zeitstempel hinterlegt. So wurde es durch den Vergleich der Excel- und der KML-Datei möglich, auch die Lagekoordinaten mit einem Zeitstempel zu versehen. Im letzten Schritt konnten die mit einem Zeitstempel versehenen Lagekoordinaten mit den Wassertiefen mit demselben Zeitstempel in Verbindung gebracht werden. So konnte eine Textdatei mit allen benötigten Daten (X- und Y-Koordinaten sowie Wassertiefen) zusammengestellt werden.

Fish Deeper App

Diese App ist notwendig, um den Deeper bedienen zu können. Im Gegensatz zu den anderen genutzten Echoloten dient hier das Smartgerät mit dieser App als Display und Steuereinheit. Zusätzlich zeichnet die App, sobald diese mit dem Deeper verbunden ist, die Daten auf und speichert diese. Es ist anschließend möglich, diese in die Cloud hochzuladen und auf der Fish Deeper Website (aufrufbar unter <https://maps.fishdeeper.com/de>; Stand 2024) direkt am PC herunterzuladen (vgl. **Abbildung 37**). Der große Vorteil besteht darin, dass die Daten direkt als CSV-Datei verfügbar sind. Es ist möglich, einzig die Daten für die Tiefenkarte mit dem Inhalt Latitude, Longitude, Depth, Timestamp und Temperature, aber auch Scandaten mit zusätzlichen Inhalten wie Echo strength herunterzuladen. Dies hat eventuell Vorteile bei der Auswertung der Sensorik und von möglichen Messfehlern. Ansonsten bleibt zu erwähnen, dass nicht zu jeder Tiefenmessung eine Lagemessung stattfindet. Es können bis zu 15 Tiefenmessungen pro Sekunde stattfinden, wohingegen es nur eine Lagemessung pro Sekunde gibt.

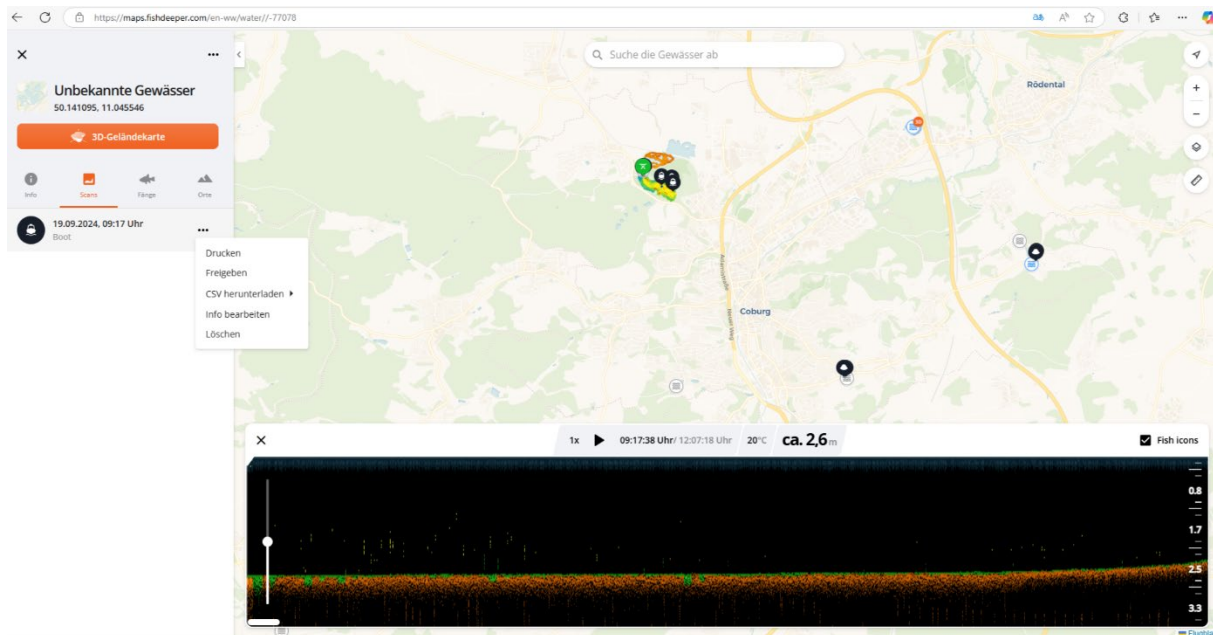


Abbildung 37: Website FishDeeper (Quelle: <https://maps.fishdeeper.com/de>, aufgerufen am 05.05.2025)

RSQ v3.0 von SonTek

Dieses Programm ist sowohl auf dem Tablet, mit welchem das ADCP bedient wird, als auch für den PC verfügbar. Bei der Vermessung werden hier die Einstellungen für die Messsession vorgenommen. Besonders darauf zu achten ist, dass die Pfad-Referenz auf die GPS-Position eingestellt ist, ansonsten wird ein internes Koordinatensystem genutzt, durch welches die gesamten Tiefenmessungen mit internen Lagekoordinaten bestimmt werden und somit nicht auswertbar sind. Da das ADCP ursprünglich für das Erstellen von Querschnitten gedacht ist, muss bei einer flächigen, länger andauernden Vermessung darauf geachtet werden, dass das Tablet nicht in den Standbymodus schaltet. Zur Weiterverarbeitung der Daten kann die aufgenommene Datei vom Tablet auf den PC übertragen und geöffnet werden. Anschließend sind alle Daten in einer Tabelle aufgelistet. Diese ermöglicht es, die Daten durch Markieren zu kopieren und anschließend in einem beliebigen Editor weiterzuverarbeiten. Wichtig in diesem Projekt sind ausschließlich Lagekoordinaten und Tiefenmessungen.

4.3.2 Punktbezogene Auswertung

Zum Vergleich der Vermessungen wurde entschieden, zwei Methoden anzuwenden, die punktbezogene Auswertung, bei welcher nah beieinanderliegende Punkte identifiziert und Punkthöhen direkt verglichen werden und die flächenbezogene Auswertung, welche in Kapitel 4.2.2 genauer erläutert wird. Die punktbezogene Auswertung ist insbesondere dafür geeignet die Genauigkeit und Präzision der Geräte zu vergleichen. Für die punktbezogene Auswertung wurden alle Vermessungen des jeweiligen Gewässers in ein QGis-Projekt als Shapefile-Datei

importiert und Orte identifiziert, an welchen sich alle Vermessungen in einem maximalen Umkreis von etwa 5,00 m nahekommen. Die Punkthöhen wurden anschließend von jedem Gerät in der Attributtabelle notiert und im Vergleich zu den Punkthöhen des ADCP-Geräts dargestellt.

Die gemessenen Tiefen der Fischfinder im Vergleich zum ADCP lassen sich statistisch auswerten, um eine Information über die Genauigkeit und Präzision der Fischfinder zu erhalten. Bei der statistischen Betrachtung der Tiefen im Vergleich zum ADCP wird von einer Abweichung, bestehend aus einer systematischen Abweichung und einer zufälligen normalverteilten Abweichung, ausgegangen. Mit der systematischen Abweichung lässt sich angeben, wie präzise die Tiefe gemessen wurde. Mit der zufälligen Abweichung hingegen lässt sich angeben wie genau, also mit welcher Streuung die Tiefe gemessen wurde. Dies ist in **Abbildung 38** veranschaulicht.

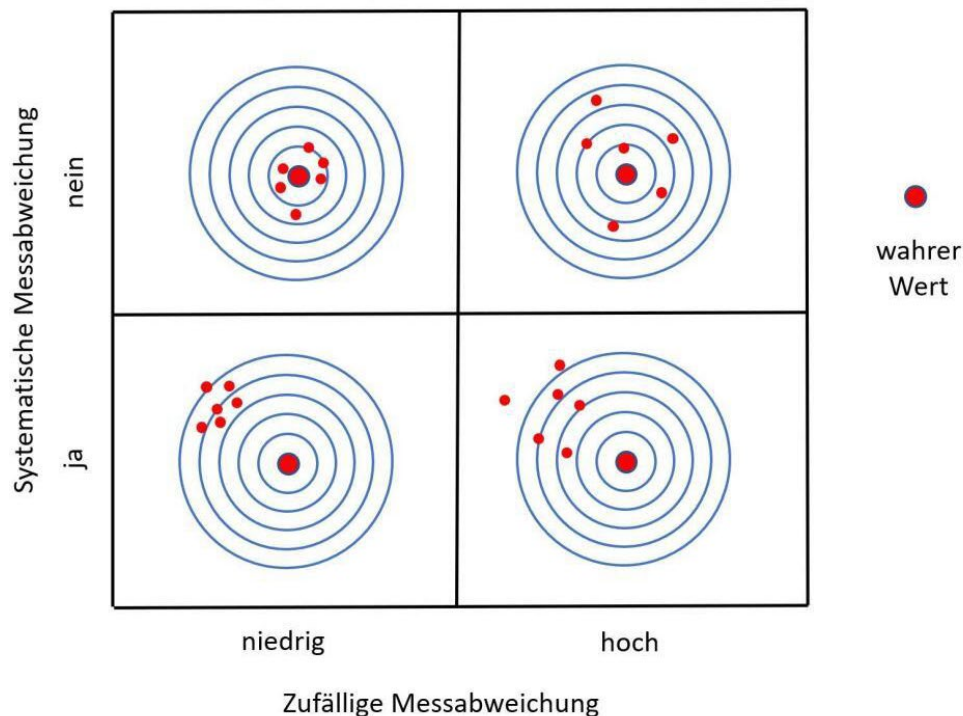


Abbildung 38: Systematische und zufällige Messabweichung (Quelle: <https://www.sixsigmablackbelt.de/systematische-messabweichung/>, aufgerufen am 30.04.2025)

Mithilfe der mittleren Abweichung (MA), also der Mittelung der Differenzen der gemessenen Tiefen zu den vom ADCP bestimmten Tiefen, lässt sich eine systematische Abweichung berechnen. Bestimmt ein Echolot die Tiefe im Mittel stets zu hoch oder zu tief, ist dies in der mittleren Abweichung zu erkennen. Eine positive mittlere Abweichung bedeutet, dass die Tiefe im Mittel höher gemessen wurde bzw. der Wert der gemessenen Tiefe niedriger ist als die Referenztiefe und umgekehrt für eine negative mittlere Abweichung. Die MA ist ein Maß für die Verzerrung oder die systematische Abweichung der Daten gegenüber dem ADCP als Referenz. Die normalverteilten Abweichungen sind in der MA nicht enthalten.

Um die Streuung der als normalverteilt angenommenen Abweichungen zu quantifizieren wurden außerdem für die ausgewählten Koordinaten die Differenzen der gemessenen Tiefen zur Referenz bestimmt und aus diesen Differenzen die Standardabweichung berechnet. Diese Standardabweichung der Abweichungen (StdA) ist ein Maß für die Streuung oder die zufällige Abweichung der Daten gegenüber dem ADCP als Referenz. Die StdA ist somit ein Maß für die Streuung der Werte um die MA. Die systematischen Abweichungen sind in der StdA unter der Annahme der Normalverteilung nicht enthalten.

Die Berechnung der MA und der StdA wurden für jedes Gewässer durchgeführt und sind im nachfolgendem dargestellt.

Messungen am Goldbergsee

Am Goldbergsee wurden insgesamt 20 Standorte identifiziert, an denen sich die Punkte aller 6 Vermessungen angleichen (vgl. **Abbildung 39**). Insgesamt 14 Standorte sind davon im vorderen (südlichen) und 6 im hinteren (nördlichen) Teil. Die vermessene Fläche beträgt etwa 30 ha.

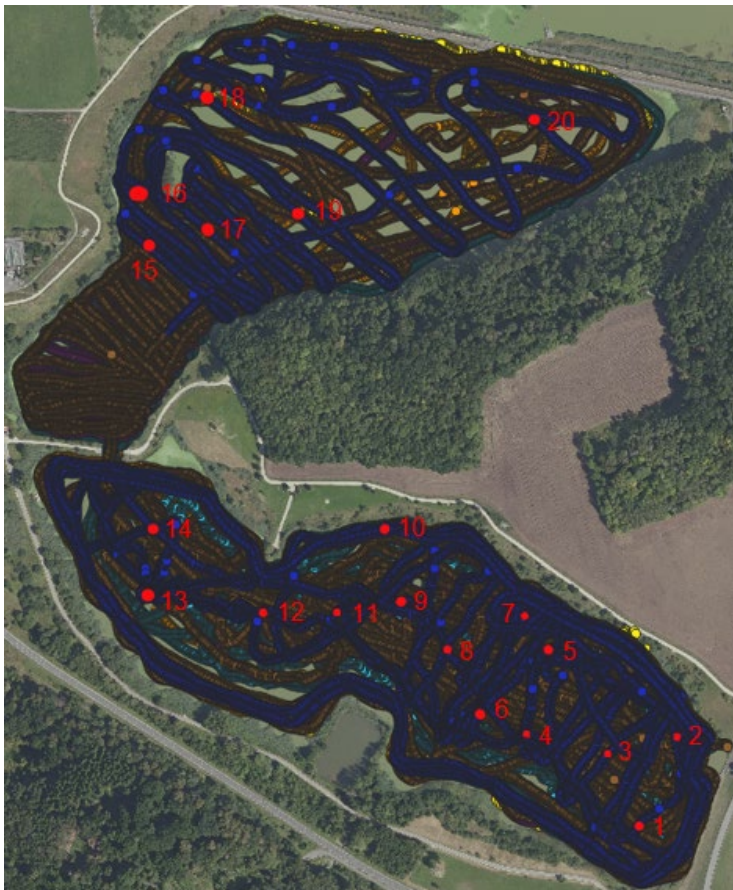


Abbildung 39: Lage der punktbezogenen Vergleiche am Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)

Bei der Vermessung wurde versucht, in einem regelmäßigen Raster zu vermessen. Dies wurde jedoch durch Wind, Wellengang, Vegetation und menschliche Einflüsse erschwert. Aus diesem Grund sind größere Lücken bezüglich der Vermessungen aufgetreten, weshalb eine

punktbezogene Auswertung nach **Tabelle 4** stattgefunden hat. Die Abweichungen und deren MA sind in **Abbildung 40** grafisch veranschaulicht.

Tabelle 4: Punktbezogene Auswertung Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)
(MA: mittlere Abweichung; StdA: Standard Abweichung)

ID	ADCP	HDS	Garmin	Elite	Hook	Deeper
	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN
1	294,559	294,620	294,280	294,640	294,850	292,087
2	293,921	293,910	293,880	294,190	294,190	292,087
3	293,917	293,810	293,830	294,140	294,320	291,978
4	295,352	295,480	295,300	295,580	295,830	290,307
5	294,581	294,770	294,490	294,940	294,930	294,387
6	295,243	295,260	295,170	295,490	295,640	290,198
7	295,013	295,100	294,930	295,120	295,370	292,251
8	295,206	295,360	295,160	295,290	295,570	292,498
9	294,432	294,230	294,450	294,460	294,310	292,635
10	295,916	296,010	295,790	296,070	295,930	284,740
11	295,025	294,990	294,900	295,010	295,350	291,238
12	294,451	294,500	294,640	294,620	294,580	290,088
13	295,577	295,480	295,320	295,910	295,730	288,418
14	295,454	295,480	295,420	295,790	295,480	291,567
15	295,505	295,480	295,370	295,520	295,500	295,453
16	295,655	295,600	295,570	295,720	295,610	296,000
17	295,662	295,710	295,620	295,740	295,750	295,590
18	295,840	295,880	295,790	295,880	295,950	295,700
19	295,270	295,300	295,240	295,360	295,280	295,288
20	296,006	296,040	295,980	296,060	296,000	295,946
MA zu ADCP in m	-	<u>0,021</u>	<u>-0,073</u>	<u>0,147</u>	<u>0,179</u>	<u>-2,706</u>
StdA zu ADCP in m	-	<u>0,093</u>	<u>0,095</u>	<u>0,116</u>	<u>0,182</u>	<u>2,908</u>

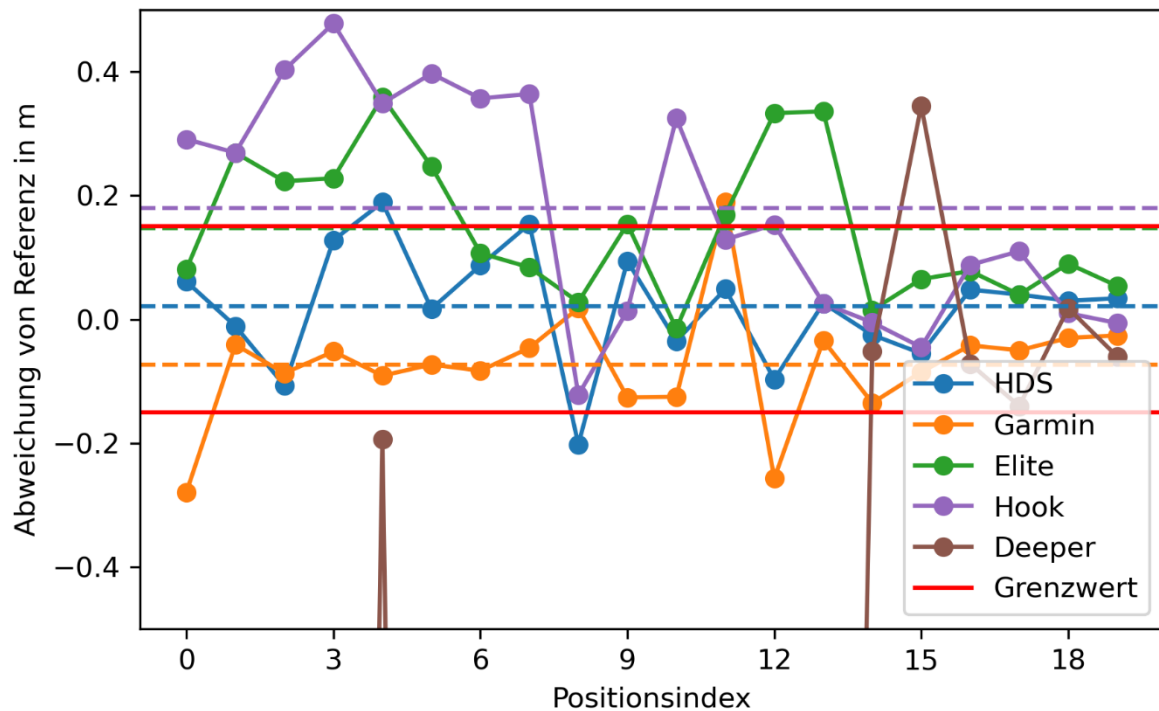


Abbildung 40: Abweichungen der Tiefen der Fischfinder zur Referenz im punktbezogenen Vergleich und deren MA (gestrichelte Linie) am Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)

Daraus lassen sich verschiedene Beobachtungen ableiten.

Es wird deutlich, dass die drei Lowrance-Echolote (HDS, Elite, Hook) im Mittel höher gemessen haben als das ADCP. Im Gegensatz hierzu fallen die Messungen mit dem Garmin-Echolot im Mittel tiefer aus. Hinsichtlich der MA und der StdA liefert das Lowrance HDS mit dem Active Imaging 3-in-1-Heckgeber die geringsten Abweichungen.

Bei Betrachtung der einzelnen Punktfelder wird deutlich, dass größere Abweichungen zum ADCP vor allem bei den ersten 14 Punkten im südlichen Bereich auftreten. Dies wird auf die verstärkte Unterwasservegetation bei den Vermessungen im südlichen Teilbereich zurückgeführt. Die Abweichungen des Deepers sind an den Positionen 1-14 stark überhöht und daher in **Abbildung 40** aus Darstellungsgründen abgeschnitten.

Der festgelegte Grenzwert durch die IHO von 0,15 m wird vom Garmin GPSMAP 8410xsv mit Garmin GT56UHD-TM Geber und dem Lowrance HDS mit dem Active Imaging 3-in-1-Heckgeber nur vereinzelt überschritten. Im Mittel liegen beide Fischfinder innerhalb der festgelegten Grenzen. Bei den Positionen im nördlichen Teilbereich des Sees liegen alle Fischfinder innerhalb des Grenzwertes.

Messungen am Froschgrundsee

Die Auswertung des Froschgrundsees wurde gleich der Auswertung des Goldbergsees durchgeführt. Durch die geringere Fläche (etwa 13,00 ha) resultiert ein dichteres Vermessungsnetz,

wodurch es möglich wurde, insgesamt 24 Standorte zu identifizieren, an denen sich die Vermessungspunkte aller Geräte angleichen (vgl. **Abbildung 41**). Nach der Befahrung mit allen Geräten ist bei der Auswertung der Daten erkenntlich geworden, dass das Deeper Smart Sonar Pro+ Tiefen gemessen hat, jedoch wurden keine Lagekoordinaten aufgezeichnet. Bei der Betrachtung der Tiefen ohne Lagekoordinaten ist auffällig, dass, wie beim Goldbergsee, ebenfalls Tiefen von bis zu 85 m gemessen wurden. Jedoch gab es hier nur etwa 500 Fehlmessungen von insgesamt 152 000 Tiefenmessungen und diese traten ausschließlich zu Beginn und zum Ende der Messungen auf. Alle anderen Tiefenwerte sind im Bereich des Möglichen, können jedoch ohne Lagezuordnung nicht verglichen werden. Eine erneute Befahrung des Gewässers war durch vorgeschriebene Zeitfenster (Schonzeiten) nicht umsetzbar.

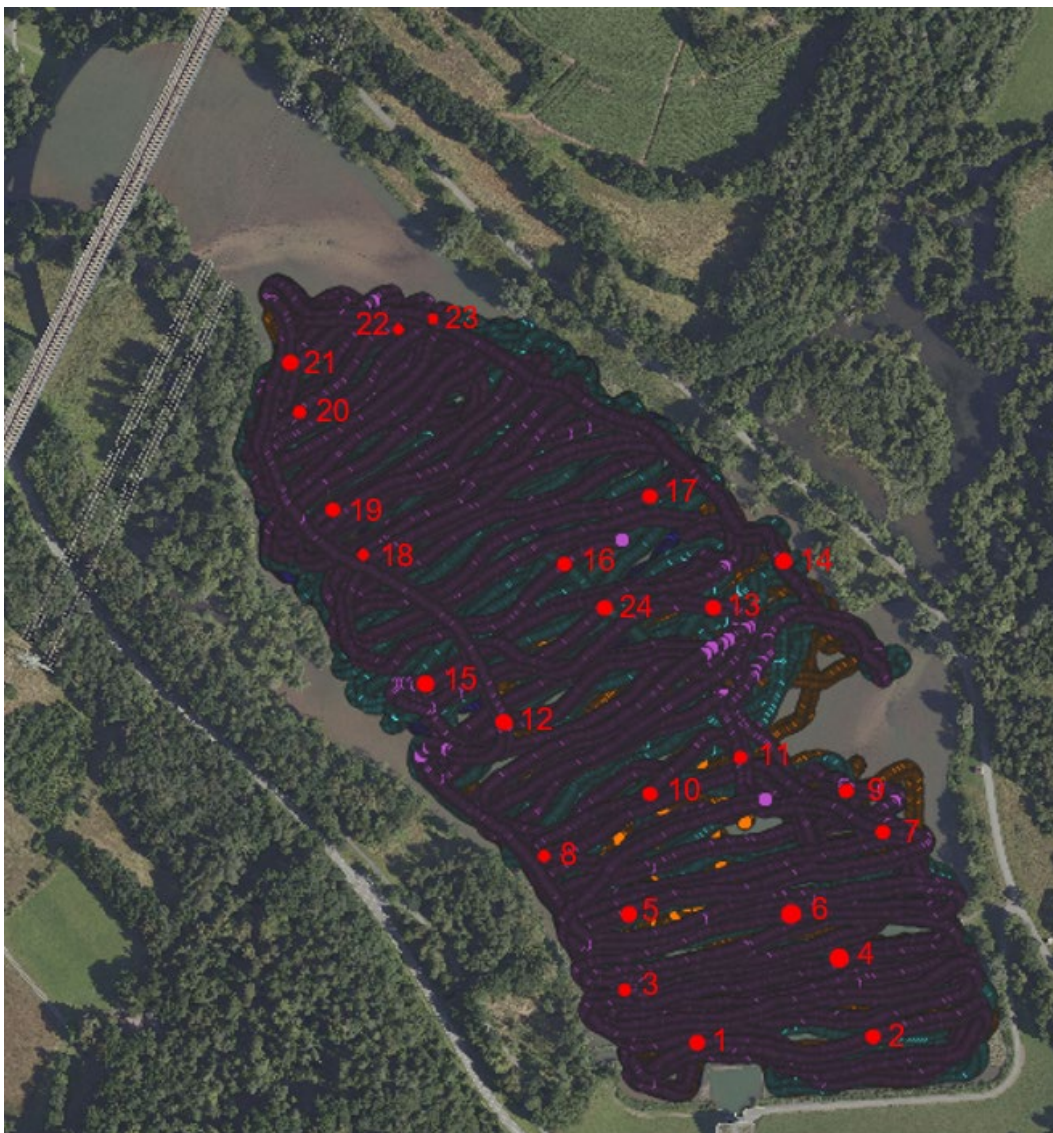


Abbildung 41: Lage der punktbezogenen Vergleiche am Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)

Die Daten für die punktbezogene Auswertung zum Vergleich der Fischfinder am Froschgrundsee sind in **Tabelle 5** aufgeführt und die Abweichungen in **Abbildung 42** grafisch veranschaulicht.

Tabelle 5: Punktbezogene Auswertung Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)

ID	ADCP	Elite	HDS	Hook	Garmin
	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN
1	342,370	342,415	342,370	342,355	342,360
2	342,706	342,745	342,710	342,715	342,650
3	342,639	342,685	342,650	342,675	342,610
4	342,910	342,955	342,920	342,905	342,890
5	342,899	342,965	342,970	342,935	342,890
6	343,120	343,125	343,100	343,125	343,080
7	343,928	343,955	343,920	343,945	343,930
8	343,447	343,555	343,450	343,485	343,420
9	343,907	343,925	343,930	343,905	343,900
10	343,022	343,045	343,030	343,005	343,010
11	343,595	343,565	343,560	343,555	343,520
12	343,311	343,445	343,340	343,355	343,290
13	343,917	343,895	343,880	343,895	343,900
14	343,893	343,925	343,920	343,905	343,880
15	343,916	343,945	343,880	343,875	343,860
16	343,100	343,145	343,130	343,155	343,080
17	343,412	343,475	343,420	343,435	343,430
18	343,306	343,365	343,310	343,355	343,250
19	343,320	343,325	343,350	343,335	343,270
20	343,764	343,725	343,740	343,755	343,730
21	343,456	343,465	343,460	343,515	343,400
22	343,485	343,545	343,500	343,505	343,470
23	343,778	343,785	343,750	343,715	343,740
24	343,172	343,185	343,170	180,475	343,090
MA zu ADCP in m	-	<u>0,033</u>	<u>0,004</u>	<u>0,009</u>	<u>-0,030</u>
StdA zu ADCP in m	-	<u>0,039</u>	<u>0,026</u>	<u>0,032</u>	<u>0,025</u>

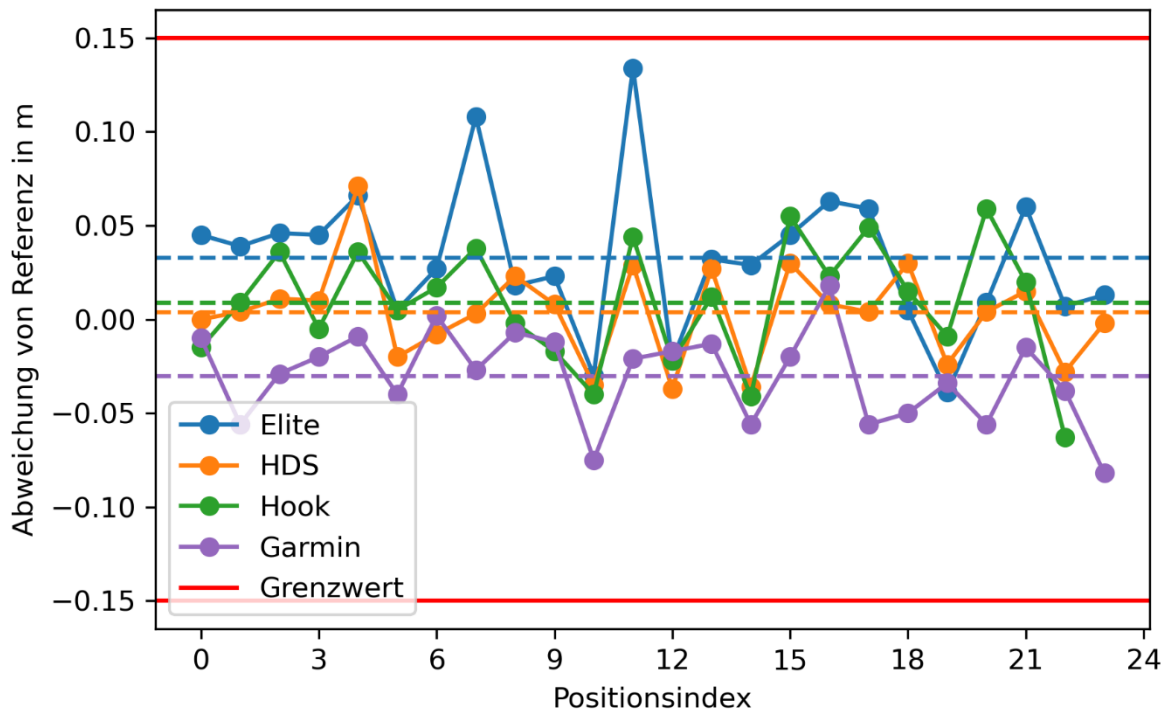


Abbildung 42: Abweichungen der Tiefen der Fischfinder zur Referenz im punktbezogenen Vergleich und deren MA (gestrichelte Linie) am Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)

Allgemein sind die Abweichungen der Echolote zum ADCP am Froschgrundsee sehr gering. Die Abweichungen liegen an allen Positionen innerhalb der Grenzwerte. Das Lowrance Hook Reveal 5 weist bei Punkt 24 einen extremen Ausreißer auf, der in **Tabelle 5** rot hervorgehoben wurde. Da dieser die Berechnungen stark verzerren würde, wird dieser Punkt nicht in die Berechnungen einbezogen. Ähnlich wie am Goldbergsee zeigt das Lowrance HDS die geringste MA und die geringste StdA. Auch hier ist das Garmin im Mittel niedriger als die Vergleichsecholote.

Auffällig ist, dass an einzelnen Positionen, wie beispielsweise an Position 10, sämtliche Echolote gegenüber ihrer MA eine niedrigere Abweichung aufweisen. Während dies durch die zufällige Streuung erklärt werden könnte, ist es jedoch naheliegend, dass die Messung des ADCP an dieser Position nicht korrekt, sondern überhöht ist. Die Annahme, dass das ADCP als Referenz stets die tatsächliche Tiefe wiedergibt, ist daher vermutlich nicht korrekt. Da die tatsächliche Tiefe jedoch nicht bekannt ist, müssen die Messungenauigkeiten des ADCPs hingenommen werden. Die Abweichungen des ADCPs gegenüber der tatsächlichen Tiefe scheinen jedoch gering zu sein. Für eine genauere Betrachtung wäre es dennoch sinnvoll, die Tiefe an den Messstellen mit einer alternativen Methode zu bestimmen.

Messungen am Baggersee Schönbrunn

Die vermessene Fläche am Schönbrunner Baggersee beträgt etwa 20,00 ha. Insgesamt konnten 20 Stellen herausgefiltert werden, an welchen sich die Punktedaten der einzelnen Vermessungsgeräte angleichen (**Abbildung 43**). Dieses Gewässer hat seine größte Tiefe bei knapp

7,00 m wohingegen Goldbergsee und Froschgrundsee ihre tiefsten Stellen bei ca. 4,00 m unter dem Wasserspiegel beim Sommerstauziel zeigen. Bei der Befahrung war bereits erkennbar, dass die Gewässersohle teilweise stark variiert. Dies ist eventuell durch unterschiedliche Abgrabungen und Baggerschürfen erklärbar.



Abbildung 43: Lage der punktbezogenen Vergleiche am Schönbrunner Baggersee (Quelle: eigene Darstellung)

Die Tiefen des punktbezogenen Vergleichs sowie die MA und die StdA gegenüber dem ADCP als Referenz am Schönbrunner Baggersee sind in **Tabelle 6** aufgeführt.

Tabelle 6: Punktbezogene Auswertung Schönbrunner Baggersee (Quelle: eigene Darstellung)

ID	ADCP	HDS	Garmin	Elite	Hook	Deeper
	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN
1	249,995	250,050	249,940	250,210	250,030	250,111
2	250,574	250,720	250,540	250,720	250,770	250,603
3	250,423	250,570	250,380	250,550	250,530	250,467
4	250,667	250,760	250,560	250,740	250,730	250,713
5	250,425	250,590	250,480	250,540	250,530	250,494
6	252,062	252,120	252,130	251,830	252,370	252,465
7	250,399	250,560	250,410	250,570	250,540	250,467
8	250,812	250,920	250,790	250,930	250,900	250,877
9	250,234	250,370	250,150	250,370	250,360	250,275

10	248,641	248,730	248,590	248,830	248,580	249,234
11	251,439	251,480	251,290	251,630	251,500	251,370
12	250,501	250,620	250,450	250,610	250,610	250,521
13	250,395	250,520	250,320	250,480	250,510	250,439
14	250,817	250,930	250,770	250,930	250,900	250,850
15	250,552	250,650	250,750	250,750	250,640	250,631
16	248,914	249,230	248,910	249,260	249,110	249,180
17	248,605	248,270	248,010	248,260	248,250	248,167
18	250,898	251,000	250,870	251,020	251,000	250,905
19	250,131	250,290	250,090	250,280	250,260	250,165
20	249,759	249,890	249,720	249,890	249,830	249,919
MA zu ADCP in m	-	<u>0,101</u>	<u>-0,055</u>	<u>0,108</u>	<u>0,085</u>	<u>0,080</u>
StdA zu ADCP in m	-	<u>0,118</u>	<u>0,146</u>	<u>0,149</u>	<u>0,126</u>	<u>0,195</u>

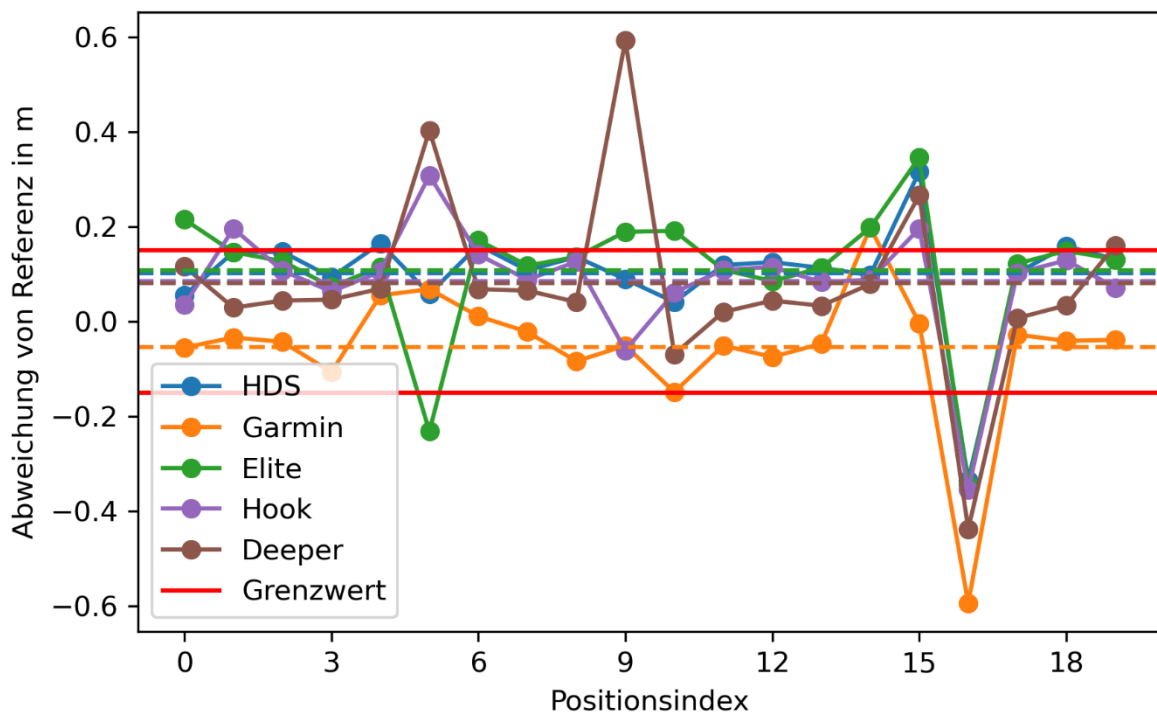


Abbildung 44: Abweichungen der Tiefen der Fischfinder zur Referenz im punktbezogenen Vergleich und deren MA (gestrichelte Linie) am Baggersee Schönbrunn (Quelle: eigene Darstellung)

Bei diesem Gewässer treten insgesamt größere Fehler auf. Jedoch lassen sich ähnliche Beobachtungen treffen wie bei den vorherigen Gewässern. Die MA der Echolote, außer der des Garmin, werden positiv und somit höher als die Sohlhöhenlage der Referenzmessung dargestellt. Bei Position 15 und 16 ist wiederum zu beobachten, dass sämtliche Echolote stark von ihrer MA streuen. Insbesondere bei Position 16 lässt sich dies lediglich durch eine fehlerhafte Messung des ADCPs erklären.

Im Mittel liegen alle Echolote innerhalb der Grenzwerte, jedoch überschreiten die Echolote mehr oder weniger stark an vereinzelt Positionen die Grenzwerte. Das Garmin zeigt hier die geringste MA, das HDS jedoch die geringste StdA.

Da bei diesem Gewässer keine bzw. nur eine geringe Unterwasservegetation vorhanden war, lassen sich die erhöhten Fehler eventuell über ein zu ungenaues GPS-Signal erklären. Zur Reduzierung dieses Fehlers wurde eine externe GPS-Antenne, wenn möglich, genutzt. Jedoch weist auch diese nur eine Positionsgenauigkeit von 3,00 m nach Herstellerangaben auf. Durch die teilweise stark unebene und variierende Gewässersohle ist es möglich, dass sich somit der Fehler wesentlich vergrößern kann. Jedoch muss auch hier erwähnt werden, dass für Abschätzungen zur Verlandung diese Genauigkeit bei regelmäßigen Vermessungen mit gleicher Ausstattung ausreichend sind.

Messungen am Matthäus-Krauss-See

Mit ca. 16,00 ha ist der Matthäus-Krauss-See das kleinste Gewässer, welches mit allen Sensoren vermessen wurde. Insgesamt konnten 22 Stellen identifiziert werden, an welchen sich die Messpunkte der sechs Sensoren angleichen (**Abbildung 45**). Bei der Vermessung wurde deutlich, dass der nordwestliche Teil bis zur Engstelle relativ eben ist, jedoch der südöstliche Teil stärkere Unebenheiten aufweist. Weiterhin ist dieses Gewässer mit einer maximalen Tiefe von ca. 3,00 m vergleichsweise flach. Einzig beim Zulauf im südöstlichen Teil im östlichen Bereich erreicht das Gewässer eine Tiefe von knapp 5,00 m. Zu erwähnen ist außerdem, dass der Wasserspiegel im Gewässer stark vom Wasserspiegel des Mains abhängig ist.



Abbildung 45: Lage der punktbezogenen Vergleiche am Matthäus-Krauss-See (Quelle: eigene Darstellung)

Der Vergleich der Punkte sowie die MA und die StdA sind in **Tabelle 7** dargestellt. Die Abweichungen sowie die MA und die Grenzwerte sind außerdem in **Abbildung 46** abgebildet

Tabelle 7: Punktbezogene Auswertung Matthäus-Krauss-See (Quelle: eigene Darstellung)

ID	ADCP	HDS	Garmin	Elite	Hook	Deeper
	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN	m ü. NHN
1	254,036	254,180	253,810	254,130	254,130	253,866
2	253,987	254,070	253,740	254,070	254,070	254,002
3	254,459	254,470	254,210	254,560	254,500	254,331
4	254,196	254,250	253,910	254,270	254,240	254,112
5	254,210	254,280	253,930	254,300	254,260	254,222
6	254,128	254,240	253,850	254,190	254,190	254,085
7	254,051	254,170	253,800	254,110	254,140	253,975
8	254,147	254,230	253,850	254,210	254,200	254,085
9	254,170	254,250	253,910	254,230	254,250	254,139
10	254,516	254,550	254,210	254,540	254,550	254,523
11	254,479	254,590	254,240	254,540	254,590	254,577
12	254,955	255,000	254,550	255,100	254,880	254,988
13	254,906	254,960	254,650	254,960	254,960	254,906
14	255,239	255,330	255,020	255,340	255,330	255,262
15	254,059	254,160	253,780	254,120	254,140	254,057
16	254,143	254,190	253,900	254,220	254,180	254,167

17	254,603	254,690	254,370	254,690	254,680	254,605
18	255,553	255,670	255,300	255,560	255,620	255,399
19	255,180	255,300	254,970	255,270	255,270	255,152
20	255,059	254,950	254,810	255,140	254,890	254,906
21	255,207	255,200	255,230	255,280	255,150	255,426
22	254,953	255,030	254,730	255,020	255,030	254,988
MA zu ADCP in m	-	<u>0,069</u>	<u>-0,248</u>	<u>0,073</u>	<u>0,046</u>	<u>-0,021</u>
StdA zu ADCP in m	-	<u>0,055</u>	<u>0,073</u>	<u>0,028</u>	<u>0,066</u>	<u>0,088</u>

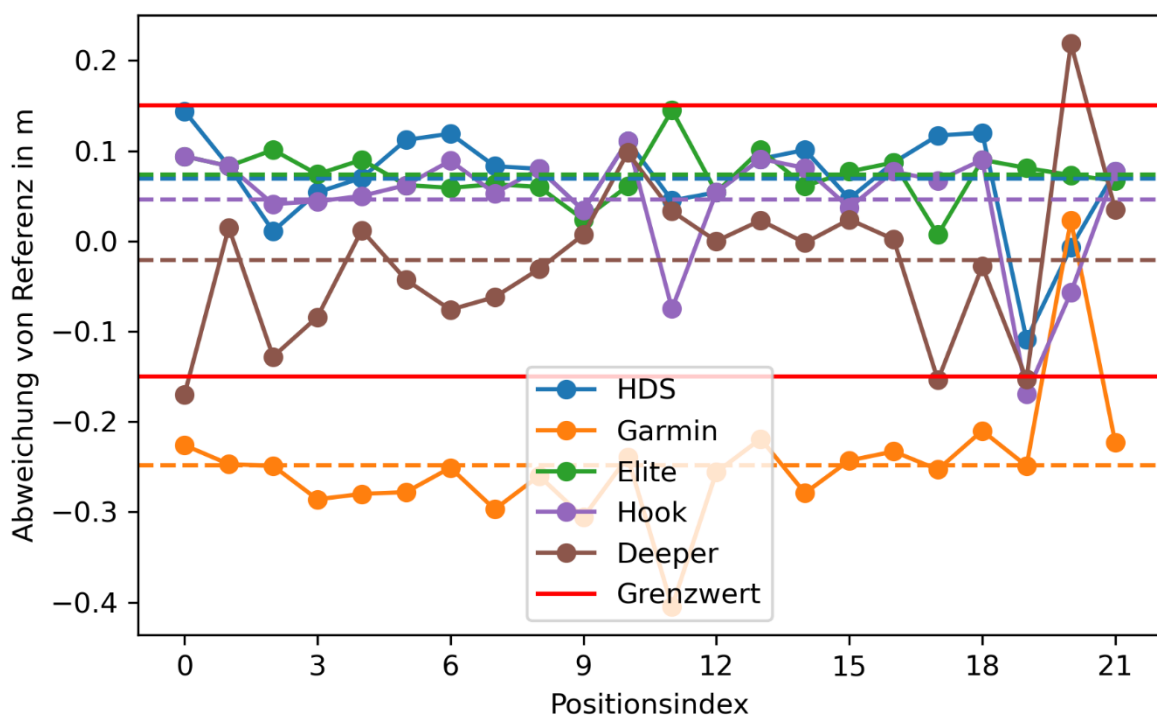


Abbildung 46: Abweichungen der Tiefen der Fischfinder zur Referenz im punktbezogenen Vergleich und deren MA (gestrichelte Linie) am Matthäus-Kraus-See (Quelle: eigene Darstellung)

Auch am Matthäus-Kraus-See wiederholen sich größtenteils die Beobachtungen, die sich aus den Abweichungen schließen lassen. Abgesehen vom Garmin und Deeper liegen die Abweichungen der Echolote innerhalb der Grenzwerte. Das Garmin zeigt im Vergleich zu den Messungen bei den anderen Gewässern am Matthäus-Kraus-See bei ähnlicher Streuung eine deutlich zu niedrige MA. Dies könnte durch menschliches Versagen erklärt werden. Es ist möglich, dass der Abstand des Wandlers zur Wasseroberfläche falsch gemessen wurde sich die Lage des Wasserspiegels verändert hat und somit die gemessene Wasserspiegellage inkorrekt ist.

Auffällig ist am Matthäus-Kraus-See außerdem, dass das Elite und das Hook etwas geringere MA oder geringere StdA als das HDS aufweisen. Das HDS generiert somit nicht unbedingt an jedem Gewässer die Tiefendaten mit den niedrigsten Abweichungen.

Messungen am Ehemaligen Steinbruch bei Gefrees

Bei der Vermessung des Steinbruchs traten mehrere Probleme auf. Zum einen konnten keine Referenzmessungen mit dem ADCP durchgeführt werden, da dessen maximale Tiefe 6,00 m beträgt. Das Gewässer konnte nur maximal 2-mal befahren werden, weshalb ausschließlich Ergebnisse mit den drei Lowrance-Echoloten verglichen wurden. Zudem war durch die Umgebung die Qualität des GPS-Signals beeinträchtigt. Typisch für einen Steinbruch ist das Gewässer von hohen Steilhängen umgeben, wodurch störende Dämpfungen und Reflexionen des GPS-Signals auftreten können. So ist in **Abbildung 47** teilweise zu erkennen, dass die eingefügten Punkte in ihrer gemessenen Lage an Land dargestellt werden. Vor allem das Lowrance Hook Reveal 5, welches mit den braunen Punkten dargestellt wird, hatte ohne externe GPS-Antenne Messschwierigkeiten. Schon während der Befahrung waren immer wieder kurzzeitig deutlich Lagesprünge von mehreren Metern am Kartenplotter sichtbar. Auch bei der externen GPS-Antenne führten die Steilklippen zu Problemen in der Positionsbestimmung. Zu erwähnen bleibt weiterhin, dass auch hochwertigere GPS-Systeme, wie das Leica iCG70 in diesem Bereich versagt haben, weshalb diese Ergebnisse wenig aussagekräftig sind. Vielmehr müsste bei derartigen Ortsverhältnissen eine tachymetrische Lagebestimmung des Echolotsensors erfolgen. Die Lagekoordinaten könnten anschließend durch einen Zeitstempel mit den Tiefenmessungen durch das Echolot in Verbindung gebracht werden. Eine Vermessung bei Gewässern mit schlechten GPS-Signal ist somit mit einem einfachen Fischfinder nicht sinnvoll. Es ist jedoch davon auszugehen, dass nicht nur die Fischfinder, sondern auch andere GPS-basierte Messsysteme unter diesen Bedingungen nur Ergebnisse mit eingeschränkter Qualität liefern.

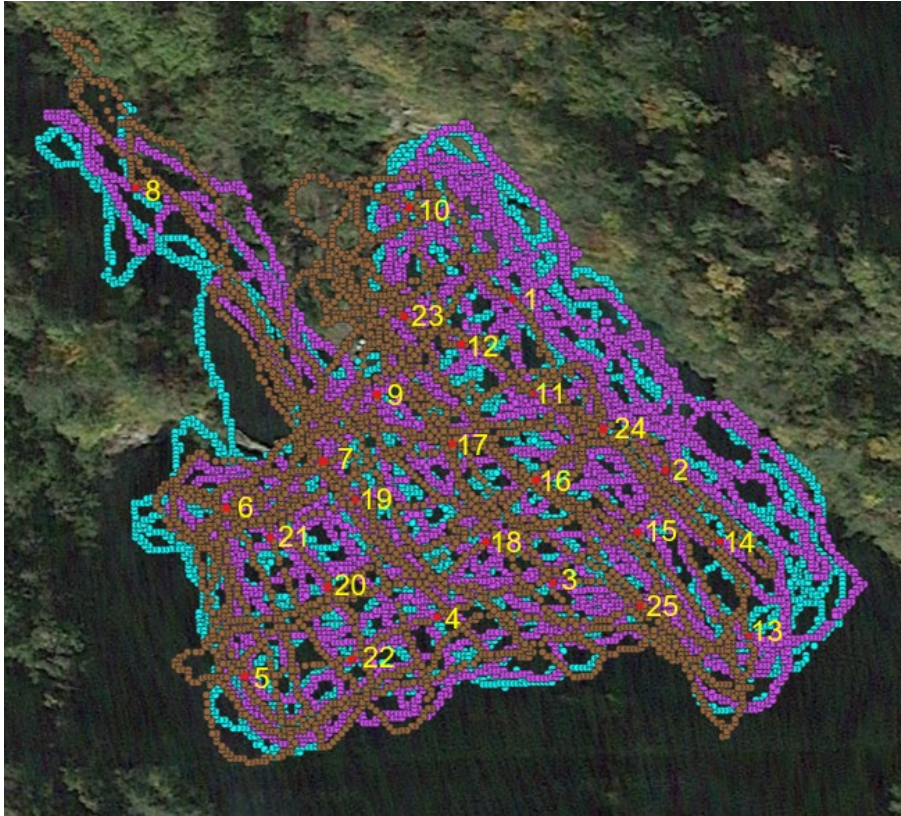


Abbildung 47: Lage der punktbezogenen Vergleiche am Steinbruch bei Gefrees (Quelle: eigene Darstellung)

Trotz der wenig aussagekräftigen Lagebestimmung wurden einzelne Punkte, welche nahe beieinander liegen, verglichen. Da es jedoch auch keine Referenzmessung mit dem ADCP gibt, werden die Ergebnisse der Echolote miteinander verglichen (vgl. **Tabelle 8**). Dabei sind im linken Bereich die Einzelhöhen der jeweiligen Punkte und in der rechten Tabellenhälfte die Fehler zueinander dargestellt. Alle Fehler, welche größer als 1,00 m sind, sind zusätzlich rot markiert. Wie daraus bereits hervorgeht, weichen alle drei Messung teilweise stark voneinander ab, wobei sich das Lowrance HDS und das Lowrance Elite (beide mit externer GPS-Antenne) wesentlich stärker ähneln als die Vergleiche mit dem Lowrance Hook Reveal 5. Bei genauerer Betrachtung der Einzelpunkte und der Fehler des Vergleichs zwischen HDS und Elite wird ersichtlich, dass die extremen Abweichungen vor allem in den Randbereichen auftreten.

Tabelle 8: Vergleich der punktbezogenen Abweichungen am Steinbruch bei Gefrees (Quelle: eigene Darstellung)

ID	Tiefen HDS in m	Tiefen Elite in m	Tiefen Hook in m	Vergleich HDS zu Elite in m	Vergleich HDS zu Hook in m	Vergleich Elite zu Hook in m
1	15,99	18,37	8,05	-2,38	7,94	10,32
2	16,07	20,28	14,59	-4,21	1,48	5,69
3	9,09	14,29	16,16	-5,20	-7,07	-1,87
4	9,39	9,25	9,53	0,14	-0,14	-0,28

5	7,28	6,81	7,62	0,47	-0,34	-0,81
6	7,49	9,29	12,56	-1,80	-5,07	-3,27
7	5,36	5,00	5,47	0,36	-0,11	-0,47
8	4,28	4,22	2,99	0,06	1,29	1,23
9	3,10	3,61	13,25	-0,51	-10,15	-9,64
10	7,83	9,56	9,58	-1,73	-1,75	-0,02
11	19,58	19,07	10,05	0,51	9,53	9,02
12	14,35	13,69	20,00	0,66	-5,65	-6,31
13	8,11	8,08	6,97	0,03	1,14	1,11
14	14,04	15,25	14,28	-1,21	-0,24	0,97
15	15,01	18,45	9,82	-3,44	5,19	8,63
16	15,91	16,90	20,29	-0,99	-4,38	-3,39
17	8,09	12,08	20,96	-3,99	-12,87	-8,88
18	13,01	13,48	11,53	-0,47	1,48	1,95
19	2,90	3,69	2,63	-0,79	0,27	1,06
20	3,38	3,07	2,66	0,31	0,72	0,41
21	8,03	7,52	8,36	0,51	-0,33	-0,84
22	4,32	5,27	5,15	-0,95	-0,83	0,12
23	13,47	7,86	12,89	5,61	0,58	-5,03
24	21,72	21,05	18,79	0,67	2,93	2,26
25	13,43	12,04	18,73	1,39	-5,30	-6,69
MA in m				<u>-0,68</u>	<u>-0,87</u>	<u>-0,19</u>
StdA in m				<u>2,12</u>	<u>4,93</u>	<u>4,97</u>

Bei dieser Auswertung ist davon auszugehen, dass die extremen Abweichungen nicht durch falsche Tiefenmessungen, sondern vielmehr durch die Verschiebung der Lagen zueinander entstehen. Jedoch gibt es auch teilweise hinnehmbare Ergebnisse, welche Erkenntnisse über die Gewässersohle und -tiefe liefern.

4.3.3 Flächenbezogene Auswertung

Parallel zur punktbezogenen Auswertung wurde eine flächenbezogene Auswertung für jedes Gewässer durchgeführt. Dabei werden die Vermessungspunkte zu einem digitalen Geländemodell zusammengeführt und durch eine Linie am Gewässerrand begrenzt. Anschließend werden die Modelle miteinander verschnitten und daraus Volumina errechnet. Diese Volumina werden anschließend mit den verschnittenen Flächen dividiert, um eine mittlere Abweichung über die gesamte Fläche zu generieren. Zu beachten ist bei dieser Methode, dass vor allem die großen Gewässer Lücken im Vermessungsnetz aufweisen und somit die Berechnungen der Volumina Fehler aufweisen können. Ein weiterer Schritt ist es, zu große Flächen ohne

jegliche Messpunkte aus den Geländemodellen zu entfernen und anschließend zu verschneiden. Die Erstellung und Auswertung der digitalen Geländemodelle erfolgt in der Software Civil 3D 2023 der Firma Autodesk.

Als Referenzmessung wird, wie auch bei der punktbezogenen Auswertung, die Messungen des ADCP herangezogen. Da durch die punktuelle Auswertung bereits deutlich wird, dass einige Messwerte extreme Abweichungen aufweisen, werden als weiterer Schritt die Tiefen der Geländemodelle begrenzt. Durch die vorhandenen Bestandsvermessungen des Goldberg- und Froschgrundsees ist bekannt, welche Tiefen das Gewässer annähernd besitzt. Zur Sicherheit vor beispielsweise Kolke im Wasserlauf wurde eine Toleranz zur Bestandsvermessung von 1,00 m hinzugefügt. Weiterhin konnten die Tiefen durch die häufigen Begehungen der Gewässer mit den Echoloten gut eingeschätzt werden. Zur Verdeutlichung des Problems werden nachfolgend alle Varianten analysiert.

Messungen am Goldbergsee

Für den Goldbergsee wurden insgesamt sechs Geländemodelle überlagert und verschnitten. Die Begrenzungslinie erfolgt aus den Luftbildern und ist für jedes Geländemodell gleich dargestellt. Zur Erstellung nachfolgender Tiefenkarten wird die Begrenzungslinie um 0,50 m unter dem Wasserspiegel versetzt und in das DGM integriert.

Durch die Verschneidung der Modelle kann anschließend im Programm ein Mengenbericht erstellt werden, in welchen der Name, die verschnittene Fläche, Auf- und Abtrag sowie die Differenz davon dargestellt werden. In **Tabelle 9** sind die ermittelten Werte und daraus berechnete Fehler der unbearbeiteten und in **Tabelle 10** der bearbeiteten Geländemodelle dargestellt. Abtrag bedeutet hierbei, dass sich das Geländemodell des jeweiligen Echolots unterhalb des Geländemodells der Referenzmessung befindet. In der Spalte Auftrag ist die Situation umgekehrt. Aus diesen beiden Werten werden sowohl Differenz als auch eine Summe gebildet. Durch diese beiden Werte können jeweils flächenbezogenen Fehler berechnet werden, wobei die Abweichung im Bezug zur Differenz immer kleiner oder gleich der Abweichung im Bezug zur Summe ist, weshalb für diese Auswertung die mittlere absolute Abweichung im Bezug zur Summe bedeutender ist.

Bei genauerer Betrachtung der Spalte „Abtrag“ in der **Tabelle 9** wird deutlich, dass die Werte bei den Echoloten Lowrance HDS und Hook Reveal und dem Deeper Smart Sonar Pro + extrem hoch sind. Zwar sind alle Massen relativ groß, was jedoch mit der Größe des Gewässers, der Interpolation des lückenhaften Messnetzes und den teilweise versetzten Vermessungspunkten begründet werden kann. Zur Vereinfachung der genannten Problematik ist in **Abbildung 48** ein Beispielquerschnitt dargestellt. Dabei werden zwei Querschnitte (blau und braun) an der gleichen Lage miteinander verglichen und Tiefen sowie Flächen gezeigt. Hierbei ist

deutlich, dass schon gering zueinander versetzte, zu wenige oder auch weit zueinander entfernte Messpunkte große Auswirkungen auf die Mengenermittlung der Volumina haben können. So sind an diesem Beispiel mit geringen Höhenabweichungen bereits 10,0 m² Flächenunterschied errechnet. Jedoch sind die vorgenannten Werte besonders auffällig. Durch genauere Betrachtung des Geländemodells und der Punktdaten wurde festgestellt, dass bei diesen Geräten extreme Tiefenfehler aufgezeichnet wurden.

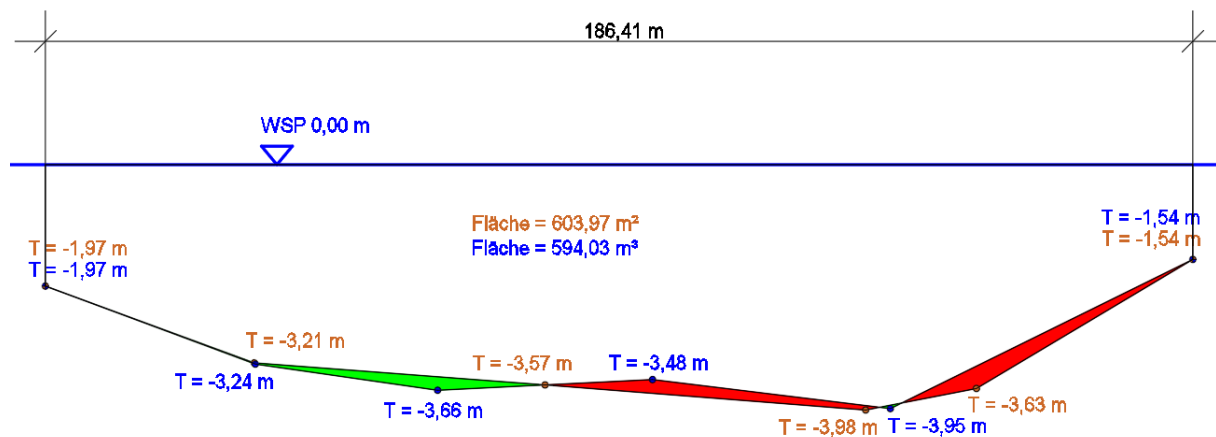


Abbildung 48: Beispiel Querschnitt (Quelle: eigene Darstellung)

Da es sich dabei um eindeutige Abweichungen handelt, wurden diese entfernt. Durch einen Befehl, welcher bei den Geländemodellen Punkte ab einer bestimmten Tiefe und niedrigere ausschließt, konnte dies einfach umgesetzt werden. So wird bei Betrachtung der Einzelwerte in **Tabelle 10** erkennbar, dass sich die Massen des Abtrags deutlich und somit folgend auch die Abweichungen verringert haben. Dadurch ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der punktbezogenen Auswertung des Goldbergsees. Die ermittelten Abweichungen sind zwar deutlich erhöht, jedoch ist dies auf die zu großen Interpolationen und versetzten Vermessungsbahnen zurückzuführen.

Tabelle 9: Berechnung des flächenbezogenen Fehlers mit unbearbeiteten Geländemodellen am Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)

Name	Fläche in m ²	Abtrag in m ³	Auftrag in m ³	Differenz in m ³	Mittlere Abwei- chung auf die Fläche be- zogen in m	Summe in m ³	Mittlere absolute Abwei- chung auf die Fläche bezogen in m
Garmin	303.783,91	51.289,32	18.810,79	32.478,53	0,107	70.100,11	0,231
Elite	303.783,91	34.941,43	30.310,11	4.631,32	0,015	65.251,54	0,215
HDS	303.783,91	176.195,42	19.288,93	156.906,49	0,517	195.484,35	0,643
Hook	303.783,91	261.421,90	43.542,80	217.879,10	0,717	304.964,70	1,004
Deeper	303.783,91	821.661,53	21.299,67	800.361,86	2,635	842.961,20	2,775

Tabelle 10: Berechnung des flächenbezogenen Fehlers mit bearbeiteten Geländemodellen am Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)

Name	Fläche in m ²	Abtrag in m ³	Auftrag in m ³	Differenz in m ³	Mittlere Abwei- chung auf die Fläche be- zogen in m	Summe in m ³	Mittlere absolute Abwei- chung auf die Fläche bezogen in m
Garmin	303.783,91	51.289,32	18.810,79	32.478,53	0,107	70.100,11	0,231
Elite	303.783,91	34.941,43	30.310,11	4.631,32	0,015	65.251,54	0,215
HDS	303.783,91	39.283,37	19.645,31	19.638,06	0,065	58.928,68	0,194
Hook	303.783,91	37.360,49	43.542,80	-6.182,31	-0,020	80.903,29	0,266
Deeper	303.783,91	281.824,22	28.449,51	253.374,71	0,834	310.273,73	1,021

Messungen am Froschgrundsee

Die Vorgehensweise am Froschgrundsee ist gleich wie am Goldbergsee, jedoch sind es hier insgesamt nur fünf Geländemodelle, da die Daten vom Deeper Smart Sonar Pro+ keine Lagekoordinaten aufweisen und somit nicht verwertbar sind. Weiterhin war es nicht möglich, das gesamte Gewässer mit dem Boot zu befahren, da es Flachwasserbereiche gibt. Dadurch fehlt, wie in **Abbildung 41** zu erkennen ist, der nördliche Teil ab etwa der Querung durch die Stromtrasse. Die Begrenzungslinie der digitalen Geländemodelle wird deshalb im nördlichen Bereich entlang der äußersten Punktaufnahmen gezogen.

Bei Betrachtung der **Tabelle 11** und der Spalte „Abtrag“, wird auch hier wieder deutlich, dass die Vermessung mit dem Lowrance HDS und Hook Reveal extreme Tiefenfehler aufweist. Dadurch folgt schlussendlich auch eine hohe absolute Abweichung. Jedoch ist durch das Garmin und das Lowrance Elite erkennbar, dass die Ergebnisse am Froschgrundsee wesentlich besser ausfallen als beim Goldbergsee. Die absoluten Abweichungen der beiden genannten Geräte liegen hierbei im mittleren einstelligen Zentimeterbereich. Da die Tiefenfehler der beiden anderen Echolote abermals klar erkennbar sind, werden auch hier die digitalen Geländemodelle in ihrer Tiefe begrenzt, sodass sich die Ergebnisse aus **Tabelle 12** wiedergeben.

Sowohl mit dem Garmin als auch mit dem Lowrance Elite ändert sich nichts, wodurch deutlich wird, dass hier keine eindeutigen Tiefenfehler auftreten, wohingegen sich bei den beiden anderen Lowrance Echoloten die Ergebnisse stark positiv entwickeln. Durch die Tiefenbegrenzung weisen diese beiden Geräte sogar geringere absolute Abweichungen auf als das Garmin und Lowrance Elite.

Im Vergleich zu den Vermessungen am Goldbergsee zeigen die Vermessungen am Froschgrundsee wesentlich geringere Abweichungen und somit deutlich bessere Ergebnisse auf. Die absoluten Abweichungen sind ca. um den Faktor vier gesunken und befinden sich somit weit unter dem Grenzwert der IHO. Die erhöhten Abweichungen am Goldbergsee sind vor allem im vorderen Bereich auf die zeitweise extreme Unterwasservegetation zurückzuführen.

Tabelle 11: Berechnung des flächenbezogenen Fehlers mit unbearbeiteten Geländemodellen am Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)

Name	Fläche in m ²	Abtrag in m ³	Auftrag in m ³	Differenz in m ³	Mittlere Abwei- chung auf die Fläche be- zogen in m	Summe in m ³	Mittlere absolute Abwei- chung auf die Fläche bezogen in m
Garmin	122.802,26	5.220,89	3.274,97	1.945,92	0,016	8.495,86	0,069
Elite	134.055,88	2.697,77	6.159,50	-3.461,73	-0,026	8.857,27	0,066
HDS	134.055,88	1.158.863,96	2.711,24	1.156.152,72	8,624	1.161.575,20	8,665
Hook	134.055,88	2.696.563,49	3.116,67	2.693.446,82	20,092	2.699.680,16	20,138

Tabelle 12: Berechnung des flächenbezogenen Fehlers mit bearbeiteten Geländemodellen am Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)

Name	Fläche in m ²	Abtrag in m ³	Auftrag in m ³	Differenz in m ³	Mittlere Abwei- chung auf die Fläche be- zogen in m	Summe in m ³	Mittlere absolute Abwei- chung auf die Fläche bezogen in m
Garmin	122.802,26	5.220,89	3.274,97	1.945,92	0,016	8.495,86	0,069
Elite	134.055,88	2.697,77	6.159,50	-3.461,73	-0,026	8.857,27	0,066
HDS	134.055,88	3.510,70	2.819,33	691,37	0,005	6.330,03	0,047
Hook	134.055,88	3.437,55	3.520,45	-82,90	-0,001	6.958,00	0,052

Messungen am Baggersee Schönbrunn

Für den Baggersee in Schönbrunn konnten digitale Geländemodelle für alle Sensoren erstellt werden. Nicht berücksichtigt wird dabei der Streifen im südlichen Teil, welcher schon einen Biotopcharakter aufweist und daher nicht vermessen werden konnte. Ähnlich der punktbezogenen Auswertung zeigt auch die flächenbezogene Auswertung eine erhöhte Abweichung im Vergleich zum Froschgrundsee (vgl. **Tabelle 13**). Der Unterschied zu den beiden vorherigen Auswertungen besteht jedoch darin, dass keine außergewöhnlichen Tiefenfehler auftreten, weshalb es schwierig ist, Abweichungen auszudünnen. Ein weiterer Unterschied, welcher beachtet werden muss, ist die Tiefe dieses Gewässers. Bei Tiefen von bis zu 7,00 m unter dem Wasserspiegel ist dieser See wesentlich tiefer als der Goldberg- und Froschgrundsee. Bei dieser Tiefe kann das ADCP nicht eingesetzt werden. Das ADCP wurde trotzdem genutzt, da vor der Vermessung die Tiefe des Gewässers nicht bekannt war und weil nur ein kleiner Teil der Gewässersohle tiefer als 6,00 m ist, wird die Vermessung mit einbezogen. Diese Problematik wurde in **Tabelle 14** berücksichtigt. Dabei wurden bei allen digitalen Geländemodellen die Bereiche, welche tiefer als 6,00 m liegen, entfernt bzw. ausgeschlossen.

Diese Methodik brachte in Hinsicht auf die Abweichungen jedoch keinen Mehrwert. Bei den Lowrance Echoloten erhöhte sich die Abweichung dabei im Millimeterbereich. Dies kann ausschließlich auf die verkleinerte Vermessungsfläche und nur geringen Abweichungen im ausgeschlossenen Bereich zurückgeführt werden. Im Allgemeinen können die erhöhten Abweichungen bei diesem Gewässer auf die stark variierende Gewässersohle in Verbindung mit einer zu schlechten Lagebestimmung erklärt werden. Ein zusätzlicher Aspekt ist das Vermessungsnetz, welches bei jeder Vermessung unterschiedlich ist. Bei den Vermessungen wurde versucht, ein wiederkehrendes Raster zu vermessen, jedoch können große Unebenheiten auf der Gewässersohle und geringe Abweichungen im Vermessungsraster Folgen für die Mas-senermittlung ergeben, ähnlich, wie dies bereits in **Abbildung 48** dargestellt ist.

Tabelle 13: Berechnung des flächenbezogenen Fehlers mit unbearbeiteten Geländemodellen am Schönbrunner Baggersee (Quelle: eigene Darstellung)

Name	Fläche in m ²	Abtrag in m ³	Auftrag in m ³	Differenz in m ³	Mittlere Abwei- chung auf die Fläche be- zogen in m	Summe in m ³	Mittlere absolute Abwei- chung auf die Fläche bezogen in m
Garmin	221.709,33	48.454,18	20.291,07	28163,11	0,127	68.745,25	0,310
Elite	221.709,33	34.393,13	35.604,09	-1210,96	-0,005	69.997,22	0,316
HDS	221.709,33	24.113,38	31.696,09	-7582,71	-0,034	55.809,47	0,252
Hook	221.709,33	29.649,93	28.262,45	1387,48	0,006	57.912,38	0,261
Deeper	221.709,33	36.731,40	32.923,43	3807,97	0,017	69.654,83	0,314

Tabelle 14: Berechnung des flächenbezogenen Fehlers mit Ausgrenzung von Tiefen > 6,00 m am Schönbrunner Baggersee (Quelle: eigene Darstellung)

Name	Fläche in m ²	Abtrag in m ³	Auftrag in m ³	Differenz in m ³	Mittlere Abwei- chung auf die Fläche be- zogen in m	Summe in m ³	Mittlere absolute Abwei- chung auf die Fläche bezogen in m
Garmin	208.406,14	43.317,81	19.907,83	23409,98	0,112	63.225,64	0,303
Elite	210.578,30	32.818,67	34.332,46	-1513,79	-0,007	67.151,13	0,319
HDS	211.396,84	22.904,22	30.888,76	-7984,54	-0,038	53.792,98	0,254
Hook	210.254,73	27.084,72	27.505,82	-421,10	-0,002	54.590,54	0,260
Deeper	209.656,49	33.654,64	32.239,65	1414,99	0,007	65.894,29	0,314

Messungen am Matthäus-Krauss-See

Für den Matthäus-Krauss-See lieferten ebenfalls alle Sensoren verwertbare Daten. Nach der Verschneidung mit dem digitalen Geländemodell des ADCP ergeben sich die Massen nach **Tabelle 15**. Dadurch ergibt sich eine vermessene Fläche von ca. 140.000,00 m². Für den Deeper und das Garmin ergeben sich nach dieser Auswertung erhöhte Fehler, welche sich über den Grenzwert der IHO befinden. Zur Fehlerminimierung wurden auch hier die digitalen Geländemodelle der Echolote in ihrer Tiefe begrenzt. Als Referenz wurde der tiefste Punkt der ADCP-Vermessung plus 1,00 m gewählt. Zu Änderungen führte dies ausschließlich im digitalen Geländemodell des Deeper Smart Sonar Pro+ (vgl. **Tabelle 16**).

Alle Fehler, bis auf die des Garmin GPSMAP, sind im Toleranzbereich der IHO. Dieser erhöhte Fehler kann, wie bereits bei der punktbezogenen Auswertung erwähnt, auf menschliches Versagen oder einen geänderten Wasserspiegel zurückgeführt werden.

Tabelle 15: Berechnung der flächenbezogenen Abweichung mit unbearbeiteten Geländemodellen am Matthäus-Krauss-See (Quelle: eigene Darstellung)

Name	Fläche in m ²	Abtrag in m ³	Auftrag in m ³	Differenz in m ³	Mittlere Abwei- chung auf die Fläche in m	Summe in m ³	Mittlere absolute Abwei- chung auf die Fläche in m
Garmin	140996,99	37916,13	841,22	37074,91	0,263	38757,35	0,275
Elite	140996,99	2100,26	8773,63	-6673,37	-0,047	10873,89	0,077
HDS	140996,99	6764,97	12046,37	-5281,40	-0,037	18811,34	0,133
Hook	140996,99	7683,09	10221,02	-2537,93	-0,018	17904,11	0,127
Deeper	140996,99	74535,10	3424,78	71110,32	0,504	77959,88	0,553

Tabelle 16: Berechnung der flächenbezogenen Abweichung mit bearbeiteten Geländemodellen am Matthäus-Krauss-See (Quelle: eigene Darstellung)

Name	Fläche in m ²	Abtrag in m ³	Auftrag in m ³	Differenz in m ³	Mittlere Abwei- chung auf die Fläche in m	Summe in m ³	Mittlere absolute Abwei- chung auf die Fläche in m
Garmin	140996,99	37916,13	841,22	37074,91	0,263	38757,35	0,275
Elite	140996,99	2100,26	8773,63	-6673,37	-0,047	10873,89	0,077
HDS	140996,99	6764,97	12046,37	-5281,40	-0,037	18811,34	0,133
Hook	140996,99	7683,09	10221,02	-2537,93	-0,018	17904,11	0,127
Deeper	140996,99	13336,80	6637,99	6698,81	0,048	19974,79	0,142

Messungen am Ehemaligen Steinbruch bei Gefrees

Durch die teilweise extremen Lageverschiebungen zueinander und aufgrund der nicht vorhandenen Referenzmessung werden die Vermessungen am ehemaligen Steinbruch bei Gefrees nicht berücksichtigt. Es kann jedoch festgehalten werden, dass nicht die Tiefenmessungen, sondern vielmehr die Lagebestimmungen und die extremen Unebenheiten der Gewässersohle Probleme darstellen. Zum Vergleich werden in **Tabelle 17** die maximalen Tiefen der Vermessungen miteinander verglichen. Diese weichen bis zu 1,59 m voneinander ab, jedoch sind auf der Gewässersohle Steinquader vorhanden, wodurch schon bei kleinsten Unterschieden im Vermessungsnetz bzw. bei der Befahrung große Tiefenunterschiede folgen können. Die maximal geschätzte Tiefe durch den Tauchverein lag bei ca. 26,00 m.

Tabelle 17: Maximalen Tiefen am ehemaligen Steinbruch bei Gefrees (Quelle: eigene Darstellung)

Name	Max. Tiefe
Lowrance Elite FS 9	-24,270 m
Lowrance HDS 16 LIVE	-25,060 m
Lowrance Hook Reveal 5	-23,470 m

4.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und kritische Betrachtung der Messverfahren

Insgesamt wurden fünf Gewässer mit den Sensoren befahren, wobei der ehemalige Steinbruch bei Gefrees wegen fehlender Referenzmessungen bei der Auswertung nicht berücksichtigt wird. Dieser war ausschließlich dafür gedacht, große Tiefen (mehr als 20,00 m) zu messen und Ergebnisse zu prüfen. Diese Tiefen konnten ohne Probleme mit den drei Lowrance Echoloten gemessen werden. Die Hauptproblematik in diesem Fall waren die ungenauen Lagebestimmungen und die extremen Unebenheiten der Gewässersohle. Die Lagebestimmungen wurden vor allem durch die steilen Steinklippen mit einer Höhe von bis zu 20,00 m beeinflusst.

Die Vermessungen am Goldbergsee, Froschgrundsee, Schönbrunner Baggersee und Matthäus-Krauss-See konnten ohne größere Probleme ausgewertet werden. Die Ergebnisse für die punktbezogene Auswertung sind in **Tabelle 18** und in **Tabelle 19** dargestellt.

Um eine Aussage über die Präzision und Genauigkeit der Echolote bei den unterschiedlichen Gewässern gewinnen zu können, werden diese im Vergleich betrachtet. Die MA sind in **Tabelle 18** aufgeführt und werden in **Abbildung 49** grafisch veranschaulicht. Die dargestellten Daten entsprechen dabei den zuvor in **Tabelle 4**, **Tabelle 5**, **Tabelle 6** und **Tabelle 7** berechneten Werten. Ebenso ist auch die StdA in **Abbildung 50** grafisch veranschaulicht. Die im

Deeper am Goldbergsee stark überhöhte Abweichung wird aus Darstellungsgründen in beiden grafischen Abbildungen abgeschnitten.

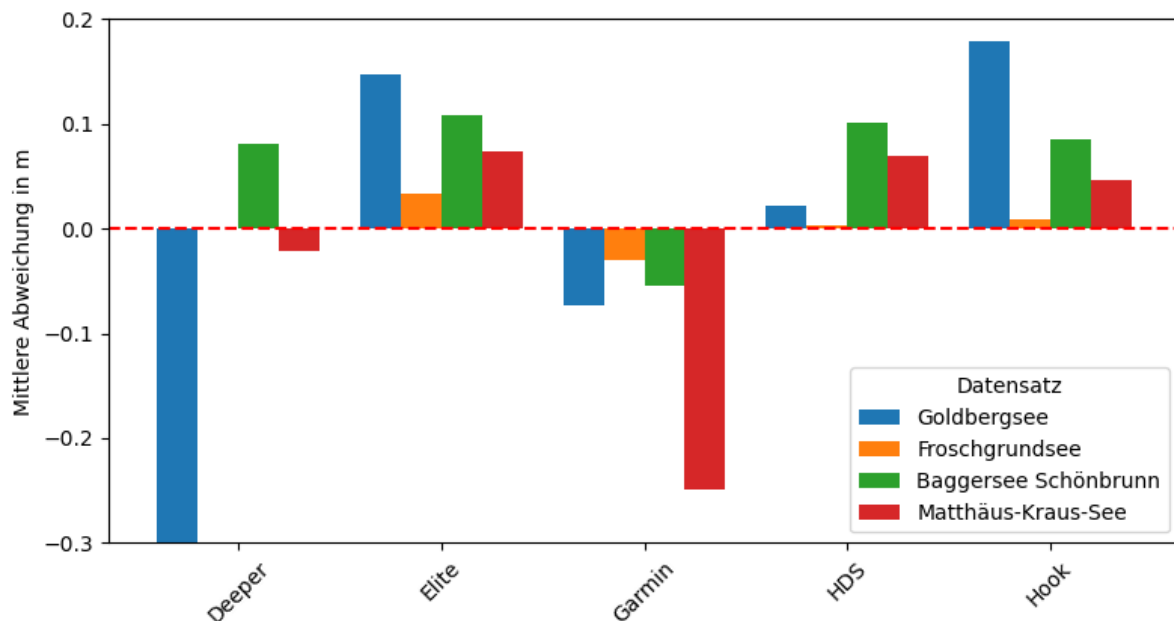


Abbildung 49: Mittlere Abweichungen der Tiefenmessungen im Vergleich der Echolote und der Gewässer (Quelle: eigene Darstellung)

Aus dem Säulendiagramm mit den dargestellten systematischen Abweichungen lassen sich verschiedene Aussagen ableiten.

Es fällt auf, dass das Garmin über alle Gewässer hinweg die Tiefe im Mittel tiefer bestimmt als die Referenztiefe. Die Lowrance-Geräte zeigt hingegen meist eine überhöhte mittlere Abweichung, insbesondere bei den Messungen am Froschgrundsee. Der Unterschied lässt sich vermutlich durch Unterschiede in der Signalverarbeitung der Lowrance-Geräte gegenüber dem Garmin-Gerät erklären. Die Lowrance-Geräte verwenden vermutlich die gleiche Signalverarbeitung, um die Tiefe aus dem Reflexionssignal zu bestimmen, das Garmin verwendet eine andere Methode zur Bestimmung der Tiefe. Abgesehen vom Vorzeichen sind die Garmin- und Lowrance-Geräte hinsichtlich ihrer mittleren Abweichung jedoch ähnlich. Basierend auf den Datensätzen aus den vier Gewässern zeigt das HDS insgesamt die geringste mittlere Abweichung und scheint am präzisesten zu sein. Aufgrund der kleinen Stichprobe wären zur gesicherten Bestätigung dieser Beobachtung weitere Datensätze sinnvoll. Es ist im Vergleich der Lowrance-Geräte zueinander außerdem möglich, dass die Genauigkeitsunterschiede nicht durch die Echolote selbst, sondern durch die zugehörigen unterschiedlichen Geber hervorgerufen werden. Für das Deeper sind nur zwei gültige Datenpunkte vorhanden. Daher lässt sich keine fundierte Aussage zu dessen Präzision treffen. Die beiden gültigen Datensätze zeigen jedoch eine vergleichsweise geringe mittlere Abweichung und lassen eine hohe Präzision des Deepers vermuten.

Bei Vergleich der Gewässer ist erkennbar, dass die Abweichungen bei allen fünf genutzten Echoloten bei den Vermessungen am Goldbergsee und am Schönbrunner See erhöht sind. Zum einen wird damit deutlich, dass vor allem Unterwasservegetation (Goldbergsee) und unebene Gewässersohlen (Schönbrunner Baggersee) den Echoloten Probleme bereiten. Zum anderen muss jedoch auch erwähnt werden, dass auch durch das ADCP Fehler aufgetreten sein können, da nicht bekannt ist, wie dieses exakt mit Vegetation umgeht. Weiterhin ist davon auszugehen, dass bei unebenen Gewässersohlen weniger die Tiefenmessungen und mehr die genaue Lagebestimmung ein Problem darstellt.

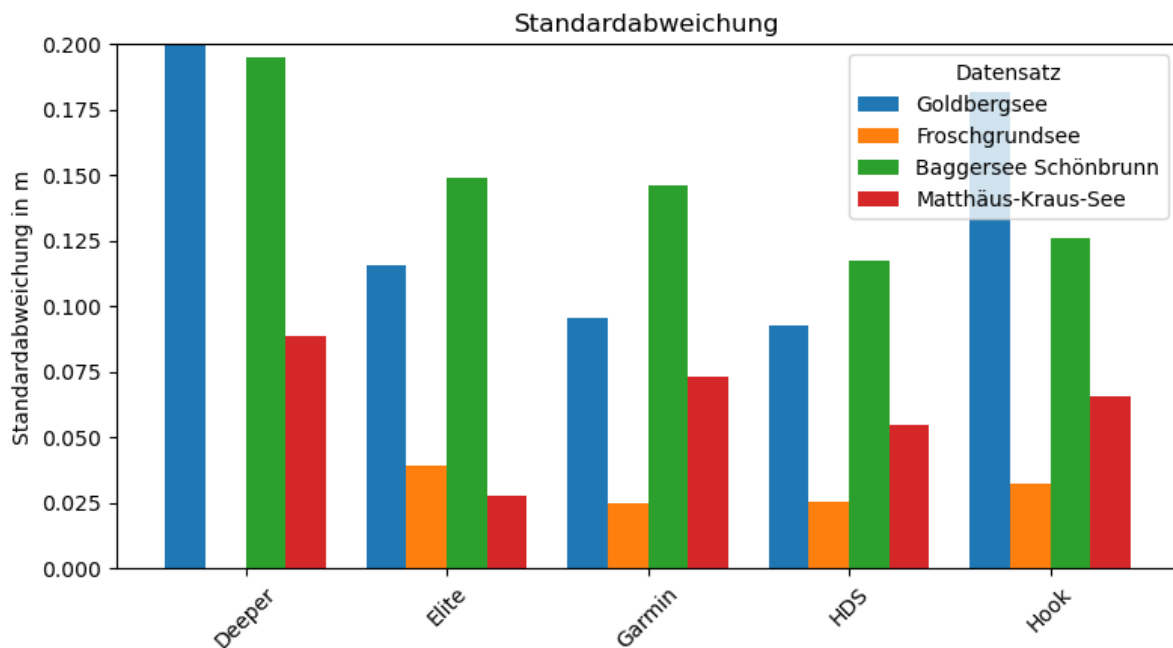


Abbildung 50: Standardabweichung der Abweichungen der Tiefenmessungen im Vergleich der Echolote und der Gewässer (Quelle: eigene Darstellung)

Ähnlich der MA verhält sich auch die StdA, die ein Maß für die Streuung der Abweichungen ist. Hier ist ebenfalls am Froschgrundsee die geringste Streuung zu erkennen. Im Vergleich der Echolote zueinander zeigen das HDS und das Garmin die geringste Streuung. Die Messdaten des Deeper unterliegen einer höheren Streuung.

Es kann festgehalten werden, dass vor allem das Lowrance HDS 16 LIVE und das Garmin GPSMAP in Verbindung mit einer externen GPS-Antenne nach punktbezogener Auswertung geeignet sind, um die Verlandung von Gewässern in regelmäßigen und nicht zu lange andauernden Perioden zu überprüfen.

In Bezug auf die flächenbezogene Auswertung ergibt sich ein ähnliches Bild. Bei der Auswertung der digitalen Geländemodelle wird jedoch deutlich, dass das Lowrance HDS 16 LIVE, das Lowrance Hook Reveal 5 und der Deeper Smart Sonar Pro+ teilweise extreme und eindeutige

Tiefenfehler aufweisen, weshalb sich nach **Tabelle 20** auch große Fehler ergeben. Durch Entfernung der eindeutigen Tiefenfehler konnten die absoluten flächenbezogenen Fehler teilweise reduziert werden (vgl. **Tabelle 21**). Beim Vergleich der punktbezogenen mit den flächenbezogenen Fehlern wird deutlich, dass die flächenbezogenen Fehler größer sind. Diese könnten die Folge von zu großen Messabständen und der damit einhergehenden Interpolation sein. Eine weitere mögliche Fehlerquelle sind versetzte Messnetze. Durch zum Beispiel Eintiefungen oder Verlandungen, welche nur mit einem Echolot erfasst wurden, können die Ergebnisse verfälscht werden. Ebenfalls auffällig beim Vergleich ist, dass Gewässer mit einem höheren oder niedrigeren Fehler bei der punktbezogenen Auswertung parallel bei der flächenbezogenen Auswertung einen erhöhten oder reduzierten Fehler aufweisen.

Im Allgemeinen ist festzustellen, dass die punktbezogene Auswertung aussagekräftiger ist, da hierbei direkte Punktdaten miteinander verglichen werden. Daraus geht hervor, dass vor allem das Lowrance HDS 16 LIVE mit Active Imaging 3-in-1-Heckgeber für eine Gewässervermessung geeignet ist. Dieses Gerät besitzt einen 16 Zoll Kartenplotter, welcher jedoch für die Vermessung nicht notwendig ist. Um Kosten und auch Platz zu sparen, ist dieses Echolot auch mit 12 Zoll, 10 Zoll und 9 Zoll Display erhältlich. Vollkommend ausreichend ist hierbei das 9 Zoll Display.

Tabelle 18: Zusammenstellung der mittleren punktbezogenen Fehler der Echolote im Vergleich zum ADCP (Quelle: eigene Darstellung)

Echolot Gewässer	Lowrance HDS-16 LIVE mit Active Imaging 3-in-1-Heckgeber	Garmin GPSMAP 8410xsv mit GT56UHD-TM Geber	Lowrance Elite FS 9 mit HDI 83/200/455/800 kHz Geber	Lowrance Hook Reveal 5 HDI 83/200 inkl. Geber	Deeper Smart Sonar Pro +
Goldbergsee	0,021 m	-0,073 m	0,015 m	0,179 m	-2,706 m
Froschgrundsee	0,004 m	-0,030 m	0,033 m	0,009 m	-
Schönbrunner Baggersee	0,101 m	-0,055 m	0,108 m	0,085 m	0,080 m
Matthäus-Krauss-See	0,069 m	-0,248 m	0,073 m	0,046 m	-0,021 m
Steinbruch bei Gefrees	Keine Messungen mit ADCP möglich, deshalb wird die Vermessung nicht berücksichtigt!				

Tabelle 19: Zusammenstellung der mittleren punktbezogenen absoluten Fehler der Echolote im Vergleich zum ADCP (Quelle: eigene Darstellung)

Echolot Gewässer	Lowrance HDS-16 LIVE mit Active Imaging 3-in-1-Heckgeber	Garmin GPSMAP 8410xsv mit GT56UHD-TM Geber	Lowrance Elite FS 9 mit HDI 83/200/455/800 kHz Geber	Lowrance Hook Reveal 5 HDI 83/200 inkl. Geber	Deeper Smart Sonar Pro +
Goldbergsee	0,074 m	0,093 m	0,149 m	0,197 m	2,743 m
Froschgrundsee	0,019 m	0,032 m	0,040 m	0,027 m	-
Schönbrunner Baggersee	0,135 m	0,088 m	0,166 m	0,127 m	0,131 m
Matthäus-Krauss-See	0,080 m	0,251 m	0,073 m	0,073 m	0,064 m
Steinbruch bei Gefrees	Keine Messungen mit ADCP möglich, deshalb wird die Vermessung nicht berücksichtigt!				

Tabelle 20: Zusammenstellung der mittleren absoluten flächenbezogenen Fehler der unbearbeiteten Geländemodelle der Echolote im Vergleich zum ADCP

Echolot Gewässer	Lowrance HDS-16 LIVE mit Active Imag- ing 3-in-1-Heckgeber	Garmin GPSMAP 8410xsv mit GT56UHD-TM Geber	Lowrance Elite FS 9 mit HDI 83/200/455/800 kHz Geber	Lowrance Hook Reveal 5 HDI 83/200 inkl. Geber	Deeper Smart Sonar Pro +
Goldbergsee	0,643 m	0,231 m	0,215 m	1,004 m	2,775 m
Froschgrundsee	8,665 m	0,069 m	0,066 m	20,138 m	-
Schönbrunner Baggersee	0,253 m	0,312 m	0,318 m	0,263 m	0,316 m
Matthäus-Krauss-See	0,133 m	0,275 m	0,077 m	0,127 m	0,553 m
Steinbruch bei Gefrees	Keine Messungen mit ADCP möglich, deshalb wird die Vermessung nicht berücksichtigt!				

Tabelle 21: Zusammenstellung der mittleren absoluten flächenbezogenen Fehler der bearbeiteten Geländemodelle der Echolote im Vergleich zum ADCP

Echolot Gewässer	Lowrance HDS-16 LIVE mit Active Imag- ing 3-in-1-Heckgeber	Garmin GPSMAP 8410xsv mit GT56UHD-TM Geber	Lowrance Elite FS 9 mit HDI 83/200/455/800 kHz Geber	Lowrance Hook Reveal 5 HDI 83/200 inkl. Geber	Deeper Smart Sonar Pro +
Goldbergsee	0,194 m	0,231 m	0,215 m	0,266 m	1,021 m
Froschgrundsee	0,047 m	0,069 m	0,066 m	0,052 m	-
Schönbrunner Baggersee	0,254 m	0,303 m	0,319 m	0,260 m	0,314 m
Matthäus-Krauss-See	0,133 m	0,275 m	0,077 m	0,127 m	0,142 m
Steinbruch bei Gefrees	Keine Messungen mit ADCP möglich, deshalb wird die Vermessung nicht berücksichtigt!				

4.4 Datennutzung über Citizen Science

Citizen Science beschreibt die Miteinbeziehung von fachfremden Personen in ein wissenschaftliches Forschungsprojekt, weshalb es auch unter dem Begriff „Bürgerwissenschaften“ bekannt ist. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, eine Vielzahl an Daten mit möglichst wenig Aufwand und Kosten zu erheben.

Vor allem im Bereich der Gewässervermessung wäre die Einbringung von Bürgern sinnvoll. So gibt es eine Vielzahl an Fischereibegeisterten, welche regelmäßig Echolote an den unterschiedlichsten Gewässern nutzen und dadurch teilweise unbewusst eine große Menge an Vermessungsdaten erheben können. Die Weiterverarbeitung der Daten müsste hierzu durch fachkundiges Personal erfolgen, jedoch ist die Datenerhebung an den Gewässern der größte Aufwand. Teilweise wird die Weiternutzung von Daten durch andere bereits ermöglicht.

Die Anbieter der Fishfinder verwenden die von Nutzern generierten Tiefendaten bereits kommerziell, um Kunden Karten der Seen anzubieten. Beispiele dafür sind „Fish Deeper“ von Deepsonar oder „C-Map Genesis“ der Navico Group, zu der die Marken Lowrance und Simrad gehören. Die Tiefendaten einer großen Zahl relevanter Gewässer liegen den Unternehmen somit vor und werden Nutzern visuell zugänglich gemacht, jedoch nicht in einem maschinenlesbaren Format. Möchte man die bereits vorhandenen Daten der Unternehmen nutzen, wäre hier lediglich ein Screen-Scraping-Ansatz möglich, um die Tiefendaten aus den verfügbaren Tiefenkarten zu gewinnen.

Um den Citizen-Science-Ansatz weiter zu verfolgen wäre alternativ denkbar, eine Open-Source-Alternative zu den kommerziellen Plattformen anzubieten. Dort könnte man die hochgeladenen Tiefendaten allen Nutzern in einem maschinenlesbaren Format verfügbar machen. Dieser Ansatz ist jedoch mit einem sehr hohen Aufwand verbunden.

Problematisch ist außerdem, dass die Daten von Privatpersonen unkontrolliert in unregelmäßigen Abständen gewonnen werden, während für die Verlandung Tiefendaten in regelmäßigen zeitlichen Abständen von Interesse sind.

Die Schwierigkeit bei einigen Herstellern ist zumeist das Datenformat und die Weiterverarbeitung. Das Deeper ist das einzige Gerät, welches direkt eine Textdatei oder eine CSV-Datei ausgeben kann. Für alle anderen genutzten Geräte sind zusätzliche Programme und teilweise Adapter notwendig. Dies erschwert den Datenaustausch, die Auswertung und somit das Datenhandling. Jedoch können auch diese Daten weitergenutzt werden.

Diese Möglichkeiten des Datenaustausches, sollte besonders durch Ämter, Städte, Kommunen und Vereine kommuniziert werden. Der Vorteil kann somit an allen stehenden Gewässern

genutzt werden, an denen das Fischen und der Einsatz von Echoloten erlaubt ist. Da die Erlaubnis zum Fischen und Angeln in Deutschland genehmigt werden muss, kann hierbei eine Voraussetzung die Datenaufnahme und -weitergabe an die jeweiligen Zuständigen sein. Die Auswertung und Weiterverarbeitung müssen anschließend durch die jeweilige Behörde durchgeführt werden. Dadurch ist es auch möglich, Daten zu kontrollieren und notfalls auszuschließen.

4.5 Analyse ausgewählter Einflussfaktoren auf die Qualität der bathymetrischen Daten

Die Tiefenmessungen mit den Fischfindern unterliegen einigen Einflüssen, denen die Genauigkeit und Präzision der Messungen unterliegt. Daher sollen diese in der Datenauswertung analysiert und mögliche Lösungen oder Handlungsempfehlungen formuliert werden.

Um die Analyse zu unterstützen, wurden die Messdaten neben den in 4.1 genannten Softwarelösungen der Anbieter der Echolote auch mittels Python verarbeitet. Python ist eine gängige Programmiersprache, die häufig für Datenauswertungen verwendet wird. Ein entscheidender Vorteil ist außerdem, dass für viele Anwendungen bereits öffentlich verfügbare Module bestehen.

Herausfordernd war hierbei insbesondere, das proprietäre binäre Dateiformat *.sl2 und *.sl3 der Lowrance Fischfinder mit Python einzulesen, um dort auf die Originaldaten zugreifen zu können.

Nach Recherchen wurde das Modul sonarlight (Martinsen, 2025) verwendet, das bereits Funktionen zum Importieren von *.sl2- und *.sl3-Dateien bietet. Mithilfe von weiteren inoffiziellen Dokumentationen des Dateiformats (Oppmann, 2025) konnten einzelne Fehler beim Importieren der Dateien korrigiert werden. Somit kann auf die Messdaten der *.sl2-Dateien zugegriffen werden.

Die Dateien enthalten zu jeder Einzelmessung bzw. zu jedem Ping einen Frame. Dieser Frame enthält jeweils Daten wie die Zeit, die GPS-Koordinaten, die erkannte Tiefe oder die Temperatur. Außerdem sind die Daten des Empfangssignals des Pings enthalten. Diese liegen als unsigned Integer mit 8 bit mit einer festen Länge von 3072 vor. Jeder Wert gibt dabei die Stärke des Empfangssignals wieder. Es liegt damit also nur die Einhüllende des Empfangssignals in grob quantisierter Form vor. Die maximal dargestellte Tiefe des Empfangssignals wird vom Fischfinder automatisch, abhängig von der erkannten Tiefe eingestellt, das Empfangssignal ist jedoch stets 3072 Werte lang. Mit steigender maximaler Tiefe sinkt somit die vertikale Ortsauflösung. Das Empfangssignal liegt in den Dateien somit in stark abstrahierter Form vor,

was die Möglichkeiten der Signalverarbeitung deutlich einschränkt. Ob der Fischfinder die interne Tiefenerkennung auf diese vorverarbeiteten Daten anwendet oder zu einem früheren Zeitpunkt in der internen Signalverarbeitungskette ist nicht bekannt.

Basierend auf diesen Daten lassen sich mithilfe von Visualisierungen und Auswertungen die Einflüsse auf die Qualität der bathymetrischen Daten feststellen und mögliche Gegenmaßnahmen ableiten. Für die Messungen in 4.2.2 wurde diese Möglichkeit bereits verwendet. Einige relevante Einflussfaktoren sind ohne Anspruch auf Vollständigkeit nachfolgend erläutert.

4.5.1 Frequenz

Wie bereits in 2.2.1.2 erläutert hat die gewählte Frequenz des Fischfinders einen Einfluss auf die Dämpfung des akustischen Signals und auf den Abstrahlwinkel und somit auf die horizontale Auflösung. Theoretisch lassen sich mit hohen Frequenzen und damit hohen horizontalen Auflösungen Tiefendaten höherer Qualität erstellen, da Unebenheiten des Bodens geringere Abweichungen hervorrufen, wie es in nachfolgender **Abbildung 51** dargestellt ist.

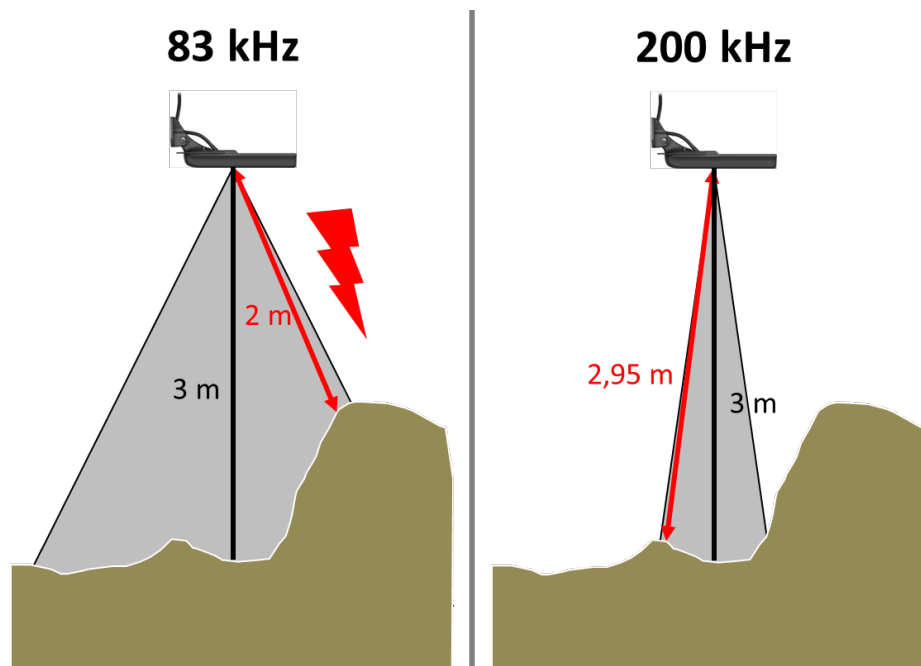


Abbildung 51: Beispielhafte Erläuterung der Entstehung von höheren Abweichungen der Tiefe durch größere Abstrahlwinkel (Quelle: eigene Darstellung)

Außerdem hat sich nach 4.2.1 gezeigt, dass sich aufgrund der Schallwandlereigenschaften mit 200 kHz höhere Anregesignale erzeugen lassen als mit 83 kHz. Bei flachen Gewässern ist dies vorteilhaft, da die frequenzabhängige Dämpfung des Wassers nur geringfügig wirkt und somit höhere Empfangsamplituden erzielt werden können. Ab welcher Tiefe 83 kHz aufgrund

der geringeren Dämpfung besser geeignet sind, ist vom Gewässer abhängig. Für bis zu wenigen 10 m Tiefe sollte eine Anregung mit 200 kHz in den meisten Fällen vermutlich ausreichend sein.

4.5.2 Vegetation und fehlerhafte Tiefen

Befindet sich in dem zu vermessenden Gewässer starke Vegetation, kann sich das deutlich auf die Datenqualität der erkannten Tiefen auswirken. Da die Schallwelle sowohl am Boden als auch an der Vegetation reflektiert, kann das Echolot die Reflexionen nicht voneinander trennen. Dadurch ist es möglich, dass das Echolot die Oberkante der Vegetation fälschlicherweise als Boden interpretiert und eine falsche Tiefe erkennt. Exemplarisch ist dies in **Abbildung 52** veranschaulicht. Da die absolute Tiefe bei dieser Betrachtung nicht relevant ist, wird der Offset der Tiefe durch den Abstand des Gebers zur Wasseroberfläche hier nicht berücksichtigt.

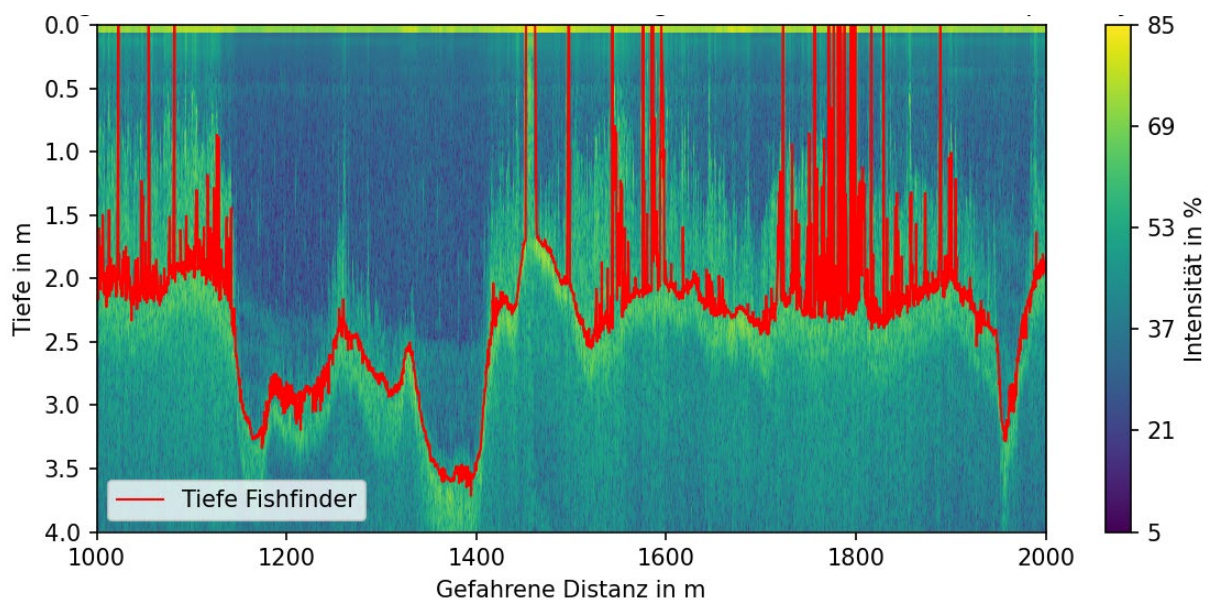


Abbildung 52: Ausschnitt des Echogramms des Lowrance Hook Reveal vom 28.05.2025 am Goldbergsee mit der erkannten Tiefe des Fischfinders bei starker Vegetation (Quelle: eigene Darstellung)

In den flacheren Bereichen mit ca. 2 m Tiefe ist die Vegetation deutlich durch eine höhere Intensität oberhalb des Gewässerbodens zu erkennen ist. Die in rot dargestellte vom Fischfinder erkannte Tiefe ist in Bereichen starker Vegetation verrauscht, da die Tiefe nicht eindeutig identifiziert wird. Die Tiefen werden dadurch deutlich flacher gemessen als sie tatsächlich sind.

Da die Menge an Vegetation in Gewässern stark von Jahreszeiten und Kälte- oder Hitzeperioden abhängig ist, sollte für die Befahrung ein geeigneter Zeitpunkt gewählt werden, zu dem keine oder nur geringe Vegetation vorhanden ist.

Als alternative Gegenmaßnahme bei zu starker Vegetation wurde eine verbesserte Auswertelalgorithmik entwickelt. Auf die als Echogramm dargestellten Daten lassen sich Signalverarbeitungsmethoden anwenden um die Tiefe, selbst bei mehrdeutigen Datensätzen, korrekt zu identifizieren. Dafür wurde ein mehrstufiges Verfahren entwickelt, dass jeden Ping einzeln und benachbarte Pings gemeinsam betrachtet. Sind vereinzelte Pings aus unbekannten Gründen komplett fehlerhaft, wie etwa in **Abbildung 52** bei ca. 1,45 m, oder ist die Tiefenerkennung aufgrund erhöhter Vegetation erschwert, können die Tiefen dennoch korrekt erkannt werden.

Dies ist beispielhaft in **Abbildung 53** dargestellt, die den gleichen Ausschnitt wie **Abbildung 52** zeigt.

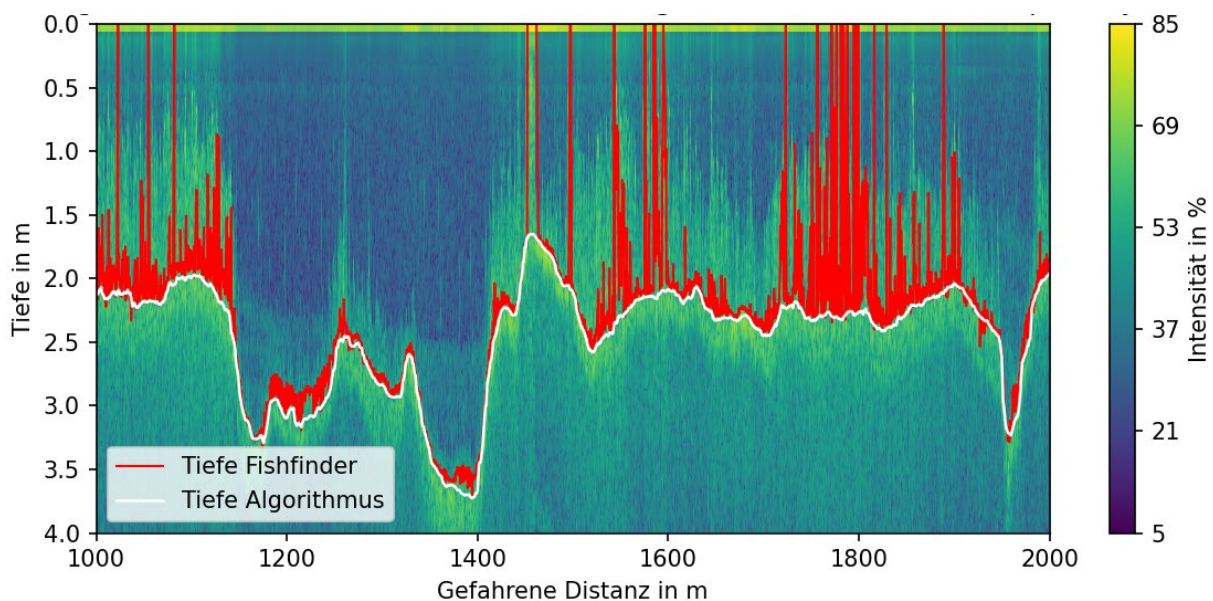


Abbildung 53: Ausschnitt des Echogramms des Lowrance Hook Reveal vom 28.05.2025 am Goldbergsee mit der erkannten Tiefe des Fischfinders und des Algorithmus bei starker Vegetation (Quelle: eigene Darstellung)

Mithilfe der für die Anwendung entwickelten Software lassen sich somit auch unter schwierigen Bedingungen oder bei teilweise fehlerhaften Daten der Tiefe des Fischfinders korrekte Tiefen automatisiert erkennen. Die Datenqualität der Tiefen lässt sich dadurch stark verbessern.

4.5.3 GPS-Signal

Die Qualität der Positionsbestimmung hat einen direkten Einfluss auf die Qualität der bathymetrischen Daten. Die hohen Abweichungen bei der Messung am Steinbruch Gefrees in 4.3.2 zeigen beispielsweise die Auswirkung eines schlechten GPS-Signals.

Weiterhin ist dies exemplarisch auch bei einem Vergleich der aufgenommenen Daten einer Befahrung zu beobachten. Dabei wurden das Lowrance Hook Reveal 5 und das Lowrance HDS 16 Live gemeinsam am gleichen Boot befestigt und die Befahrung mit beiden Echoloten gleichzeitig durchgeführt. Die Befestigung zweier Geber am gleichen Boot ist in **Abbildung 16**

zu erkennen. Abgesehen vom geringen Abstand der Echolote zueinander sollten die Tiefendaten beider Echolote daher die gleichen Koordinaten aufweisen.

Ein beispielhafter Ausschnitt realer Befahrungsdaten mit geographischen Koordinaten einer Befahrung am Goldbergsee vom August 2024 ist in **Abbildung 54** dargestellt.

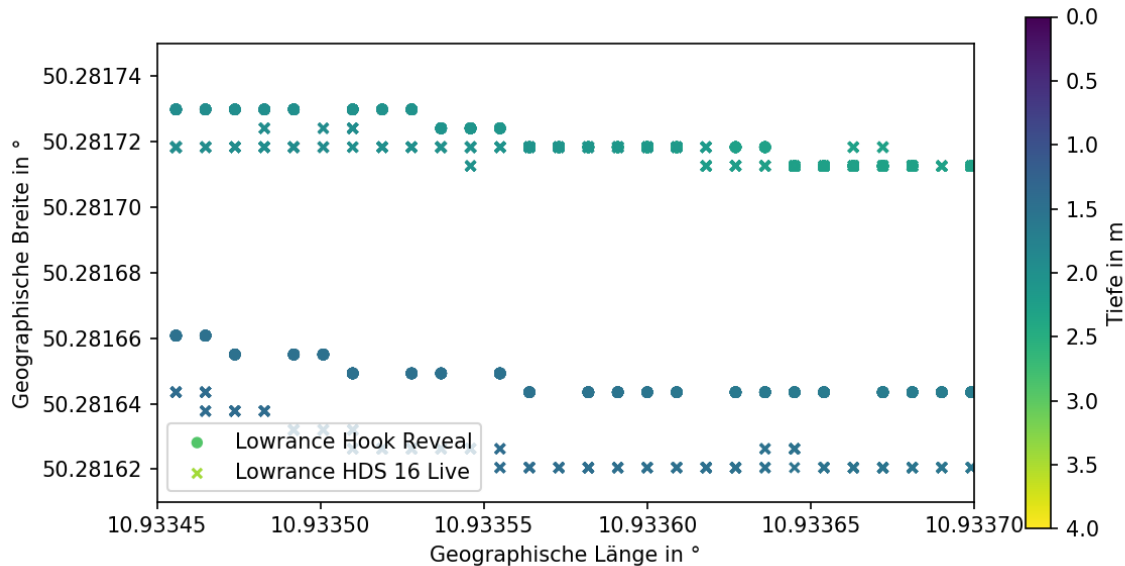


Abbildung 54: Ausschnitt einer Tiefenkarte des Goldbergsees vom 09.08.2024 bei gleichzeitiger Befahrung mit dem Lowrance Hook Reveal und dem Lowrance HDS 16 Live (Quelle: eigene Darstellung)

Die Tiefenkarte zeigt im oberen und im unteren Bereich eine Befahrungsstrecke. Im oberen Teil zeigen die Echolote zueinander hinsichtlich der Koordinaten nur geringe Abweichungen oder sind identisch. Im unteren Abschnitt hingegen liegen die Positionen der Tiefendaten bis zu ca. 2,5 m auseinander. Eine Referenz ist nicht gegeben, daher kann die Abweichung zur tatsächlichen Position nicht bestimmt werden. Das Beispiel zeigt jedoch, dass die Echolote nicht nur in Ihrer Tiefenmessung Abweichungen zeigen, sondern auch hinsichtlich der Positionsbestimmung. Ist ein Gewässer weitestgehend eben, ohne steile Änderungen in der Gewässersohle sind die Abweichungen in der Positionsbestimmung nur geringfügig relevant. Ist das Gewässer jedoch hinsichtlich der Tiefe stark variabel mit größeren Änderungen oder ist eine hohe horizontale Auflösung der Tiefendaten wichtig, sollte die Positionsbestimmung auf alternativem Wege durchgeführt werden. Denkbar ist dabei beispielsweise die Verwendung eines GNSS-Empfängers, welcher Korrekturdaten empfängt. Eine weitere Möglichkeit wäre eine tachymetrische Verfolgung des Sensors. Anschließend könnten Tiefen- und Lagedaten durch einen Zeitstempel in Bezug zueinander gebracht werden.

4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Vermessungen und Laboruntersuchungen

Basierend auf den Untersuchungen in Laborumgebung in 4.2, der Auswertung der Geländedaten in 4.3 und der Analyse ausgewählter Einflussfaktoren auf die Qualität der bathymetrischen Daten in 4.5 kann die Anwendbarkeit des vereinfachten Echoloteinsatzes in stehenden Gewässern zum Monitoring von Sedimenteinträgen eingestuft werden.

Hinsichtlich der Tiefengenaugigkeit konnte gezeigt werden, dass die untersuchten Echolote meistens die festgelegte Abweichungsgrenze von 0,15 m eingehalten haben. Lediglich das Deeper Smart Sonar Pro+ hat in den Untersuchungen häufig erhöhte Abweichungen gezeigt.

Im Vergleich der Echolote und deren Geber zueinander konnten mit dem Lowrance HDS-16 LIVE mit Active Imaging 3-in-1-Heckgeber die geringsten vertikalen Abweichungen erzielt werden. Abgesehen vom Deeper Smart Sonar + sind die Abweichungen der anderen Echolotsysteme nur geringfügig höher. Die hohen Kosten der teureren Echolote sind häufig vor allem durch ein größeres Display oder mehr Anschlussmöglichkeiten gerechtfertigt. Der Unterschied in der Genauigkeit ist gegenüber dem preislichen Unterschied nur geringfügig. Bevorzugt man eine kostengünstige Lösung, ist das Lowrance Hook Reveal 5 für die Anwendung ausreichend. Zu beachten ist jedoch, dass für die Nutzung einer externen GPS-Antenne ein NMEA-2000 Netzwerk benötigt wird. Dieses ist oft nur mit höherwertigen Displays kombinierbar.

Es konnten außerdem verschiedene Faktoren festgestellt werden, die die Qualität der Tiefendaten beeinflussen.

- **Vegetation:** Befindet sich eine hohe Vegetationsdichte im Gewässer, kann das Geräte die Gewässersohle nicht von der Vegetation unterscheiden und erkennt eine falsche Tiefe. Es sollte auf Jahreszeiten ohne Vegetation ausgewichen werden oder die im Projekt erstellte Software mit fortgeschrittener Signalverarbeitung und Fehlerkorrektur angewandt werden
- **Fehlerhafte Tiefen:** Die Fischfinder erkennen für vereinzelte Positionen aus unterschiedlichen Gründen die Tiefe nicht korrekt und geben eine Tiefe von 0 m an. Diese Punkte können entweder im Nachgang in einer Software händisch korrigiert werden oder mithilfe des im Projekt erstellten Programms mit fortgeschrittener Signalverarbeitung automatisch korrigiert werden. Eine Sichtung der Echogramme ist dennoch in jedem Fall sinnvoll.
- **Frequenz:** An den Echoloten lassen sich häufig verschiedene Frequenzen einstellen. Hier sollte mit dem primären Wandler die höchste Frequenz eingestellt werden. Diese liegt häufig bei 200 kHz und ist ein sinnvolles Mittel aus geringem Abstrahlwinkel und der Schalldämpfung in Wasser. Außerdem konnte exemplarisch gezeigt werden, dass

die erzeugte Schallenergie bei 200 kHz höher liegt als bei einer niedrigeren Anregefrequenz von 83 kHz. Werden tiefere Gewässer von mehreren 10 m vermessen, sollte bei geringen Empfangsamplituden gegebenenfalls auf eine niedrigere Frequenz ausgewichen werden.

- **Gewässertiefe:** Mit steigender Gewässertiefe steigt nicht nur die Dämpfung der Schallwelle durch das Wasser, sondern es vergrößert sich auch die effektive Auftrittsfläche der Schallwelle. Dadurch können Unebenheiten der Gewässer eher Mehrdeutigkeiten und damit falsch bestimmte Tiefen hervorrufen. Mit steigender Gewässertiefe sinkt somit die vertikale Genauigkeit der Tiefenmessungen mit den untersuchten Fischfindern. Ab welcher Gewässertiefe die verwendeten Echolote unzureichend sind, ist von der gewünschten Genauigkeit und der Beschaffenheit der Gewässersohle abhängig. Jedoch sind nicht nur sehr tiefe, sondern auch sehr flache Gewässer problematisch. Je nach Gewässer können ab ca. 1 m Tiefe oder geringer aufgrund verschiedener Effekte zunehmend Fehlmessungen auftreten.
- **GPS-Signal:** Ein gutes GPS-Signal ist für eine hohe Qualität der bathymetrischen Daten notwendig, um eine hohe örtliche Auflösung zu erreichen. Während dies im Normalfall gegeben ist, ist bei Gewässern, die etwa von hohen Felswänden umgeben sind oder bei denen aus anderen Gründen nur ein schlechtes GPS-Signal empfangen werden kann, die Verwendung der kostengünstigen Echolote eher ungeeignet. Dieses Problem wird durch sehr unebene Gewässersohlen deutlich verstärkt, da die Tiefendaten den Koordinaten falsch zugeordnet werden. Hier sollte auf ein hochwertigeres System mit stabilerem GPS-Empfang oder tachymetrischer Verfolgung ausgewichen werden.
- **Messdichte:** Bei Befahrung eines Gewässers sollte eine geeignete Befahrungsdichte gewählt werden. Wird ein Gewässer beispielsweise auf parallelen Geraden befahren, sollte der Abstand der Geraden zueinander so gewählt werden, dass Gewässerunebenheiten vom Echolot erkannt werden können. Da im Nachgang zwischen den gemessenen Punkten die Tiefe interpoliert wird, entstehen Abweichungen, wenn sich zwischen Messpunkten Erhebungen oder Vertiefungen befinden, die nicht erfasst wurden. Daher sollte ebenso eine geeignete Kombination aus Pingfrequenz des Echolots und Geschwindigkeit gewählt werden, um sicherzustellen, dass entlang einer Befahrungslinie ausreichend Messpunkte aufgenommen worden sind.
- **Menschliche Einflüsse:** Neben den genannten Faktoren ist außerdem auf menschliche Einflüsse zu achten. Dies betrifft beispielsweise die korrekte Ausrichtung des Gebers, der in Richtung des Gewässerbodens zeigen sollte oder die korrekte Messung der Eintauchtiefe des Wandlers. Auch dadurch können systematische Fehler entstehen, die die Genauigkeit oder Präzision der bathymetrischen Daten beeinflussen.

Beachtet man die genannten Faktoren, lässt sich mittels vereinfachtem Echoloteinsatz in stehenden Gewässern die Tiefe mit ausreichender Tiefengenaugkeit von ca. 0,15 m zuverlässig bestimmen. Fischfinder stellen somit für einige Anwendungen eine kostengünstige Alternative zu hochwertigeren Messsystemen dar und können zum Monitoring von Sedimenteinträgen einen entscheidenden Beitrag leisten.

5 Vorgehensweise bei der Beurteilung eines Gewässers in Bezug auf Verlandungen

Die Gründe, weshalb ein Gewässer bezüglich seiner Verlandung beurteilt werden muss, können unterschiedlich sein. Ein Aspekt ist die Verlandung und ein damit verbundener Retentionsraumverlust. Weitere Aspekte sind die Erhaltung von Lebensraum oder die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts des Gewässerhaushalts. Diese Aspekte werden sowohl durch stoffliche Einträge von außerhalb und innerhalb in das Gewässer als auch durch die Sedimentation in abflussreduzierten Bereichen, wie vor Querbauwerken, beeinflusst. In dieser Ausarbeitung wird vor allem die Verlandung von stehenden Gewässern betrachtet.

5.1 Anzeichen für die Verlandung eines Gewässers erkennen

Ein Aufschluss, ob ein stehendes Gewässer verlandungsanfällig ist, kann bereits die Lage geben. Erste Indizien sind Fließgewässer, welche durch ein stehendes Gewässer strömen. Ein weiterer Hinweis ist die Intensivnutzung landwirtschaftlicher Flächen, welche durch einen Vorfluter mit einem Gewässer verbunden sind. Auch die topografische Lage des stehenden Gewässers und des Einzugsgebiets sowie das mittlere Gefälle des fließenden Gewässers können ausschlaggebend sein. Weitere Auffälligkeiten sind Trübungen und Einträge in ein Gewässer nach einem Niederschlagsereignis.

Um diese Indizien zu verifizieren, sollte an den ausgewählten Gewässern eine Vermessung der Gewässersohle stattfinden. Da eine einzelne Vermessung eines Gewässers in erster Linie wenig aussagekräftig ist, sollten zur Beurteilung der Sedimentation regelmäßige Vermessungen durchgeführt werden. Sofern bereits Bestandsdaten zum Gewässer vorhanden sind, können diese anschließend miteinander verglichen werden. So ist es möglich, festzulegen, wo sich die Einträge ablagern. Ist noch keine Vermessung vorhanden, kann aus einer Erstvermessung wenig geschlossen werden, jedoch wird die Struktur der Gewässersohle deutlich und trotz fehlender Referenzmessung kann dadurch teilweise erkannt werden, ob sich Sedimente in bestimmten Bereichen ablagern könnten. Weiterhin ist diese Vermessung schlussendlich die Referenzmessung für künftige Vermessungen. Zusätzlich sollte bei einer Gewässervermessung immer das Vermessungsgerät, die genutzte Frequenz und die aktuelle Situation im Gewässer erfasst und für künftige Vermessungen notiert werden. Weiterhin ist es wichtig, dass alle Daten (Rohdaten, Notizen und fertige Modelle) an den Auftraggeber übermittelt werden.

Durch eine Vermessung kann zwar nicht der genaue mengenmäßige Eintrag ermittelt werden, jedoch kann bereits vorab verifiziert werden, ob ein Eintrag in das Gewässer stattfindet. Dazu können im Wesentlichen die nachfolgenden Daten herangezogen werden:

- Bestandsvermessungen und -beprobungen,
- Austausch mit Stauwärtern und Anwohnern über bekannte Verlandungen, Eintragspfade oder besondere Ereignisse, welche Einfluss auf das Gewässer hatten bzw. haben,
- Ermittlung des Einzugsgebiets und der Fließwege (in Bayern durch die LfU verfügbar und im Umweltatlas darstellbar),
- aktuelle digitale Geländemodelle (meist verfügbar durch das Bundesland),
- Luftbilder / Orthofotos vom Gewässer und Einzugsgebiet,
- Karten zur tatsächlichen Nutzung (in Bayern durch LBDV verfügbar),
- Bodenabtrags- bzw. Bodenerosionsatlas (in Bayern auf Anfrage durch LfL digital verfügbar),
- Bodenschätzkarten,
- Niederschlags- und Abflussdaten.

Der Großteil dieser Daten kann anschließend in einem Geoinformationssystem (GIS) zusammengefasst, weiterbearbeitet und veranschaulicht werden. Besonders der Bodenabtragsatlas gibt Aufschluss über Erosionen im Einzugsgebiet. Die Zusammenführung dieser Daten ist jedoch mit großem Aufwand verbunden. Wesentlich einfacher gestaltet sich dies durch die Nutzung von Onlineanwendungen wie beispielsweise dem Serviceportal iBALIS vom bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus oder dem Modellsystem MoRE (Modeling of Regionalized Emissions), welches in Kooperation des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und dem Umweltbundesamt entwickelt wurde.

Besonders das Modellsystem MoRE (verfügbar unter www.stoffeintraege-more.de), sollte künftig vermehrt genutzt werden. Zum einen ist dies eine deutschlandweit verfügbare und einheitlich berechnete Karte, welche für jeden frei zugänglich ist und zum anderen ist dieses System transparent. Damit ist gemeint, dass sowohl Eingangsdaten als auch Ergebnisse an jedem beliebigen Ort verfügbar sind, wodurch Änderungen wie beispielsweise Anbau oder Ansaat leicht berücksichtigt werden können. Weiterhin ist es möglich, den Bodenabtrag, welcher als Sediment bis in ein Gewässer gelangt, darzustellen und somit Risikoflächen schnell zu identifizieren.

5.1.1 Bodenabtragungsgleichung (ABAG)

Die Abkürzung „ABAG“ steht für die **A**llgemeine **B**odenabtragungsgleichung. Durch diese wird es ermöglicht, Erosionsgefährdungen für bestimmte Flächen zu ermitteln. Unter anderem werden dabei Niederschlagsdaten, topographische Daten und spezifische Standortdaten (Bodenkarten und Anbauarten) in nachfolgender Gleichung berücksichtigt.

$$A = R \times K \times S \times L \times C \times P$$

Gl. 2

- A = langjährig zu erwartender Bodenabtrag in $t / (ha \cdot a)$,
 R = Oberflächenabfluss- und Regenerosivität in $N / (h \cdot a)$,
 K = Bodenerodierbarkeitsfaktor in $(t \cdot h) / (ha \cdot N)$,
 S = Hangneigungsfaktor,
 L = Hanglängenfaktor,
 C = Bodenbedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor,
 P = Berücksichtigung von Erosionsschutzmaßnahmen.

Hierbei wird jedoch ausschließlich der Abtrag durch Wasser (Niederschlag und Schnee) und nicht durch Wind berücksichtigt. (vgl. DIN 19708)

Zur Unterstützung von Landwirten zur Identifikation möglicher Risikoflächen auf ihrem Grund existieren in Bayern zwei Anwendungen. Nutzbar ist das iBalis-Portal, in welchem eine bayernweite Übersicht zur Erosionsgefährdung vorhanden ist (**Abbildung 55**). Dabei ist es möglich, die Erosionsgefährdung sowohl durch Wasser als auch durch Wind anzeigen zu lassen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, nitratbelastete Gebiete zu orten. Der große Vorteil besteht darin, dass beispielsweise Landwirte direkt mit Hilfe der FID (Feldstücksidentifikator) nach ihrem Grund suchen können. Ausschlaggebend bei der Ermittlung der Erosion durch Wasser ist im iBalis-Portal der K- und der S-Faktor nach ABAG. Dabei wird wie folgt eingestuft:

- CC-Wasser 0: keine Erosionsgefährdung ($KS < 0,30$),
- CC-Wasser 1: erosionsgefährdet ($0,30 \leq KS < 0,55$),
- CC-Wasser 2: stark erosionsgefährdet ($KS \geq 0,55$).

Wie hieraus und aus der Kartenansicht hervorgeht, wird die Art der Gebiete im Ganzen vernachlässigt, weshalb die Erosionsgefährdung auch in Wald- und Dauergrünflächen, wie auch teilweise in befestigten Gebieten dargestellt wird. Das iBalis-Portal ist vor allem für Landwirte interessant, da neben diesen Daten noch Förderwegweiser zur Verfügung gestellt werden. (vgl. www.stmelf.bayern.de)

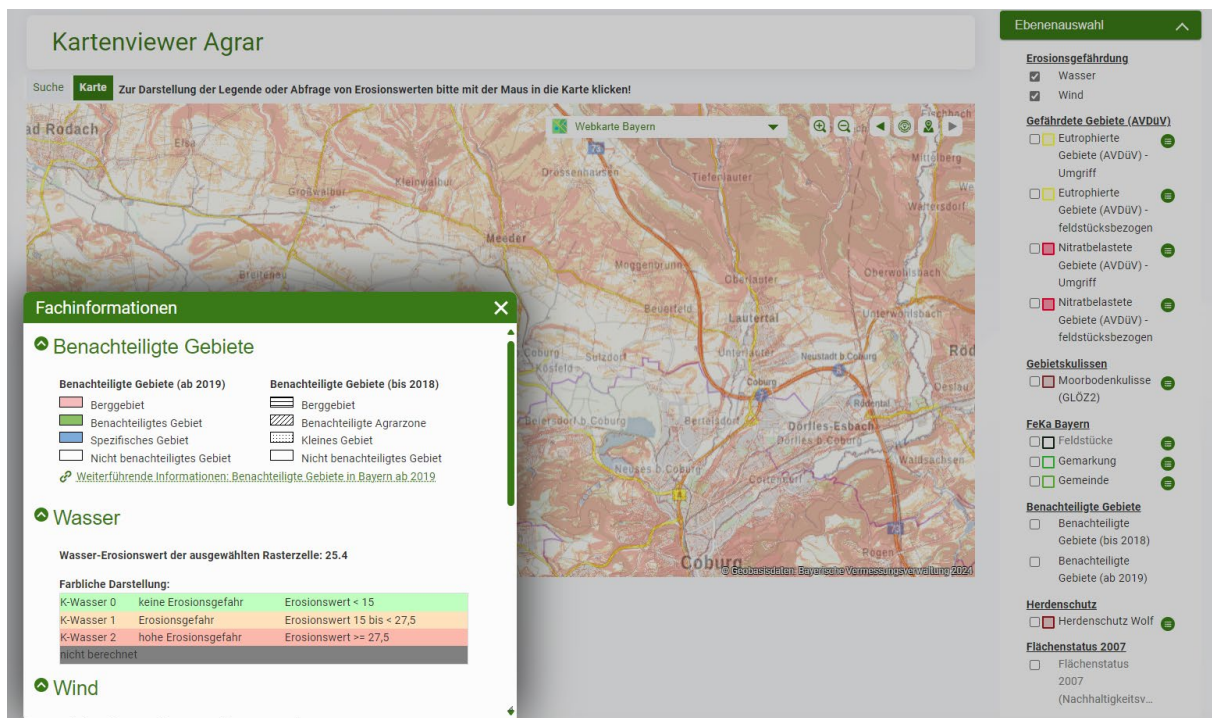


Abbildung 55: Übersicht iBalis-Portal (Quelle: https://www.stmelf.bayern.de/ibalis/S3ly_mKpfKncT-Pib4-litw/S3l2b, aufgerufen am 05.05.2025)

Neben diesem Portal besteht die Möglichkeit, die Erosionsgefährdung flächenspezifisch zu bestimmen. Als Hilfestellung wird hierfür durch die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) die App bzw. Website „ABAG interaktiv“ kostenfrei zur Verfügung gestellt. Dabei wird jeder Faktor der ABAG berücksichtigt und ein Benutzer mit verschiedenen Auswahlmöglichkeiten durch die Berechnung geführt (vgl. **Abbildung 56**).

Beginnend beim R-Faktor besteht die Möglichkeit, diesen über einen Landkreis, eine Gemeinde oder durch eine Direkteingabe zu bestimmen. Als nächster Schritt ist die Bestimmung des Bodens und somit des K-Faktors erforderlich. Hierbei kann über eine Karte, über eigene Analysen und Bodenschätzungen oder aber auch über eine Direkteingabe der K-Wert ermittelt werden. Die topographischen Komponenten durch den L- und S-Faktor werden zusammen bestimmt. Dabei besteht, gleich dem K-Faktor, die Möglichkeit der Eingabe über eine Karte, über eigene Neigungs- und Längenangaben, auch wieder über Direkteingabe. Mit dem vierten Faktor wird die Art der Bewirtschaftung der Fläche und somit der C-Faktor abgedeckt. Auch hier gibt es insgesamt drei Möglichkeiten zur Eingabe. Im ersten Teil ist es möglich, Fruchtfolgen detailliert zu benennen. Dabei können beliebig viele Jahre eingegeben werden. In jedem Jahr können anschließend Gruppen, wie z.B. Sommer- oder Winterkultur, dazu mögliche Früchte und teilweise sogar das Aussaatverfahren bestimmt werden. Weiterhin kann mit dem deutschen Mittelwert von $C = 0,126$ gerechnet werden. Als zweite Möglichkeit gibt es die Eingabe von Dauerkulturen, wie z.B. Wald, Dauergrünwiesen, Hopfen oder Wein. Auch dabei

werden, je nach Auswahl der Kultur, weitere verschiedene Faktoren abgefragt. Als dritte Möglichkeit existiert wieder die Direkteingabe. Als letzte Komponente wird die Bearbeitungsrichtung (P-Faktor) gewählt. Dabei gliedert sich die Bearbeitungsrichtung in Gefällerrichtung ($P = 1,00$), in „Quer zum Hang“ und wie die vorherigen Parameter in die Direkteingabe.

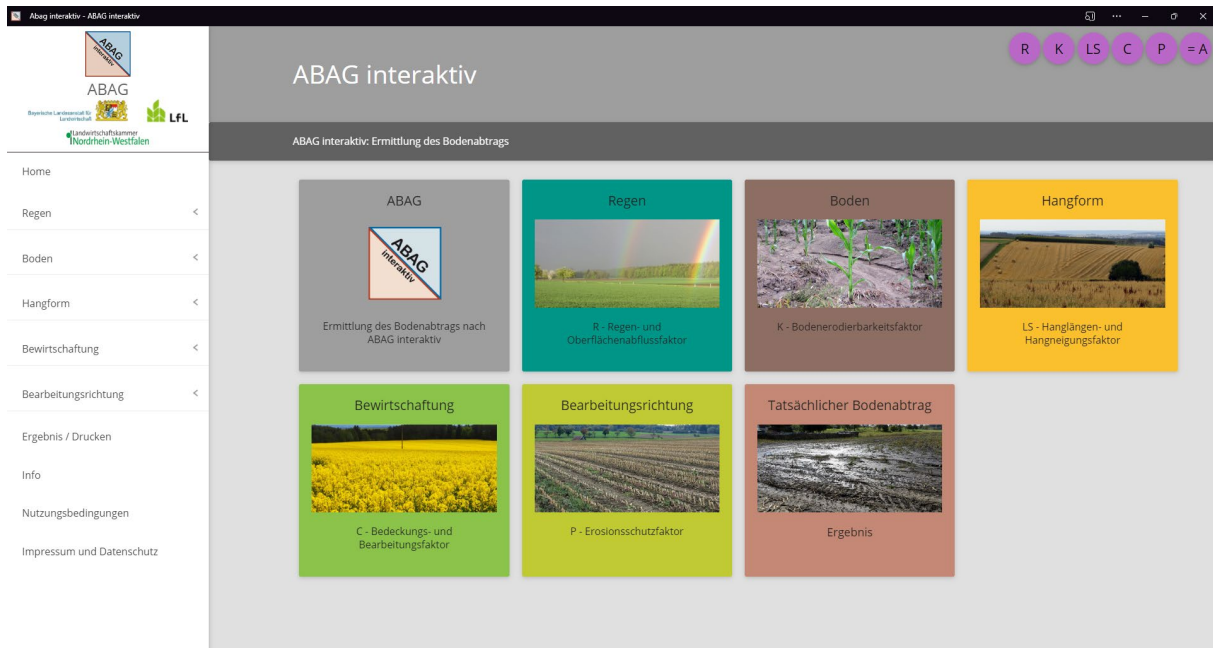


Abbildung 56: Oberfläche ABAG interaktiv (Quelle: <https://abag.lfl.bayern.de/index.html>, aufgerufen am 05.05.2025)

Mit Hilfe dieser Plattform können Landwirte ihren möglichen Bodenabtrag durch Wasser gebietsspezifisch selbst bestimmen und durch Variierung der Parameter L, C und P auch Möglichkeiten zur Reduzierung feststellen. So wäre es beispielsweise denkbar, dass Landwirte ihre Fruchtfolgen in Bezug auf Bodenerosion optimieren.

In Bayern ist ebenfalls durch das LfL ein flächendeckender Erosionsatlas berechnet worden, dieser muss jedoch angefragt werden. Der Erosionsatlas für Bayern ist im 5,00 m x 5,00 m Raster berechnet und als tif-Datei verfügbar. Nicht berücksichtigt sind hierbei Waldflächen, Dauergrünland und Siedlungsgebiete. Weiterhin ist nicht bekannt, ob ein und andernfalls welcher C-Faktor beachtet wurde, weshalb zur Identifizierung eigener Flächen die ABAG berücksichtigt werden sollte.

Allgemeine Einstufungen der Erosion nach ABAG werden in **Tabelle 22** und **Tabelle 23** dargestellt, wobei zwischen natürlicher Erosionsgefährdung durch Wasser (E_{nat}) und Erosionsgefährdung durch Wasser (E) unterschieden wird. Ersteres beachtet ausschließlich die natürliche Empfindlichkeit des Standorts wie die Regenerosivität (R-Faktor), die Bodenerodierbarkeit (K-Faktor) und den Hangneigungsfaktor (S-Faktor). Diese Faktoren sind von natürlichem Ausmaß und somit auch nicht beeinflussbar. In **Tabelle 23** werden hingegen auch die veränderbaren

Faktoren L, C und P berücksichtigt. Diese Parameter sind variabel und müssen daher bei den Berechnungen vor Ort festgelegt werden. (vgl. DIN 19708)

Tabelle 22: Einstufung der natürlichen Erosionsgefährdung (E_{nat}) durch Wasser (Quelle: DIN 19708, S. 7, 2022)

Stufen der natürlichen Erosionsgefährdung		Bodenabtrag in t / (ha • a)
Kurzzeichen	Benennung	
$E_{\text{nat}0}$	keine bis sehr geringe natürliche Erosionsgefährdung	< 0,50
$E_{\text{nat}1}$	sehr geringe natürliche Erosionsgefährdung	0,50 bis < 2,50
$E_{\text{nat}2}$	geringe natürliche Erosionsgefährdung	2,50 bis < 5,00
$E_{\text{nat}3}$	mittlere natürliche Erosionsgefährdung	5,00 bis < 7,50
$E_{\text{nat}4}$	hohe natürliche Erosionsgefährdung	7,50 bis < 15,00
$E_{\text{nat}5}$	sehr hohe natürliche Erosionsgefährdung	15,00 bis < 27,50
$E_{\text{nat}6}$	extrem hohe natürliche Erosionsgefährdung	≥ 27,50

Tabelle 23: Einstufung der Erosionsgefährdung (E) durch Wasser (Quelle: Din 19708, S. 8, 2022)

Stufen der Erosionsgefährdung		Bodenabtrag in t / (ha • a)
Kurzzeichen	Benennung	
$E0$	keine bis sehr geringe Erosionsgefährdung	< 0,20
$E1$	sehr geringe Erosionsgefährdung	0,20 bis < 1,00
$E2$	geringe Erosionsgefährdung	1,00 bis < 2,00
$E3$	mittlere Erosionsgefährdung	2,00 bis < 3,00
$E4$	hohe Erosionsgefährdung	3,00 bis < 6,00
$E5$	sehr hohe Erosionsgefährdung	6,00 bis < 11,00
$E6$	extrem hohe Erosionsgefährdung	≥ 11,00

Die Festlegung eines tolerierbaren Bodenabtrags wurde in Bayern durch die LfL bestimmt. Dieser wird in Abhängigkeit der Bodenwertzahl gesetzt. Der Wert berechnet sich mit der Bodenwertzahl dividiert durch 8. Dadurch ergibt sich ein mittlerer Bodenabtrag in Tonnen pro Hektar pro Jahr.

5.1.2 Regenerosivität (R-Faktor)

Die Einheit der Regenerosivität wird in Newton pro Stunde pro Jahr dargestellt und beschreibt somit die Niederschlagsintensität. Da eine erhöhte Intensität mit einem verstärkten Aufprall der Tropfen einhergeht, bedeutet dies auch ein höheres Risiko für den Bodenabtrag (erhöhte Bodenerosion). Das in **Abbildung 57** dargestellte Diagramm zeigt die mittleren jährlichen R-Faktoren für Deutschland. Seit dem Jahr 2001 werden zur Ermittlung des R-Faktors die radar-klimatologischen Daten (RADKLIM) des Deutschen Wetterdiensts (DWD) genutzt. Wie das Diagramm erkennen lässt, hat sich der R-Faktor in Vergangenheit größtenteils erhöht. Dies wird auch zukünftig durch die Zunahme der Starkregenereignisse vorhergesagt.

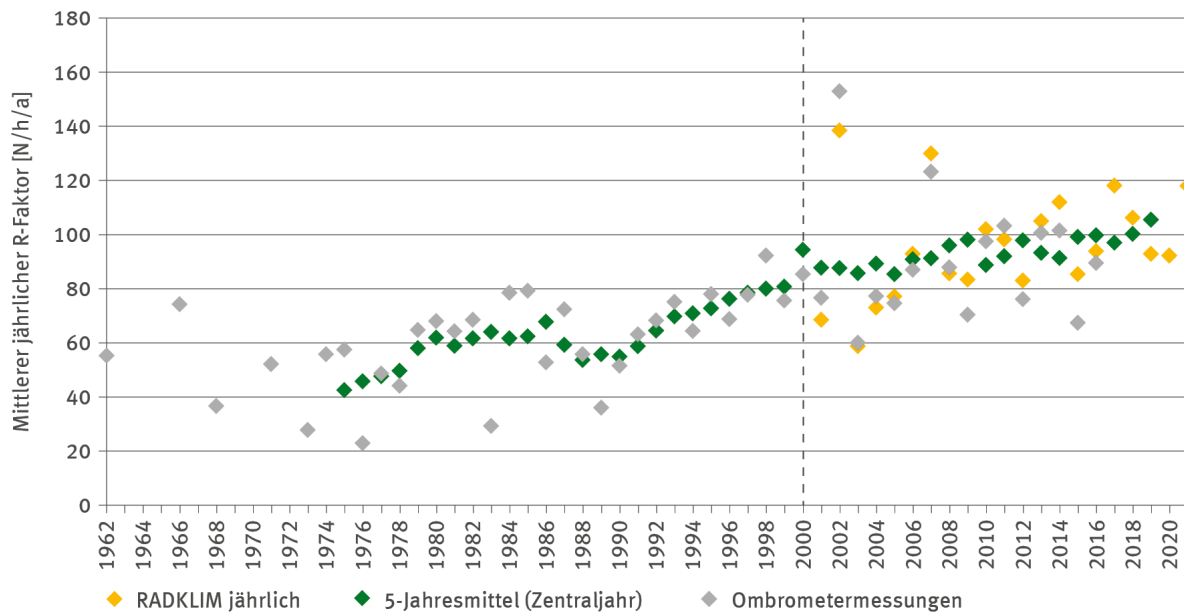


Abbildung 57: Regenerosivität im jährlichen Mittel (Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/monitoring-zur-das/handlungsfelder/boden/bo-i-3/indikator>, aufgerufen am 05.05.2025)

Der R-Faktor wird flächendeckend für ganz Deutschland durch den DWD digital zur Verfügung gestellt. Die Daten sind dabei im 1 km x 1 km-Raster kostenfrei abrufbar (abrufbar unter https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/help/landing_pages/doi_landing-page_RADKLIM_Rfct_V2017.002-en.html; Stand 2024). Verfügbar sind die Daten als Shapefile und als GeoTIFF und können dadurch in jedem GIS-Programm weiterverarbeitet werden.

Besonders betroffen von der zunehmenden Regenintensität sind vor allem feine (tonige und lehmige) und offenliegende Böden. Ein gutes Beispiel wurde hierfür vom Bayerischen Landesamt für Landwirtschaft veröffentlicht. Dabei wird durch einen Regensimulator ein Starkregenereignis auf vier unterschiedliche Böden initiiert (vgl. **Abbildung 58**).



Abbildung 58: Videoausschnitt des Regensimulators des LfL (Quelle: <https://youtu.be/PzjiubMdygY>, Minute 3:23, aufgerufen 05.05.2025)

Es handelt sich bei den Böden, von links nach rechts, um Grünland, eine Zwischenfrucht, eine gute Bodenstruktur ohne Bedeckung und ein feines Saatbett. Weiterhin wird zwischen Oberflächenabfluss und Sickerwasser unterschieden. Genauer hierzu wird in Kapitel 5.4 erläutert.

5.1.3 Bodenerodierbarkeit (K-Faktor)

Die Bodenerodierbarkeit beschreibt die Zusammensetzung der Böden. Wichtige Faktoren sind die Bodenart und -aggregate, der Humusgehalt, die Sickerfähigkeit, die Lagerung (locker oder dicht) und die Korngrößenverteilung (Feinanteil $\leq 0,063$ mm und Grobkorn $> 0,063$ mm). Aus der Datenrecherche geht hervor, dass der K-Faktor in den Bundesländern teilweise unterschiedlich bestimmt und klassifiziert wird und die Ermittlung etwas unterschiedlich aufgebaut ist. Als Beispiel wird nachfolgend die Ermittlung durch das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie und durch die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft genannt.

Hessen:

Der K-Faktor wird hier nach Gleichung 3 ermittelt und stellt somit eine vereinfachte und verallgemeinerte Gleichung gegenüber der DIN 19708 dar. Jedoch erfolgt dies in Anlehnung an die DIN 19708.

$$K = K_b \times K_h \times K_s \quad \text{Gl. 3}$$

K = Bodenerodierbarkeitsfaktor in $(t \cdot h) / (ha \cdot N)$

K_b = der bodenartabhängige Anteil des K-Faktors

K_h = der humusgehaltsabhängige Anteil der K-Faktors

K_s = der grobbodenabhängige Anteil des K-Faktors

Zu erwähnen ist, dass der Grobboden hier mit Anteilen $> 2,00$ mm definiert wird. Ansonsten werden die anteiligen Faktoren aus Tabellen genommen (abrufbar unter: www.hlnug.de; Stand 2024).

Bayern:

Nach der Berechnung des K-Faktors in Anlehnung an die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft werden lediglich zwei Tabellen berücksichtigt (Gl. 2).

$$K - \text{Faktor} = K_{\text{Feinboden}} \times K_{\text{Stein}} \quad \text{Gl. 4}$$

$K\text{-Faktor}$ = Bodenerodierbarkeitsfaktor in $(t \cdot h) / (ha \cdot N)$

$K_{\text{Feinboden}}$ = Anteil des K-Faktors des feinkörnigen Bodens

K_{Stein} = Anteil des K-Faktors des grobkörnigen Bodens

Die Tabellen hierzu sind unter nachfolgendem Link abrufbar (<https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/bodenerosion-lfl-information.pdf>; Stand 2024). Berücksichtigt werden in den Tabellen die Zustandsstufen, die Bodenarten und die Entstehung der Böden. Hierzu können die Karten der Bodenschätzung digital beim Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LBDV) kostenpflichtig erworben werden. Darin angegeben sind für jede Fläche die Nutzung, die Bodenart, die Zustandsstufe, die geologische Entstehung und die Wasserverhältnisse, der direkte K-Faktor muss jedoch mit diesen Angaben ermittelt werden. Zu erwähnen ist, dass sowohl die hessische als auch die bayerische Vorgehensweise an die DIN 19708 angelehnt sind.

Eine deutschlandweite einheitliche Karte stellt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (vgl. **Abbildung 59**). Diese Berechnung richtet sich ebenfalls nach der ABAG-Gleichung. Rot eingekreist ist hier der Standort Coburg, welcher nördlich vom Main und südlich der Werra liegt. Dabei ist zu erkennen, dass sich dieses Gebiet im Bereich von 0,20 bis 0,50 $(t \cdot h) / (ha \cdot N)$ befindet und somit eine mittlere bis hohe Bodenerodierbarkeit aufweist.

Die Karte des BGR ermöglicht einen ersten Überblick. Jedoch muss bei der Betrachtung einzelner Gebiete der K-Faktor neu bewertet werden. Durch teilweise unterschiedliche Bedeckungen von Feldern mit Grobkörnern und auch unterschiedlichen Humusgehalten müsste für jede landwirtschaftliche Fläche ein eigener K-Faktor ermittelt werden.



Abbildung 59: Erodierbarkeit der Ackerböden durch Wasser in Deutschland (Quelle: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Bilder/Bodenerosion/Bod_BoEro_KarteErodierbarkeit-Wasser_g.html?nn=4919530, aufgerufen am 05.05.2025)

Für kleine Einzugsgebiete ist dies, wie z. B. in der kleinräumig erstellten Bodenschätzkarte des LBDV (aufrufbar unter <https://ldbv.bayern.de/produkte/kataster/boden.html>; Stand 2024), in Bayern möglich. Diese steht jedoch lediglich kostenpflichtig zur Verfügung und beinhaltet nicht den ermittelten K-Faktor, sondern ausschließlich die Bestandteile, welche für die Ermittlung notwendig sind.

5.1.4 Hangneigung und Hanglänge (S- und L-Faktor)

Diese beiden Faktoren geben die topographische Lage des betrachteten Standorts wieder. So wird zum einen durch den Hangneigungsfaktor (S-Faktor) die Neigung der jeweiligen Hänge berücksichtigt. Da mit zunehmender Neigung die Fließgeschwindigkeit des Abflusses und somit auch die Abscher- und Transportkräfte des Wassers zunehmen, bedeutet dies ein erhöhtes Bodenabtragsrisiko. Ermittelt wird der S-Faktor nach Gleichung 5.

$$S = -1,5 + \left\{ \frac{17}{(1 + e^{2,3 - 6,1 \sin \alpha})} \right\} \quad \text{Gl. 5}$$

S = Hangneigungsfaktor,

α = Hangneigung in °.

Mit dieser Formel wird das Verhältnis des Abtrags eines Hanges mit beliebiger Neigung zu einem Hang mit 5° (9 %) Gefälle beschrieben. Der Grund hierfür ist, dass ein Hang mit 5° Gefälle als Standardhang definiert wird. Zu beachten ist jedoch, dass nicht immer durchgehend die gleiche Neigung vorhanden ist und somit in konvexe und konkave Hänge unterschieden werden muss. Bei konvexen Hängen nimmt die Neigung mit der Hanglänge zu, wobei dadurch der Bodenabtrag mit einer mittleren Hangneigung unterschätzt wird. Im Gegensatz dazu nimmt bei konkaven Hängen die Neigung mit der Hanglänge ab, weshalb mit einer mittleren Hangneigung der Bodenabtrag überschätzt wird. (vgl. DIN 19708, S. 13)

Der Hanglängenfaktor wird nach Gleichung 6 berechnet. Dabei muss bei dem Hanglängenexponenten (m) der Grenzwert von 4° bei der Hangneigung nach Gleichung 7 und 8 beachtet werden.

$$L = (0,046 \times l)^m \quad \text{Gl. 6}$$

L = Hanglängenfaktor,

l = erosionswirksame Hanglänge in m,

m = Hanglängenexponent.

$$m = 1,2 \times \sin \alpha^{1/3} \text{ für } \alpha < 4^\circ \quad \text{Gl. 7}$$

$$m = 0,5 \text{ für } \alpha \geq 4^\circ \quad \text{Gl. 8}$$

α = Hangneigung in °

Durch die Gleichung 6 wird das Verhältnis des Abtrages eines Hanges beliebiger Länge zu einem Standardhang mit 22 m Länge beschrieben. Die erosionswirksame Hanglänge ist nicht gleich die natürliche Hanglänge von Oberkante bis Unterkante, sondern beschreibt die Distanz zwischen der Stelle am Oberhang, an der ein Oberflächenabfluss bei einem Regenereignis eintritt und der Stelle am Unterhang, an der das mitgeführte Material zum Erliegen kommt oder einem Vorfluter oder einem Gewässer zufließt. Dieser Faktor kann durch die Begrenzung der erosionswirksamen Hanglänge reduziert werden. So können kleine Auffüllungen oder Dämme, sowie Baum- oder Heckenstreifen im Feld den Oberflächenabfluss bremsen und eine Sedimentation bewirken, bevor es zu Einträgen in einen Vorfluter oder ein Gewässer kommt. (vgl. DIN 19708, S. 13 f.)

Auch hierbei bestehen zwischen den Bundesländern und der Literatur Unterschiede. Mit der Berechnung in Bayern, nach den Angaben des LfL, wird beispielsweise beim Hanglängenfaktor nicht der Grenzwert von 4°, sondern ein Grenzwert bei der Hangneigung von 5° berücksichtigt, wobei sich Hessen beispielsweise an die Vorgaben der DIN 19708 orientiert.

5.1.5 Bewirtschaftung (C-Faktor)

Mit dem Bewirtschaftungsfaktor (C-Faktor) wird der Anbau auf oder die Nutzung von Flächen berücksichtigt. Dieser Faktor ist standortspezifisch und variabel. Einflussfaktoren sind beispielsweise unterschiedliche Fruchtfolgen, Dauerkulturen (Wald, Dauergrünland, Wein- oder Hopfenanbau) und Bearbeitungssysteme (Pflug, Mulch- oder Direktsaat). Werte zu den unterschiedlichsten Anbauarten und -methoden werden in der Literatur wiedergegeben. Bei mehreren Fruchtfolgen wird jeweils der Anteil der jeweiligen Fruchtfolge berücksichtigt. Der Vorteil des C-Faktors besteht darin, dass dieser durch Vorgaben und mit Absprache der Landwirtschaft durch Änderung der Anbaukulturen bzw. der Saateinbringung leicht beeinflusst werden kann.

5.1.6 Bearbeitung (P-Faktor)

Der P-Faktor beschreibt ausschließlich die Anbaurichtung bei landwirtschaftlicher Nutzung einer Fläche. Besonders anfällig für Bodenerosion sind Bearbeitungsrichtungen senkrecht zum Hang, da sich das Wasser in den Spuren sammelt und ungehindert Fließgeschwindigkeit aufnehmen kann. Durch Querbearbeitung parallel zu den Höhenlinien kann dieser Faktor bei gewissen Neigungen und Hanglängen bis zu 50 % reduziert werden, wie aus **Tabelle 24** hervorgeht. Die kritische Hanglänge wird nach Gleichung 9 in Abhängigkeit der Hangneigung berechnet, wobei es Möglichkeiten gleich dem L-Faktor gibt, diese Hanglängen zu reduzieren

oder zu begrenzen und somit einen positiven Effekt auf die Reduzierung der Bodenerosion zu schaffen.

$$HL_{krit} = 170 \times e^{-0,13 \times HN} \quad \text{Gl. 9}$$

HL_{krit} = Kritische Hanglänge in m,

HN = Hangneigung in %.

Tabelle 24: P-Faktoren für Konturnutzung bei unterschiedlichen Neigungen (Quelle: DIN 19708, S. 16, 2022)

Hangneigung		P-Faktor	Kritische Hanglänge in m
Grad in °	in %		
1,7 bis < 4,6	3 bis < 8	0,5	> 60 bis 115
4,6 bis < 6,8	8 bis < 12	0,6	> 36 bis 60
6,8 bis < 9,1	12 bis < 16	0,7	> 21 bis 36
9,1 bis < 11,3	16 bis < 20	0,8	> 13 bis 21
11,3 bis 14,0	20 bis 25	0,9	> 7 bis 13
Bearbeitung senkrecht zum Hang		1,0	-

Auch dieser Faktor ist gleich dem C-Faktor standortspezifisch und variabel. Ebenso ist dieser mit Vorgaben und mit Absprache der Landwirtschaft, mit geringem Aufwand und teilweise enormen Auswirkung umsetzbar.

5.2 Wie können Eintrittspfade lokalisiert werden

Es existiert eine Vielzahl an stofflichen Eintrittspfaden in ein Gewässer. Diese Eintrittspfade müssen für jedes Gewässer und dessen Einzugsgebiet separat beurteilt und gewichtet werden. Grundsätzlich ist dabei zwischen Punktquellen und Eintragspfade mit diffusen Quellen zu unterscheiden. Als Punktquellen gelten dabei spezifisch, genau lokalisierbare Quellen von Stoffeinträgen, während diffuse Quellen Stoffeinträge in Gewässer ohne klare Definition des Standortes und deren Menge umfassen (vgl. **Abbildung 60**). Eine weitere Möglichkeit von stofflichen Einträgen kann durch das Gewässer selbst entstehen. Durch erhöhte Abflüsse und Fließgeschwindigkeiten in Verbindung mit nur wenig bis nicht befestigten Uferbereichen und feinkörnigen Böden können Uferabbrüche mehr oder weniger stark ausgeprägt auftreten. Dieses Problem kann vor allem im Bereich des Oberlaufs mit erhöhten Neigungen und Fließgeschwindigkeiten auftreten.

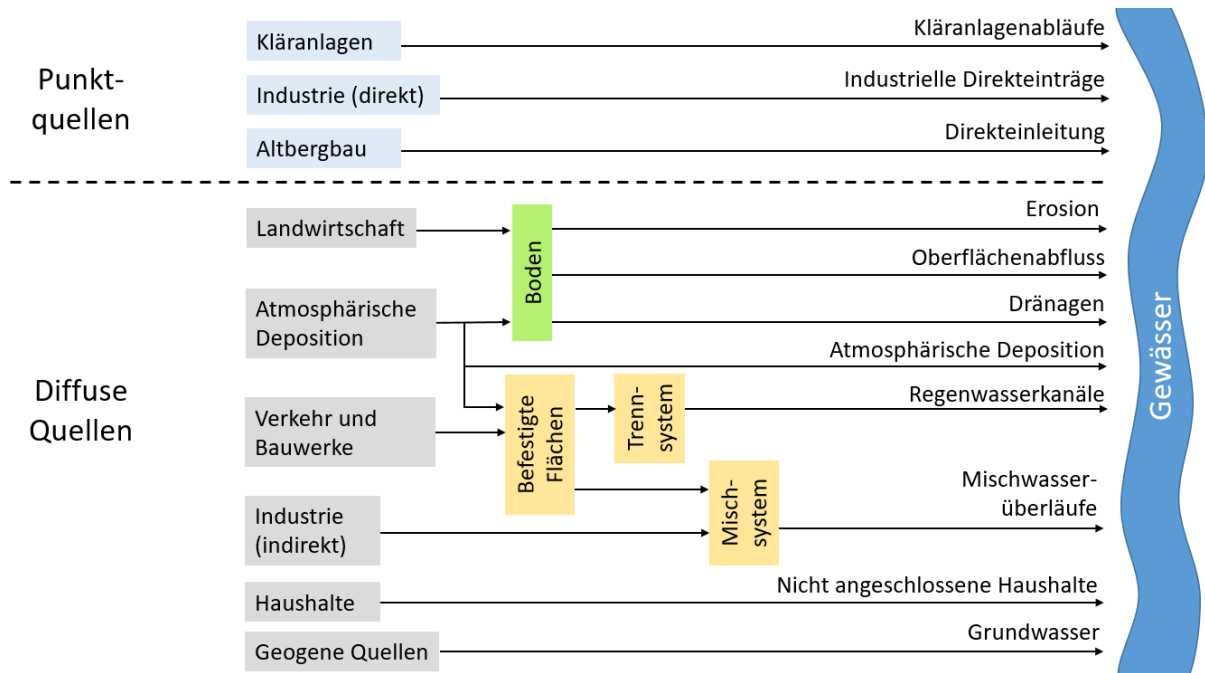


Abbildung 60: Schematische Darstellung der in MoRE berücksichtigten Pfade für die Modellierung von Stoffeinträgen (Quelle: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 2025)

Tierische und pflanzliche Einträge werden in **Abbildung 60** nicht dargestellt. Durch tierische Ausscheidungen und verendete Lebewesen gelangen Nährstoffe in ein Gewässer, wodurch wiederum die Unterwasservegetation angeregt wird zu wachsen. Anschließend entsteht durch den Zerfall Biomasse, die zur Verlandung der Gewässer beitragen kann.

Einträge können zusätzlich in drei Bereiche unterschieden werden, den Eintrag von Feinkorn bzw. Bodenmaterial, von Nährstoffen und von organischen Stoffen. Wichtig dabei zu erläutern ist, dass das eine das andere nicht ausschließt. Vielmehr werden alle drei oft zusammen in ein Gewässer transportiert und anschließend abgelagert.

Zur Lokalisierung der Eintrittspfade bei einem bestimmten Gewässer kann nach dem folgenden Schema vorgegangen werden. Zuerst sollte das Einzugsgebiet des jeweiligen Gewässers am jeweiligen Standort bekannt sein, um das zu untersuchende Gebiet einzugrenzen und nicht zu groß zu wählen. Anschließend sollten möglichst aktuelle Luftbilder betrachtet und eingeordnet oder auch die jeweiligen Flächennutzungen im Gebiet, je nach Verfügbarkeit, herangezogen werden. Dadurch wird es möglich das Einzugsgebiet aufzuteilen in:

- Industriegebiete,
- Siedlungsgebiete und befestigte Flächen,
- Wald- und Grünflächen und
- landwirtschaftliche Nutzflächen.

Ist dies geschehen, bestehen je nach Aufteilung unterschiedliche Vorgehensweisen. Sollten Industriegebiete im EZG vorhanden sein, muss betrachtet werden, was diese produzieren, ob

und wie viel Abwasser und Einträge dadurch anfallen können und ob es bereits Vorbehandlungen des Abflusses vor der Einleitung gibt. Sollte im EZG keine Industrie vorhanden sein, kann dieser Punkt vernachlässigt werden.

Bei der Betrachtung der Siedlungsgebiete müssen zusätzlich Daten zur Kanalisation angefragt werden. Dabei muss unterschieden werden, ob die Siedlung im Misch- oder Trennsystem entwässert wird und ob Überlaufsysteme im EZG bei einem Mischsystem existieren. Weiterhin sollte überprüft werden, wie das Oberflächenwasser bei einem Trennsystem vor der Einleitung in das Gewässer behandelt wird. Dies ist erforderlich, da sowohl stoffliche Einträge als auch Nährstoffe und Schwermetalle durch die Oberflächenentwässerung in ein Gewässer gelangen können. Sollte der Anteil von Siedlungen und befestigten Flächen im EZG jedoch gering sein, ist davon auszugehen, dass dadurch nur wenig Eintrag in ein Gewässer produziert wird.

Besonders vorteilhaft zur Verhinderung von Einträgen in ein Gewässer sind Wald- und Grünflächen. Es muss dabei jedoch zusätzlich auf die Topografie geachtet werden. Dabei sollten die Flächen mit Wald- und Grünlandnutzung vorerst weniger beachtet werden. Normalerweise wird durch diese Arten der Flächennutzung das Erosionspotential minimiert.

Der wichtigste Punkt sind die landwirtschaftlichen Nutzflächen, wie schon bei der ABAG-Gleichung deutlich gezeigt wurde. Hierbei können sowohl Einträge über Erosion und Oberflächenabfluss als auch über Dränagen und Sicker- und Schichtenwasser erfolgen. Entscheidend ist dabei die Topografie, der Anbau und die Bodenbearbeitung. Zur ersten Beurteilung sollten die Luftbilder mit Höhenlinien überlagert werden, wodurch die Hanglage und die Anbaurichtung deutlich wird. Wird dabei erkennbar, dass Anbaurichtung und Hanglage nur selten parallel zueinander verlaufen, fördert dies das Erosionsrisiko. Überhaupt sollte der Anteil der intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen im Einzugsgebiet besonders berücksichtigt werden, da diese in der Regel einen Großteil der Einträge in ein Gewässer verursachen.

Ist das Einzugsgebiet zum Großteil durch Wald- und Grünflächen oder durch eine flache Topografie definiert und das Gewässer weist trotzdem eine Verlandung auf, sollten die Gewässer im Einzugsgebiet genauer betrachtet werden. So bestehen als weitere Eintrittspfade entweder Uferabbrüche im Gewässer oder Einträge durch Pflanzen und Tiere.

Ist das Einzugsgebiet letztendlich aufgeteilt und eingeordnet, können die georteten Risikoflächen oder -bereiche, wenn möglich, in situ analysiert und verifiziert werden. Dies kann sich bei großen Einzugsgebieten jedoch aufwendig gestalten. Ergibt sich dabei, dass die betrachteten Flächen tatsächlich zur Sedimentation der Gewässer beitragen, sollten anschließend, nach Bedarf, Gegenmaßnahmen entwickelt werden.

5.2.1 Tools zur Lokalisierung

Zur Unterstützung existiert bereits eine Vielzahl an digitalen Tools, welche teilweise sogar kostenfrei genutzt werden können. Nachfolgend werden einige dieser Anwendungen kurz erläutert.

IBalis

IBalis ist ein Serviceportal des bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus. Unterstützen soll diese Anwendung vor allem im Bereich Förderanträge. Es wird jedoch auch ein Kartenviewer Agrar, in welchem erosionsgefährdete Flächen dargestellt und eingestuft sind, angeboten. Zu ersten Einschätzungen und vor allem für die Landwirtschaft kann dieses Tool sinnvoll, jedoch lediglich in Bayern, eingesetzt werden.

ABAG interaktiv

Hierbei handelt es sich um eine Software, welche sowohl auf einem PC als auch auf einem Smartgerät genutzt werden kann. Dabei werden die Parameter der ABAG-Gleichung sukzessive durchgearbeitet. Sinnvoll genutzt werden kann dies jedoch lediglich für einzelne kleinere Flächen. Ebenfalls ist diese Anwendung für Landwirte angedacht, um den Bodenabtrag ihrer Flächen kontrollieren und einschätzen zu können. Interessant dabei ist, dass durch die Änderung der Faktoren (LS-, C- und P-Faktor) deutlich wird, wie die Bodenerosion verändert werden kann.

GIS-Tools

Viele GIS-Softwareprodukte bieten Tools an, um die Bodenerosion nach der ABAG-Gleichung zu berechnen. Jedoch ist dafür ein gewisses Knowhow sowohl zur Anwendung als auch zur Analyse der Eingangsdaten erforderlich. Zudem ist der Rechenaufwand für größere Gebiete hoch. Sinnvoller ist es, Daten der Länder anzufragen und diese in das Programm zu integrieren. Der Vorteil besteht darin, dass weiterhin zusätzliche Daten eingefügt und bearbeitet werden können. So wird es beispielsweise möglich, Geländemodelle, Höhenlinien, Gewässerverläufe, Gebietsaufteilungen und vieles mehr in kurzer Zeit einzufügen und bearbeiten.

Erosionskarten der Bundesländer

Teilweise werden von den Bundesländern Erosionskarten online zur Verfügung gestellt. Dabei muss beachtet werden, dass diese in den wenigsten Fällen frei zugänglich sind und somit angefragt werden müssen und zum Teil kostenpflichtig sind. Eine Schwierigkeit spiegelt sich wieder, wenn ein Einzugsgebiet länderübergreifend ist. Dadurch werden die Karten mehrerer Bundesländer notwendig. Die Erosionskarten der Länder wurden zum Großteil nach der ABAG berechnet. Jedoch wird beim Vergleich deutlich, dass teilweise Parameter verändert oder ganz

vernachlässigt wurden und somit die Darstellung einer länderübergreifenden Erosionskarte nur schwer möglich ist.

MoRE-DE Toolbox

Hierbei handelt es sich um ein Onlineportal, welches in Zusammenarbeit des Umweltbundesamts mit dem Karlsruher Institut für Technologie und der VisDat geodatentechnologie GmbH entwickelt wurde und stetig weiterentwickelt wird. Dabei können unterschiedlichste Daten über Landnutzung, Gebietshöhen und Bodenparameter bis hin zu Bodenabtrag und Phosphoreintrag deutschlandweit und kostenfrei abgerufen werden. Die Eingangsdaten werden an jedem Punkt transparent dargelegt. Künftig kann vermehrt mit diesem Portal gearbeitet werden, um schnell und einfach Eintrittspfade lokalisieren zu können. Weiterhin ist es auch möglich umgesetzte Maßnahmen in das Portal mit einpflegen zu lassen.

6 Potenzielle Maßnahmen zur Reduzierung von Einträgen

Zur Verminderung von Einträgen in ein Gewässer existiert eine Vielzahl von Maßnahmen, welche von verfügbaren Mitteln wie etwa Zeit, Aufwand, Finanzen und Einsicht abhängig sind. Dabei können nicht nur ausschließlich Bund und Länder dazu beitragen, vielmehr müssen auch Bürger, Anwohner und besonders die Land- und Forstwirtschaft eingebunden werden. Weiterhin ist es nicht möglich, jede Maßnahme für jedes Gewässer und Einzugsgebiet durchzuführen. Diese müssen für jedes Gewässer und EZG spezifisch gewählt, geplant und ausgeführt werden. Weiterhin muss zwischen Maßnahmen zum präventiven Schutz der Gewässer und in-situ-Maßnahmen unterschieden werden. Es sollte jedoch vorwiegend versucht werden, präventive und nur als Ausnahme in-situ-Maßnahmen durchzuführen.

In-situ-Maßnahmen können zum Beispiel das Ausbaggern oder das Belüften der Gewässer-sole sein. Dies erfordert einen direkten Eingriff in das Gewässer und ist so mit hohen Kosten und Aufwand verbunden und ebenfalls bei großen Gewässern nur schwer durchführbar. Ein weiterer Faktor, welcher dies erschweren kann ist, dass es sich bei stehenden Gewässern oft um Naturschutzgebiete handelt und somit ein direktes Eingreifen nur mit besonderer Genehmigung erlaubt ist.

Präventive Maßnahmen können hingegen oft ohne größeren Aufwand durchgeführt werden. Da diese jedoch zum Großteil auf Grundstücken im privaten Besitz umgesetzt werden müssen, ist es unumgänglich, Bürger, Landwirte, Forstwirtschaft, Anwohner und Grundstücksbesitzer einzubinden. Dabei können sowohl kleine Strukturänderungen wie die Änderung der Anbau-richtungen oder Einbringung von Baumreihen, als auch große Änderungen wie beispielsweise Flurneuordnungen oder verpflichtende Grünflächen zum Boden- und Gewässerschutz beitragen. Eine Liste mit den verschiedensten Möglichkeiten sowie Beispiele, Vorteile und Nachteile dazu sind in **Tabelle 25** aufgeführt.

Durch die ABAG-Gleichung aus Kapitel 5.1.1 wird bereits deutlich, dass sich vor allem durch den C-Faktor (Bewirtschaftung) und den P-Faktor (Bearbeitung) die Bodenerosion minimieren lässt. Eine weitere Möglichkeit sind eindämmende Strukturen, welche die effektive Hanglänge begrenzen und somit den freien Oberflächenabfluss verhindern. Diese Strukturen können Gewässerrandstreifen, Grün- und Heckenstreifen im Feld, Mulden und Dämme aber auch Ackerfurchen oder Wege sein.

Eine weitere Maßnahme, welche nicht nur Vorteile für den Gewässerschutz, sondern auch für den Hochwasserschutz bringt, ist der dezentrale Rückhalt. Dafür können sowohl landwirtschaftliche als auch Forstflächen genutzt werden. Durch diese Maßnahmen wird die Versickerung gefördert und Abflussspitzen werden entzerrt. Weiterhin können dadurch Bodenabträge frühzeitig außerhalb der Gewässer sedimentieren.

Um Anwohner, Grundstücksbesitzer und die Landwirtschaft über das Thema Boden- und Gewässerschutz aufzuklären und vor allem von Maßnahmen zu überzeugen, sollte aufgezeigt werden, welche Bedeutung dies hat, welche Informationsquellen kostenfrei verfügbar sind und welche Fördermaßnahmen beansprucht werden können.

Tabelle 25: Maßnahmen gegen Einträge in ein Gewässer (Quelle: eigene Darstellung)

Maßnahmen	Beispiele	Vorteile	Nachteile
Abflussmindernde Strukturen	Gewässerrandstreifen, Grün- und Heckenstreifen im Feld	abflussbremsende Wirkung; Ablagerung vor Gewässer	Flächenverlust für Landwirtschaft
Flurneuordnung	Intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen von Vorflutern und Gewässern entfernen	Änderung der Anbaurichtung möglich; Grünflächen in der Nähe von Gewässern anordnen	Großer Aufwand; Einbindung aller Besitzer notwendig; Neuvermessung des gesamten Gebiets
Agroforstwirtschaft	Einbringen von Grünstreifen und Baumreihen in landwirtschaftliche Nutzflächen	leicht umsetzbar; wenig Kostenaufwand; Verbesserung der Sickerfähigkeit des Bodens	Flächenverlust für landwirtschaftliche Nutzung; Überzeugung der Landwirte notwendig
Vorstaubecken	Einbindung eines Vorstaubeckens in ein Fließgewässer vor einem Stausee oder Hochwasserschutzbecken	Rückhalt der stofflichen Einträge vor einem technischen Bauwerk	Verlagerung des Problems; hoher Aufwand und Kosten
Vorbehandlung von Oberflächenentwässerung	Sandfangbecken, Retentionsbecken, Absetzbecken	effektive Reinigung des Abwassers	Kosten und Instandhaltung; Flächenbedarf
Sedimentdurchgängigkeit verbessern	Umleitungsstrecke oder Durchlassstollen für Sedimente	Gleichgewicht im Gewässerhaushalt; natürliches Ökosystem	Hohe Kosten und Aufwand; teilweise nicht umsetzbar
Naturnahe Uferbefestigung	Bepflanzung von Uferbereichen, ingenieurbiologische Bauweisen	Sicherung der Uferbereiche und Flächen; teilweise gut umsetzbar	Pflegeaufwand und Kontrolle erforderlich

Belüftung der Gewässersohle	Einbringen von Sauerstoff in das Gewässer	Förderung von Mikroorganismen führt zum Schlammabbau	Kostenaufwendig; bei großen Gewässern schwer umsetzbar
Anbaurichtung und Anbaukulturen	Anbaurichtung senkrecht zur Neigung; Anbau von Winter- und Sommerkulturen	Abbremsen des Oberflächenabflusses; leicht umsetzbar	Einbindung der Landwirtschaft notwendig
Verminderung der Bodenverdichtung	Nutzung von Breitreifen und Fahrspuren	Verbesserung der Sickerfähigkeit; leicht umsetzbar	geringer Effekt weil Maschinengewicht nur schwer veränderbar
Eingrenzung der Landwirtschaft	Düngung in bestimmten Bereichen verbieten	Verhinderung des Eintrags von Nährstoffen und Pestiziden	Einbindung der Landwirtschaft notwendig
Aufforstung	Aufforstung bracher und stark erosionsgefährdeter Flächen	Erosionsschutz; Auflockerung des Bodens	Flächenbedarf; Zugeständnisse der Bürger
Ausbaggern	Ausbaggern eines Gewässers mit Saugbagger oder in den Randbereichen	Sofortiger Effekt; Volumengewinnung	Kosten und Aufwand; Eintragspfade bleiben bestehen
Rückhalt in der Fläche	Einbringung von Wehren in Entwässerungsgräben in flachen Bereichen und Abflachung der Gräben für Befahrbarkeit	Hochwasserschutz; Ablagerung von Sediment in der Fläche und auf landwirtschaftlichen genutzten Bereichen; Umsetzung mit geringem Aufwand und Kosten verbunden	Flächenbedarf; Einbindung der Landwirtschaft notwendig

6.1 Exemplarische Maßnahmen für den Goldbergsee

Das Einzugsgebiet des Goldbergsees entspricht in etwa dem MoRE-Analysegebiet „Lauterbach von Quelle bis Mdg 24164“. Das MoRE-Analysegebiet umfasst das gesamte Einzugsgebiet des Lauterbachs bis zur Mündung in die Itz. Im westlichen Bereich weicht das Einzugsgebiet der MoRE-Analyse vom Einzugsgebiet des Goldbergsees bzw. des Sulzbachs nur gering ab (vgl. **Abbildung 61**). Die gesamte Fläche des MoRE-Analysegebiets beträgt 93,84 km², wohingegen das Einzugsgebiet vom Goldbergsee etwa 52,31 km² umfasst. Bei dem Vergleich der MoRE-Analysegebiete und der Teileinzugsgebiete Stufe 6 aus dem Umweltatlas wird deutlich, dass das MoRE-Analysegebiet das Einzugsgebiet des Sulzbachs (Goldbergsee) bis zur Mündung in die Lauter, das EZG der Lauter bis zum Zufluss des Sulzbachs und als letztes Teilstück die Lauter ab dem Zufluss des Sulzbachs bis zur Mündung in die Itz beinhaltet. Somit ist der Detaillierungsgrad der MoRE-Analysegebiete mit des EZG Stufe 5 vom Umweltatlas Bayern gleichzusetzen.

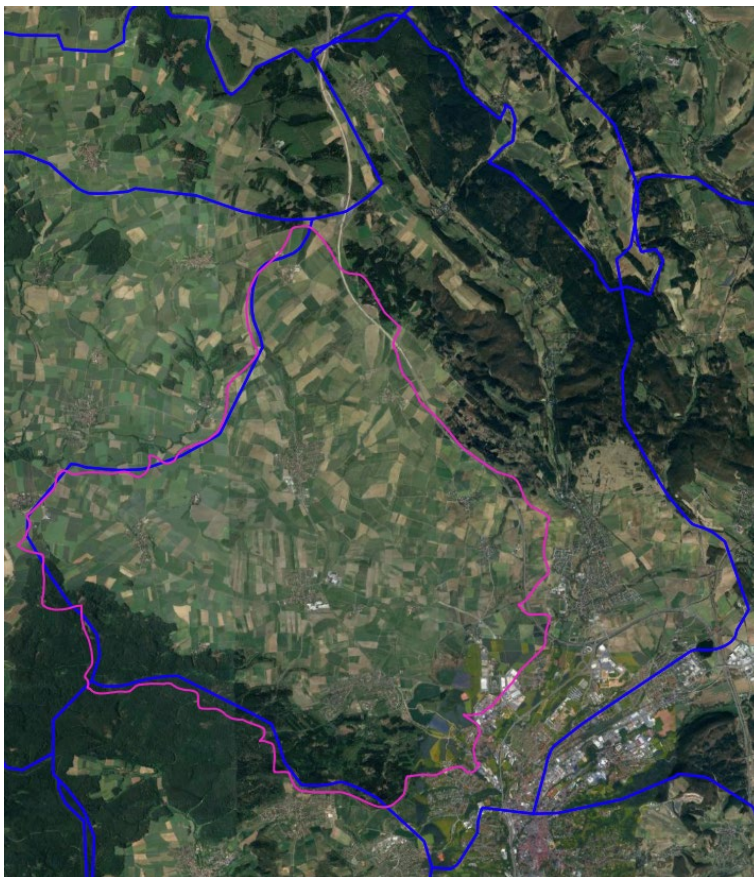


Abbildung 61: Überlagerung des MoRE Analysegebiets mit dem EZG des Goldbergsees (Quelle: eigene Darstellung)

Im Folgenden werden das MoRE-Analysegebiet und dessen Daten genauer betrachtet und der Bezug zum Einzugsgebiet des Goldbergsees hergestellt. Für das MoRE-Analysegebiet ist die Flächennutzung nach **Tabelle 26** ausgewiesen. Bei Überlagerung der Luftbilder mit den

Analysegebieten und der EZG Stufe 6 vom Umweltatlas Bayern wird deutlich, dass sich die großen Siedlungsgebiete und Waldflächen nicht im Bereich des EZG vom Sulzbach befinden. Dadurch erhöht sich der prozentuale Anteil von Ackerland und Grünwiesen für das Einzugsgebiet Goldbergsee nochmals. Bereits dadurch wird erkennbar, dass Einträge in das Gewässer zum Großteil von landwirtschaftlichen Flächen resultieren.

Tabelle 26: Flächennutzung MoRE Analysegebiet „Lauterbach von Quelle bis Mdg 24164“ (Quelle: <https://stoffeintraege-more.de/statistik>, aufgerufen am 05.05.2025)

Art der Flächennutzung	Anteil der Flächennutzung in %	Anteil der Flächennutzung in km ²
Ackerland	44,78	42,02
Grünland	14,63	13,73
Nadelwald	12,97	12,17
Laubwald	4,60	4,32
Mischwald	10,45	9,81
Wasserfläche	0,69	0,65
Feuchtfläche	0,16	0,15
Offene Fläche	0,07	0,07
Siedlungsfläche	11,24	10,55
Natürlich bedeckte Fläche	0,44	0,41

Gleichzeitig wurde das Gewässer mit den genannten Sensoren vermessen und diese Daten ausgewertet. Durch eine Bestandsvermessung aus 2022, welche durch das WWA Kronach zur Verfügung gestellt wurde, konnten die Vermessungen verglichen werden. Zusätzlich wurde der vordere Teil des Gewässers am 26.11.2024 mit einer Drohne befliegen. Dies hatte den Hintergrund, dass zu diesem Zeitpunkt der Winterstau gesteuert wurde und somit der Wasserspiegel im Vergleich zum Sommer um 2,00 m abgesenkt war. Dadurch konnten teilweise die Randbereiche durch Photogrammetrie ausgewertet und überlagert werden.

Als Grundlage für die Massenermittlung der Verlandung, wurden die Vermessungen durch das ADCP und das Lowrance HDS genutzt. Diese beiden Vermessungsdateien wurden zu einem digitalen Geländemodell zusammengefügt, um die Dichte des Vermessungsnetzes zu verbessern. Anschließend wurde dieses DGM noch weiterbearbeitet. Es wurde eine Umgrenzung entlang der äußersten Punkte erstellt. Weiterhin waren im nördlichen Teil des Goldbergsees bekannte Inseln und Ablagerungen vorhanden, welche ebenfalls vom digitalen Geländemodell

und somit auch von der Mengenermittlung ausgegrenzt wurden. Wie auch im Kapitel 4.3 erwähnt, weist das Lowrance HDS teilweise extreme Tiefenabweichungen auf. Diese konnten jedoch leicht erkannt und anschließend ausgeschlossen werden. Durch die genannten Korrekturen wurde ein Geländemodell erzeugt, welches die Gewässersohle, den Ansprüchen gerecht, wiedergeben sollte. Ebenfalls wurde dadurch ermöglicht, die Bestandsvermessung mit diesem Modell zu überlagern (vgl. **Abbildung 62**). Dabei wird die Dreiecksvermaschung des Bestandsmodells von 2022 in Blau und die des Vermessungsmodells in Gelb dargestellt. Gut zu erkennen ist die äußere Begrenzung und die Ausgrenzung der Inselbereiche.

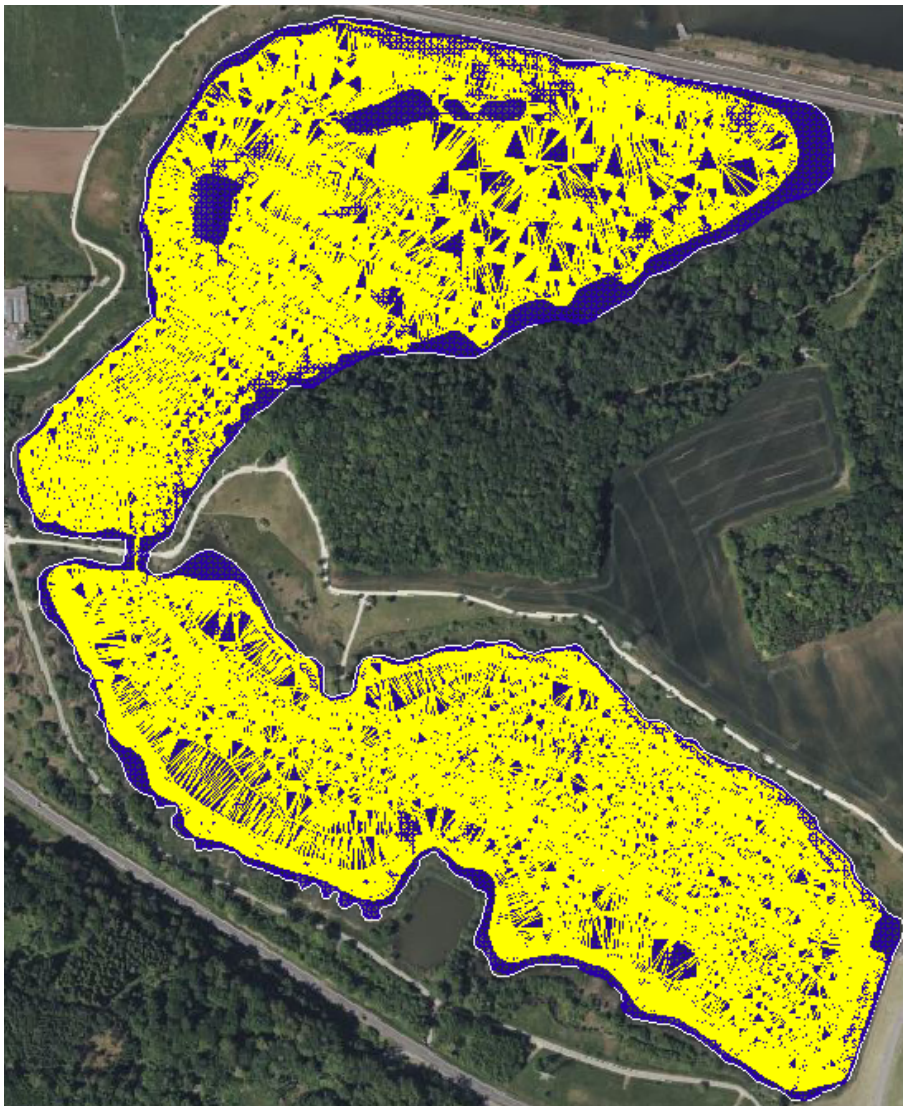


Abbildung 62: Überlagerung der Geländemodelle beim Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)

Für die Ermittlung der Mengen ergaben sich folgende Werte im Vergleich zur Bestandsvermessung 2022:

- überlagerte Fläche = 269.278,19 m²
- Abtrag (Eintiefung) = 1.214,28 m³
- Auftrag (Verlandung) = 50.609,96 m³

Dies entspricht einer Verlandung von ca. 25.000,00 m³ oder 9,00 cm pro Jahr. Da dies eine hohe Menge ist und etwa 2,50 bis 3,00 % des gesamten Wasservolumens im Sommerstau entspricht, ist von Fehlern auszugehen. Dabei kann jedoch nicht gesagt werden, welche der beiden Vermessungen Fehler aufweist. Es wurde sich daher mit dem Ingenieurbüro der Bestandsvermessung von 2022 GEO-DV GmbH in Kontakt gesetzt. Dabei wurde erläutert, dass mit einem Zweifrequenz-Echolot (60/180 kHz) vermessen wurde. Weiterhin wurde auch auf die schon damalige starke Verkrautung des Goldbergsees hingewiesen, weshalb nach Aussage des Ingenieurbüros teilweise größere Flächen interpoliert werden mussten. Auch der niedrigere Frequenzbereich deutet daraufhin, dass die damalige Vermessung in tiefere Bodenschichten eingetreten ist. Aus den genannten Gründen ist die ermittelte Menge nicht genau zu beurteilen. Vielmehr dient dieses Ergebnis als Orientierungshilfe und kann für künftige Vermessungen im 200 kHz-Bereich als Referenzmessung genutzt werden. Zusätzlich wurden Daten von 2011, also kurz nach der Fertigstellung, zur Verfügung gestellt. Beim Vergleich der Daten von 2011 und 2022 ist auffällig, dass das Stauraumvolumen bei einem Wasserspiegel von 297,70 m ü. NHN im Jahr 2011 bei 649.233,00 m³ und im Jahr 2022 bei 668.037,00 m³ lag. Dies verdeutlicht nochmals die Komplexität und Fehleranfälligkeit einer Gewässervermessung.

Da die Messungen trotz Korrekturen teilweise stark voneinander abweichen, wurde im November 2024 eine Drohnenbefliegung der Randbereiche am Goldbergsee vorgenommen. Dies wurde durch die Absenkung zum Winterstau um ca. 2,00 m ermöglicht. Diese Ergebnisse wurden ebenfalls mit den Bestandsdaten von 2022 und mit den Vermessungsdaten von 2024 verglichen. Zu erwähnen ist, dass nur der vordere Teil des Goldbergsees befliegen werden durfte, da der hintere Bereich als Vogelschutzgebiet ausgewiesen ist. Interessant wäre jedoch vor allem der nördliche Teil gewesen, da im Winterstau hier ein Großteil der Gewässersohle frei liegt. Hinsichtlich der Drohnenauswertung bleibt zu erwähnen, dass auch im Zuge der Photogrammetrie Probleme im Bereich von Gewässern auftreten können. Vor allem die Berechnung der weichen, feuchten und teilweise mit Wasserlachen bedeckten, freigelegten Gewässersohle kann zu Abweichungen in der Berechnung führen. Weiterhin sollte auch die Umlagerung beim Ablassen des Gewässers nicht unterschätzt werden. So kann es vorkommen, dass Anteile der Seitenbereiche transportiert und in der Gewässermitte bzw. im Wasserlauf abgelagert oder abtransportiert wurden.

Durch die Drohnenbefliegung konnte anschließend die Punktwolke aus **Abbildung 63** berechnet werden. Dabei wird durch die Ansicht in der Horizontalen teilweise erkenntlich, dass Punkte in der Nähe der Wasserfläche zu hoch berechnet wurden. Durch die hochauflösenden Bilder konnte die Wasseroberfläche erkannt und entlang dieser eine Begrenzungslinie gezeichnet werden. Weiterhin wurde das digitale Geländemodell des Drohnenaufmaßes im Be-

reich der Verschneidung genauer betrachtet und korrigiert. Dieses Geländemodell wurde anschließend mit dem Geländemodell aus den Punktdaten der Vermessung mit dem ADCP und dem Lowrance HDS und dem Geländemodell der Bestandsvermessung von 2022 verschnitten und Mengen ermittelt. Zum exakten Vergleich wurden die äußeren Umgrenzungslinien aller Geländemodelle gleich gewählt, wodurch sich eine Fläche der Überlagerung von ca. 33.800,00 m² ergibt. Dies entspricht nur etwa 1/8 der gesamten Vermessungsfläche, wird jedoch trotzdem zur Bewertung herangezogen.

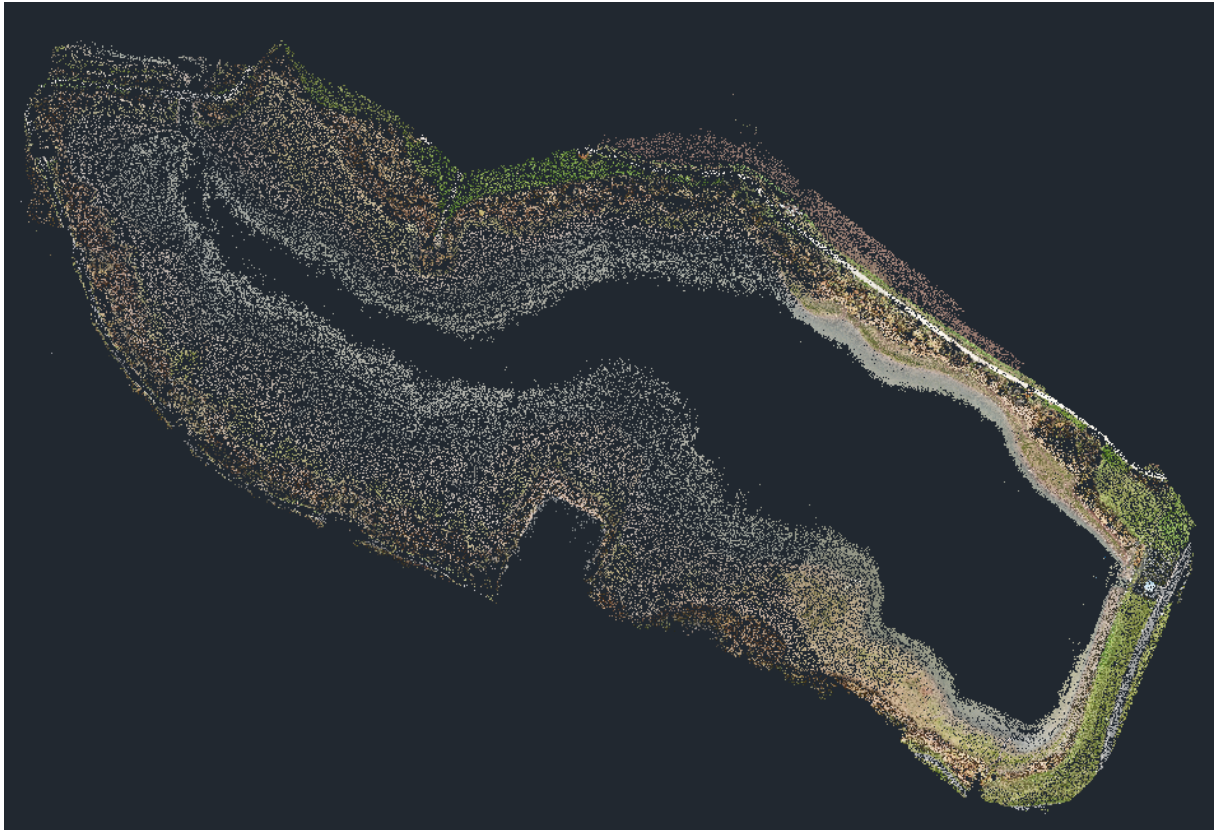


Abbildung 63: Punktwolke Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)

Der Vergleich von Bestand bzw. Neuvermessung mit dem Drohnenaufmaß ergab folgende Ergebnisse:

Vergleich Bestand 2022 mit Drohne:

- überlagerte Fläche = 33.825,64 m²
- Abtrag (Eintiefung) = 1.517,33 m³
- Auftrag (Verlandung) = 3.781,41 m³

Vergleich Neuvermessung 2024 mit Drohne:

- überlagerte Fläche = 33.809,04 m²
- Abtrag (Eintiefung) = 3.804,13 m³
- Auftrag (Verlandung) = 2.096,13 m³

Diese Auswertungen zeigen, dass auch nach der Drohnenvermessung alle Ergebnisse voneinander abweichen. Jedoch ist trotzdem der Trend zur Verlandung erkennbar. Im Vergleich mit der Bestandsvermessung 2022 ist erkenntlich, dass die Verlandung die Eintiefungen überwiegt, wohingegen bei dem Vergleich der Neuvermessung von 2024 das wiedergespiegelt wird, was bereits in Kapitel 4.3.2 und 4.3.3 erläutert wurde. Die Neuvermessung 2024 zeigt oft zu hoch gemessene Punktkoordinaten auf, geschuldet durch die Vegetation.

Um eventuelle Fehler bei der Punktwolkendarstellung des Drohnenaufmaßes ausschließen zu können, wurden zusätzlich stichpunktartig Koordinatenpunkte mit einem GNSS-Empfänger PNR21 von proNIVO aufgenommen und mit der Punktwolke verglichen (siehe **Abbildung 64**). Bei diesen Koordinatenpunkten kann garantiert werden, dass die Abweichungen kleiner als 0,03 m sind. Insgesamt wurden 6 Punkte, verteilt auf den vorderen Teil des Goldbergsees, verglichen. Anders als erwartet, hat die Punktwolke der Drohne bei vier von sechs Punkten die größte Differenz zu den Koordinatenpunkten des GNSS-Empfängers, weshalb auch diese Vermessung nicht als Referenzmodell genutzt werden kann.



Abbildung 64: Vergleich aller Vermessungen mit GNSS-Koordinatenpunkten am Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)

Da durch die Vermessung, trotz der Abweichungen, davon ausgegangen werden kann, dass das Gewässer verlandet, wurde nach möglichen Ursachen für Einträge gesucht. Solide Grundlagen hierzu stellt die MoRE-DE Toolbox dar.

Zur ersten Einschätzung sollten die Flächennutzungen aus **Tabelle 26** betrachtet werden. Dabei geht hervor, dass für das gesamte Analysegebiet der Anteil von Ackerland etwa 45,00 %

beträgt. Da dieses Gebiet jedoch größer als das tatsächliche Einzugsgebiet ist, wurde zusätzlich das Luftbild hinzugezogen. Wie daraus in **Abbildung 61** zu erkennen ist, bestehen die Flächen außerhalb des tatsächlichen Einzugsgebiets (Rosa) zum Hauptteil aus Siedlungs- und Waldgebieten. Dadurch erhöht sich der prozentuale Anteil von Ackerflächen am Einzugsgebiet nochmals, wodurch die Fläche im tatsächlichen Einzugsgebiet $\geq 23,81 \text{ km}^2$ sein muss. Diese Menge an landwirtschaftlich genutzten Ackerflächen in Kombination mit der in **Abbildung 65** dargestellten Höhenverteilung im Einzugsgebiet gibt Aufschluss darüber, dass die Ackerflächen ein erhebliches Eintragspotential aufweisen. Besonders die Flächen in den höheren Lagen mit erhöhtem Gefälle sind betroffen.

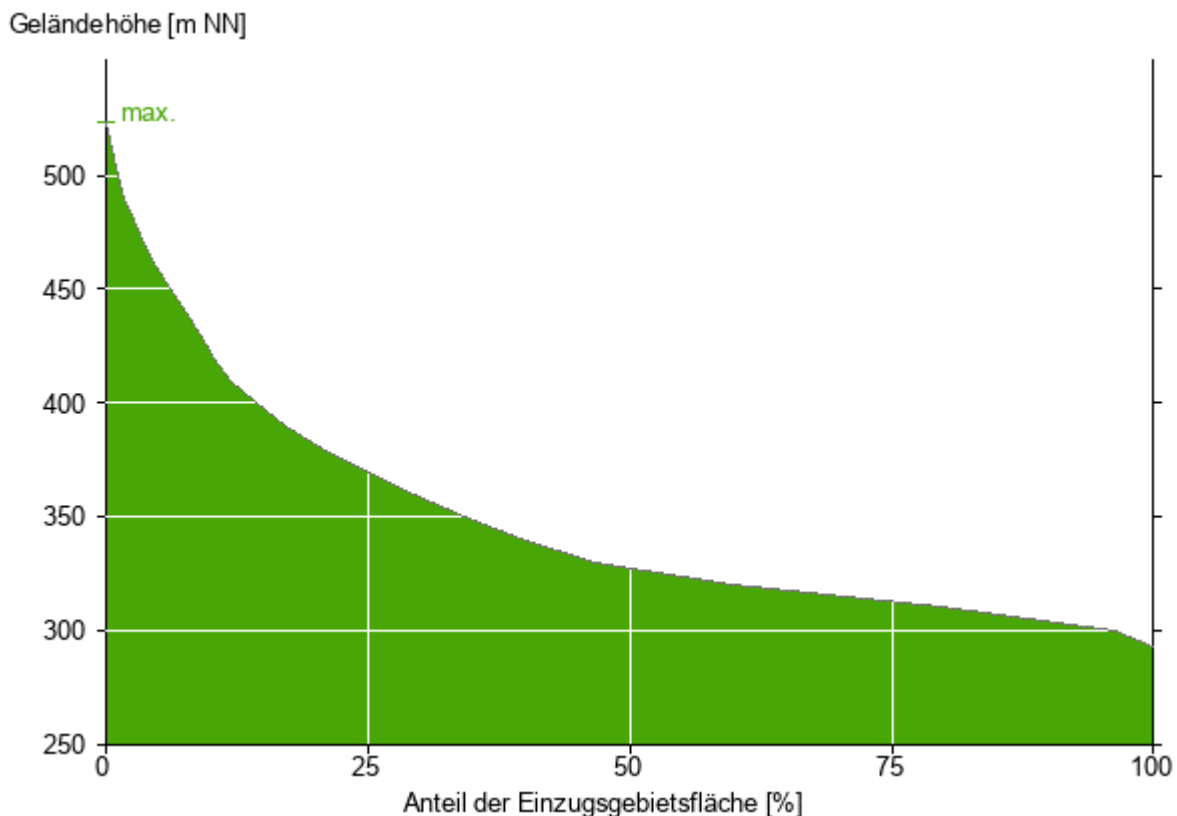


Abbildung 65: Hypsografische Kurve Goldbergsee (Quelle: https://www.hnd.bayern.de/speicher/oberer_main_elbe/goldbergsee-seepegel-24165900/gebiet, aufgerufen am 05.05.2025)

Zur Identifizierung dieser Bereiche wurden zuerst die Höhendaten des Landes genutzt und Höhenlinien mit einem Intervall von 5,00 m erzeugt (vgl. **Abbildung 66**). Dadurch wurde deutlich, dass vor allem die Randbereiche im südlichen und nördlichen Teil des Einzugsgebiets erhöhte Gefälle aufweisen. Zusätzlich wurde das Luftbild mit diesen Höhenlinien überlagert. So wird erkennbar, dass der nördliche Bereich besonders stark durch landwirtschaftlich genutzte Flächen geprägt ist, wohingegen im südlichen Bereich zum Großteil Wald- und Grünflächen vorherrschend sind. Mit diesem Wissen, dass insbesondere der nördliche Teil des Einzugsgebiets Eintragspotential aufweist, wurde versucht, eine Menge zu ermitteln. Dabei

wurde schnell ersichtlich, dass vor allem das Einpflegen von Bodenkennwerten und Flächennutzungen sowie die Berechnungen einen hohen Zeitaufwand darstellen. Um den Aufwand künftig für Betreiber und Nutzer jedoch so gering wie möglich zu halten, wurden weitere Möglichkeiten getestet.

Die umfangreichste und sinnvollste Anwendung wurde dabei mit der MoRE-DE Toolbox identifiziert. Die größten Vorteile gegenüber anderen Anwendungen sind nachfolgend genannt:

- kostenfrei,
- flächendeckend,
- Freilegung der Eingangsdaten,
- teilweise downloadbar,
- Beachtung der Einträge in ein Gewässer,
- Betrachtung von Grün- und Waldflächen,
- ausgefertigte Statistiken zu den unterschiedlichen Gebieten.

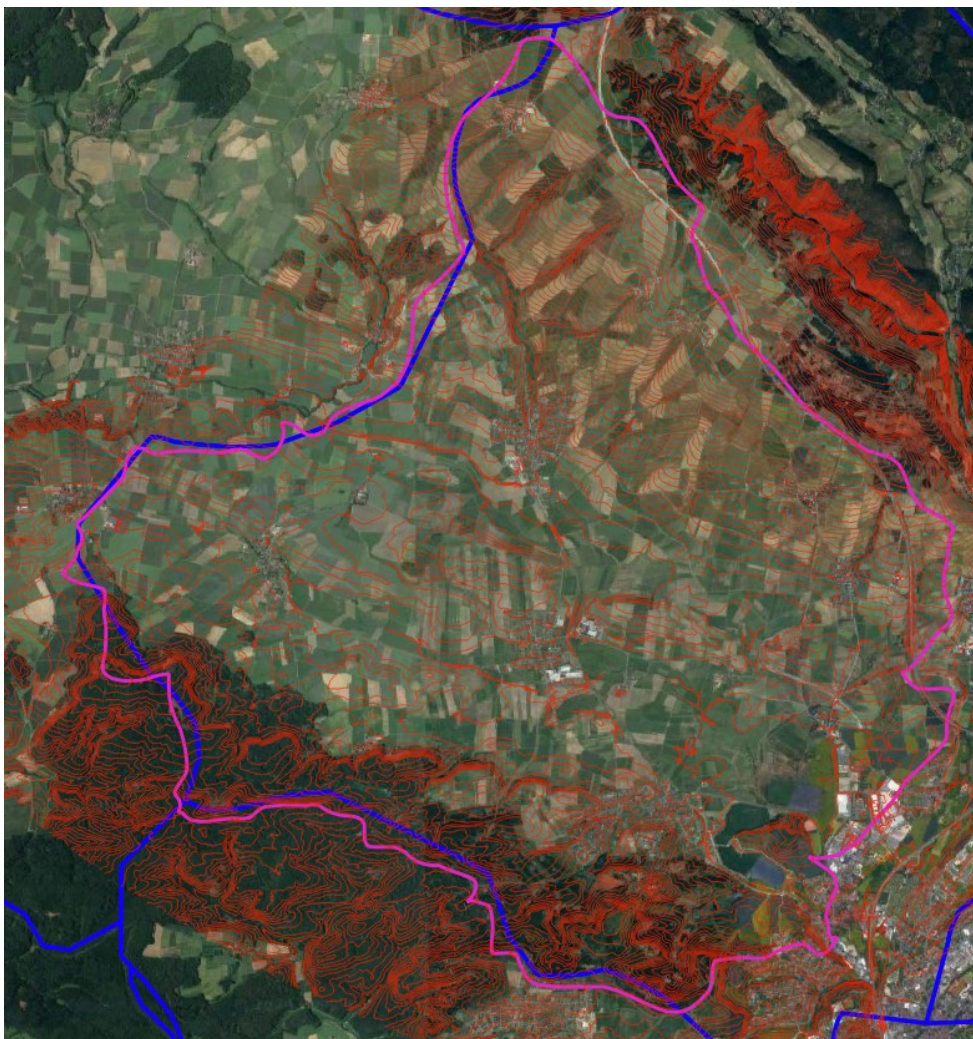


Abbildung 66: Höhenlinien 5-m-Intervall am Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)

In **Abbildung 67** wird nun der Bodenabtrag in der MoRE-DE Toolbox dargestellt. Dieser wird in der Anwendung ebenfalls nach der ABAG-Gleichung berechnet. Hinterlegt wird die Darstellung des Bodenabtrags mit dem „WebAtlas“, um das tatsächliche Einzugsgebiet des Goldbergsees einschätzen zu können. Dieses wird im Nordosten etwa durch die Autobahn begrenzt, wie auch teilweise in **Abbildung 66** erkennbar ist. Wird dies mit **Abbildung 67** verglichen stellt sich heraus, dass sich der gelblich und rötlich schraffierte Bereich zwischen den Orten Meeder und Lautertal zum Großteil im Einzugsgebiet des Goldbergsees befindet. Die Legende der farblichen Darstellung gibt wieder, dass die gelben Bereiche einen Bodenabtrag von 1,00 bis 1,50 t/ha•a bis hin zu den dunkelroten Bereichen $\geq 10,00$ t/ha•a aufweisen. Bei einer grob gemessenen Fläche von ca. 14,00 km² und einem geschätzten Bodenabtrag von ca. 2,00 t/ha•a im Mittel in diesem Bereich ergibt sich somit eine Bodenumlagerung von 2.800,00 t/a. Wichtig zu erwähnen ist, dass es sich bei dieser Zahl nicht um Mengen handelt, welche zu 100,00 % in das Gewässer gelangen. Ausschlaggebend sind Flächen, welche an ein Gewässer angebunden sind und somit überhaupt Bodenmaterial eintragen können.

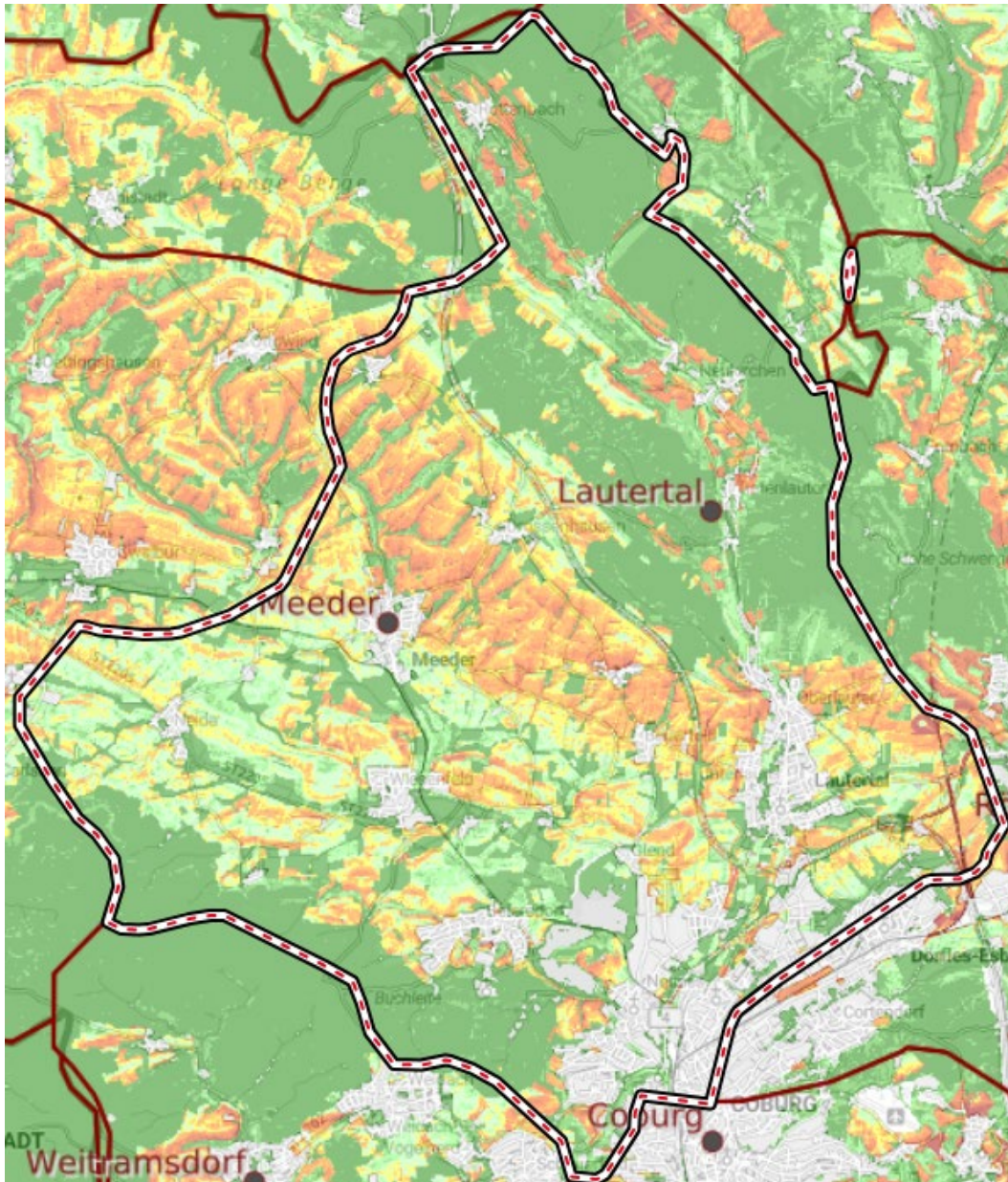


Abbildung 67: Darstellung des Bodenabtrags im MoRE Analysegebiet „Lauterbach von Quelle bis Mündung 24164“ (Quelle: <https://stoffeintraege-more.de/karten/>, aufgerufen am 05.05.2025)

Auch diese Flächen, welche Sediment eintragen, können in der MoRE-DE Toolbox dargestellt werden (vgl. **Abbildung 68**). Diese sind im Vergleich zum gesamten Bodenabtrag stark reduziert. Es sollte jedoch beachtet werden, dass eventuell kleinere Vorfluter oder Sickerleitungen in den Berechnungen vernachlässigt wurden oder nicht bekannt sind. Durch diese Darstellung konnten die Flächen, welche Sediment eintragen, ohne großen Aufwand identifiziert werden.

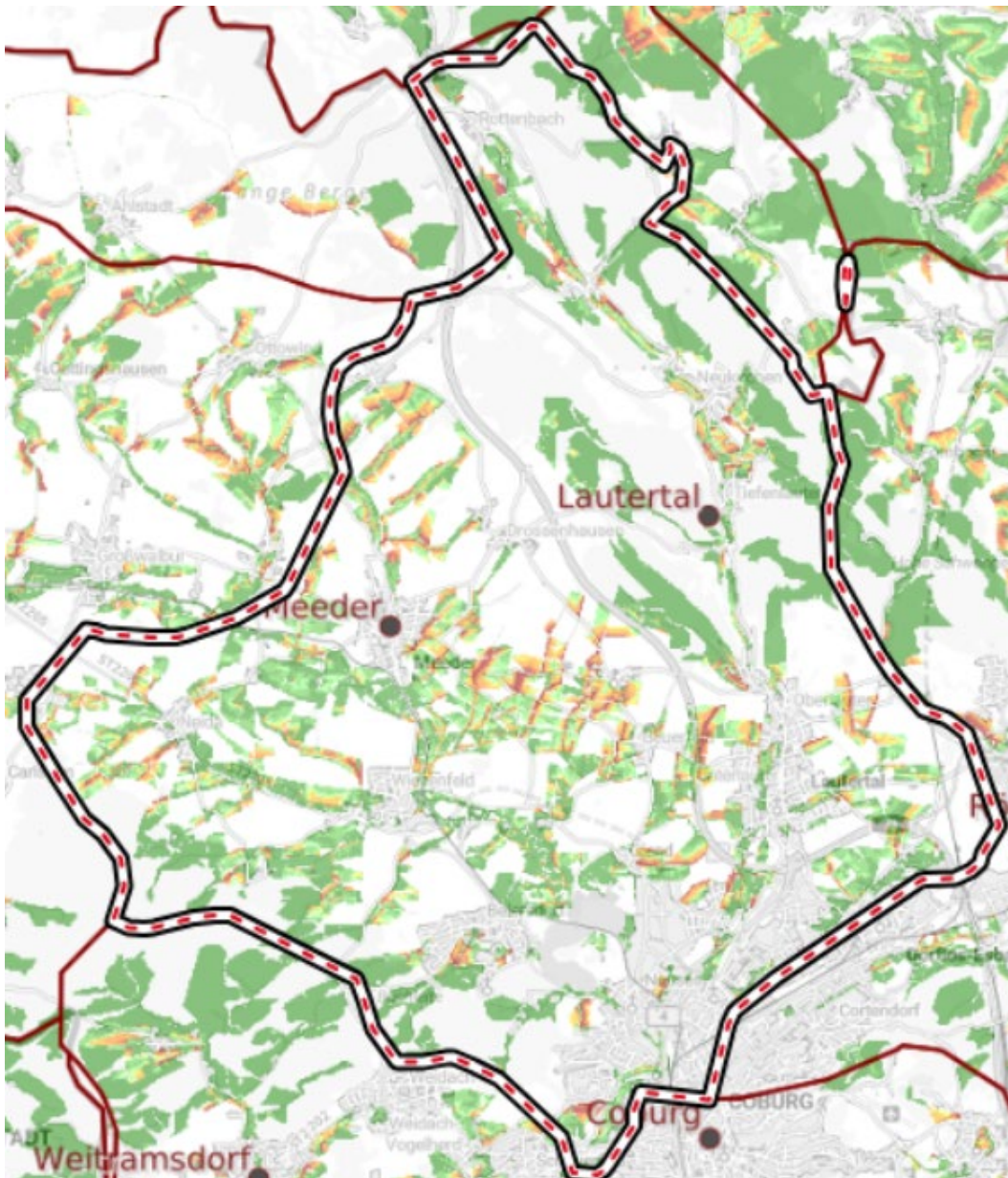


Abbildung 68: Darstellung des Bodenabtrags mit Anbindung an ein Gewässer im MoRE Analysegebiet „Lauterbach von Quelle bis Mündung 24164“ (Quelle: <https://stoffeintraege-more.de/karten/>, aufgerufen am 05.05.2025)

Ebenfalls können in der MoRE-DE Toolbox Statistiken für die jeweiligen Gebiete aufgerufen werden. Interessant sind dabei der Bodenab- und Sedimenteintrag in Bezug auf die jeweiligen Flächennutzungen (vgl. **Tabelle 27**). Durch diese Daten wird deutlich, dass ein massiver Bodenabtrag auf den Ackerflächen stattfindet. Jedoch zeigt das Verhältnis auf, dass nur ein Bruchteil davon als Sediment in ein Gewässer eingetragen wird. Trotz alledem ist der Sedimenteintrag durch die Ackerlandflächen im Vergleich zu den restlichen Flächennutzungen am höchsten. Die Flächennutzung mit den zweithöchsten Sedimenteinträgen wird durch den Laubwald belegt, wobei diese Art der Flächennutzung nur eine geringe, bis keine Fläche im

Einzugsgebiet des Goldbergsees einnimmt. Die Summe des Bodenabtrags im MoRE-Analysegebiet beläuft sich auf 8.067,00 t/a, wohingegen der Sedimenteintrag mit 409,58 t/a gering ausfällt.

Tabelle 27: Bodenab- und Sedimenteintrag in Bezug zu den Flächennutzungen am Goldbergsee (Quelle: <https://stoffeintraege-more.de/statistik>, aufgerufen am 05.05.2025)

Flächennutzung	Bodenabtrag in t/ha•a	Sedimenteintrag in t/ha•a	Verhältnis von Bodenabtrag zu Sedimenteintrag
Ackerland	1,86200	0,3674000	5,068 / 1,000
Grünland	0,06494	0,0049480	13,124 / 1,000
Nadelwald	0,04473	0,0007801	57,339 / 1,000
Laubwald	0,08449	0,0206100	4,099 / 1,000
Mischwald	0,06411	0,0064060	10,008 / 1,000
Wasserfläche	-	-	-
Feuchtfäche	-	-	-
Offene Fläche	-	-	-
Siedlungsfläche	-	-	-
Natürlich bedeckte Fläche	0,11500	0,0142200	8,087 / 1,000

Mit einem maximalen Bodenabtrag von 1,862 t/ha/a für das Ackerland kann das Gebiet allgemein nach **Tabelle 23** in E2 (geringe Erosionsgefährdung) eingestuft werden. Trotz alledem sollten für die stark gefährdeten Flächen Maßnahmen durchgeführt werden, um sowohl Gewässer als auch das Gut Boden zu schützen. Diese Flächen werden durch die MoRE-DE Toolbox sowohl für den gesamten Bodenabtrag (vgl. **Abbildung 67**) als auch für den Sedimenteintrag (vgl. **Abbildung 68**) gut dargestellt. Nachfolgend werden diese Bereiche genauer betrachtet und es werden mögliche Maßnahmen zum Schutz vor Bodenabtrag und Sedimenteintrag genannt. Werden diese Werte mit den Mengenermittlungen aus der Vermessung verglichen, werden deutliche Unterschiede sichtbar. Nach der MoRE-DE Toolbox ergeben sich ca. 409,58 t/a Sedimenteintrag. Bei einer angenommenen Raumdichte von 1,50 t/m³ ergeben sich dadurch lediglich 273,05 m³/a, wohingegen sich aus der Vermessung etwa 25.000,00 m³/a berechnet haben. Nicht berücksichtigte Flächen in der MoRE-DE Toolbox, weitere Einträge durch Siedlungsgebiete und Vegetation und vor allem bereits geringe Abweichungen bei der Vermessung tragen zu dieser hohen Differenz bei.

Bei der Betrachtung des Luftbilds des Einzugsgebiets des Goldbergsees wird deutlich, dass viele landwirtschaftlich genutzte Flächen eine Anbaurichtung senkrecht zu den Höhenlinien aufweisen (vgl. **Abbildung 69**). Im Idealfall sollten die Anbaurichtungen jedoch parallel zu den Höhenlinien verlaufen.



Abbildung 69: Ausschnitt Luftbild Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)

In **Abbildung 70** sind alle landwirtschaftlich genutzten Flächen mit falscher Bearbeitungsrichtung durch eine hellblaue Umrandung kenntlich gemacht. Ausschlaggebend dafür waren Luftbilder und Höhenlinien, welche anschließend im GIS miteinander verglichen wurden.

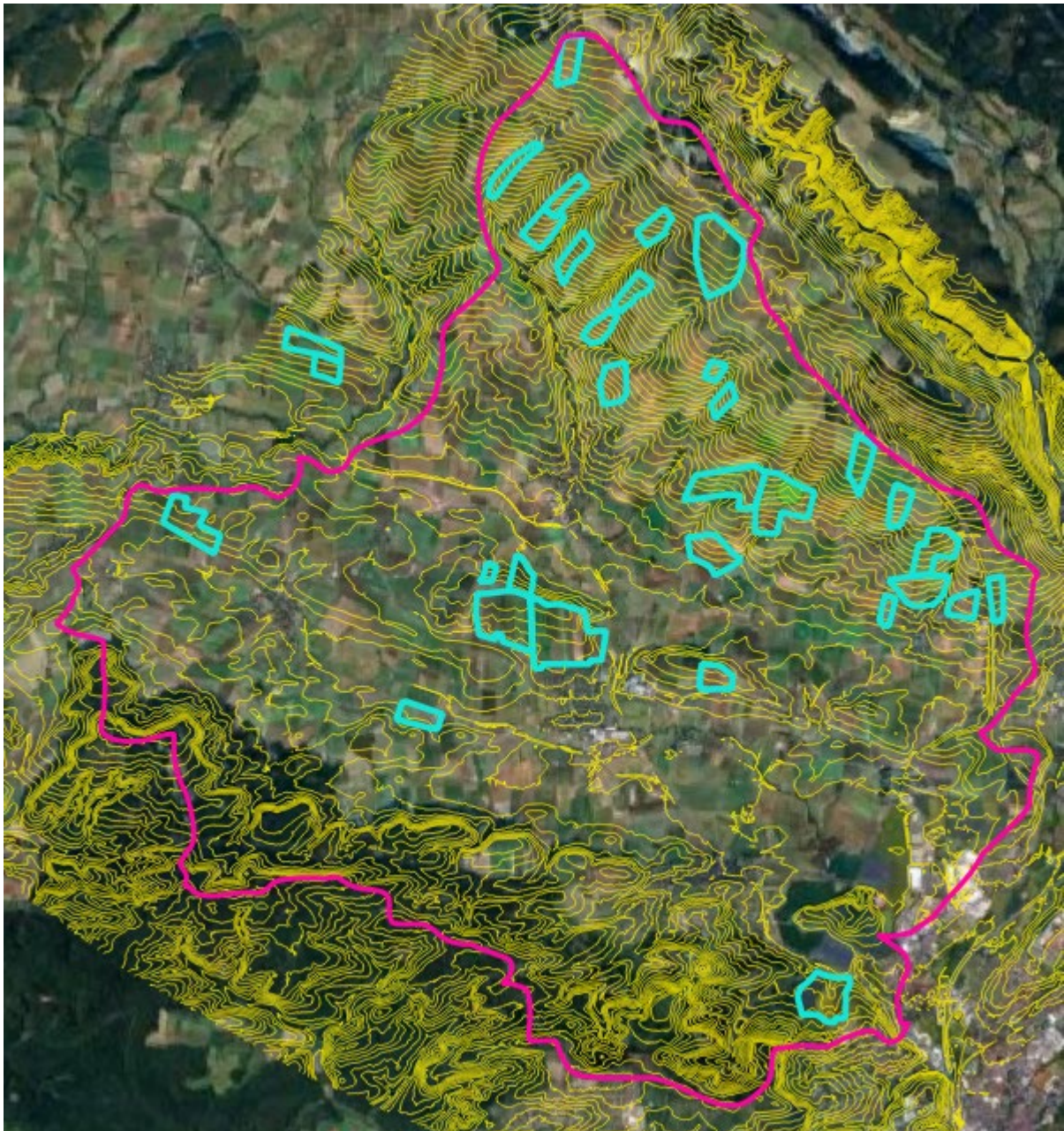


Abbildung 70: Identifizierung falscher Bearbeitungsrichtungen im Einzugsgebiet des Goldbergsees (Quelle: eigene Darstellung)

Nach der ABAG-Gleichung kann durch den P-Faktor nach **Tabelle 24** der Bodenabtrag unter gewissen Voraussetzungen um bis zu 50,00 % reduziert werden. Diese Maßnahme ist zum Großteil einfach umzusetzen und bedeutet keinen erhöhten Kosten- und Zeitaufwand. Ebenso sollte der Erhalt des nährstoffreichen Bodens auch im Interesse der Landwirtschaft sein. Bei ungeeigneten Geometrien der Grundstücke zur Querbewirtschaftung kann über eine Flurneueordnung in diesen Bereichen nachgedacht werden. Die Umsetzung dieser Maßnahme im gesamten Einzugsgebiet und insbesondere auf den sedimenteintragenden Flächen wird zwingend empfohlen.

Weiterhin sollte über eindämmende Maßnahmen nachgedacht werden. Dabei sollte die Ausführung von Gewässerrandstreifen nach Art. 16 BayNatSchG im Vordergrund stehen. Zum Teil ist an den Hauptgewässern bereits ein Gewässerrandstreifen im Einzugsgebiet vorhanden, jedoch sollten alle Zuflüsse zum Gewässer durch einen Gewässerrandstreifen vor Sementeinträgen geschützt werden. In **Abbildung 71** wird dargestellt, welche Vorfluter und Zuflüsse keine Gewässerrandstreifen besitzen und teilweise direkt an Ackerflächen angebunden sind oder diese sogar durchqueren. Deutlich wird dabei, dass die Hauptzuflüsse wie der Sulzbach und die Nerde am Hauptgewässer zum Großteil einen Gewässerrandstreifen besitzen. Jedoch wird aus der Luftbildaufnahme erkennbar, dass die meisten Nebengewässer, Feldentwässerungen und Vorfluter direkt an intensiv landwirtschaftlich genutzte Fläche angeschlossen sind und ohne Schutzstreifen somit Sediment einbringen können.

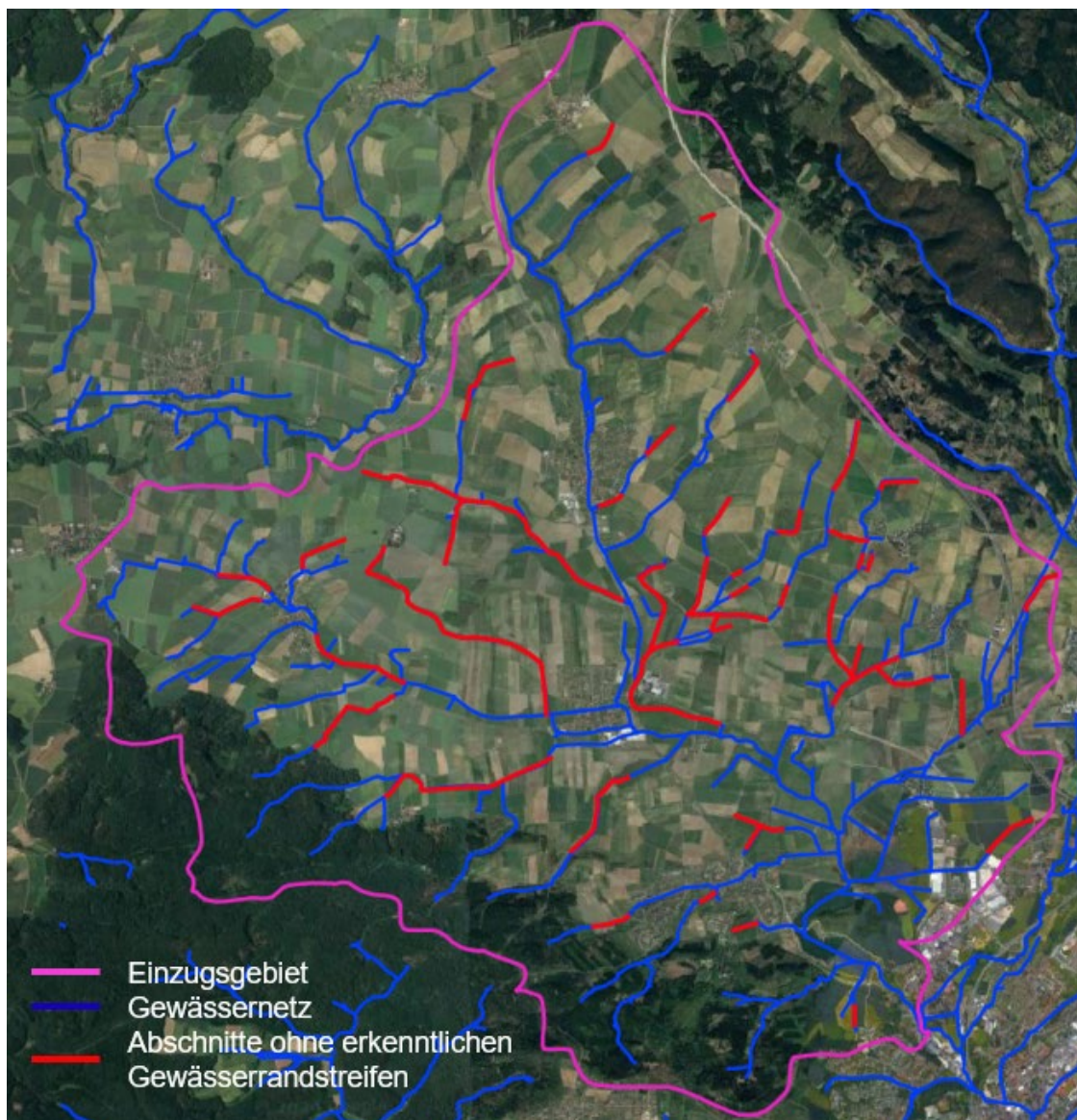


Abbildung 71: Gewässer ohne erkenntlichen Gewässerrandstreifen (Quelle: eigene Darstellung)

Durch die Einhaltung von Gewässerrandstreifen an allen Zuflüssen können sowohl Nährstoffe als auch Sedimente zurückgehalten werden und tragen somit zur Verbesserung der Wasserqualität bei. Zusätzlich sind die Schutzstreifen immer bewachsen, wodurch auch Erosion in diesen Bereich minimiert werden kann. Bei zusätzlicher Bepflanzung der Randstreifen mit geeigneten Buschwerken und Gehölzen kann durch die Beschattung der Fließgewässer die Wassertemperatur in den warmen Sommermonaten reduziert werden. Eine weitere positive Folge davon könnte die Minimierung von Blaualgen im Goldbergsee sein. Auch diese Maßnahme ist in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaft mit geringem Aufwand umsetzbar und kann sogar gefördert werden. Dies sollte vor allem in erosionsgefährdeten Bereichen, im nordöstlichen Teil des Einzugsgebiets, vorgeschrieben werden. Die Ausbildung kann dabei nach dem Beispiel in **Abbildung 72** erfolgen.

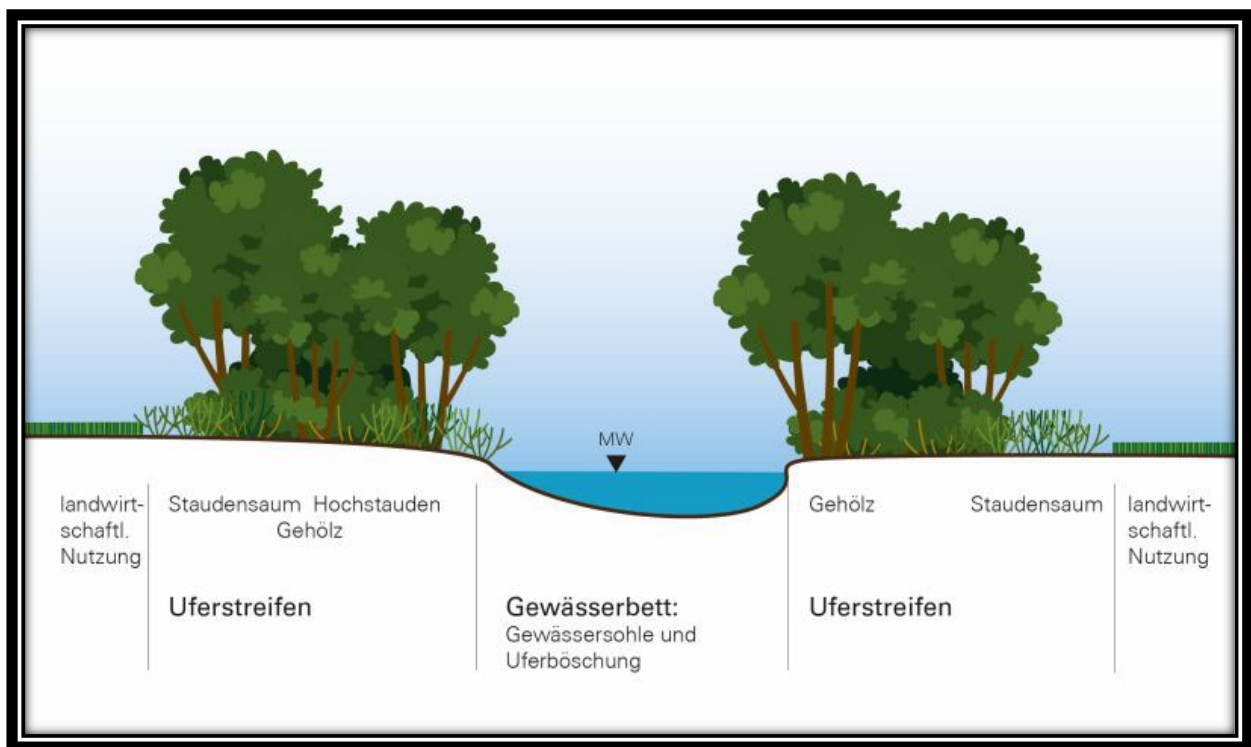


Abbildung 72: Ausbildung Gewässerrandstreifen (www.lfu.bayern.de, aufgerufen am 05.05.2025)

Überhaupt sollte versucht werden, bei erosionsgefährdeten Flächen abflussmindernde Maßnahmen einzubringen, um den mit Sediment belasteten Oberflächenabfluss möglichst dezentral zurückzuhalten. Denkbar sind kleine Dämme und Mulden, welche mit landwirtschaftlichen Maschinen noch gekreuzt werden können. Diese Maßnahmen sind besonders für Bereiche mit erhöhten Neigungen empfehlenswert. In **Abbildung 73** ist hierzu ein Beispiel auf einer Fläche im Einzugsgebiet des Goldbergsees dargestellt. Dabei ist eine Ackerfläche mit Bearbeitungsrichtung senkrecht zu den Höhenlinien und anschließender Entwässerung in einen Vorfluter abgebildet. Die Fläche besitzt ein Gefälle von ca. 7,00 %. Als Maßnahme könnte hier vor dem Zufluss in den Vorfluter ein 10,00 m breiter Streifen als Mulde mit einem Stich von

0,30 m ausgebildet werden (**Abbildung 74**). Zusätzlich sollte dieser Streifen mit Gehölzen und Hecken bepflanzt werden, wodurch eine abbremssende Wirkung für den Oberflächenabfluss entsteht. Insgesamt trägt diese Maßnahme mit ca. $1,50 \text{ m}^3/\text{m}$ Rückhaltevolumen zum dezentralen Rückhalt bei. Weiterhin besteht somit die Möglichkeit der Versickerung und des Sedimentrückhalts vor Ort. Diese Maßnahme kann zu den eindämmenden Strukturen und in die Agroforstwirtschaft eingeordnet werden.



Abbildung 73: Draufsicht dezentraler Rückhalt Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)

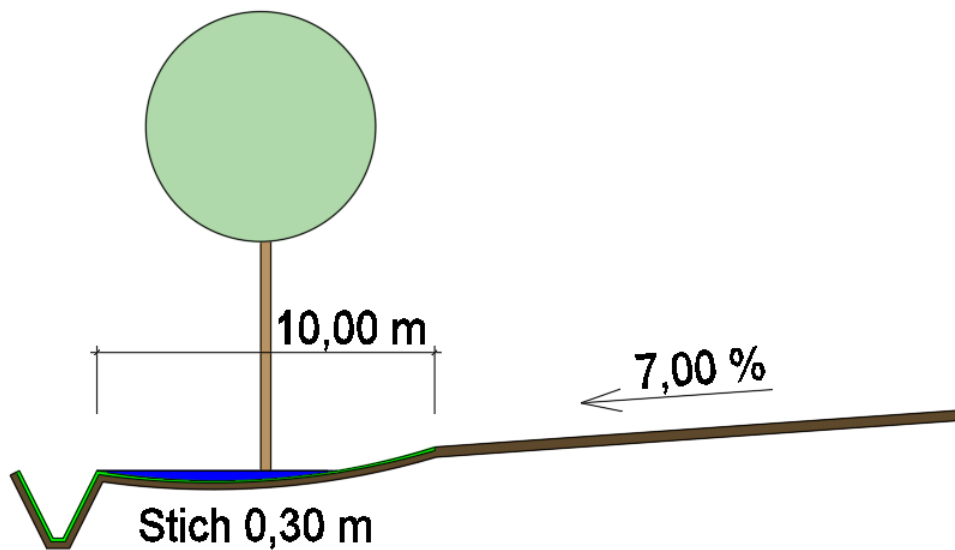


Abbildung 74: Querschnitt Muldenausbildung Goldbergsee (Quelle: eigene Darstellung)

Genutzt werden können hierfür bereits bestehende Vorfluter und Gräben, welche durch Eintiefungen und Kaskaden sowohl als Versickerungs- als auch als Absetzbecken dienen können. Erforderlich ist dafür der Einbau von kleinen Wehranlagen, Sohlgleiten oder Drosselungen durch reduzierte Durchlässe welche sich an der Grabentiefe und dem Gefälle des Grabens orientieren müssen. Je nach Grabentiefe und Gefälle ist so ein bestimmtes Volumen zurückzuhalten. In als Gewässer deklarierten abschnitten darf die Durchgängigkeit nicht unterbrochen werden.

6.2 Exemplarische Maßnahmen für den Froschgrundsee

Ähnlich dem Goldbergsee entspricht das MoRE-Analysegebiet „Itz von Quelle bis oh Lauterbach“ in etwa dem Einzugsgebiet des Froschgrundsees. Wie in **Abbildung 75** dargestellt, ist das Analysegebiet (blau) südöstlich größer als das Einzugsgebiet des Froschgrundsees (rosa). In den restlichen Bereichen weichen beide Flächen nur gering voneinander ab. Die Fläche des Analysegebiets beträgt somit 160,98 km² wohingegen das EZG nur ca. 126,03 km² umfasst.

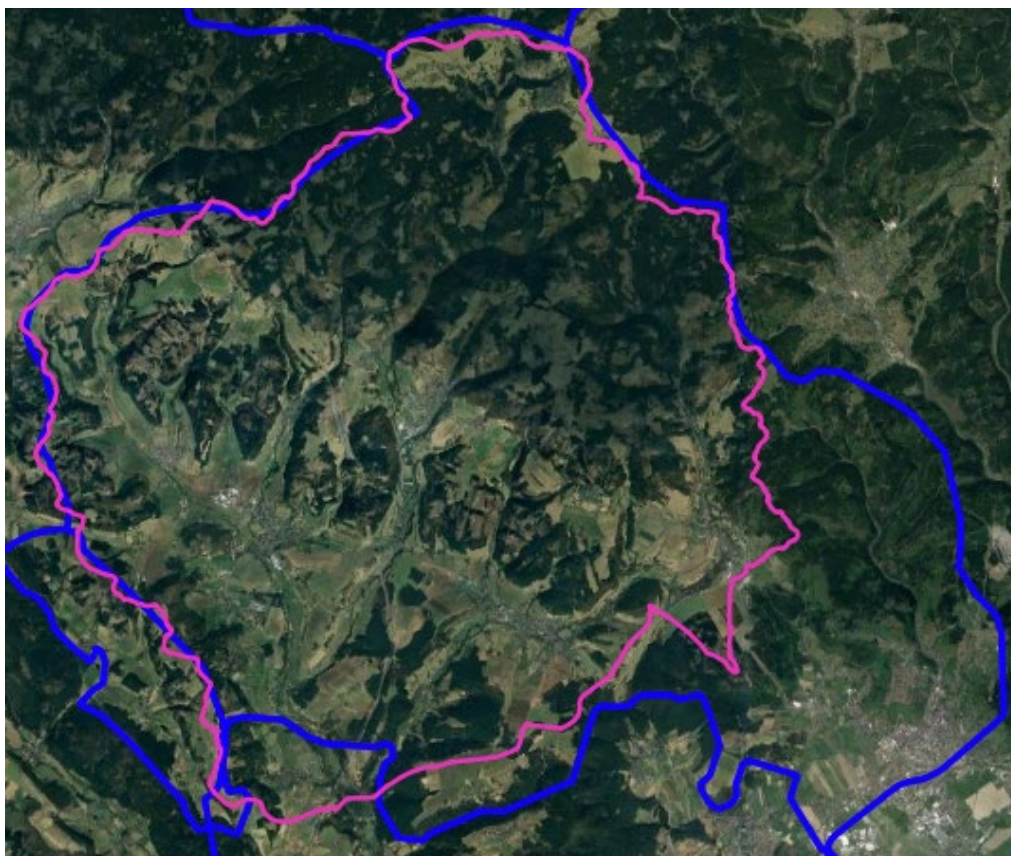


Abbildung 75: Überlagerung des MoRE Analysegebiets mit dem EZG des Froschgrundsees (Quelle: eigene Darstellung)

Die Daten zur Aufteilung der Flächen des MoRE-Analysegebiets sind in **Tabelle 28** gegeben.

Tabelle 28: Flächennutzung MoRE Analysegebiet „Itz von Quelle bis oberhalb Lauterbach - 20320“ (Quelle: www.stoffeintraege-more.de)

Art der Flächennutzung	Anteil der Flächennutzung in %	Anteil der Flächennutzung in km ²
Ackerland	14,23	22,91
Grünland	18,67	30,05
Nadelwald	47,76	76,88
Laubwald	0,42	0,68
Mischwald	9,86	15,87
Wasserfläche	0,07	0,11
Siedlungsfläche	8,20	13,20
Natürlich bedeckte Fläche	0,75	1,21
Tagebau	0,04	0,06

Im Gegensatz zum Goldbergsee dominieren nicht die landwirtschaftlich genutzten Flächen, sondern die Grünland- und Waldflächen (Nadel- und Mischwald). Diese haben einen Anteil von 76,29 % am MoRE-Analysegebiet. Bei Betrachtung des Luftbilds (vgl. **Abbildung 75**) wird deutlich, dass sich im Gebiet außerhalb des tatsächlichen Einzugsgebiets zum Großteil Wald- und Siedlungsflächen befinden. Dadurch könnte sich der prozentuale Anteil der Waldflächen verringern. Jedoch stellen die Wald- und Grünflächen weiterhin den Hauptteil der Flächenanteile dar. Wird nun nach der ABAG-Gleichung der C-Faktor berücksichtigt, wird dieser sowohl für Dauergrünflächen als auch für Waldflächen mit dem Faktor 0,004 angesetzt, wodurch das Erosionsrisiko stark minimiert wird. Deshalb ist davon auszugehen, dass von diesen Flächen nur ein geringer Teil der Sedimente eingetragen wird.

Der Froschgrundsee wurde ebenfalls mit den in Kapitel 4 genannten Sensoren vermessen. Weiterhin wurde auch für dieses Gewässer eine Bestandsvermessung aus dem Jahr 2022 durch das Wasserwirtschaftsamt Kronach zur Verfügung gestellt. Zum Vergleich wurden die Messdaten des ADCP und des Lowrance HDS zusammengelegt, um ein dichteres Vermessungsnetz zu schaffen. Anschließend wurden diese Daten zu einem Geländemodell zusammengefügt und mit den Bestandsdaten von 2022 verglichen.

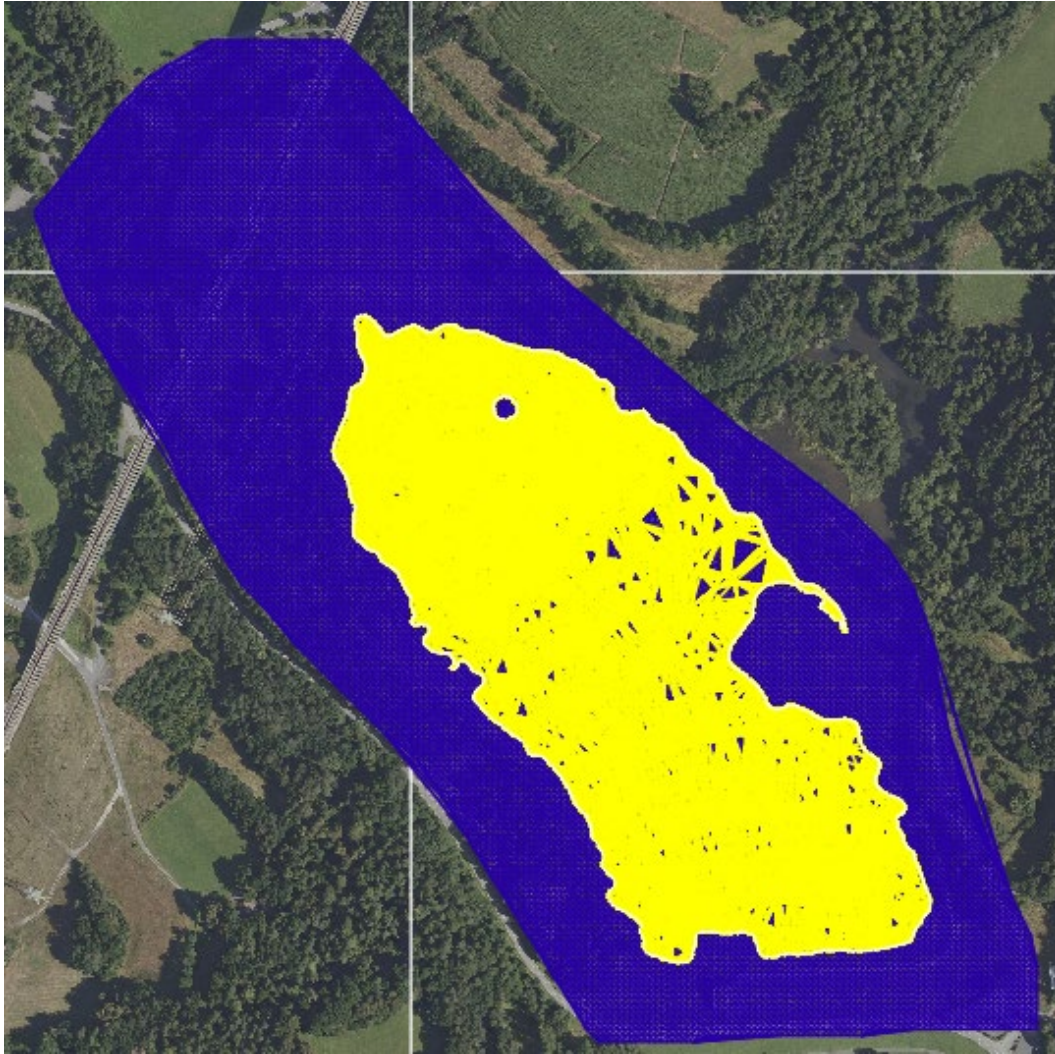


Abbildung 76: Überlagerung der Geländemodelle beim Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)

Für die Ermittlung der Mengen ergeben sich folgende Werte im Vergleich zur Bestandsvermessung 2022:

- überlagerte Fläche = 124.620,43 m²
- Abtrag (Eintiefung) = 702,19 m³
- Auftrag (Verlandung) = 12.870,83 m³

Dies entspricht einer Verlandung von ca. 6.500,00 m³ oder 5,00 cm pro Jahr, was wiederum etwa 3,00 % des gesamten Wasservolumens im Sommerstau sind. Zusätzlich wurden die Bestandsdaten nach dem Bau im Jahr 1986 zur Verfügung gestellt. Bei Vergleich der Bestandsvermessungen von 1986 und 2022 wird ebenfalls ein starker Stauraumverlust deutlich. So betrug das Stauraumvolumen 1986 bei einem Wasserspiegel von 344,50 m ü. NHN noch 368.955,00 m³, wohingegen das Stauraumvolumen nach der Berechnung der Bestandsvermessung im Jahr 2022 nur noch 210.027,00 m³ betrug. Auch daraus würde ein jährlicher Stauraumverlust von 4.414,67 m³ hervorgehen. Zwar sind dabei die verglichenen Flächen in etwa doppelt so groß, jedoch kann auch nicht davon ausgegangen werden, dass die Bestandsdaten

von 1986 und von 2022 fehlerfrei sind. Trotzdem verdeutlichen diese Vergleiche, die starke Verlandung des Gewässers.

Zusätzlich wurde das Gewässer im Winterstau mit einer Drohne befliegen. Der Froschgrundsee wurde um ca. 0,60 m abgesenkt, wodurch ein Teil der Gewässersohle nicht mehr vom Wasser bedeckt ist. Durch Photogrammetrie konnte anschließend die Punktwolke aus **Abbildung 77** berechnet werden. Bei genauerer Betrachtung werden auch hier Fehler durch die Wasseroberfläche deutlich, weshalb im nächsten Schritt die Begrenzungslinien entlang der Wasseroberfläche gezeichnet wurden.

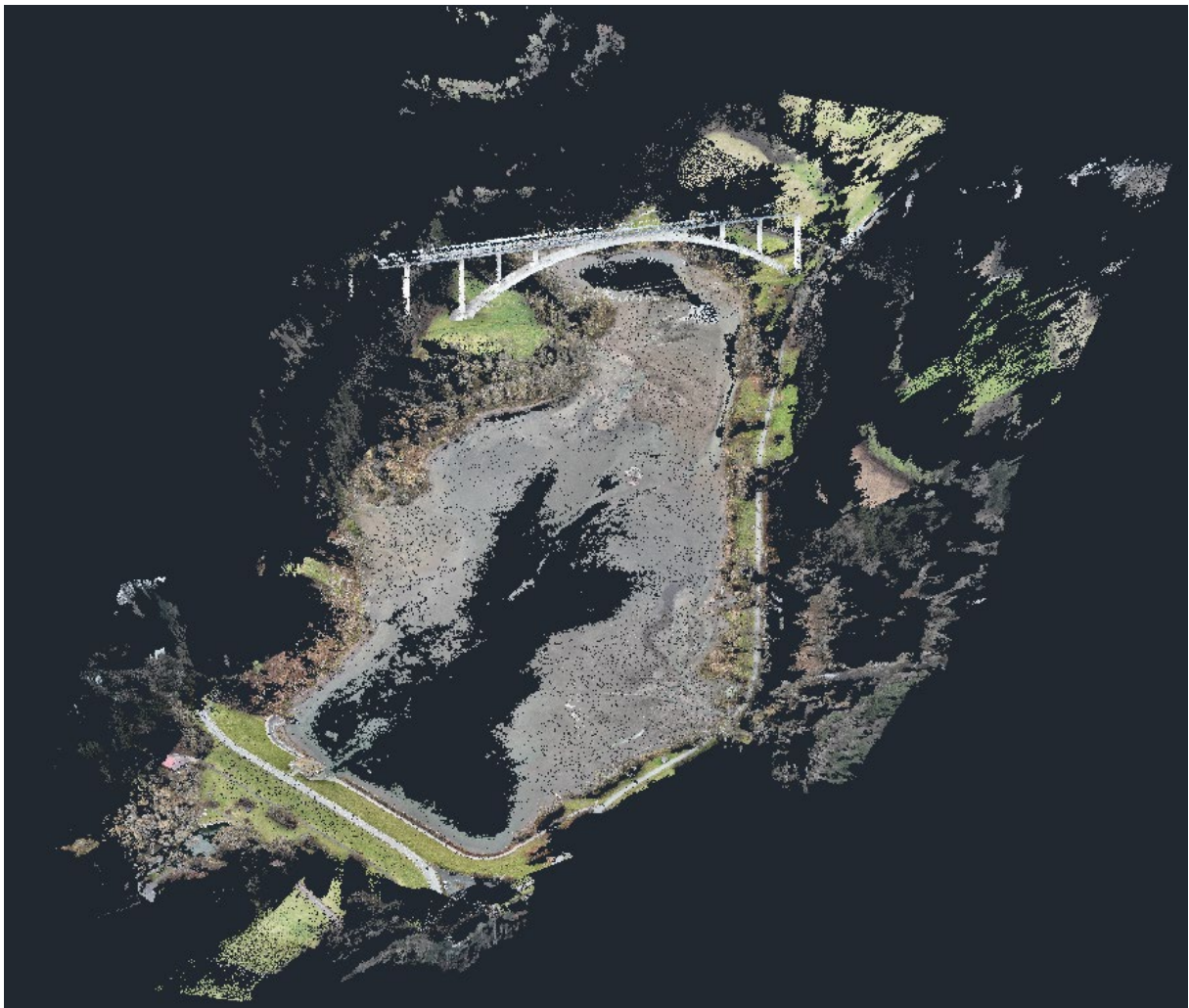


Abbildung 77: Punktwolke Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)

Die Überschneidungen der Drohnenvermessung mit der Bestandsvermessung von 2022 und der Neuvermessung von 2024 sind in **Abbildung 78** dargestellt. Hierdurch wird erkenntlich, dass sich die Fläche der Drohnenvermessung im Gewässer stark reduziert hat und keine großen Überschneidungen mehr vorhanden sind. Trotzdem wurde ein Vergleich mit nachfolgenden Ergebnissen durchgeführt.

Vergleich Bestand 2022 mit Drohne:

- überlagerte Fläche = 36.475,29 m²
- Abtrag (Eintiefung) = 479,22 m³
- Auftrag (Verlandung) = 3.914,34 m³

Vergleich Neuvermessung 2024 mit Drohne:

- überlagerte Fläche = 5.101,07 m²
- Abtrag (Eintiefung) = 133,42 m³
- Auftrag (Verlandung) = 247,48 m³



Abbildung 78: Überschneidung der Drohne mit Bestands- und Neuvermessung (Quelle: eigene Darstellung)

Zur Kontrolle wurden Koordinatenpunkte mit dem GNSS-Empfänger PNR21 von proNIVO in den Randbereichen gemessen. Jedoch können diese lediglich als Vergleich für die Drohnen- und Bestandsvermessung genutzt werden, da die Neuvermessung von 2024 nicht bis zum

Gewässerrand durchgeführt werden konnte. Der Vergleich ist in **Abbildung 79** gegeben und zeigt, dass sich die Punkthöhen der Drohne und des GNSS wenig differenzieren. Einzig der südöstliche Punkt weicht stärker ab. Beim Vergleich aller Vorgehensweisen wird verdeutlicht, dass die Vermessung von Gewässern teilweise schwierig und fehleranfällig ist. Jedoch zeigt es in diesem Fall auch, dass die Tendenz beim Froschgrundsee eine starke Verlandung ist. Dies geht aus allen drei Vermessungen (Drohne, GPS und Echolot) hervor.

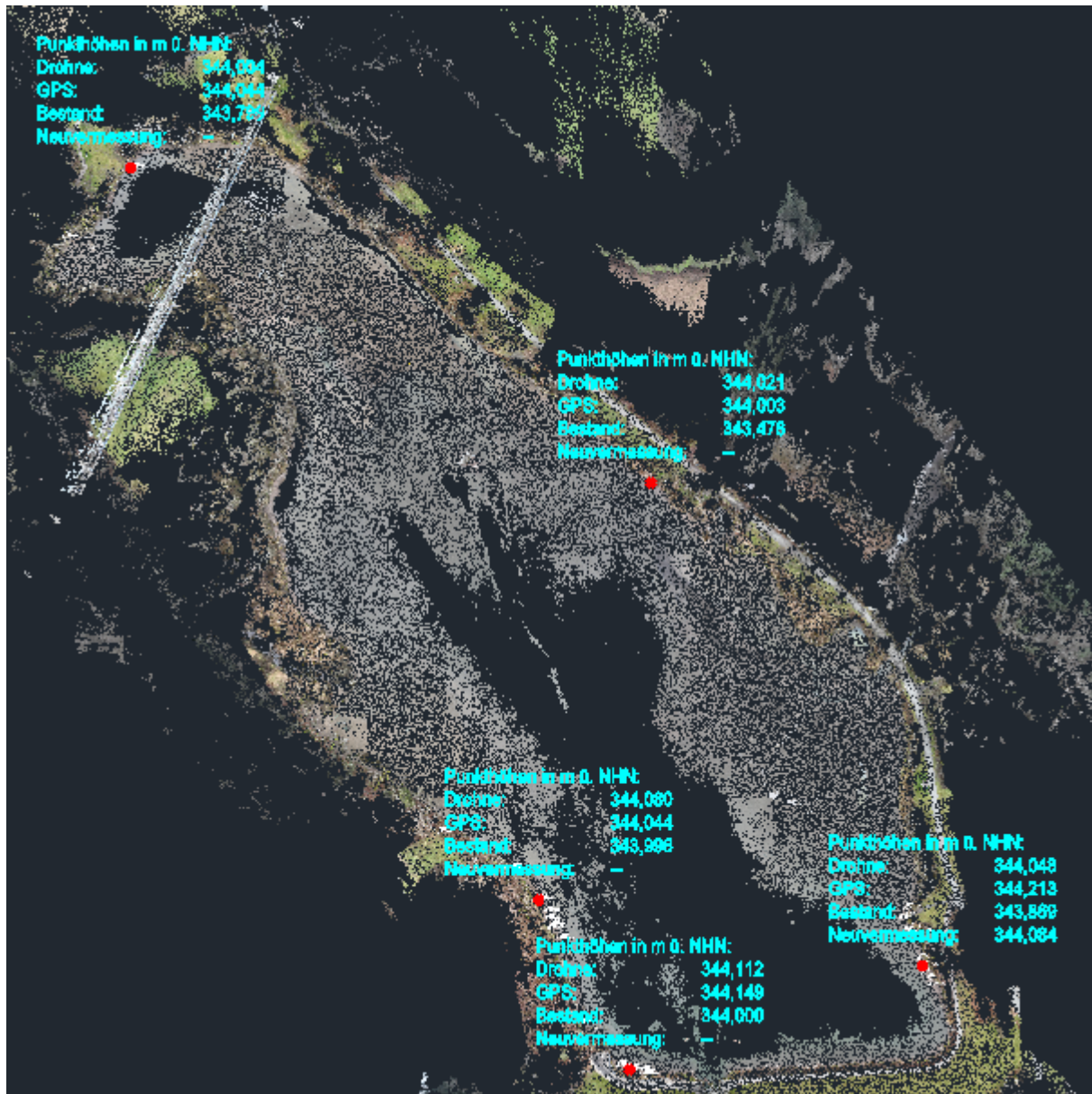


Abbildung 79: Vergleich aller Vermessungen mit GNSS-Koordinatenpunkten am Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)

Wird nun das Einzugsgebiet und die Höhenverteilung in **Abbildung 80** genauer betrachtet, ist erkenntlich, dass eine große Höhendifferenz Höhengsprung von ca. 880,00 m ü. NHN zu ca. 350,00 m ü. NHN vorliegt. Zusätzlich ist die Höhenverteilung im Einzugsgebiet des Froschgrundsees, im Vergleich zur konkaven Verteilung am Goldbergsee, relativ linear.

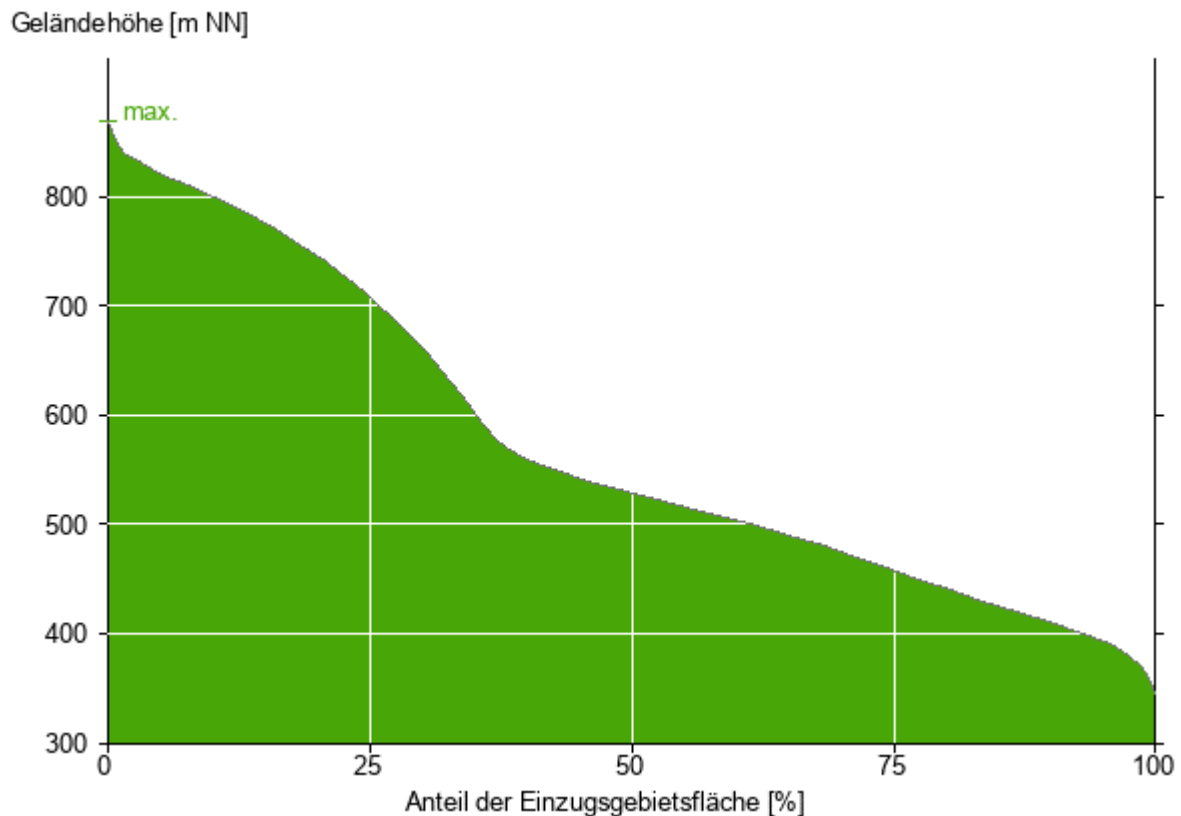


Abbildung 80: Hypsografische Kurve Froschgrundsee (Quelle: https://www.hnd.bayern.de/pegel/oberer_main_elbe/schoenstaedt-seepegel-24160801/gebiet?, aufgerufen am 20.05.2025)

Um die Eintragspfade im Einzugsgebiet des Froschgrundsees eingrenzen zu können, muss zuerst die Flächenverteilung aus **Tabelle 28** genauer betrachtet werden. Dabei wird nochmals deutlich, dass der Großteil aus Dauerkulturen wie Grün- und Waldflächen bestehen. Lediglich 14,23 % sind intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen und 8,20 % sind Siedlungsgebiete. Da die Dauerkulturen in der ABAG-Gleichung mit einem C-Faktor von 0,004 bewertet werden, ergibt sich daraus ein geringes Erosionspotential. Da zusätzlich der Anteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen im Vergleich gering ist, sind auch hier, trotz der teilweise starken Geländeneigungen, nicht zu starke Bodenabträge zu vermuten. Dies kann mithilfe der MoRe-Toolbox in **Abbildung 81** bestätigt werden. Dabei stellen alle grünen Flächen einen maximalen Bodenabtrag von $\leq 1,00 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ dar. Insgesamt weist das Einzugsgebiet einen mittleren Bodenabtrag von $0,4967 \text{ t/ha/a}$ auf und misst damit in etwa die Hälfte des Bodenabtrags im Einzugsgebiet des Goldbergsees.



Abbildung 81: Darstellung des Bodenabtrags im MoRE Analysegebiet „Itz von Quelle bis oberhalb Lauterbach - 20320“ (Quelle: <https://stoffeintraege-more.de/karten/>, aufgerufen am 05.05.2025)

Da Bodenabtrag nicht gleich Eintrag in ein Gewässer bedeutet, werden die sedimenteintragenden Flächen bzw. die Flächen mit Anbindung an ein Gewässer in **Abbildung 82** dargestellt. Wie dadurch erkenntlich wird, sind diese nur ein Bruchteil der bodenabtragenden Flächen. Dies spiegelt auch der mittlere Sedimenteintrag im Einzugsgebiet mit $0,05331 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ wieder. Insgesamt ergibt sich dadurch ein Sedimenteintrag von $28,466 \text{ t/a}$ in die Gewässer des Einzugsgebiets vom Froschgrundsee. Auch wenn sich diese Zahl künftig vermutlich durch Waldsterben und Entwaldung nach oben bewegen wird, wird deutlich, dass der Eintrag von den Flächen in den Froschgrundsee minimal ist.

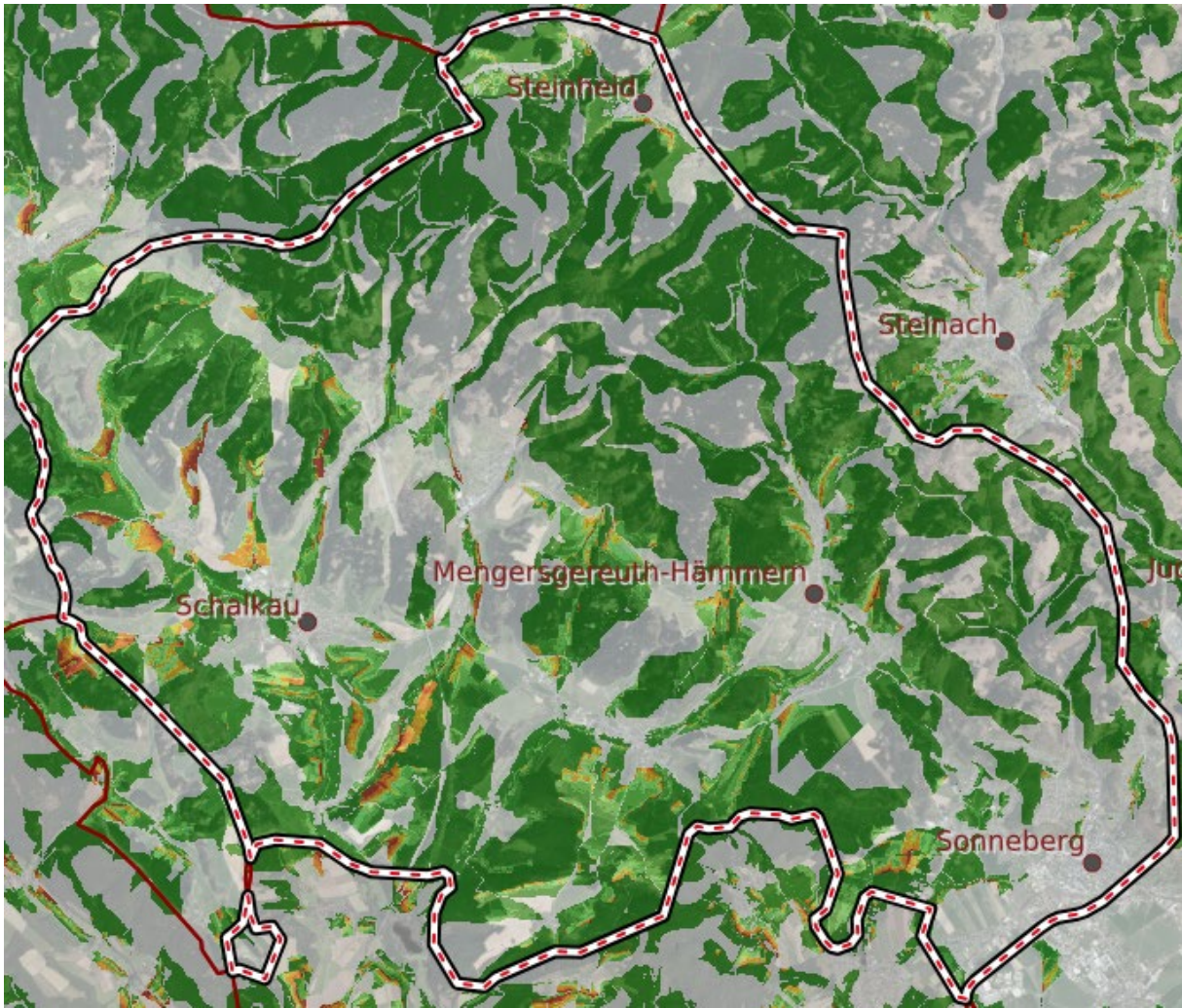


Abbildung 82: Darstellung des Bodenabtrags mit Anbindung an ein Gewässer im MoRE Analysegebiet „Itz von Quelle bis oberhalb Lauterbach - 20320“ (Quelle: <https://stoffeintraege-more.de/karten/>, aufgerufen am 05.05.2025)

Nach Rücksprache mit dem zuständig Staumeister des Froschgrundsees wurde erläutert, dass besonders durch Uferabbrüche und somit durch die Gewässer selbst Sediment eingetragen wird. Um dies zu verifizieren, wurden Ortsbegehungen durchgeführt. Stichprobenartig wurde entlang der Itz ein etwa 1.900,00 m und entlang der Effelder ein etwa 2.300,00 m langer Gewässerabschnitt genauer betrachtet. Durch georeferenzierte Bilder werden die Lagen in **Abbildung 83** dargestellt, wobei die Punkte der Itz weiß und die Punkte der Effelder hellblau angezeigt werden.

Die Begehung der Itz wurde am 13.01.2025 durchgeführt und begann bei der Mündung in den Froschgrundsee flussaufwärts bis zur Ortschaft Almerswind. Zu diesem Zeitpunkt führte die Itz einen Abfluss von 1,64 m³/s und die Grümpen 1,54 m³/s. Kurz darauf zu diesen beiden Messstellen in Almerswind fließt die Grümpen der Itz zu, wodurch ein Gesamtabfluss von ca. 3,18 m³/s während der Begehung sichtbar war. Dies entspricht einem leicht erhöhtem aber keinem Hochwasserabfluss. Die Fotodokumentation hierzu ist in Anlage 01 aufgeführt.

Am 21.01.2025 wurde ein Teil der Effelder begangen. Dieser Teil erstreckt sich etwa ab 1,00 km Flussaufwärts der Mündung in den Froschgrundsee bis zur Ortschaft Oberroth, wobei der Abfluss an der Messstation in Döhlau $0,885 \text{ m}^3/\text{s}$ betrug und somit keinen Hochwasserabfluss aufwies. Die Fotodokumentation ist in Anlage 2 abgebildet.



Abbildung 83: Begehung EZG Froschgrundsee (Quelle: eigene Darstellung)

Im Zuge der Begehungen wurde deutlich, dass die Aussagen des zuständigen Staumeisters bestätigt werden können. Uferabbrüche konnten hier auf kurzen Strecken vielfach vorgefunden werden, dabei auch größere Hangrutschungen in steilen Bereichen. Exemplarisch wurden die Maße eines Uferabbruchs abgeschätzt. Dieser erstreckte sich über ca. 15,00 m mit einer Breite von bis zu 2,00 m und einer geschätzten Tiefe von ca. 1,50 m, wodurch sich ein eingebrachtes Volumen ins Gewässer von $45,00 \text{ m}^3$ ergibt. Zu erwähnen bleibt, dass diese Ausmaße kein Einzelfall waren.

Zur Eindämmung der Uferabbrüche können mehrere Maßnahmen getroffen werden. Eine erste könnten gezielt dezentrale Rückhalte an steilen Hängen sein, um Abflussspitzen zu entzerren und Abflussgeschwindigkeiten zu reduzieren.

Weitere Maßnahmen können direkt im Gewässer durchgeführt werden. So können stark gefährdete Abschnitte durch naturnahe Uferverbauten stabilisiert werden. Dafür können Steinschüttungen oder große Wurzeln eingebracht werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit von biologischen Ufersicherungsmaßnahmen wie Weidenspreitlagen, Pflanzmatten oder Röhrichtgabionen. Eine weitere Auffälligkeit bei den Begehungen war die Tiefenlage der Gewässer. Durch die abgebrochenen Ufer graben sich die Fließgewässer immer tiefer in das Gelände ein, untergraben zwangsläufig wieder die Ufer bis diese anschließend weiter abbrechen und das Material abtransportiert wird. Um diesem Problem entgegenzuwirken, können Gewässerabschnitte verbreitert und Böschungsbereiche abgeflacht und bepflanzt werden.

Als Beispiel wurde ein ca. 500 m langer Gewässerabschnitt der Effelder planerisch umgestaltet (vgl. **Abbildung 84**). Dieser befindet sich kurz von der Ortschaft Dhölau, ca. 1,5 km nach der Mündung in den Froschgrundsee. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Gewässersohle ungefähr auf das drei- bis vierfache verbreitert wurde. Weiterhin wurden Böschungen auf eine Neigung von 1:3 bis 1:4 abgeflacht, um ein übertreten des Gewässers bei Hochwasserereignissen zu ermöglichen. Zusätzlich müssen Kiesbänke und eine Niedrigwasserrinne integriert werden, um bei niedrigen Abflüssen die Durchgängigkeit gewährleisten und einen Gewässerlauf definieren zu können. Als Beispiel ist in **Abbildung 85** zusätzlich ein Querschnitt dargestellt.



Abbildung 84: Verbreitung Effelder im Einzugsgebiet des Froschgrundsees (Quelle: eigene Darstellung)

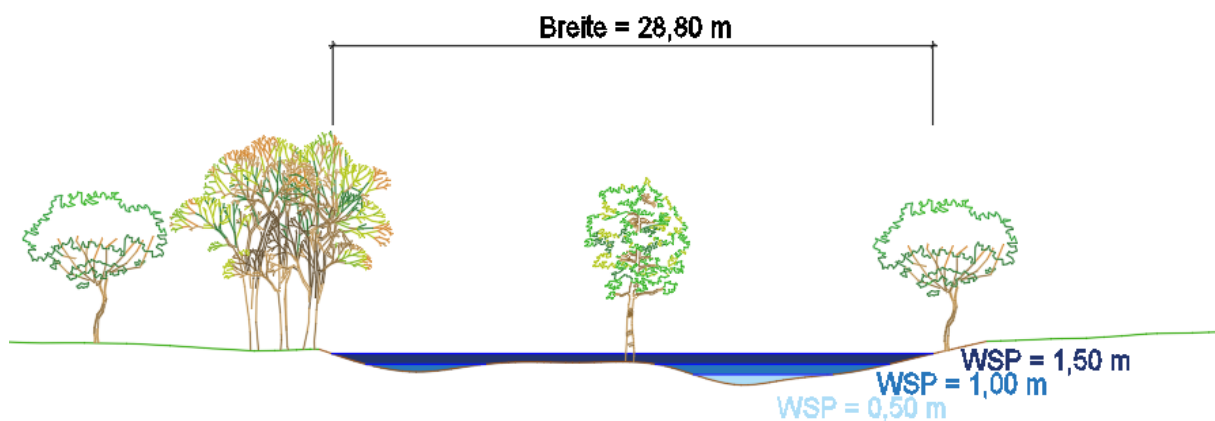


Abbildung 85: Fiktive Verbreitung der Effelder im Einzugsgebiet des Froschgrundsees Querschnitt (Quelle: eigene Darstellung)

6.3 Exemplarische Maßnahmen für den Baggersee Schönbrunn und Matthäus-Krauss-See

Bei diesen beiden Gewässern handelt es sich um Freizeitseen, welchen keine besondere Bedeutung im Sinne des Hochwasserschutzes zukommt. Aus diesem Grund bestand bisher auch nicht die Notwendigkeit Vermessungen durchführen zu lassen, weshalb ein Vergleich der Volumina nicht möglich war. Deshalb konnten im wesentlichen nur die Echolote mit dem ADCP verglichen werden. Trotz der nicht bekannten Verlandung werden die Gewässer und dessen Einzugsgebiete auf das Potential von Sedimenteinträgen untersucht.

Schönbrunner Baggersee

Da bei der Befahrung des Gewässers keine offensichtlichen Zuflüsse zu erkennen waren, müssen die frei zugänglichen ATKIS-Daten genauer betrachtet werden. Dabei ging hervor, dass augenscheinlich der Krausenbach und anschließend das Schönbrunner Wasser zufließt. Zusätzlich ist in **Abbildung 11** das Einzugsgebiet der Stufe 6, welches den Schönbrunner See beinhaltet, dargestellt. Dabei wird erkenntlich, dass das Einzugsgebiet wesentlich kleiner als angenommen ist. Dadurch ist davon auszugehen, dass keine großen Sedimenteinträge durch erosive Flächen entstehen. Weiterhin wurde bei der Befahrung keine starke Vegetation (vgl. **Abbildung 86**) und kein erhöhter Tierbestand im und auf dem Gewässer festgestellt, so dass hierdurch ebenso keine erhöhten Einträge entstehen können.



Abbildung 86: Ansicht Lowrance HDS 16 LIVE auf dem Schönbrunner See (Quelle: eigene Darstellung)

Zu erwähnen ist, dass bereits vor der Vermessung der Pächter darauf hingewiesen hat, dass eine Verlandung des Gewässers bisher nicht bekannt ist. Diese Aussage kann durch diese Analyse bestätigt werden.

Matthäus-Krauss-See

Gleich dem Schönbrunner Baggersee konnte bei der Befahrung des Matthäus-Krauss-Sees kein direkter Zufluss identifiziert werden. Nach den ATKIS-Daten besteht eine direkte Verbindung zum Main, welche jedoch, wie in **Abbildung 87** zu erkennen, nicht sichtbar ist. Deshalb wird angenommen, dass die Verbindung als Durchlass ausgebildet ist. Im Gegensatz zum Zulauf war der Ablauf eindeutig identifizierbar und hätte sogar mit dem Vermessungsboot durchquert werden können. Weiterhin ist nach den ATKIS-Daten ein weiterer Ablauf im Nordwesten des Sees ausgebildet. Dieser war jedoch ebenso wie der Zulauf nicht erkennbar.



Abbildung 87: Zulauf Matthäus-Krauss-See (Quelle: eigene Darstellung)

Da der Matthäus-Krauss-See eine direkte Anbindung an den Main besitzt und dies auch der einzige Zulauf ist, ist es schwierig das Einzugsgebiet abschließend einzugrenzen, da somit alle Einzugsgebiete des vorgehenden Fließgewässers als Sedimentlieferant in Frage kommen. Jedoch kann auch hier durch die Befahrung mit dem Vermessungsboot davon ausgegangen werden, dass keine größeren Ablagerungen stattfinden. Wie durch die Tiefenkarte in **Abbildung 88**, mit einer farblichen Abstufung von 0,25 m, deutlich wird, ist der nordwestliche Bereich relativ eben mit Tiefen von bis zu 3,00 m abgebildet. Interessanter ist dabei der südöstliche Teil, welcher eine direkte Anbindung an den Main aufzeigt. Dabei ist erkenntlich, dass im Bereich nach dem Zulauf und vor dem Ablauf größere Tiefen als im restlichen Bereich vorhanden sind, wohingegen in den Seitenbereichen und vor der Engstelle zum nordwestlichen Abschnitt höhere Sohllagen dargestellt sind. Erklärt werden kann dies durch eine Strömung von Zulauf zu Ablauf in der eine höhere Fließgeschwindigkeit besteht und sich dadurch Feinanteile nur in den Randbereichen mit niedrigeren Fließgeschwindigkeiten absetzen. Weiterhin können diese Unebenheiten auch durch den Eintrag von größeren Strukturen wie z.B. Steine oder Holz verursacht werden.

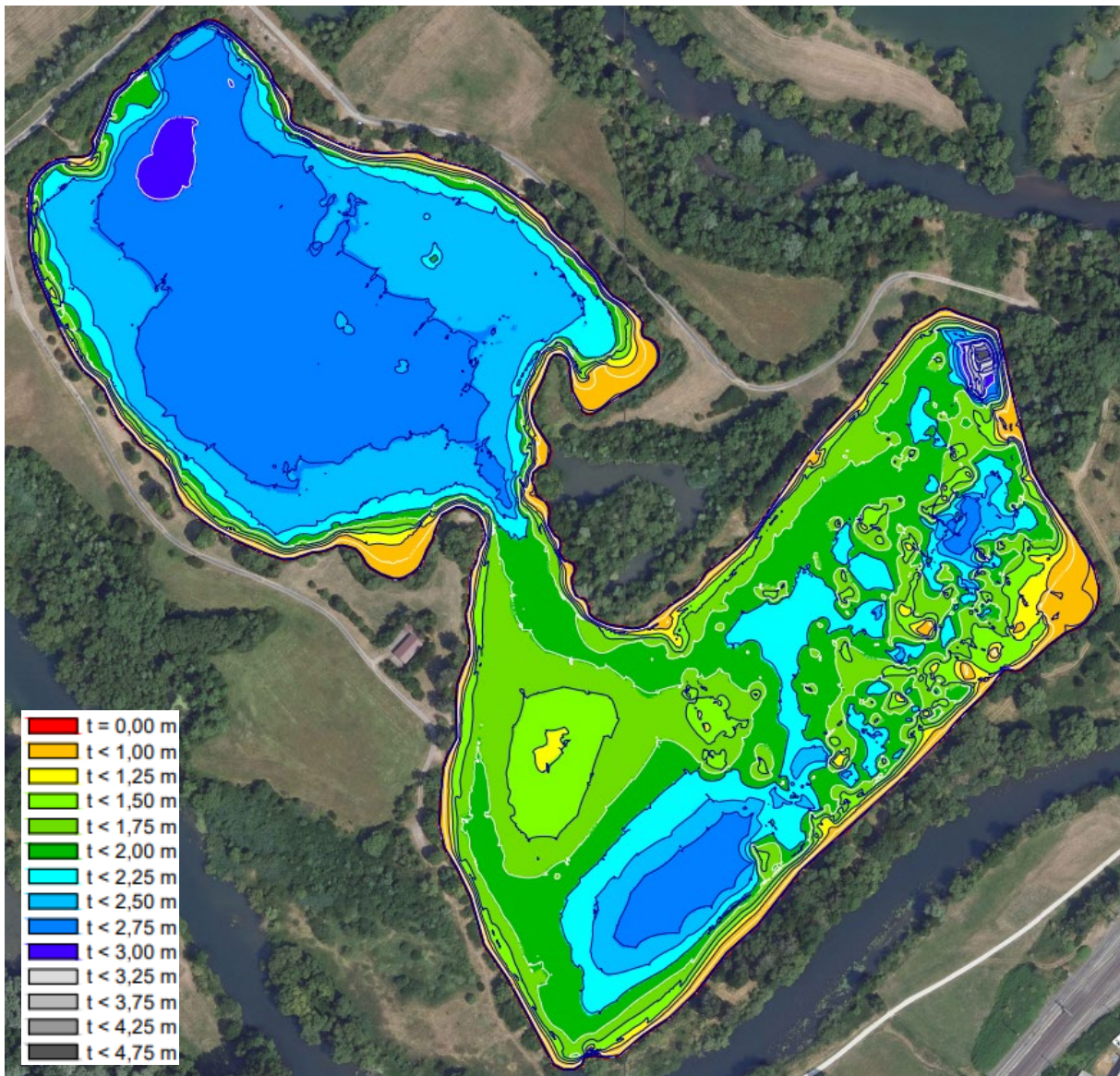


Abbildung 88: Tiefenkarte Matthäus-Krauss-See (Quelle: eigene Darstellung)

Die Durchführung von Maßnahmen zur Vermeidung von Einträgen ist an diesem Gewässer nur schwer umsetzbar und hat aus wirtschaftlicher Sicht keine hohe Priorität. Vielmehr müsste das vorgehende Fließgewässer im Bereich des Sedimenthaushaltes analysiert werden. Stellt sich dabei ein Ungleichgewicht heraus, müssten in den jeweiligen Einzugsgebieten Maßnahmen zur Eintragsminimierung durchgeführt werden.

7 Öffentlichkeitsarbeit

Am 18.03.2024 wurde ein erstes Kick-Off-Meeting mit dem Wasserwirtschaftsamt Kronach organisiert. In diesem Meeting wurde von den Teilnehmenden der Hochschule Coburg das Forschungsprojekt allgemein vorgestellt und Zielsetzungen festgelegt. Ebenso wurde die Vorgehensweise an den Hochwasserschutzanlagen Goldbergsee und Froschgrundsee besprochen und erste Kenntnisse wurden ausgetauscht. Daraus resultierten Vorgaben für die Befahrungszeiträume aus Sicht von Naturschutz und Wasserwirtschaft.

Ein zweites Meeting wurde am 09.12.2024 angesetzt. Dabei wurden die Ergebnisse aus den Vermessungsdaten erläutert und insbesondere am Goldbergsee und Froschgrundsee aufgezeigt. Weiterhin konnten erste Datenanalysen zu den Einzugsgebieten besprochen und Plausibilisierungen der Sichtungen vorgenommen werden.

Eine finale Präsentation der Ergebnisse wurde am 12.05.2025 im WWA Kronach organisiert. Anwesend waren dabei Vertreter des Wasserwirtschaftsamtes Kronach, des Landesamts für Umwelt, Bergbau und Naturschutz aus Thüringen und dem Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Coburg-Kulmbach. Vorgestellt wurden dabei alle Ergebnisse zur Vermessung und Sensorik, allgemeine Ergebnisse zu Bodenerosion und Einträgen in ein Gewässer sowie spezifische Beispielmaßnahmen an den untersuchten Gewässern. Abschließend wurde vereinbart den Austausch der länderübergreifenden Bewirtschaftung bzgl. der Sedimenteinträge zu intensivieren und eine Kompaktinfo mit einem Ablaufschema von Vermessungs- und Maßnahmenprogrammen an stehenden Gewässern für Kommunen, Städte und sonstige Gewässerunterhalter zur Verfügung zu stellen. Dieser soll künftig im Zuge der Gewässernachbarschaften verteilt werden.

Im Bereich der Vermessung fand während der Projektlaufzeit ein regelmäßiger Austausch mit dem Echolotzentrum Schlageter statt um die Erfahrungswerte bei weiteren Optimierungen berücksichtigen zu können.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Messungen im Zuge dieses Projekts zeigen, dass der Einsatz von kostengünstigen Echoloten möglich und ratsam ist. Hinsichtlich der zulässigen Abweichungen im Zuge einer Gewässervermessung wurde sich am Standard der IHO orientiert. Dabei beträgt der kleinste zulässige Fehler 0,15 m. Dieser Grenzwert wurde zum Großteil von allen Sensoren eingehalten, wobei jedoch das Lowrance HDS 16 LIVE mit Active 3-in-1 Geber tendenziell die geringsten Fehler aufwies. Durch eine regelmäßige Vermessung im Jahresturnus können die Fehler künftig noch besser erkannt und interpretiert werden. Der vorhergehende Bericht zeigt auf, wie eine Vermessung mit einem Echolot ausgeführt und ausgewertet werden kann, wodurch die Kosten für eine Gewässervermessung künftig nicht mehr als Grund fehlender Kontrollmessungen aufgeführt werden können.

Ebenso interessant ist der Begriff „Citizin Science“. Durch cloudbasierte Datenspeicherung der Echolotdaten wird es durch Premiumzugänge der einzelnen Anbieter (Lowrance oder Deeper) ermöglicht, auf Daten aller Nutzer zuzugreifen und diese zu nutzen. So können unwissentlich Vermessungsdaten aufgezeichnet und von dritten weiterverarbeitet werden. Dadurch wird ermöglicht, ohne großen Aufwand, Daten zu erfassen und zu nutzen.

Allgemein wird empfohlen, eine Gewässervermessung während den vegetationsarmen Perioden durchzuführen, um die Ergebnisse möglichst wenig zu verfälschen. Weiterhin ist es ratsam, bei Gewässern mit einer maximalen Tiefe von 10 m mit einer höheren Frequenz von ca. 200 kHz zu messen, da dabei die Dämpfung der Echoschallwellen noch vertretbar gering ist und die Gewässersohle möglichst detailliert dargestellt werden kann. Zur Bestimmung der Lagekoordinaten sollte ein externer GPS-Empfänger direkt über dem Sensor platziert werden, um die Abweichungen gering zu halten. Insgesamt wird so ermöglicht, ein Equipment bestehend aus Echolot (Display und Sensor), GPS-Empfänger und einem Boot mit Elektromotor für unter 4.000,- € zusammenzustellen. Ein nächster Schritt wäre die Nutzung von Echloten bzw. Fischfindern zur Vermessung von Fließgewässern. Dabei sollten zunächst Versuche an großen Fließgewässern mit geringen Strömungen durchgeführt werden. Ergibt sich durch die Messungen, dass das Gewässer verlandet, müssen Eintrittspfade lokalisiert und Maßnahmen umgesetzt werden. Um eine Lokalisierung mit geringen Aufwand durchführen zu können, ist es empfehlenswert kostenlose Tools zu nutzen. Als hilfreich hat sich hier vor allem die Nutzung eines GIS-Programms und die MoRE-DE Toolbox herausgestellt. Im GIS können alle Daten zusammengefügt und betrachtet werden, wohingegen die MoRE-DE Toolbox alle notwendigen Daten übersichtlich und einheitlich aufzeigt. Eine Kompaktinfo mit Ablaufschema und Maßnahmen zur Vorgehensweise ist in Anhang 3 abgedruckt. Diese kann von Kommunen, Städten und gewässerunterhaltungspflichtigen zur Orientierung genutzt werden.

Literaturverzeichnis

- Auerswald, K., Bäuml, N., Brandhuber, R., Eichenseer, J., Freundorfer, J., Ilmberger, A., . . . Weidner, H. (2017, Januar 19). Erosionsschutz verbessern - Abfluss in der landwirtschaftlichen Flur bremsen. (B. L. Landwirtschaft, Ed.) Freising. Retrieved Mai 19, 2025, from https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/handlungsempfehlungen_ag_erosionsschutz_abgabe_19-01-2017_.pdf
- Bundesanstalt für Gewässerkunde. (n.d.). *Gewässervermessung*. Retrieved März 19, 2025, from https://www.bafg.de/DE/3_Beraet/2_Exp_quantitaet/Gewaesservermessung_M5/gewaesservermessung_node.html
- DIN e.V. (2022, August). DIN 19708: Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. 28. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Gebel, M., Bürger, S., Brecht, K., Fuchs, S., & Wurbs, D. (2025). Erheblichkeit von erosivem Bodenabtrag - Entwicklung eines methodischen Bewertungsansatzes. (Umweltbundesamt, Ed.) Dessau-Roßlau. doi:<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7587>
- Haas, P. (2022, März). Vermessung kleiner Standgewässer mittels verschiedener Methoden.
- Heimerl, S., & Kohler, B. (2015). Einsatz eines Sedimentecholots für eine Bathymetrie einschließlich Sedimentkartierung.
- IHO. (September 2022). *Standards for Hydrographic Surveys, S-44, 6.1.0*, 52. Monaco: International Hydrographic Organization. Von https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-44/S-44_Edition_6.1.0.pdf abgerufen
- Karlsruher Institut für Technologie. (n.d.). *KIT Karlsruher Institut für Technologie*. Retrieved April 09, 2025, from <https://www.iwu.kit.edu/wg/MoRE.php>
- Kasinger, R. (2014). *Bodenerosion in der Steiermark am Beispiel Raum Gnas*. Masterarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz, Geographie und Raumforschung, Graz. Abgerufen am 15. 01 2025 von https://wegenernet.org/misc/MA_Kasinger_2014_Bodenerosion.pdf
- Kistler, M., Brandhuber, R., & Maier, H. (2013, Oktober). Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen. (B. L. Landwirtschaft, Ed.)
- Köhler, T., & Windmaißer, T. (2024). Hangbewässerung im Bayerischen Wald. (D. V. V., Ed.) Retrieved Mai 19, 2025, from <https://www.waesserrwiesen.dvl.org/>

- LfL. (2023). Bodenerosion - Die Allgemeine Bodenabtragsgleichung - ABAG - Hilfsmittel und Handlungsempfehlung. (9. *veränderte Auflage*). (B. L. (LfL), Hrsg., & I. f. Landbau, Redakteur) Freising-Weihenstephan, Bayern, Deutschland.
- Mic, L.-M. (2013). *Gegenüberstellung hydrographischer Messmethoden zur Gewässeruntergrundmessung von Fließgewässern und Seen*. Diplomarbeit, Universität Wien, Bodenkultur, Wien. Von <https://resolver.obvsg.at/urn:nbn:at:at-ubbw:1-15689> abgerufen
- Morling, K., Fuchs, S., Krumm, J., & Haag, I. (2024, März). Zusammenführung der bundesweiten Modellierung von Wasserhaushalt (LARSIM-ME) und Stoffeinträgen (MoRE). (Umweltbundesamt, Ed.) Dessau-Roßlau. Retrieved from <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>
- Schönrock, S., Hoffmann, T. G., Kost, A., Mehl, D., & Miegel, K. (2020). *Entwicklung einer echolotgestützten Methodik zur Kartierung der Sohlenstruktur von Oberflächengewässern des Tieflandes: Stand und Ausblick*. Fachartikel, biota - Institution für ökologische Forschung und Planung GmbH, Bützow. doi:10.5675/HyWa_2020.1_1
- Umweltbundesamt. (n.d.). *Bodenerosion durch Wasser*. (Umweltbundesamt, Ed.) Retrieved Mai 07, 2025, from <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/bodenbelastungen/bodenerosion/bodenerosion-durch-wasser>

Softwareverzeichnis

Autodesk Civil 3D 2023 von Autodesk GmbH; Aidenbachstraße 56, 81379 München, Germany

Microsoft 365 Excel, Version 2104 von Microsoft Corporation; One Microsoft Way, Redmond, WA 98052-6399, USA.

Microsoft 365 Word, Version 2104 von Microsoft Corporation; One Microsoft Way, Redmond, WA 98052-6399, USA.

Microsoft Windows-Editor 11.2501.31.0 von Microsoft Corporation; One Microsoft Way, Redmond, WA 98052-6399, USA.

NMEA Reader Software von Actisense; 21 Harwell Road, Poole, Dorset, BH17 0GE, United Kingdom.

QGis 3.34.4 von QGIS Development Team.

ReefMaster 2.0 von ReefMaster Software Ltd.; 2 Burlow Close Birdham PO20 7ES, United Kingdom.

RSQ v3.0 (2022-11-09) von Xylem Inc.; 301 Water Street Se, Washington, Washington D.C., 20003, USA.

Anlagen

Anhang 01: Fotodokumentation Itz vom 13.01.2025





Anhang 02: Fotodokumentation Effelder vom 21.01.2025





Anhang 03: Kompaktinfo



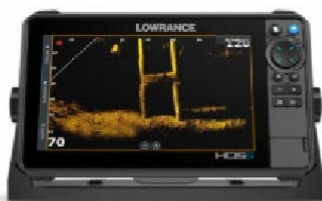
Vorgehensweise bei der Verlandung von stehenden Gewässern

Wie kann ein Gewässer verlanden?

Die Verlandung eines Gewässers erfolgt durch den Eintrag von Bodenpartikeln. Anschließend werden diese durch die Strömung und die Fließgeschwindigkeit transportiert und in strömungsberuhigten Bereichen abgelagert. Oft sind davon Hochwasserrückhaltebecken im Dauerstau sowie Stillgewässer betroffen. Querbauwerke verstärken dabei die Ablagerungswahrscheinlichkeit. Zudem sind auch Fließgewässer in verstärktem Maße gefährdet.

Wie kann ein Gewässer beurteilt werden?

Um die Verlandung eines stehenden Gewässers abschätzen zu können, sollten regelmäßige Vermessungen durchgeführt werden. Dabei sind Echolote, welche als sogenannte Fischfinder eingesetzt werden, meist ausreichend genau. Nutzbare Echolote können bereits unter 2.000,- € erworben werden (vgl. Abbildung 1).



Lowrance HDS-9 PRO mit Active Imaging
HD 3in1 Geber

UVP: 2.259,81€

Unser Preis: **1.909,00€**

Abbildung 1: Beispielhaftes Angebot eines Echolots
(Quelle: www.echolotzentrum.de, Mai 2025)

Das Echolot, bestehend aus Display und einem Sensor und wird an einem Boot befestigt (vgl. Abbildung 2). Durch einen externen GPS-Empfänger, welcher exakt über dem Sensor positioniert ist, können Lagekoordinaten ausreichend genau bestimmt werden.



Abbildung 2: Beispielhafte Montage eines Echolots
(Quelle: eigene Darstellung)

Vermessungen sollten mit höherer Frequenz durchgeführt werden (ca. 200 kHz), um die Gewässersohle möglichst detailliert widerzugeben. Weiterhin ist es empfehlenswert, die Vermessung in Monaten mit geringer Gewässervegetation durchzuführen, um Messfehler zu vermeiden.

Parallel zur Vermessung sollten Bestandsdaten vom jeweiligen Gewässer zusammengetragen werden. Relevant sind u.a. die Einzugsgebietsabgrenzung, die Topografie und bereits vorhandene Vermessungen des Ge-

wässers aus früheren Untersuchungen. Gewässernetze, Einzugsgebiete und Fließweganalysen können in Geoinformationssystemen (Beispiel QGIS) berechnet werden. Hierzu sind einzig die Geländedaten des jeweiligen Gebietes notwendig. Erläuterungen und Videos zu den Berechnungen sind online verfügbar.

Ergibt der Vergleich zwischen aktuellen Vermessungen und alten Bestandsvermessungen eine Abnahme des Wasservolumens, bei gleichem Wasserspiegel, deutet dies auf eine Verlandung hin. Zur Verifizierung sollten zusätzliche Ortsbegehungen während oder nach Niederschlagsereignissen durchgeführt werden. Werden dabei Trübungen und sichtbare Einträge ins Gewässer oder Erosionsrillen im Einzugsgebiet gesichtet (vgl. Abbildung 3), bestätigt dies die Annahme von Einträgen.



Abbildung 3: Bodenerosion
(Quelle: www.schweizerbauer.ch, Mai 2025)

Lokalisierung von Eintrittspfaden!

Wird deutlich, dass Einträge in das Gewässer stattfinden, muss das Einzugsgebiet genauer analysiert werden. Zur Unterstützung können

verschieden Tools hinzugezogen werden. Beispiele hierfür sind:

- ABAG-Interaktiv,
- Bodenabtragskarten der Bundesländer,
- iBalis (Kartenviewer Agrar) und die
- MoRE-DE Toolbox.

Zur Einordnung wird die MoRE-DE Toolbox empfohlen (vgl. Abbildung 4). Hier werden sowohl Karten als auch Statistiken bundesweit und länderübergreifend kostenfrei dargestellt. Ein Vorteil ist, dass auch alle Eingangsdaten an jedem Punkt darstellbar sind und somit überprüft werden können.

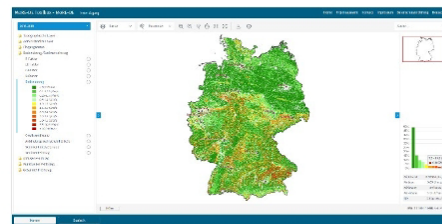


Abbildung 4: Ausschnitt der MoRE-DE Toolbox
(Quelle: stoffeintraege-more.de, Mai 2025)

So wird es ohne großen Aufwand ermöglicht, erosionsgefährdete Flächen zu identifizieren. Diese können anschließend nach den Grenzwerten in Abbildung 5 eingeordnet werden. Eine genaue Einstufung ist jedoch nicht vorgegeben und kann in den Bundesländern unterschiedlich sein. In Abbildung 5 ist die DIN 19708 und der darin formulierte tolerierbare Bodenabtrag nach LfL berücksichtigt. Zu beachten ist, dass in der DIN nicht die Bodenart, sondern einzig der Abtrag berücksichtigt wird. Durch den tolerierbaren Abtrag nach LfL wird hingegen die Bodenart berücksichtigt.

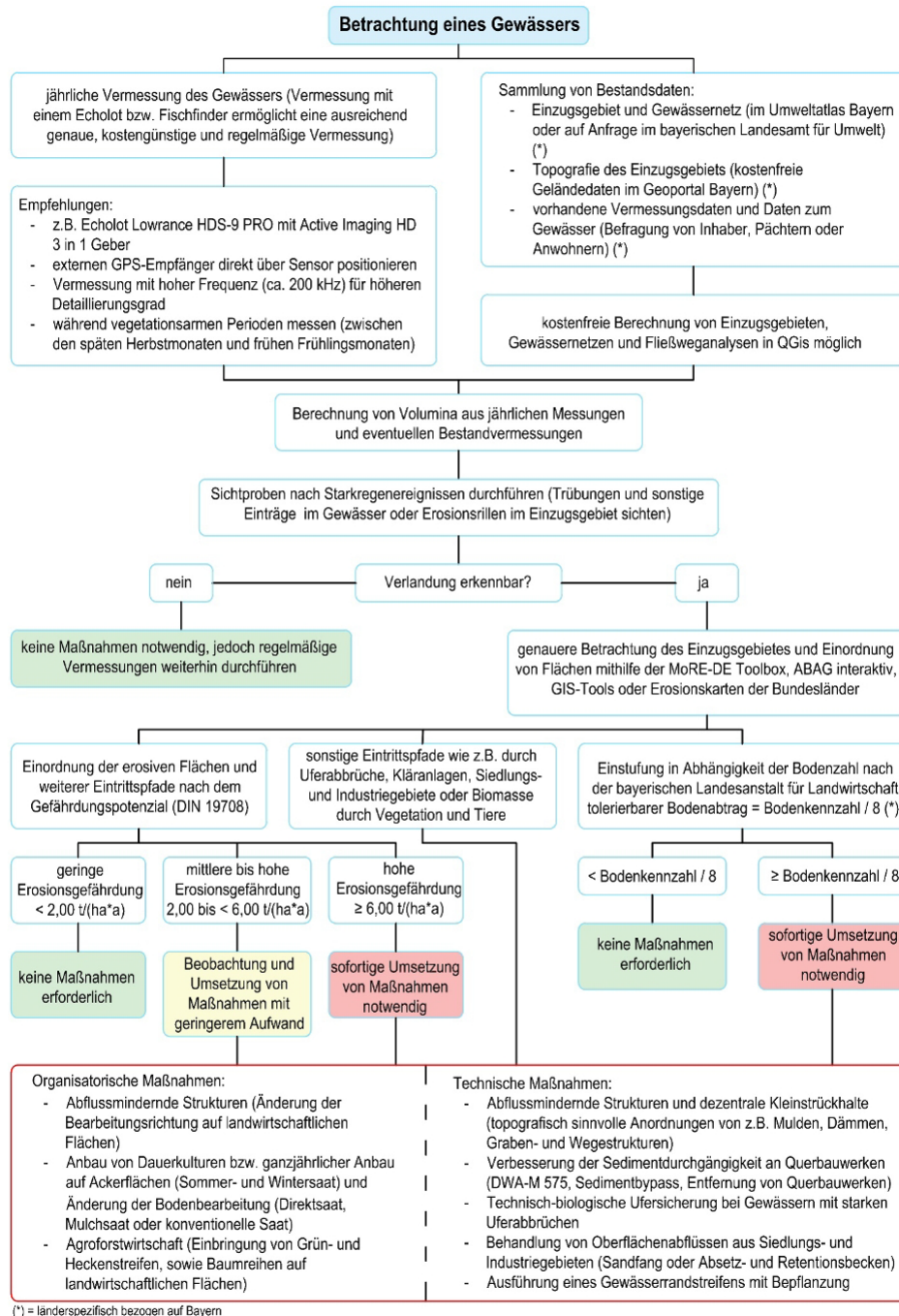


Abbildung 5: Ablaufschema zur Beurteilung eines Gewässers (Quelle: eigene Darstellung)

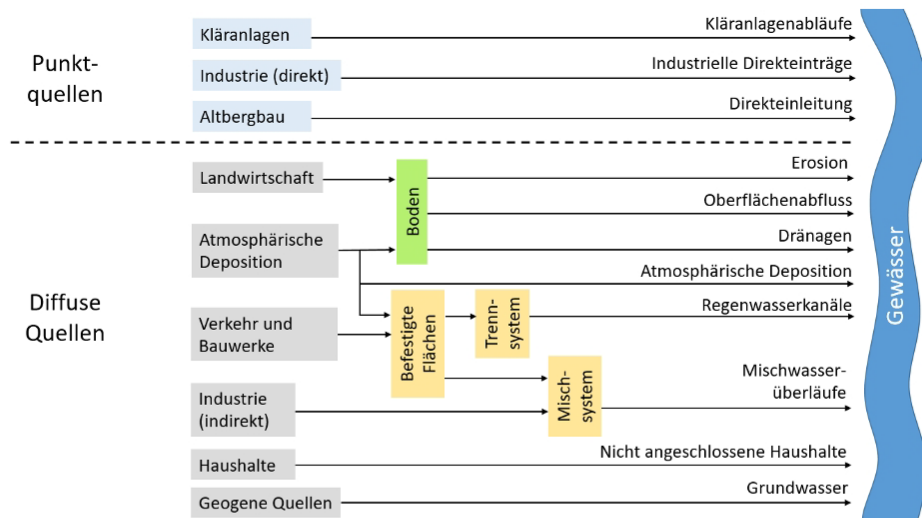


Abbildung 6: Eintrittspfade (Quelle: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 2025)

Um Eintrittspfade lokalisieren und einschätzen zu können, ist es notwendig diese korrekt zuzuordnen (vgl. Abbildung 6). Zudem können Einträge auch direkt aus dem Gewässer (Uferabbrüche) oder durch Vegetation und Fauna (Biomasse) eingebracht worden sein.

Reduzierung von Einträgen!

Nicht spezifisch berücksichtigt werden bei den nachfolgenden Maßnahmen Nährstoffeinträge. Bei einem flächigen Eintrag haften diese jedoch oft an den partikulären Feinanteilen an und werden somit durch die genannten Maßnahmen ebenfalls reduziert.

Abflussmindernde Strukturen in der Fläche

Abflussmindernde Strukturen haben den Zweck, gebündelte Abflüsse und Abflussgeschwindigkeiten auf Flächen zu reduzieren und somit eine Bodenerosion zu verhindern. Solche Strukturen können unterschiedlich

ausgebildet sein. Sinnvoll sind vor allem Gewässerrandstreifen. Aber auch topographisch sinnvoll angelegte Wegestrukturen, überfahrbare Dämme und Mulden, Grün- und Heckenstreifen, Baumreihen, Terrassierungen oder die Beachtung der ackerbaulichen Anbauichtung wirken abflusseindämmend.



Abbildung 7: Abfluss- und Sedimentmindernde Struktur in einem steilen Waldabschnitt (Quelle: Weiß, 2024)

Vegetations- und Wurzelstrukturen tragen zusätzlich positiv zur Sickerfähigkeit des Bodens bei und somit zur Wasserspeicherung.

Dezentraler Wasserrückhalt

Ein Rückhalt von Oberflächenwasser auf einer Fläche trägt nicht nur positiv zum Hochwasserschutz, sondern auch zum Erosionsschutz bei. Mitgetragene Bodenpartikel können sich durch reduzierte Abflussgeschwindigkeiten absetzen und verbleiben dadurch auf der Fläche oder in Gräben. Ebenso können derartige Strukturen auch in steileren Lagen integriert werden. Ermöglicht wird dies durch Graben- und Muldensysteme, welche waagrecht zu den Geländehöhen eingebracht werden und durch Störelemente Wasser zurückhalten können (vgl. Abbildung 8).



Abbildung 8: Exemplarischer Rückhalt in Gräben
(Quelle: Weiß, 2024)

Anbau und Bodenbearbeitung

Eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung hat den Vorteil, dass die Bodenoberfläche vor aufprallenden Regentropfen geschützt wird. Bei Betrachtung des C-Faktors in der ABAG-Gleichung nach DIN 19708 wird deutlich, wie das Erosionspotential reduziert wird. Beispiele hierzu gibt auch die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft in einer Handlungsempfehlung wieder. Hierbei wird zwischen der konventionellen Saat, der Mulchsaat und der Direktsaat unterschieden. Weiterhin sind mehrere Beispiele für Anbau-

und Dauerkulturen gegeben, welche die Unterschiede nochmals verdeutlichen (abrufbar unter <https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07-/publikationen/daten/informationen/bodenerosion-lfl-information.pdf>; Stand 2025).

Verminderung der Bodenverdichtung

Um die Sickerfähigkeit der Böden maximal zu halten, sollte darauf geachtet werden, die Bodenverdichtung zu minimieren. Dadurch wird der Oberflächenabfluss weiter reduziert. Durch einen geringeren Oberflächenabfluss wird das Erosionsrisiko minimiert. Weiterhin kann eine Bodenauflockerung auch durch die Einbringung von Pflanzen und Wurzeln erfolgen. Eine mögliche Alternative liegt in der Agroforstwirtschaft, bei welcher Baum- und Strauchkulturen mit landwirtschaftlicher Nutzung vermischt werden (vgl. Abbildung 9). Vorteile liegen in einer besseren Sickerfähigkeit des Bodens, dem Abbremsen von Oberflächenabflüssen und einer zusätzlichen Beschattung während immer häufiger auftretenden Dürreperioden.



Abbildung 9: Agroforstwirtschaft
(Quelle: www.agroforst-info.de, 2025)

Verbesserung der Sedimentdurchgängigkeit an Querbauwerken

Das Problem bei Querbauwerken ist die Reduzierung der Fließgeschwindigkeit und damit einhergehend die Sedimentierung. Die optimale Lösung ist die Entfernung von Querbauwerken. Dies ist jedoch oft nur schwer umsetzbar. Ebenfalls werden Querbauwerke gezielt zum Hochwasserschutz angelegt und definieren somit unter anderem ein stehendes Gewässer. Als Hilfestellung kann hierbei auf das Merkblatt DWA-M 575 zurückgegriffen werden.

Eine Verbesserung der Sedimentdurchgängigkeit durch Teilabbruch oder Umgehung des Querbauwerks muss für jedes stehende Gewässer im Einzelfall bewertet und abgeschätzt werden.

Technisch-biologische Uferbefestigungen

Im Allgemeinen sollte möglichst auf Uferbefestigungen verzichtet werden, um dem Gewässer eine freie Ausprägung zu ermöglichen. Sollten jedoch vermehrt Uferabbrüche durch erhöhte Abflüsse auftreten und dadurch ein Großteil an Sedimenten freigesetzt wer-

den, sollte gezielt mit naturnahen Uferverbauten entgegengewirkt werden. Dies kann z.B. mithilfe von Ingenieurb biologischen Sicherungsbauweisen erreicht werden (vgl. Abbildung 10).



Abbildung 10: Buschkiste und vorliegende Totholz-Spreitlage (Quelle Bundesanstalt für Wasserbau, CCBY 4.0, 2020)

Quellen:

DIN 19708 (2022). Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG

LfL (2023). Bodenerosion – Die Allgemeine Bodenabtragsgleichung – ABAG – Hilfsmittel und Handlungsempfehlung

Auerswald, K., Bäuml, N., et al. (2017, Januar). Erosionsschutz verbessern – Abfluss in der landwirtschaftlichen Flur bremsen

Gebel, M., Bürger, S., et al. (2025, April) Erheblichkeit von erosivem Bodenabtrag – Entwicklung eines methodischen Bewertungsansatzes

Karlsruher Institut für Technologie (2025). aufgerufen am 09. April 2025 unter <https://www.iwu.kit.edu/wg/MoRE.php>

Impressum

HERAUSGEBER	Hochschule Coburg Campus Design + Bauen, Studiengang Bauingenieurwesen Fachgebiet Wasserbau, Siedlungswasserwirtschaft und Vermessung ISAT – Institut für Sensor- und Aktortechnik	
FÖRDERSTELLE	Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt Projekt 38587/01 (Akronym: MonSeGeEnt)	
BEARBEITUNG	Herr Prof. Dr.-Ing. Andreas Weiß Herr M. Eng. Pascal Haas	
STAND	Juni 2025	