Bitte auswählen

Erarbeitung eines online-tools für die Makrozoobenthos-Bewertung in Seen für das angepasste Bewertungsverfahren 2024

LAWA-Projekt LFP O 4.25

Mai 2026

Impressum

Auftraggeber:

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)

Auftragnehmer:

chromgruen Planungs- und Beratungs- GmbH & Co. KG, Gröndelle 3, 42555 Velbert

Bearbeitung durch:

Dr. Andreas Müller (chromgruen Planungs- und Beratungs- GmbH & Co. KG)
Dr. Reinhard Müller (Planungsbüro Hydrobiologie)

Fachliche Begleitung durch

Expertenkreis Seen,
Obfrauen Gudrun Plambeck (Landesamt für Umwelt Schleswig-Holstein, Antje Köhler (Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt, Berlin)
Projektbeirat bestehend aus Mitgliedern des EK Seen und weiteren Expertinnen und Experten für Makrozoobenthos

Federführung:

Antje Köhler (Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt, Berlin)

Stand:

Mai 2026

Zitiervorschlag:

Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) [Hrsg.] (2026): Erarbeitung eines online-tools für die Makrozoobenthos- Bewertung in Seen für das angepasste Bewertungsverfahren 2024. Projekt O 4.25 des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“. Auftragnehmer chromgruen 2026.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis iv

Tabellenverzeichnis v

1 Einleitung 6

2 Das Bewertungsverfahren „Molanna“ 7

2.1 Einleitung und Verfahrenskontext 7

2.2 Verfahrensvorschriften 7

2.2.1 Bezugsgrundlage: See- und Ufertypen 7

2.2.2 Kriterien der Bewertung 8

2.2.3 Probenahme und Determination 10

2.2.4 Rechnerische Auswertung der Bestandsaufnahmen 10

3 Implementierung 12

3.1 Software-Feinkonzept 12

3.1.1 Organisatorische und DV-technische Rahmenbedingungen 12

3.1.2 Architektur der Anwendungen 12

3.1.3 Datenmodell 13

3.1.4 Datenflüsse 14

3.1.5 Spezifische Algorithmen 14

3.1.6 Benutzeroberfläche 14

3.1.7 Schnittstellen 15

3.2 Implementierungsprozess 15

3.2.1 Vorgehensmodell 15

3.2.2 Programmiersprache und Entwicklungsumgebung 15

3.2.3 Bereitstellungskonzept 16

3.3 Testphase 17

3.3.1 Unit-Tests 17

3.3.2 Interne Tests 17

3.3.3 Anwendertests 17

3.3.4 Vorgehen nach Abschluss der Testphase 19

4 Literaturverzeichnis 20

Anlagen

- Molanna Bedienhandbuch, Version 0.5 (PDF)
- Taxaliste Molanna (XLSX)
- Beispielimport-Dateien (XLSX und ODS)
- Beispiel-Ausgabe-Dateien (XLSX und ODS)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Architekturskizze von Molanna 12
Abbildung 2: Komponenten-Diagramm der Testversion 16
Abbildung 3: Komponenten-Diagramm der Anwendung Molanna 17
Abbildung 4: Beispiele für JUnit-Testklassen 17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Software Bill of Materials (SBOM) 16

1 Einleitung

Die bodenlebenden wasserlebenden Wirbellosen, kurz Makrozoobenthos, stellen einen idealen Bioindikator dar, um Wirkungen von hydromorphologischen Veränderungen der Uferzone auf den ökologischen Zustand gemäß EG-WRRL anzuzeigen. Dazu wurde 2016/17 das Bewertungsverfahren „AESHNA“ entwickelt. Auf Basis einer verbesserten Datenlage hat sich dieses jedoch als optimierungsbedürftig erwiesen. Der grundsätzliche Bewertungsansatz mit dem Fokus auf eine see- und ufertypbezogene Bewertung des Eulitorals ist geblieben. Jedoch wurden die zahlreichen Metrics von AESHNA reduziert. Es wurden zwei Metrics als vorrangig bewertungsrelevant herausgearbeitet (HESS et al. 2024): der Faunaindex und die ufertypspezifische Artenvielfalt. Der Anteil der Neozoen an der Zönose wurde als Zusatzkriterium aufgenommen.

Die Aufgabenstellung des hier dokumentierten Projektes war es, für das oben beschriebene Bewertungsverfahren eine web-basierte Software-Lösung zu implementieren.

2 Das Bewertungsverfahren „Molanna“

Vorbemerkung:

In diesem Kapitel erfolgt lediglich eine sehr kompakte Verfahrensbeschreibung, um den fachlichen Kontext der Anwendungsentwicklung zu vermitteln. Die maßgebliche Referenz für alle fachlichen Verfahrensaspekte ist HESS et al. (2024).

2.1 Einleitung und Verfahrenskontext

Die Bewertung des ökologischen Zustands von Seen gemäß der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) erfolgt unter anderem über die Qualitätskomponente Makrozoobenthos (MZB), insbesondere in der Flachwasserzone des Eulitorals. Das bisherige Bewertungsverfahren („Aeshna“) erwies sich mit zunehmender Datengrundlage als optimierungsbedürftig, da es auf regionalen Ansätzen basierte und nicht bundesweit einheitlich anwendbar war. Ziel dieses Projekts war daher die Entwicklung eines bundesweit standardisierten Verfahrens, das die Lebensraumqualität des Eulitorals über das Makrozoobenthos bewertet und dabei hydromorphologische Beeinträchtigungen berücksichtigt.

Das neue Verfahren (vgl. HESS et al. 2024) soll typspezifisch sein, d. h. es berücksichtigt die naturräumlichen Unterschiede zwischen Alpen/Alpenvorland, Mittelgebirge/Stufenland und Norddeutschem Tiefland. Zudem erfolgt die Bewertung ufertypspezifisch, da die Lebensgemeinschaften des Makrozoobenthos stark von der Substratstruktur und der Habitatdynamik abhängen. Der methodische Ansatz basiert auf zwei zentralen Metrics: dem Faunaindex als Maß für das Verhältnis zwischen empfindlichen und robusten Arten sowie der ufertypspezifischen Artenvielfalt als Absolutwert typischer und spezifischer Arten. Als Zusatzkriterium wird der Anteil invasiver Neozoen herangezogen, der ab 20 % im Falle einer Einstufung in die Ökologische Zustandsklasse 1 zu einer Abwertung auf die ökologische Zustandsklasse 2 führt. Die Ergebnisse beider Metrics werden über einen bimetrischen Makrozoobenthos-Index (MMI) aggregiert, der die Grundlage für die abschließende Bewertung bildet.

2.2 Verfahrensvorschriften

2.2.1 Bezugsgrundlage: See- und Ufertypen

Die Bewertung des Makrozoobenthos erfolgt typspezifisch, wobei zunächst die Seentypen nach WRRL unterschieden werden. Für die MZB-Bewertung ist jedoch auch die Untergliederung nach Ufertypen entscheidend, da die Lebensgemeinschaften des Eulitorals maßgeblich von der Substratstruktur und der Habitatdynamik geprägt sind. Das Verfahren differenziert drei Haupt-Ufertypen, die weiter in Subtypen untergliedert werden:

- **Grobmineralische Ufer (Gm):** überwiegend kiesig-steinige Ufer ohne Detritusauflagen, zumeist nur schüttere Röhrichte.
    - **Subtyp Brandungsufer:** Dynamisch, windexponiert, mit instabilen Substratverhältnissen.

  - **Subtyp Felsufer (nur in Seen der Typen 3 und 4):** Block-, Schutt- oder Geröllstrukturen, oft mit Totholzablagerungen.
- **Feinmineralische Ufer (Fm):** überwiegend sandige Ufer ohne Detritusauflagen, zumeist nur schüttere Röhrichte
  - **Subtyp Brandungsufer:** Dynamisch, gekennzeichnet durch typische Sandrippelmuster.
  - **Subtyp Seekreideufer:** überwiegend schluffige Ufer. Natürlicherweise artenarm, da Seekreide nur eine begrenzte Besiedlung durch Makrozoobenthos zulässt.
  - **Organische Ufer (Org):** Dominanz von Röhrichten, Detritusauflagen oder submersen Makrophyten.
  - **Subtyp POM-Ufer:** Organische Substrate wie Torfmudde oder abgestorbenes Pflanzenmaterial, oft mit Schwingdecken.
  - **Subtyp Fortgeschrittene Verlandung:** Starke Streuakkumulation in abgetrennten Buchten.
  - **Subtyp Seggenufer:** Verlandung mit dominierenden Seggen, oft auf Niedermoorstandorten.

Im Rahmen der Verfahrensentwicklung wurden alle Kombinationen von Seen-/Ufertypen berücksichtigt, die an den Referenzgewässern angetroffen wurden. Um die Metrics Faunaindex und Artenvielfalt auf die EQR-Skala (0…1) zu skalieren, wurden für diese Kombinationen sog. „Ankerpunkte“ für Referenz- und Belastungsbedingungen definiert. Für Berechnungen mit und ohne Berücksichtigung der Zuckmücken (Chironomidae) wurden gezielt unterschiedliche Ankerpunkte definiert, um die Stabilität der Ergebnisse zu erhöhen. Die normierten Ergebnisse für Faunaindex und Artenvielfalt können entsprechend nur für solche Seen-/Ufertyp-Kombinationen berechnet werden, für die auch Ankerpunkte definiert wurden (vgl. HESS et al. 2024, Seite 15 ff.)

Die Bewertung erfolgt idealerweise am potenziell natürlichen Ufertyp (PNU), sofern dieser sicher abgeleitet werden kann. Bei anthropogenen Veränderungen (z. B. Verbau, Substrataustausch) wird stattdessen der aktuelle Ufertyp herangezogen. Bei starker Substratdurchmischung können Mischtypen gebildet werden, bei denen beide Ufertypen zu je 50 % in die Berechnung eingehen.

2.2.2 Kriterien der Bewertung

Die Bewertung erfolgt anhand von zwei Metrics, dem Faunaindex und der Artenvielfalt. Dazu wurden den aus vorausgegangenen Seenuntersuchungen bekannten Arten Zeigerwerte zugeordnet. Nicht eingestufte Arten werden bei der Bewertung grundsätzlich nicht berücksichtigt. Nach Berechnung durch Molanna kann im Tabellenblatt „Taxa“ überprüft werden, ob die eingegebenen Arten eine Einstufung besitzen. Ist dies nicht der Fall kann ggf. die Artangabe durch ein höheres Taxon ersetzt werden, um zu erreichen, dass das Taxon in die Bewertung eingeht.

Faunaindex (FI) – Indikation hydromorphologischer Beeinträchtigungen
Der Faunaindex dient der Bewertung der Zönosenstruktur und indiziert hydromorphologische Beeinträchtigungen wie Substratveränderungen, Verbau oder fehlende Dynamik.

Die Einstufung der Arten erfolgt nach ökologischen Kriterien:

- +2: Empfindliche, indikative Arten, die auf naturnahe Bedingungen hinweisen (z. B. *Ephemera glaucops*, *Choroterpes pictetii*, *Gammarus alpinus*).
- +1: Typische Arten mit begrenzter Empfindlichkeit, die in naturnahen Abschnitten vorkommen, aber auch in anderen Gewässertypen verbreitet sind (z. B. *Acroloxus lacustris*, *Caenis macrura*).
- 0: Nicht indikative Arten, deren ökologische Ansprüche unklar sind oder die keine spezifische Bindung an bestimmte Ufertypen aufweisen (z. B. *Dendrocoelum lacteum*, *Bithynia tentaculata*).
- –1: Robuste, typische Arten, die gegenüber hydromorphologischen Störungen weitgehend unempfindlich sind (z. B. *Caenis horaria*, *Micronecta poweri*).
- –2: Störzeiger, die auf starke strukturelle Defizite hinweisen (selten, z. B. bestimmte Zuckmücken).

Hochindikative Arten werden mit einem Wichtungsfaktor von 2 oder 4 verstärkt (z. B. *Ephemera glaucops*, *Pisidium lilljeborgi*, *Oulimnius troglodytes*).

Neozoen werden nicht in die Berechnung des Faunaindex einbezogen, da sie keine Rückschlüsse auf die natürliche Lebensraumqualität zulassen.

Ufertypspezifische Artenvielfalt (AV) – Bewertung der Artenvielfalt
Die ufertypspezifische Artenvielfalt bewertet die Anzahl und Qualität der Arten, die für einen bestimmten Ufertyp typisch oder spezifisch sind. Sie wird als Summe der Indexwerte typischer und spezifischer Taxa berechnet und dient der Erfassung der ökologischen Integrität des Lebensraums.

Die Indexwerte der Arten sind wie folgt definiert:

- +1: Typische Arten, die im betreffenden Ufertyp häufig vorkommen, aber auch in anderen Gewässertypen verbreitet sein können (z. B. *Gyraulus crista*, *Leptocerus sp.*).
- +2: Spezifische Arten, die einen eindeutigen Siedlungsschwerpunkt im Seenlitoral und oft sogar nur in einem bestimmten Ufertyp aufweisen (z. B. *Gammarus lacustris*, *Unio crassus*, *Ecdyonurus dispar*).

Arten mit einem Indexwert von 0 (nicht indikativ) werden nicht berücksichtigt. Die Artenvielfalt wird ufertypspezifisch berechnet, d. h., es werden nur Arten einbezogen, die für den jeweiligen Ufertyp als typisch oder spezifisch eingestuft wurden.

Neozoenanteil (% Neo) – Zusatzkriterium für invasive Arten
Der Anteil invasiver Neozoen an der Gesamtzönose wird als Zusatzkriterium herangezogen, da hohe Anteile auf eine Störung des ökologischen Gleichgewichts hinweisen können.

Ab einem Neozoen-Anteil von ≥ 20 % führt dies im Falle der Einstufung in die ökologische Zustandsklasse „sehr gut“ zu einer Abwertung um eine Stufe. Eine Ausnahme bildet *Potamopyrgus antipodarum*, die zwar als Neozoon gilt, aber nicht invasiv ist und daher nicht zu einer Abwertung führt.

2.2.3 Probenahme und Determination

Standardisierte Probenahme
Die Probenahme erfolgt standardisiert nach einheitlichen Vorgaben, die in einer Probenahmevorschrift (HESS et al. 2026) festgelegt sind. Pro Probestelle werden 20 Teilproben à 25 × 25 cm entnommen, was einer Gesamtfläche von 1,25 m² entspricht. Die Aufteilung der Teilproben auf die verschiedenen Substrattypen erfolgt nach dem Deckungsgrad der Substrate an der Probestelle. Je 5 % Deckungsgrad eines Substrattyps entfällt eine Teilprobe. Habitate mit einem Deckungsgrad von < 5 % werden in einer 21. Teilprobe erfasst und der Hauptprobe zugeschlagen.

Die Bestimmung der Taxa erfolgt entweder lebend im Gelände oder nach Laborsortierung. Die zu erfassenden Taxa und die erforderliche Bestimmungstiefe sind in einer Operationellen Taxaliste (HESS et al. 2026, Seite 21 ff.) definiert. Zudem wird ein Feldprotokoll geführt, das die Erfassung physiografischer Parameter wie Uferlänge, Substratverteilung und Hemerobie-Einstufung standardisiert (Hess et al. 2026, Seite 13 ff.).

Hemerobie-Einstufung
Die Hemerobie des Eulitorals wird in vier Stufen eingeteilt, um den Grad der Abweichung vom natürlichen Zustand zu bewerten:

- 1: Natürlich (unbeeinträchtigt)
- 2: Naturnah (geringfügige Beeinträchtigungen)
- 3: Verändert (nennenswerte Relevanz für die Lebensraumfunktion)
- 4: Stark verändert/naturfern (massive Veränderungen.

Die Hemerobie-Einstufung erfolgt in der Regel parallel zur Probenahme und dient als Plausibilitätscheck für die berechneten Bewertungsergebnisse.

Diese Informationen werden aber bei der DV-technischen Verarbeitung nicht berücksichtigt, aber unverändert ausgegeben.

2.2.4 Rechnerische Auswertung der Bestandsaufnahmen

Normierung der Metrics (Scores)
Die Ergebnisse des Faunaindex und der ufertypspezifischen Artenvielfalt werden über Ankerpunkte normiert, um sie vergleichbar zu machen. Die Ankerpunkte (Referenz- und Belastungswerte) wurden naturraum- und ufertypspezifisch abgeleitet und sind in Tabellen hinterlegt (vgl. Hess et al. 2025, Seite 15 ff.)

Der Score der Einzelmetrics liegt nach der Normierung grundsätzlich zwischen 0 und 1, gelegentlich aber auch außerhalb dieses Intervalls. In solchen Fällen werden Werte über 1 oder unter 0 zur Berechnung des MMI (siehe unten) auf diese Spanne abgeschnitten.

Berechnung des Makrozoobenthos-Index (MMI)
Der Makrozoobenthos-Index (MMI) aggregiert die normierten Scores von Faunaindex und Artenvielfalt über arithmetische Mittelwertbildung. Die Gesamtbewertung des See-Wasserkörpers ergibt sich aus dem Mittelwert aller bereinigten MMIs der Probestellen.

Zustandsklassen

Die Zuordnung der MMI-Werte zu den ökologischen Zustandsklassen erfolgt gemäß des folgenden Schemas:

Klasse	Bezeichnung	Wertespanne (MMI)
1	sehr gut	≥ 0,80
2	gut	≥ 0,60 bis < 0,80
3	mäßig	≥ 0,40 bis < 0,60
4	unbefriedigend	≥ 0,20 bis < 0,40
5	schlecht	< 0,20

Neozoenkorrektur

Probestellen mit einem Neozoenanteil ≥ 20 % und einem MMI ≥ 0,80 (entspräche Klasse I, sehr gut) werden auf 0,70 (Klasse II, gut) abgestuft, um die ökologische Zustandsklasse zu korrigieren.

3 Implementierung

3.1 Software-Feinkonzept

Das Software-Feinkonzept beschreibt die organisatorischen und technischen Details der Anwendung.

3.1.1 Organisatorische und DV-technische Rahmenbedingungen

Aufgrund der großen strukturellen Ähnlichkeit zu den anderen Verfahren für die ökologische Bewertung von Gewässern ist eine analoge Implementierung auf der gleichen Software- und Datenbasis mit vergleichbaren Schnittstellen erfolgt. Aus diesem Grund ist eine sehr detailreiche Feinkonzeption mit z. B. Anforderungsanalysen insofern verzichtbar, als die meisten Design- und Implementierungsentscheidungen bereits getroffen sind.

3.1.2 Architektur der Anwendungen

Die Anwendung besteht aus zwei zentralen Modulen, die in einem übergreifenden Modul gekapselt sind.

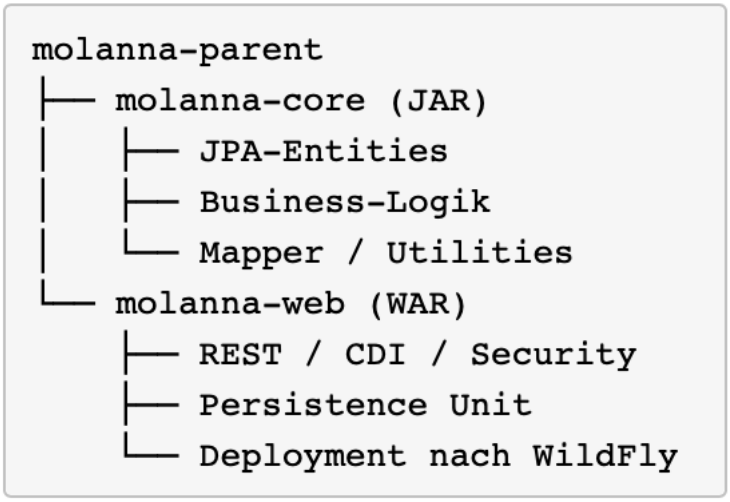


Abbildung 1: Architekturskizze von Molanna

Das Modul „*molanna-core*“ enthält die notwendigen Klassen für die Datenbankzugriffe, die Bewertungslogik sowie alle Hilfsdateien, die für Datenbankzugriff sowie Ein- und Ausgabe von Daten erforderlich sind.

Das Modul „*molanna-web*“ enthält alle Klassen, die für die eigentliche Web-Anwendung erforderlich sind. Dies betrifft insbesondere alle REST-Schnittstellen und ihre Zugriffsabsicherung und die Definition der Datenquelle („persistence unit“). Dieses Modul verwendet die Funktionalitäten des Moduls „*molanna-core*“, das als JAR-Datei eingebunden wird. Im Modul „*molanna-web*“ befinden sich außerdem die Java-Skript-Dateien und -Bibliotheken, die für die Test-Umgebung benötigt werden.

„*molanna-web*“ wird in ein Web-Archiv (WAR-Datei) kompiliert, welches an den Applikationsserver „Wildfly“ übergeben wird.

Das Modul „*molanna-parent*“ enthält lediglich übergreifende Bibliotheks-Definitionen, die sicherstellen, dass es zwischen den beiden untergeordneten Modulen nicht zu Versionskonflikten kommt sowie die technische Software-Dokumentation.

Diese Architektur stellt sicher, dass:

- Hibernate/JPA stabil und eindeutig initialisiert wird,
- keine Classloader- oder Persistence-Konflikte auftreten,
- die Businesslogik testbar und serverunabhängig bleibt und
- die Anwendung langfristig wartbar ist.

3.1.3 Datenmodell

Datenbankmodell
Die Anwendung greift auf eine PostgreSQL-Datenbank zu, die auch von den Anwendungen „Phylib Fließgewässer“ und „Phylib Seen“ verwendet wird. Die dort verwendete Datenbankstruktur wird lediglich um ein Schema „*molanna*“ erweitert, in dem alle für die hier beschriebene Anwendung benötigten spezifischen Daten abgelegt werden.

Klassenmodell
Das Klassenmodell von Molanna ist sehr einfach. Die Klassen werden auf folgende Packages verteilt:

- *com.chromgruen.molanna*: übergeordnete Klassen wie z. B. MolannaException (Klasse, die für Fehlerkommunikation verwendet wird)
- *com.chromgruen.molanna.bean*: Java Beans (Java-Klassen, die lediglich private Attribute und öffentliche Methoden zum Zugriff auf diese enthalten; diese modellieren also "Dinge" aus der realen Welt, z. B. eine Probe, ein Taxon oder einen Wasserkörper) einschließlich Klassen für den Datenbank-Zugriff
- *com.chromgruen.molanna.dto*: Klassen, die für den Transfer von Datenbankeinträgen benötigt werden (sog. „data transfer objects“)
- *com.chromgruen.molanna.helper*: Hilfs-Klassen für verschiedene Zwecke
- *com.chromgruen.molanna.io*: Klassen für die Ein- und Ausgabe von Excel- bzw. OpenOffice-Dateien
- *com.chromgruen.molanna.mapper*: Klassen zur Abbildung von Datenbank-Objekten auf DTO
- *com.chromgruen.molanna.service*: Service-Interfaces und ihre Implementierungen (Java-Klassen, die komplexere Funktionalitäten, z. B. Berechnungsvorschriften oder die Ein- und Ausgabe von Daten implementieren)

Die internen Schnittstellen der Klassen sind per Javadoc dokumentiert. Die entsprechenden Dateien sind im Verzeichnis „doc“ abgelegt.

3.1.4 Datenflüsse

Die Datenflüsse der Anwendung stellen sich relativ einfach dar:

- Ein Benutzer lädt Probenahmedaten über die Web-Oberfläche auf den Anwendungsserver.
- Dieser lädt die für die Bewertung erforderlichen Taxainformationen aus der Datenbank und berechnet auf dieser Grundlage die Bewertungsergebnisse.
- Die Bewertungsergebnisse werden in eine Datei geschrieben.
- Über einen Download-Link kann diese Datei heruntergeladen werden.
- Probenahmedaten des Benutzers werden nicht in der Datenbank abgelegt, sondern nur zum Zwecke der Berechnung im Dateisystem des Servers temporär gespeichert.

3.1.5 Spezifische Algorithmen

Verfahrensspezifische Algorithmen und Regeln sind in HESS et al. (2024) beschrieben.

3.1.6 Benutzeroberfläche

Die Anwendung selbst verfügt über keine eigene Benutzeroberfläche[1]. Sie wird vielmehr nach Freigabe durch die LAWA – wie die übrigen bereits als Web-Anwendungen implementierten Bewertungsverfahren – in das Content Management System (CMS) Contao integriert werden, welches über die Domain www.gewaesser-bewertung.de des Umweltbundesamtes zu erreichen ist.

Die Interaktion stellt sich dort wie folgt dar:
1. BenutzerIn meldet sich am System an.
2. Name und Passwort werden auf Gültigkeit geprüft.
3. Nach erfolgreicher Gültigkeitsprüfung ist Zugriff auf die Bewertungssysteme möglich.
4. Im Menü wird das gewünschte Bewertungsverfahren ausgewählt.
5. Die Eingabeseite des gewünschten Bewertungsverfahren wird angezeigt.
6. BenutzerIn wählt Datei mit Probenahmedaten auf lokalem Rechner aus und lädt sie auf den Server.
7. BenutzerIn startet Berechnungsvorgang.
8. Die Downloadseite des Bewertungsverfahren wird angezeigt.
9. Bewertungsergebnis kann durch Anklicken eines vom CMS erzeugten Links heruntergeladen werden.

[1] Für die Testanwendung wurde eine eigenständige Benutzeroberfläche in JavaScript implementiert. Diese ist im Benutzerhandbuch beschrieben. Auf eine zusätzliche Darstellung in diesem Bericht wird daher verzichtet.

3.1.7 Schnittstellen

Die im Rahmen dieses Vorhabens implementierte Web-Anwendung kommuniziert mit dem Content Management System (CMS) Contao über nicht öffentliche REST-Schnittstellen.

Berechtigten stehen derzeit – über die Bedienoberfläche der Website – lediglich zwei Schnittstellen zur Verfügung:

- Import von Probenahmedaten als Excel- oder OpenOffice-Datei
- Export von Bewertungsergebnissen als Excel- oder OpenOffice-Datei

In Analogie zu den übrigen als Web-Anwendung implementierten Bewertungsverfahren wird die final vorgelegte Programmversion zusätzlich über Schnittstellen verfügen, über die die Anwendung direkt, ohne Verwendung eines Browsers, angesprochen werden kann. Dazu wird eine REST-API implementiert und exponiert, mit der Berechtigte in der Lage sind, direkt mit der Web-Anwendung zu kommunizieren. Der Datenaustausch über diese Schnittstelle wird im JSON-Format erfolgen.

3.2 Implementierungsprozess

3.2.1 Vorgehensmodell

Aufgrund der überschaubaren Größe des Projektes erfolgte die Umsetzung grundsätzlich nach dem „extreme programming“ - Ansatz (BECK, 2000). Allerdings konnte der Prozess dadurch vereinfacht werden, dass konzeptionell analog zu den bestehenden Web-Anwendungen Phylib (für Fließgewässer bzw. für Seen) aufgesetzt werden konnte und daher viele Designentscheidungen und somit Kommunikationsstränge entfielen.

Im Wesentlichen war der Implementierungsprozess charakterisiert durch testgetriebene Entwicklung vor dem Hintergrund eines soliden Versionsmanagement.

3.2.2 Programmiersprache und Entwicklungsumgebung

Die Anwendung wurde in Java Version 11 unter ausschließlicher Verwendung von Komponenten implementiert, die unter Open Source Lizenzen stehen. Das Bibliotheksmanagement erfolgte mit Apache Maven[2].

Als Entwicklungsumgebung wurde Eclipse IDE for Enterprise Java Developers verwendet.

Die verwendete Java-Version und alle relevanten Bibliotheken sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Aufgeführt sind jedoch nur die funktional benötigten Top-Level-Bibliotheken, ihre Abhängigkeiten ergeben sich aus Projekt-Objekte-Modell von Maven (also der Datei „pom.xml“).

[2] Apache Maven ist ein in der Programmiersprache Java geschriebenes Kommandozeilenwerkzeug aus der Kategorie der Build-Werkzeuge.

Tabelle 1: Software Bill of Materials (SBOM)

Komponente	Bibliothek / Version
Java Development Kit	OpenJDK 11.0.30 oder höher
Maven	3.8.1 oder höher
Datenbank	PostgreSQL 16
Anwendungsserver	Wildfly 16 oder höher
Logging	Log4j2
Test-Suite	JUnit 4.12
Excel-Import und Export	Apache POI 4.0.1
Datenbank-Zugriff	PostgreSQL JDBC Treiber 9.4-1202-jdbc41
Objekt-Relationales Mapping	Hibernate 5.2.16
JSON-Prozessor	Jackson 1.9.12
Statische Fehlersuche	SpotBugs 4.2.3
Code-Qualitätsprüfung	CheckStyle 8.44

3.2.3 Bereitstellungskonzept

Testanwendung

Das Bereitstellungskonzept der Test-Anwendung ist in dem folgenden Komponenten-Diagramm dargestellt (Abbildung 2). Für eine leichte Migrierbarkeit ist die Anwendung in Docker-Containern gekapselt.

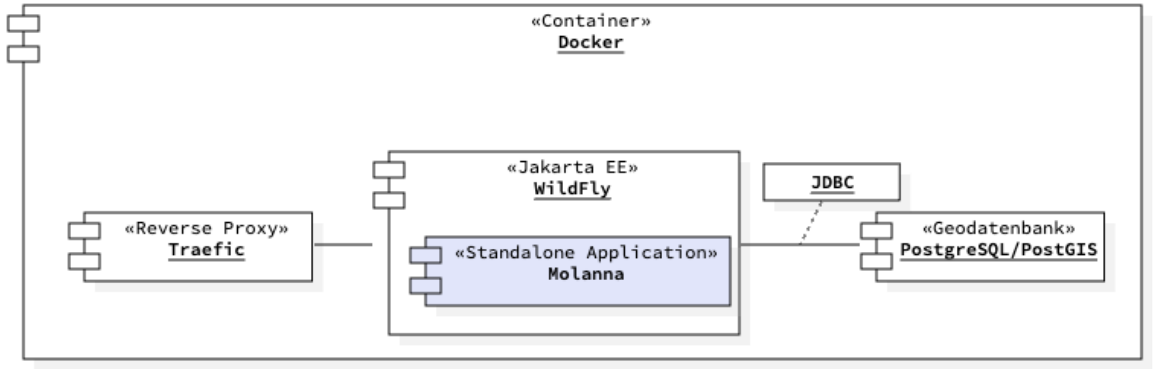


Abbildung 2: Komponenten-Diagramm der Testversion

Produktiv-Anwendung

Das Bereitstellungskonzept der Produktiv-Anwendung ist in dem folgenden Komponenten-Diagramm dargestellt (Abbildung 3).

Die Web-Anwendung wird über das Content-Management-System Contao gekapselt und kommuniziert daher mit den Anwendern nicht direkt, sondern über den „Apache 2“ http-Server. Externes Kommunikationsprotokoll ist *https*.

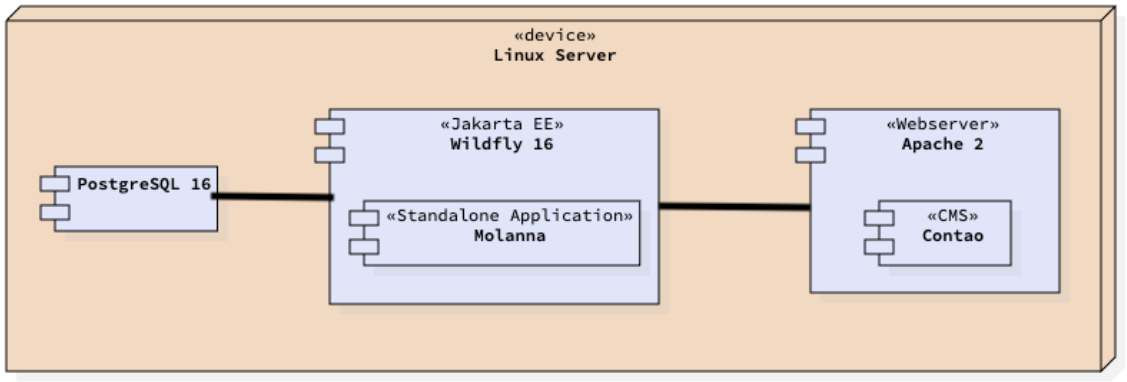


Abbildung 3: Komponenten-Diagramm der Anwendung Molanna

3.3 Testphase

3.3.1 Unit-Tests

Gemäß dem gewählten Vorgehensmodell wurden für die zentralen Funktionen der Software automatisierte Tests erstellt. Abbildung 4 zeigt exemplarisch die JUnit-Testklassen für die Ein- und Ausgabefunktionen.

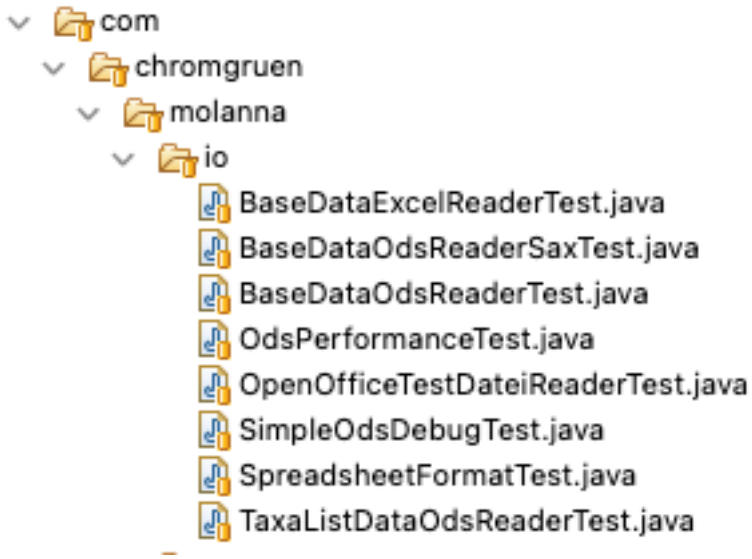


Abbildung 4: Beispiele für JUnit-Testklassen

3.3.2 Interne Tests

Bis Ende 2025 wurden interne manuelle Tests mit verschiedenen Beispieldateien durchgeführt. Dabei wurden einige Berechnungsfehler identifiziert und behoben.

3.3.3 Anwendertests

Im Januar 2026 wurde die erste Testversion online gestellt. Diese Testphase dauerte bis Ende März 2026. Die folgende Aufstellung zeigt die identifizierten und behobenen Fehler sowie ggf. weitere Änderungen.

Version 0.2

- Fehler bei der Ergebnisausgabe (es wurden für alle Ufertypen die Ergebnisse des vorausgewählten Ufertyps ausgegeben).
- Fehler in der Taxaliste - Excel-Datei (die dowloadbare Excel-Datei enthielt jeweils nur 200 Einträge).
- Ausgabe von Fehlermeldungen in einem zusätzlichen Blatt der Excel-Datei.

Version 0.3

- Fehler bei der Bewertung von Proben mit vorgegebenen Mischtypen des Ufers (Berechnung bricht ab, ohne Fehler zu melden).
- Ergänzungen bei der Beschreibung der Schnittstellenformate.

Version 0.4

- Das Blatt “Stammdaten” der Eingabe-Dateien kann auch mit zeilenweiser Schreibweise (1 Zeile = 1 Probe) verarbeitet werden. Das Programm erkennt automatisch, wie das Blatt aufgebaut ist.
- Wenn für Kombinationen von Seetyp und Ufertyp keine Ankerpunkte definiert sind, bleiben die entsprechenden Fehler leer und die Proben werden nicht zur Wasserkörperbewertung herangezogen.

Version 0.5

- Ein Fehler bei den Ankerpunkten des Ufertyps “Gm starke Brandung” bei Seetyp 4 wurde behoben.
- In den Fällen, in denen für eine Kombination von See- und Ufertyp keine Ankerpunkte vergeben sind, bleibt die Ausgabe der normierten Metrics leer.
- Bei fehlerhaften Taxa, die kein MZB-Taxon gemäß der BTL 2020 sind, wird nun auch der Name ausgegeben.
- Im Blatt “Ergebnisse” werden die Zellen mit den ökologischen Zustandsklassen für Berechnungen *ohne Chironomidae* werden nun auch klassenspezifisch eingefärbt.
- Ein Zeilen-/Spaltenkopf bei der Importdatei im Blatt “Stammdaten” enthielt fälschlicherweise zu viele Leerzeichen. Der Eintrag `Störungen  Flachwasserzone  Kurzform` wurde zu `Störungen Flachwasserzone Kurzform` korrigiert. Dies muss in allen Importdateien geändert werden.
- Es können neben Excel- auch LibreOffice-Dateien (.ods) verarbeitet werden, die die Stammdaten zeilenweise enthalten. Das spaltenweise Einlesen von Stammdaten wird im LibreOffice-Format **allerdings nicht** unterstützt.
- Das Dateiformat der Ausgabe richtet sich nach dem Dateiformat der Eingabe: Wird eine .ods-Datei eingelesen, wird eine .ods-Datei ausgegeben, wird eine .xlsx-Datei eingelesen, wird eine .xlsx-Datei ausgegeben.
- Es wird ein zusätzliches Blatt “Ergebnisse kompakt” ausgegeben, das nur die Ergebnisse für die vordefinierten Ufertypen enthält.
- Im Blatt “Taxa” werden nun Bemerkungen ausgegeben, falls ein Taxon für die Ökoregion der Probestelle nicht eingestuft ist (Eintrag “Ja” in Spalte “Auffällig” und entsprechende Bemerkung) oder ein Taxon kein MZB-Taxon der BTL 2020 ist (Eintrag “Ja” in Spalte “Probleme” und entsprechende Bemerkung).

MZB-Taxa, die nicht eingestuft sind, werden bei der Ermittlung der Gesamtartenzahl (zur Ermittlung des Neozoenanteils) berücksichtigt. Taxa, die keine MZB-Taxa der BTL 2020 sind, werden hierbei nicht berücksichtigt.

- Im Blatt “LogMeldungen” wird als erster Eintrag nun stets die Versionsnummer der Software ausgegeben.
- In dieser Benutzerdokumentation wurde die Tabelle der Seentypen korrigiert. In älteren Versionen war der Typ 3 fälschlicherweise zweimal enthalten.

3.3.4 Vorgehen nach Abschluss der Testphase

Soweit nach Abschluss der offiziellen Testphase noch Fehler gemeldet wurden und werden, werden diese aufgrund des mit dem Umweltbundesamt bestehenden Supportvertrages aufgenommen und behoben.

4 Literaturverzeichnis

Beck, K. (2000): Extreme Programming. Das Manifest. Addison-Wesley.

Hess, M., U. Heckes, R. Müller, C.-J. Otto † & S. Speth (2024): Bundesweite Verfahrensanpassung zur Seenbewertung. Zusammenführung länderspezifischer Bewertungsansätze anhand des Makrozoobenthos. Schlussbericht. i.A. der LAWA AO

Hess, M., R. Müller, S. Speth, C.-J. Otto, M. Gorka, P. Roos, A. Berlin, S. Bernhardt (2026): Vorschrift für die standardisierte Probenahme und Datenaufbereitung des biologischen Qualitätselements "Makrozoobenthos" im Eulitoral von Seen.