

Fichtner Water & Transportation GmbH, Freiburg

BERÜCKSICHTIGUNG VON ASPEKTEN DER INTEROPERABILITÄT BEI DER ENTWICKLUNG EINES WEBBASIERTEN BIODIVERSITÄTS- INFORMATIONSSYSTEMS

Kevin Wilhelm

Zusammenfassung: Im Rahmen der Genehmigungsplanung von Rohstoffabbaustätten ist eine Dokumentation der Artenvielfalt der geplanten Abbauflächen und deren Umfeld in Deutschland verpflichtend. Schätzungsweise werden allein in Baden-Württemberg jährlich mehrere zehntausend Artvorkommen im Rahmen der Untersuchungen von unabhängigen Planungsbüros aufgenommen. Um das Potenzial, das die Zusammenführung dieser Daten bietet, nutzbar zu machen, wird ein Konzept für ein internetbasiertes Biodiversitätsinformationssystem (BIS) zur systematischen, landesweiten Erfassung der Biodiversitätsdaten in Abbaustätten der Steine- und Erden-Industrie in Baden-Württemberg entwickelt und prototypisch implementiert. Der grundlegende Ansatz sieht eine dezentrale Erfassung von Artbeobachtungs- und Biotoptypendaten durch Planungsbüros in Form eines Dateimports und die Zusammenführung der Daten in einer zentralen Biodiversitätsdatenbank vor. Es wird gezeigt, wie durch den Einsatz und die Integration von interoperablen Strukturen Mehrwerte für den Nutzer generiert und eine nachhaltige Nutzung der Daten ermöglicht werden kann.

Schlüsselwörter: Biodiversität, Interoperabilität, Darwin Core, Web-GIS, OGC Webservices, taxonomische Webservices, Artbeobachtungen, Artverteilungskarten

CONSIDERATION OF ASPECTS OF INTEROPERABILITY WITHIN THE DEVELOPMENT OF A WEB BASED BIODIVERSITY INFORMATION SYSTEM

Abstract: Within the scope of approval planning of mining areas in Germany a documentation of the diversity of species of planned quarry sites and their surroundings is mandatory. It is estimated that for Baden-Württemberg alone on an annually basis tens of thousands of species occurrences are gathered throughout the investigations by independent consultants. To use the potential of an aggregation of this data a concept for a web-based Biodiversity Information System (BIS) for the systematic, nationwide collection of biodiversity data is designed and prototypically implemented for mining areas of the quarry industry in Baden-Württemberg. The basic approach allows for the decentralised acquisition of occurrence data and habitat types by consultants by means of a file import mechanism and the aggregation of the data within a centric biodiversity database. It is shown, how surplus values for the user are generated and how a sustainable data usage can be reached by using and integrating interoperable structures in software development.

Keywords: Biodiversity, interoperability, Darwin Core, WebGIS, OGC web services, taxonomic web services, occurrence mapping, species distribution maps

Autor

Kevin Wilhelm
Dipl. Geoökologe & M. Sc. Geographical Information Science
& Systems
Fichtner Water & Transportation GmbH
Linnéstraße 5
D-79110 Freiburg
E: kevin.wilhelm@fwt.fichtner.de

1 EINLEITUNG

Erschließung und Abbau von Gesteinsrohstoffen verursachen zwangsläufig Eingriffe in den Naturhaushalt. Im Rahmen der Genehmigungsplanung von Rohstoffabbaustätten werden als Element der Umweltverträglichkeitsprüfung daher eine Dokumentation der Artenvielfalt der geplanten, bestehenden oder stillgelegten Abbauflächen und deren Umfeld in Deutschland vorgenommen. Die Erhebung der Biodiversitätsdaten erfolgt durch unabhängige Planungsbüros. Schätzungsweise werden allein in Baden-Württemberg jährlich mehrere zehntausend Artvorkommen im Rahmen der Untersuchungen aufgenommen.

Immer mehr dieser Untersuchungen kommen zum Ergebnis, dass insbesondere Tier- und Pflanzenarten, die auf sog. Pionierstandorte angewiesen sind und hohe Anforderungen an die Ausstattung ihrer Lebensräume haben, Ersatzhabitate in den Abbaustätten der Steine- und Erden-Industrie (StE) finden. Für Deutschland zeigt sich sogar, dass manche Arten nahezu ausschließlich in Materialentnahmestätten zu finden sind (Nicolay & Nicolay 2012). Eine systematische Untersuchung von insgesamt 52 Abbaustätten in Bayern kommt zum Ergebnis, dass an diesen Standorten, deren Fläche nur ca. 0,006 % der Landesfläche Bayerns entspricht, insgesamt ca. 41 % aller in Bayern heimischen Pflanzenarten, ca. 49 % aller Vogelarten, ca. 65 % aller Schmetterlingsarten und ca. 53 % aller Grashüpfer- und Grillenarten vorkommen (Rademacher & Tränkle 2006).

Eine Dokumentation der Biodiversität in den Abbaustätten kann daher zum besseren Verständnis der kleinräumigen Ökosysteme und zum Artenschutz beitragen. Da bisher keine standardisierte Vorgehensweise für die zu Beginn beschriebenen Untersuchungen bzgl. Datenformat, Untersuchungsparameter und Speicherung der Daten existiert (Spang & Krakow 2007), wird eine weitergehende Verwendung oder zukünftige Nutzung der Biodiversitätsdaten extrem erschwert. Faktisch ist eine landesweite Nutzung der Daten derzeit nicht möglich.

Eine Lösung dieses Problems könnte in der Errichtung einer IT-Infrastruktur liegen, welche die unterschiedlichen Untersuchungsergebnisse der Feldstudien in eine einheitliche Datenstruktur überführt, in einer zentralen Biodiversitätsdatenbank spei-

chert und einen unkomplizierten Austausch der Daten möglich macht. Genau diesem Problemfeld widmet sich die Biodiversitätsinformatik (Berendsohn 2001), welche sich als Spezialgebiet der Bioinformatik Ende der 90er-Jahre entwickelte. Wie Bisby (2000), Canhos et al. (2004) oder Torre (2007) zeigen können, liegt ein Schlüssel zur erfolgreichen Entwicklung eines solchen Systems in der Nutzung des Internets als Kommunikationsebene sowie in der konsequenten Umsetzung der Prinzipien der Interoperabilität. Der folgende Beitrag untersucht, in welcher Weise sich diese Erkenntnisse für die Entwicklung eines internetbasierten Biodiversitätsinformationssystems (BIS) zur landesweiten Erfassung der Biodiversität in Abbaustätten der StE Baden-Württembergs nutzen lassen. Insbesondere sollen folgende Fragen geklärt werden:

- ▶ Wie erzeugt und unterstützt man Interoperabilität in einer derartigen Anwendung?
- ▶ Wann liegt wirkliche Interoperabilität vor?
- ▶ Kann der gezielte Einsatz interoperabler Methoden genutzt werden, um die Datenqualität zu verbessern und Mehrwerte für die Planungsbüros zu generieren?
- ▶ Ermöglicht Interoperabilität automatisch eine nachhaltige Nutzung der Daten?

2 GRUNDLAGEN UND METHODEN

2.1 INTEROPERABILITÄT

Unter Interoperabilität versteht man, vereinfacht ausgedrückt, die systemunabhängige Softwarekommunikation zwischen verschiedenen Informationssystemen (SOGI 2003). Im Detail müssen für eine erfolgreiche Vernetzung unterschiedlicher Systeme jedoch eine ganze Reihe von Festlegungen getroffen werden, um Interoperabilität zu ermöglichen. Hierunter fallen Regelungen für den Datentransport (sog. Protokolle), für die Datenstruktur, den Datenzugriff (Sprache), die Zugriffsrechte und die Metadaten.

Nach Staub (2009) kann man zwischen *organisatorischer* und *technischer Interoperabilität* unterscheiden. Zur organisatorischen Interoperabilität gehören gesetzliche Regelungen und Richtlinien sowie die Definition von Normen und Standards. Die technische Interoperabilität hingegen umfasst die Aspekte Datentransfer und Servi-

ces, Profile und Datenmodellierung sowie semantische Transformation (vgl. Abbildung 1). Dabei sind die einzelnen Faktoren nicht unabhängig zu sehen, sondern bedingen sich teilweise gegenseitig. So liegen der Datenmodellierung oftmals Datenstandards zugrunde.

Die technische Interoperabilität kann weiterhin in *Meta-Interoperabilität*, *syntaktische Interoperabilität* und *semantische Interoperabilität* unterteilt werden (Seifert 2008). Die Beschreibung von Modellen und die Datenmodellierung erfolgt mithilfe von Schemasprachen wie der Unified Modelling Language (UML) (OMG 2013). Unter Meta-Interoperabilität versteht man die Einschränkung dieser allgemein gehaltenen Schemasprachen und Spezifikationen in Form einer (UML-)Profilbildung (z. B. ISO 19107). Im Rahmen dieses Beitrags ist die syntaktische Interoperabilität von besonderer Bedeutung. Diese umfasst z. B. die zahlreichen Webservices des Open Geospatial Consortiums (OGC), die Regelungen des Datentransports wie Protokolle, Schnittstellen und Datentransformate definieren (s. Kapitel 2.3).

Stattdessen ermöglicht die semantische Interoperabilität den Zugriff auf das jeweilige Datenmodell der Zieldaten (Staub 2009). Durch sog. semantische Modelltransformationen können unterschiedliche Datenmodelle aufeinander abgebildet werden. Eine gezielte Überführung des fremden Datenmodells in das eigene Datenmodell kann somit vorgenommen werden. Der Datenaustausch erfolgt wiederum über standardisierte Transferformate.

2.2 INTERNATIONALE BIODIVERSITÄTSDATENSTANDARDS

Wesentliche Voraussetzung für Interoperabilität ist die Definition von Normen und Standards. Im Rahmen der Entwicklung der Biodiversitätsinformatik sind durch Organisationen wie der Taxonomic Databases Working Group (TDWG) zahlreiche Standards definiert worden, die den Datenaustausch über Systemgrenzen hinweg vereinfachen sollen. Es handelt sich dabei vor allem um Standards zu Datenformat und Modellierung (sog. Datenstandards) sowie zu Kommunikationsprotokollen.

Datenstandards bilden unterschiedliche Datensätze in gleicher Weise ab, sodass die Daten unabhängig von ihrer Quelle zusammengeführt werden können. Durch

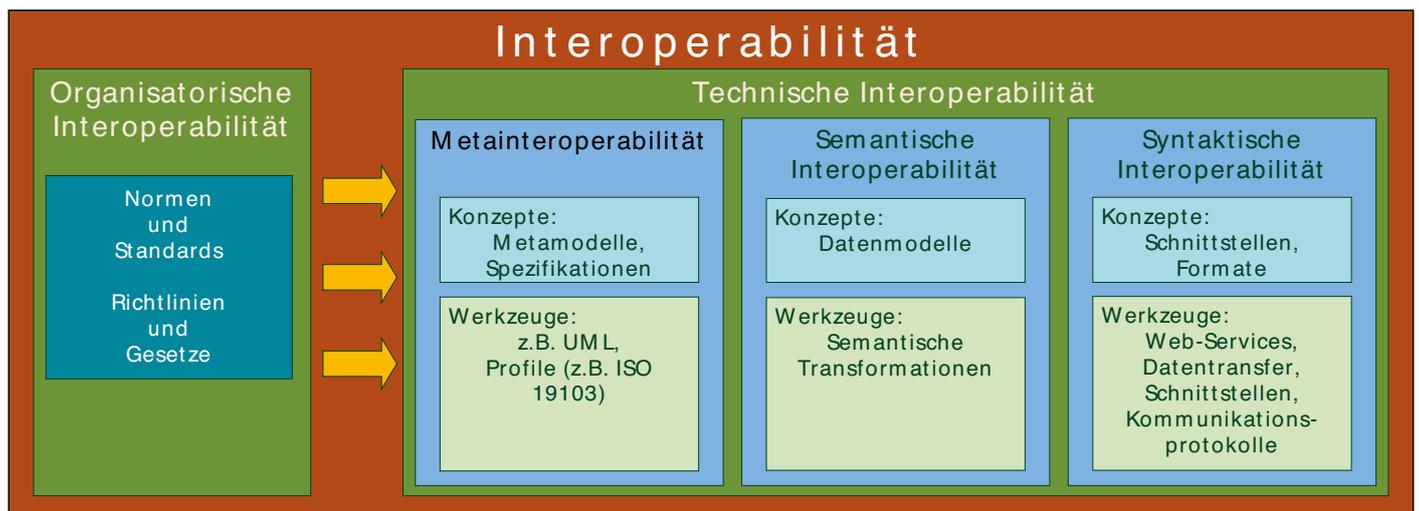


Abbildung 1: Hierarchische Gliederung der Interoperabilität, verändert nach Seifert (2008) und Staub (2009)

die Nutzung desselben Datenstandards wird die direkte Kommunikation zwischen verschiedenen Systemen ermöglicht und die Datenkonsistenz sichergestellt. Zu den wichtigsten Biodiversitätsdatenstandards gehören Access to Biological Collection Data (ABCD) und Darwin Core (DwC).

Bei beiden Datenstandards handelt es sich um XML-Datenschemata, die gültige Datenelemente für den Bereich von biologischen Sammlungen und Beobachtungsdatenbanken sowie der zugehörigen Datenhalter spezifizieren. Das ABCD-Schema ist der weitaus komplexere Standard und definiert je nach verwendeter Version bis zu 1.200 Datenelemente (TDWG 2013). Der ABCD-Standard wurde mit dem Ziel entwickelt, jegliche Art von Information, die im Zusammenhang mit Biodiversitätsdaten steht, beschreiben zu können. Für jedes Element enthält das Schema eine strukturierte maschinenlesbare Annotation, die das jeweilige Element erläutert. Durch diese Semantik wird die Kommunikation zwischen verschiedenen Systemen ermöglicht, solange alle Systeme auf das zugrunde liegende Schema Zugriff haben (semantische Interoperabilität).

Die starke Strukturierung des Standards führt jedoch in der Praxis häufig dazu, dass Informationen in zusammenhängenden Freitext-Elementen hinterlegt werden, die der Standard ebenfalls vorsieht, um die Nutzung des Standards für weniger detaillierte Datensätze zu ermöglichen. Dadurch ergibt sich das Problem, dass verschiedene Datenelemente die gesuchte Information transportieren können. Dies macht die Entwicklung einer den ABCD-Standard un-

terstützten Anwendung aufwendig und den Standard für eine Web-GIS-Anwendung unattraktiv.

Das DwC-Schema (Wieczorek et al. 2009) hingegen definiert deutlich weniger Elemente und ist daher übersichtlicher und einfacher in der Anwendung. Es stellt den Versuch dar, ein Minimum-Set an Datenelementen zusammenzustellen, die in jedem Fall von der Mehrheit der Datenbanken verwendet werden und die allen taxonomischen Gruppen gemeinsam sind (Canhos et al. 2004). Der DwC-Standard Version 1.2 wurde 2009 von der TDWG offiziell veröffentlicht.

Der Programmieraufwand für entsprechende Schnittstellen reduziert sich, im Vergleich zum ABCD-Standard, durch die geringere Anzahl zu berücksichtigender Elemente deutlich. Trotzdem ist der Standard immer noch umfangreich genug, um alle Informationen, die im Rahmen von Feldstudien zur Arterhebung erhoben werden, transportieren zu können.

2.3 WEBSERVICESTANDARDS

Standardisierte Webservices, die unabhängig von der eingesetzten Plattform und der verwendeten Programmiersprache sind, spielen für die Entwicklung einer interoperablen Webanwendung eine zentrale Rolle (Mitchell et al. 2008). Unter Webservice wird stark vereinfacht die Kommunikation zwischen Computern über das Internet verstanden. Im Allgemeinen werden von einem Server Dienste (Services) angeboten, die von einem Client genutzt werden können, indem dieser eine festgelegte Netzwerk- oder Internetadresse aufruft. Um

unabhängig von der verwendeten Programmiersprache und dem verwendeten Rechnersystem zu sein, erfolgt die Übertragung meist über das Transferprotokoll HTTP und es wird ein standardisiertes einfaches Textformat, wie z. B. XML oder JSON, verwendet. Man unterscheidet zwei Webservicesstandards Simple Object Access Protocol (SOAP) und REpresentational State Transfer (REST). Für die Entwicklung des BIS ist vor allem der REST-Standard von Bedeutung.

Das REST-Prinzip ist eher als Architekturstil (RESTful), denn als Standard zu sehen. Über HTTP wird eine Anfrage an einen Webserver gestellt. In diesem Fall stellt bereits die URL die codierte Ressource dar. Als Ressource kann jedes Format verwendet werden, z. B. XML, Text, Bilder oder Multimedia-Dateien. Die Antwort erfolgt als XML- oder JSON-Datei. Die Ressourcen können mit den bekannten HTTP-Methoden GET, PUT, POST und DELETE aufgerufen, jedoch nicht direkt manipuliert werden. Ein Nachteil von RESTful-Services ist die fehlende Information zur Semantik der übertragenen Daten, da kein fester Standard für die Antwort im XML-Format existiert. Trotz der eingeschränkten Interoperabilität eines Restful-Webservice werden sie häufig in Webanwendungen eingesetzt, da sie einfach zu implementieren und sehr gut skalierbar sind.

Die OGC-Standards (z. B. OGC 2001, OGC 2005, OGC 2006, OGC 2010a, OGC 2010b) repräsentieren eine eigene Klasse von (RESTful-)Webservices, die speziell für den Umgang mit Geodaten entwickelt wurden. Für den Zu-

griff auf Geodaten definieren die OGC-Webservices standardisierte Schnittstellen, die über standardisierte Anfragen angesprochen werden können, ohne das dahinter stehende Datenmodell zu kennen. Eine visuelle Kombination der abgerufenen Daten mit den eigenen Daten ist möglich (Web Map Service, WMS) bzw. im Falle eines Web Feature Services (WFS) sogar die Integration der GML-Daten in den eigenen Datenbestand, sofern das eigene Datenmodell dies zulässt.

2.4 BIODIVERSITÄTSUNTERSUCHUNGEN UND DEREN EIGENSCHAFTEN

Die Grundlage einer Untersuchung zur Biodiversität in Abbaustätten bildet immer ein konkretes Abbauvorhaben (z. B. die Erweiterung eines Steinbruchs). Je nach Vorhabentyp (Untersuchungsanlass) unterscheiden sich Anzahl, Art und Umfang der durchzuführenden Untersuchungen. Die genaue Festlegung des Untersuchungsaufwands wird vom ausführenden Planungsbüro in Abstimmung mit der jeweiligen Fach- bzw. Genehmigungsbehörde getroffen.

Den Untersuchungen liegen wiederum zwei verschiedene Arten biologischer Felddaten zur Erfassung der organismischen und der ökosystemaren Ebene zugrunde. Zum einen werden Arterhebungen durchgeführt, d. h., Beobachtungen einzelner Individuen werden auf Artebene gemacht. Im zweiten Fall handelt es sich um die Kartierung von Biotoptypen, welche auf Basis ihrer Pflanzenausstattung (z. B. Röhrichte, Buchenwald) aufgenommen werden. Bei beiden Erhebungsvarianten werden im Rahmen der Feldstudien zahlreiche Merkmale in ihrer Ausprägung erfasst. Die Ausführungen im weiteren Verlauf dieser Arbeit stützen sich primär auf den Umgang mit Arterhebungsdaten.

Die Untersuchungsdaten von Arterhebungen stellen eine sehr heterogene Datenbasis dar, was vor allem mit dem Untersuchungsgegenstand, also den verschiedenen Artgruppen (Taxozönosen) und deren stark unterschiedlichen Verhaltensweisen und Lebensräumen, zusammenhängt. Folgende im Vorfeld einer Untersuchung zu treffende Entscheidungen beeinflussen die Ausprägung der Beobachtungsdaten:

1. Wahl der geeigneten Untersuchungsmethode (z. B. Kescherfang, akustische Erfassung, Lichtfallen etc.).

2. Festlegung des ein Individuum beschreibenden Attributdatensatzes (z. B. Entwicklungsstand, Geschlecht).
3. Festlegung des Beobachtungszeitpunkts (z. B. zur Erfassung jahreszeitenabhängiger Entwicklungszustände).
4. Bestimmung der räumlichen Verteilung der Beobachtungspunkte (Transekt, Punktraster usw.).

Eine systematische Erfassung ist daher immer speziell auf eine Artengruppe abgestimmt. Da einheitliche Vorgaben und Handlungsempfehlungen fehlen (Spang & Krakow 2007), werden das zu untersuchende Artenspektrum, Untersuchungsumfang und -tiefe sowie ggf. Beobachtungszeitpunkte und räumliche Ausdehnung des Untersuchungsgebiets i. d. R. zwischen Planungsbüro und der jeweiligen Naturschutzbehörde individuell abgestimmt.

Neben der systematischen Erfassung existiert eine weitere Form der Erhebung, die Zufallsbeobachtung. Bei einer Zufallsbeobachtung wird eine Art zufällig im Rahmen einer anderen Untersuchung (z. B. andere Artengruppe, Biotoptypenkartierung) erfasst. Die Kenntnis der Art der Erfassung ist für eine spätere qualitative Einstufung einer Artbeobachtung wichtig.

3 ERGEBNISSE

3.1 DATENMODELL

Das Datenmodell bildet die Vorgänge und Prozesse, die im Rahmen der Erfassung von Biodiversitätsdaten durch die Planungsbüros durchgeführt werden, ab und setzt die einzelnen Elemente in eine logische

Beziehung zueinander. Entsprechend der zuvor beschriebenen Grundlagen der Biodiversitätsuntersuchungen wurden mithilfe der Entity Relationship Modellierung (Chen 1976) die zwei übergeordneten Entitäten *Vorhaben* und *Untersuchungen* sowie die beiden Entitäten *Artbeobachtungen* und *Biotoptypen* identifiziert, die zusammen die vier Basisentitäten des konzeptionellen Datenmodells bilden (s. Abbildung 2).

Zusätzlich baut das Datenmodell auf dem oben beschriebenen DwC-Standard auf. Diese Vorgehensweise bietet Vorteile bei der Entwicklung von Datenimport- und -export-Routinen für das BIS und erhöht die semantische Interoperabilität der Anwendung. Eine semantische Zuordnung (Mapping) der Entitäten und ihrer Eigenschaften (Attribute) zwischen Datenmodell und Datenaustauschschemata kann weitestgehend entfallen, da die Bezeichnungen der Datenelemente identisch sind.

Um das Datenmodell für den praktischen Einsatz nicht zu umfangreich zu gestalten, wurde eine Vereinfachung des DwC-Schemas vorgenommen, insofern als das Datenfelder zur Beschreibung von Sammlungs- und Multimediadaten keinen Eingang in das Datenmodell fanden. Zudem müssen zahlreiche der DwC-Attribute nicht explizit im Datenmodell als Element modelliert werden, da es sich oftmals um konstante Werte (Metadaten) handelt oder die Berechnung auf Grundlage anderer Datenfelder möglich ist.

Aufgrund der Heterogenität der Datenbasis (s. Abschnitt 2.4) wurde der „kleinste gemeinsame Nenner“ der erfassten Merk-

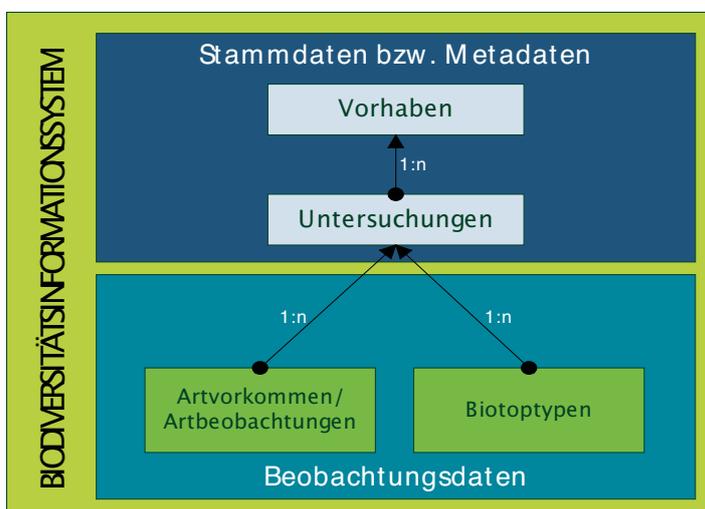


Abbildung 2: Stark vereinfachter schematischer Aufbau des Datenmodells mit den vier Hauptentitäten

male gesucht, um die Pflichtfelder im Datenmodell zu definieren. Daneben existieren zahlreiche optionale Felder, um die Untersuchungsergebnisse mit umfangreicheren Attributdatensätzen ebenfalls ohne Informationsverlust speichern zu können.

3.2 WORKFLOW UND FUNKTIONSWEISE

Die grundlegende Funktionalität des BIS basiert auf einem schnellen und unkomplizierten Datenimport der Untersuchungsergebnisse in die Biodiversitätsdatenbank. Hierzu wurde ein klar strukturierter Workflow entwickelt, der es den Planungsbüros ermöglicht, in wenigen Schritten ihre Daten in das System einzuspielen (vgl. Abbil-

dung 3). Analog zum Datenmodell wurde der Datenerfassungsvorgang in die drei Schritte der Erfassung der Vorhabensstammdaten (1), der Untersuchungsstammdaten (2) und dem Upload von Beobachtungsdaten (3a) gegliedert.

Die ersten beiden Erfassungsschritte erfolgen jeweils online über Webformulare. Für Schritt 3a ist Voraussetzung, dass Dateien mit entsprechenden Artlisten existieren. Die Erfassung der Artlisten wird durch die Planungsbüros lokal innerhalb ihrer eigenen IT-Infrastruktur durchgeführt. Um eine Kompatibilität der erfassten Beobachtungsdaten zu gewährleisten, wurden Vorlagen-dateien, sog. Templates, für die von den Planungsbüros am häufigsten eingesetzten

Dateiformate (ESRI Shapefile, CSV, Excel-Worksheets) entwickelt, in die die Büros ihre Daten einfügen können. Die Templates basieren auf dem oben beschriebenen Datenmodell. Analog zum DwC-Schema existieren nur wenige Pflichtfelder, die ein Minimum-Set an Eingabefeldern definieren. Bei den restlichen Feldern handelt es sich um optionale Angaben. Im dritten Erfassungsschritt kann die Liste der Beobachtungsdaten zur jeweiligen Untersuchung hochgeladen werden. Alternativ besteht die Möglichkeit einer sog. Einzelerfassung von Beobachtungsdaten (3b). Hierfür steht eine Web-GIS-Oberfläche zur Verfügung, über die Artvorkommen direkt digitalisiert werden können.

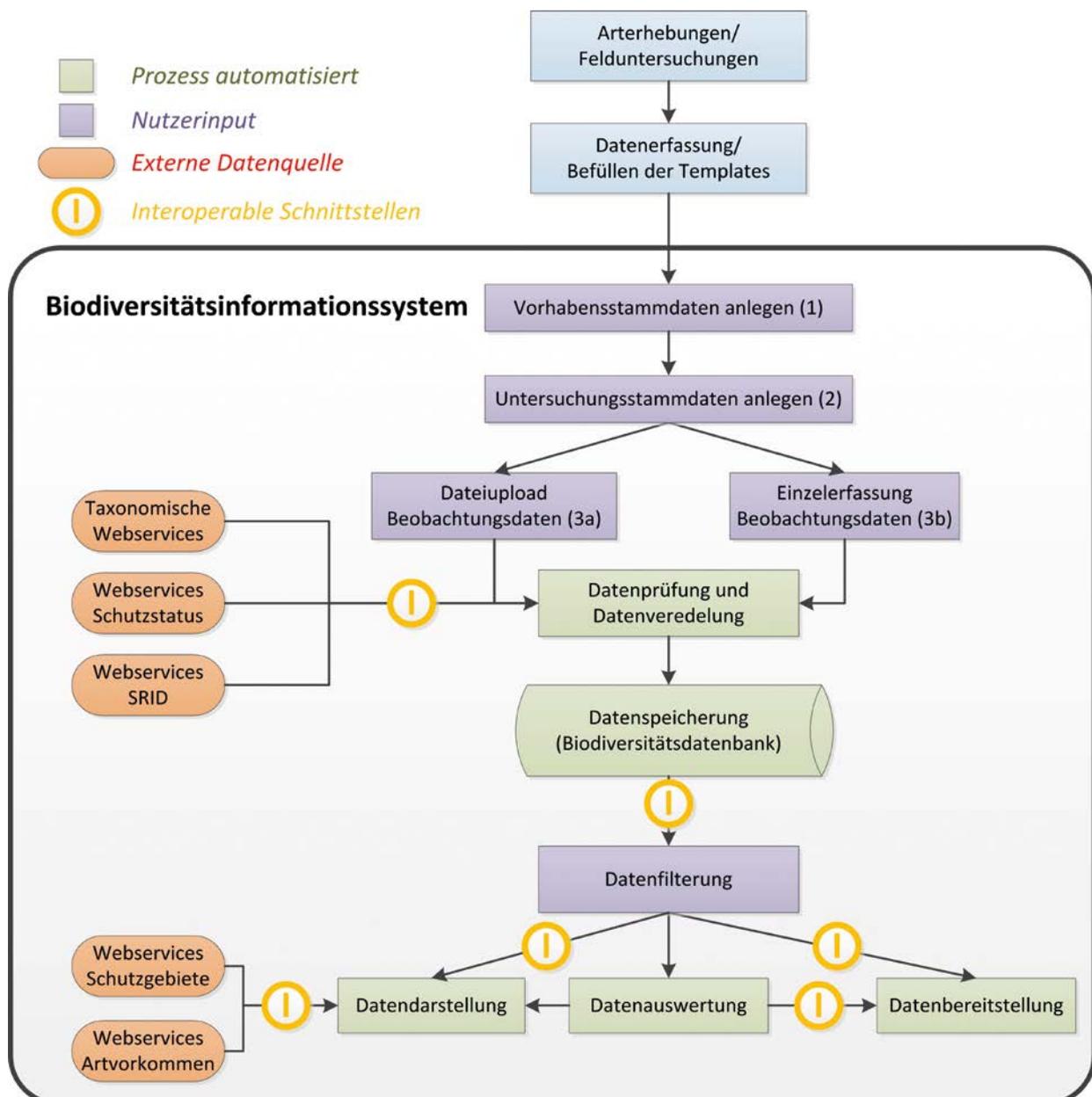


Abbildung 3: Grundlegender Workflow und Interoperabilität im BIS

Wie Abbildung 3 zeigt, ist für zahlreiche Prozesse der Zugriff auf bzw. die Bereitstellung von interoperablen Schnittstellen und die Verwendung interoperabler Methoden von Bedeutung:

1. Für den Prozess der Datenprüfung und Veredelung (s. Abschnitt 3.6) erfolgt ein Zugriff auf RESTful-Schnittstellen diverser Webservices zur Prüfung von Taxonomie, Koordinatenreferenzsystem, deutschen Artnamen und Schutzstatus der Arten.
2. Bei der Datenfilterung wird der Filter Encoding Standard der OGC eingesetzt (s. Abschnitt 3.5).
3. Zur Darstellung von Artvorkommen, Artverbreitungsgebieten und Schutzgebieten (Naturschutz-, FFH-, Waldschutz-, Landschaftsschutzgebiete, Biotope usw.) wird auf OGC- und RESTful-Webservices zugegriffen (s. Abschnitt 3.4).
4. Die Datenbereitstellung erfolgt als standardisierte Webservices und als DwC-Archiv (s. Abschnitt 3.3).

3.3 DATENBEREITSTELLUNGSKONZEPT

Wie Berendsohn et al. (2011) richtig bemerken, ist die Verwendung und Implementierung internationaler Datenstandards und die Entwicklung eines zu diesen Standards konformen Datenmodells nur von Bedeutung, wenn das System auch über entsprechende Import- und Exportfunktionalitäten verfügt. Für die Bereitstellung von Daten aus dem BIS heraus wurde daher ein Datenbereitstellungskonzept entwickelt (s. Abbildung 4). Demnach gilt es zunächst zu definieren, welche Daten zur Verfügung gestellt werden sollen und in welcher Form die Daten bereitgestellt werden. Folgende Daten wurden als relevant für eine Veröffentlichung identifiziert:

1. Tabellarische Daten:
 - a) Artvorkommen zusammen mit den dazugehörigen Stammdaten (Metadaten).
 - b) Biotoptypen zusammen mit den dazugehörigen Stammdaten (Metadaten).
 - c) Artvorkommen ergänzt um Schutzstatus, deutsche und korrekte wissenschaftliche Artbezeichnung ohne Metadaten.
2. Räumliche Daten (Geodaten):
 - a) Artvorkommen als Punktgeometrien inkl. Metadaten.
 - b) Biotoptypen als Polygoneometrien inkl. Metadaten.
 - c) Artverbreitungsgebiete als Polygoneo-

metrien im Blattsnittraster der topographischen Karte (TK) für verschiedene Maßstäbe inkl. Quantifizierung der Anzahl an Beobachtungen pro TK-Kachel.

- d) Verbreitungsgebiete sämtlicher taxonomischer Rangstufen als Polygoneometrien im Blattsnittraster der topographischen Karte für verschiedene Maßstäbe inklusive Metadaten.

Entsprechend der Art der Daten (tabellarisch und als Geometrien) unterscheidet sich auch die Form der Bereitstellung. Tabellarische Daten können mithilfe eines Webservices (RESTful oder SOAP) und als reine Dateien im CSV-, XML-, XLS- oder einem anderen Tabellenformat zum Download bereitgestellt werden. Wie eingangs beschrieben, ist zur Gewährleistung einer möglichst interoperablen Nutzung der Daten die Verwendung eines international anerkannten Standards zu empfehlen. Im vorliegenden Fall wird zur Bereitstellung der Artvorkommen und Biotoptypen inkl. Metadaten der Datenaustauschstandard *Darwin Core Archive* verwendet (GBIF 2010 und GBIF 2011).

Das DwC-Archiv (DwC-A) ist eine von der Global Biodiversity Information Facility (GBIF) entwickelte erweiterte Version des DwC-Standards und besteht aus mehreren Dateien, die in einem ZIP-Archiv zusammengefasst werden. Die eigentlichen Beobachtungsdaten liegen in einer einfachen Text- bzw. CSV-Datei vor und werden durch ergänzende Metadateien im XML-Format beschrieben. Die XML-Struktur der Metadateien wird durch entsprechende XML-Schemata vorgegeben. Durch diesen Aufbau bietet der DwC-A-Standard die Möglichkeit, auch semantische Informationen zu den Daten zu transportieren.

Die Bereitstellung der Artvorkommen als Tabellen ohne Metainformation ist nur für die Planungsbüros von Bedeutung, da diese selbst im Besitz der Metadaten ihrer eigenen Daten sind. Die Bereitstellung von XLS- oder CSV-Dateien, welche die Artvorkommen inklusive vollständiger Taxonomie, deutscher Artbezeichnungen und Schutzstatus enthalten ist geplant. Eine semantische Aufarbeitung der Daten, wie für das DwC-A ist in diesem Fall nicht erforderlich, da seitens der Planungsbüros der manuelle Bezug und die Verarbeitung der Daten gewünscht wird.

Für die Auslieferung der Geodaten werden OGC-konforme Webservices

(s. o.) verwendet. Als mögliche OGC-Dienste kommen sowohl der WMS als auch der WFS infrage. Grundsätzlich ist die Nutzung beider Dienste möglich. Aufgrund der leichteren Implementierung wurde die Pilotanwendung mittels WFS realisiert (vgl. Torre et al. 2007). Außerdem sieht das Konzept die Bereitstellung von Artbeobachtungsdaten im DwC-Schema als komprimierte ESRI-Shapefiles vor.

3.4 INTEROPERABILITÄT BEI DER DATENDARSTELLUNG

Durch den Einsatz eines standardisierten Services (OGC-Webservices) zur Bereitstellung der Geodaten wird der interne Zugriff z. B. zu Visualisierungszwecken deutlich erleichtert. Hier zeigt sich der Vorteil der (syntaktischen) Interoperabilität einer solchen Lösung. Web-GIS-Clients, wie das in diesem Fall verwendete OpenLayers, bringen bereits eine entsprechende Schnittstelle zur Einbindung OGC-konformer Webdienste mit. Die in Abschnitt 3.3 beschriebenen räumlichen Datensätze können als einzelne WFS- bzw. WMS-Dienste jeweils als separate Layer mit OpenLayers visualisiert und über den Layermanager ein- und ausgeblendet werden.

Über die WFS-/WMS-Schnittstelle des Web-GIS-Clients sind leicht weitere externe Dienste (z. B. die verschiedenen Schutzgebiete über die Geodateninfrastruktur Deutschland) visualisierbar. Die GBIF bündelt mittels einer komplexen technischen Infrastruktur mittlerweile 464 nationale Datenanbieter von globalen Artdatenbanken. Aktuell ist dadurch der Zugriff auf ca. 430 Mio. Artbeobachtungsdatensätze und Sammlungsbelege weltweit möglich (GBIF 2014). Darauf basierende Karten zur Artverbreitung sind als WMS-Service verfügbar. Über einen RESTful-Webservice können zudem Artbeobachtungsdaten als Punktdatensätze im XML-Format abgefragt werden. Dies ermöglicht die kombinierte Darstellung der eigenen Artbeobachtungsdaten mit den GBIF-Datensätzen.

3.5 INTEROPERABILITÄT BEI DER DATENFILTERUNG

Im Allgemeinen möchte der Nutzer nicht alle Beobachtungsdaten (für die er die Berechtigung besitzt) im Web-GIS-Client angezeigt haben, sondern nur eine definierte Auswahl (z. B. eine bestimmte Art oder alle

Arten eines bestimmten Schutzstatus). Für die Bereitstellung dieser Funktionalität ist eine Filterung der Daten erforderlich. Auch in diesem Fall wird auf einen OGC-Standard, die sog. „Filter Encoding Specification“, zurückgegriffen (OGC 2010b), die z. B. die von einem WFS zurückgelieferten Daten gezielt filtert, sodass nur eine Untermenge der Daten ausgeliefert wird. Die Filterfunktionen werden sowohl bei der Datenvisualisierung als auch bei der Datenbereitstellung eingesetzt.

3.6 DATENVEREDELUNG UND MEHRWERTE DER INTEROPERABILITÄT

Im Rahmen des Uploads von Beobachtungsdaten erfolgt eine automatisierte Qualitäts- und Plausibilitätsprüfung, die teilweise auf externe Webservices zurückgreift. Die Daten werden insbesondere auf Konsistenz, Richtigkeit und Vollständigkeit überprüft. Abgesehen von der (semi-) automatisierten Fehlerkorrektur, die an sich schon zu einer Aufwertung der Daten führt, findet zudem die automatisierte Ermittlung gezielter Zusatzinformationen statt, die den eigentlichen Mehrwert darstellt, den die Daten erfahren. Für diese Datenveredelung wird auf mehrere externe Webservices zugegriffen. Für die Einbindung der RESTful-Webservices wurde ein XML-Parser entwickelt, der die relevanten Daten aus den verschachtelten XML-Element-Bäumen, die als Antwortdokument geliefert werden, extrahiert.

Im Folgenden werden die serverseitigen Prüf- und Ergänzungsverfahren, die bei der Verarbeitung von Artbeobachtungen eingesetzt werden, aufgeführt:

1. Prüfung von Dateieigenschaften (Größe, Format, Lesbarkeit, Encoding).
2. Formale und logische Prüfung der Dateistruktur (Vollständigkeit, Datentypen, Übereinstimmung mit Templatestruktur).
3. Datenintegritätsprüfung (Wertebereiche der Attribute).
4. Prüfung des Koordinatenreferenzsystems und Ermittlung des Spatial Reference System Identifiers (SRID) mit zwei Varianten: Interne Prüffunktion im Dateiimportmodul der Anwendung basierend auf der GDAL/OGR-Bibliothek sowie Anfrage eines RESTful-Webservices (<http://prj2epsg.org/>).
5. Taxonomieprüfung unterteilt in:

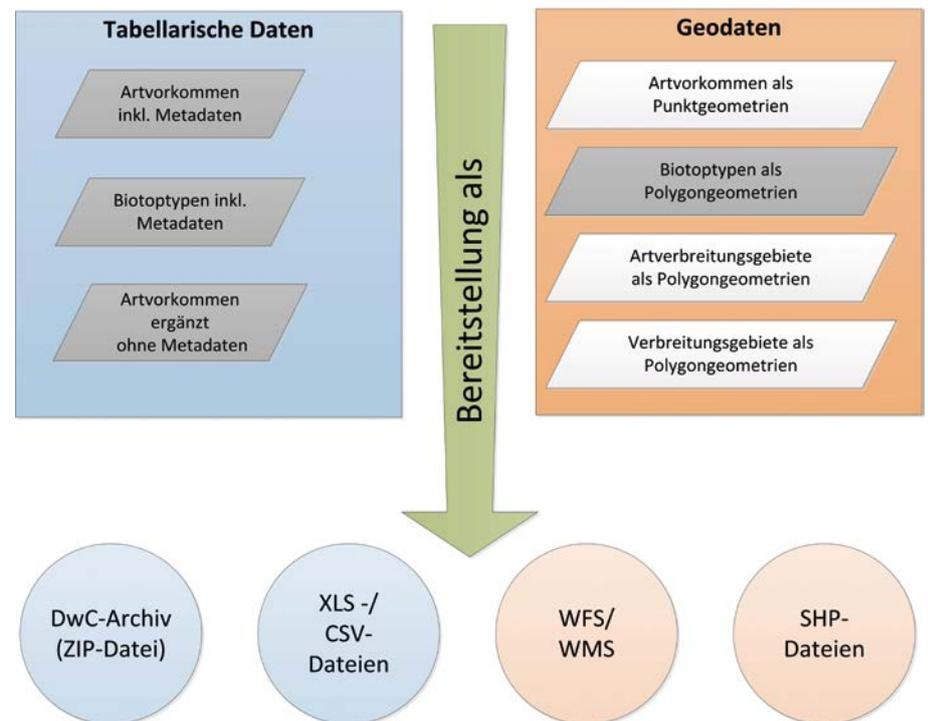


Abbildung 4: Schematisiertes Konzept zur Datenbereitstellung, der verwendeten Datensätze und der Bereitstellungsart (graue Komponenten sind noch in Bearbeitung)

- a. Prüfung der korrekten Schreibweise der Artnamen sowie automatische Fehlerkorrektur, derzeit implementiert über die Webservices *Catalogue of Life* (Col 2014) und *Wikispecies* (Wikimedia 2014), beides RESTful-Webservices sowie über den *Google-Suchdienst*.
- b. Prüfung auf Synonyme und ggf. Ermittlung des aktuellen akzeptierten wissenschaftlichen Artnamens ebenfalls mithilfe des Webservices Col.
- c. Ergänzung aller taxonomischen Hierarchieebenen und Abbildung des taxonomischen Baums in der Datenbank (Col-Webservice).
6. Ermittlung der deutschen Artbezeichnung über den Pan European Species directories Infrastructure- (PESI)-Webservice (PESI 2014).
7. Ergänzung des Schutzstatus der jeweiligen Art mithilfe des International Union for Conservation of Nature- (IUCN)-RESTful-Webservice (IUCN 2014) sowie mittels Parsing des deutschen Internetportals *Wissenschaftliches Informationssystem zum Internationalen Artenschutz* (WISIA 2014).

Da nahezu alle Biodiversitätsinformationen auf der Verwendung taxonomischer Namen beruhen, kommt der taxonomischen

Zuordnung bei der Sammlung und dem Austausch von Biodiversitätsdaten eine besondere Bedeutung zu (Thompson 1996). Für eine vorhabensübergreifende Identifikation von Arten ist sowohl die Einstufung in ein eindeutiges taxonomisches Klassifikationssystem als auch die einheitliche Schreibweise und konsistente Bezeichnung der Taxa erforderlich. Aus diesem Grund wurde unter Einbindung der o. g. Webservices ein aufwendiger mehrstufiger Prüfungsmechanismus entwickelt. Schreibfehler und synonyme Artbezeichnungen werden durch einen mehrstufigen iterativen Prozess, der die o. g. Quellen einbindet, identifiziert und automatisch korrigiert, ohne dass der Nutzer die Kontrolle über seine Daten verliert. Änderungen werden visualisiert und können jederzeit rückgängig gemacht werden. Ähnliche Ansätze verfolgen die Arbeiten von Page (2005) und Boyle et al. (2013), welche sich mit der Entwicklung taxonomischer Korrekturservices beschäftigen.

4 DISKUSSION

Es wurde ein Verwaltungs- und Auskunftssystem für Biodiversitätsdaten entwickelt, welches ein Großteil seiner Funktionalität aufgrund der Implementierung interoperab-

ler Methoden und Strukturen erhält. Als wesentliche Werkzeuge zur Umsetzung der Interoperabilität werden standardisierte Webservices, Kommunikationsprotokolle und einheitliche Datenstandards eingesetzt.

Bereits bei der Entwicklung des Datenmodells wird auf dem DwC-Datenaustauschstandard aufgebaut. Dadurch wird sichergestellt, dass alle im Rahmen der Feldstudien dezentral erfassten Untersuchungsdaten ohne Informationsverlust in einer Datenbank zentral gespeichert werden können. Zwar führt die Berücksichtigung des DwC-Schemas im Rahmen der Datenmodellierung nicht automatisch zu einer höheren Interoperabilität der Anwendung, sie erleichtert aber später deren Implementierung, da das Datenmodell bereits entsprechende Datenstrukturen zur Verfügung stellt.

Die Interoperabilität des BIS wird in erster Linie durch Elemente der serviceorientierten Architektur (SOA) erzeugt. Für den Zugriff auf dezentral verteilte externe Webservices werden interoperable Schnittstellen genutzt. Gleiches gilt für die Datenbereitstellung, die u. a. OGC-Webservices implementiert. Allen beschriebenen Webservices ist eine Kapselung des dahinterstehenden Datenmodells sowie die Fokussierung auf Kommunikation und Datentransfer gemeinsam. Auf diese Weise wird der (physische) Datentransfer zwischen verschiedenen Systemen, d. h. syntaktische Interoperabilität, ermöglicht.

Datenstandards, wie das DwC-Schema, deren Datenmodell in öffentlich verfügbaren XML-Schemata formal beschrieben wird, bieten eine Möglichkeit, um semantische Interoperabilität zu schaffen. Nach Staub (2009) greift dieser Ansatz jedoch zu kurz (semantische Mehrdeutigkeit von XML-Schemata). Für eine uneingeschränkte semantische Interoperabilität sind nach dessen Definition sowohl die Kenntnis des jeweils anderen Datenmodells als auch entsprechende Datentransformationsmechanismen erforderlich. Demnach ist mit den bestehenden Webservicestandards keine semantische Interoperabilität zu erreichen.

Für die verwendeten RESTful-Webservices kommt einschränkend hinzu, dass es sich im Gegensatz zu den OGC-Webservices nicht um einen, auf einem internationalen Standard basierenden, Service handelt, der dokumentiert und offiziell verabschiedet

wurde, sondern um Individuallösungen einzelner Anbieter, die standardisierte Kommunikationsprotokolle und Datenformate entsprechend dem REST-Prinzip einsetzen. D. h., feststehende Methoden analog den GetCapabilities eines WMS existieren nicht bzw. können sich, wie auch die Datenstruktur des XML-Response, ändern. Erschwerend kommt noch hinzu, dass die Dokumentation der Services oftmals nicht vorhanden oder unzulänglich ist. Die Umsetzung interoperabler Anwendungen wird somit erschwert.

Wie gezeigt werden konnte, bietet der gezielte Zugriff auf Informationen über interoperable Schnittstellen viele Möglichkeiten, Datensätze zu kombinieren und um fehlende Informationen zu ergänzen. Auch die Implementierung von Prüfmechanismen zur Qualitätssicherung des Datenbestands ist möglich. Komplexe Probleme, wie die Einbindung unterschiedlicher taxonomischer Bezugssysteme, können durch den Zugriff auf taxonomische Webservices größtenteils gelöst werden. Dies kann für eine gezielte Aufwertung eines Datensatzes genutzt werden. Für die Planungsbüros stellt insbesondere die automatisierte Zuordnung der Taxonomie, die Erkennung von Synonymen und automatische Ableitung des gültigen wissenschaftlichen Artnamens, die Zuordnung der umgangssprachlichen Namen sowie die automatisierte Einstufung des (aktuellen) Schutzstatus einen erheblichen Mehrwert dar. Dieser überwiegt i. d. R. auch die Nachteile eines solchen dienstebasierten Ansatzes, die in der geringeren Performance und Flexibilität der Anwendung sowie in der hohen Abhängigkeit von Fremdsystemen liegen.

Die Errichtung einer interoperablen IT-Infrastruktur zur webbasierten Erfassung der Biodiversitätsdaten allein ist doch nur ein (technischer) Schritt auf dem Weg zu einer nachhaltigen Nutzung der Daten. Um eine einheitliche Datenbasis zu schaffen, sind für diese Art der Felduntersuchungen verbindlichere Normen oder Standards zu schaffen. Derzeit existieren in der Praxis z. B. keine Qualitätskriterien für Biodiversitätsuntersuchungen. Auch die Wahl der Untersuchungsmethode oder die Zeit, die der Beobachter im Untersuchungsgebiet verbringt, sind dem Planungsbüro weitestgehend freigestellt. Im BIS wird daher die Anzahl der Beobachtungen (entspricht der

Anzahl an Tagen, die der Beobachter vor Ort war) als Qualitätskriterium für einen Datensatz herangezogen.

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass die einzelnen Untersuchungsmethoden keine vergleichbaren Ergebnisse liefern. Dies kann dazu führen, dass bei einer Auswertung des Verbreitungsgebiets einer Art eventuell falsche Schlussfolgerungen aufgrund einer heterogenen Datenbasis gezogen werden. Auch aus diesem Grund ist eine Normierung der Untersuchungsmethoden erforderlich. Für die nachhaltige Nutzung und Interpretation der Daten ist es daher essenziell, die Methode zu kennen, die hinter einem Artfund oder der Artabwesenheit steht. Die vorgestellte Anwendung bietet daher die Möglichkeit, nach der Untersuchungsmethode zu filtern, um nur vergleichbare Daten für eine Auswertung zu erhalten.

Aus inhaltlicher Sicht ist es im Rahmen der Datenmodellierung nicht nur von Bedeutung, den exakten Umfang an Datenobjekten und ihren Attributen im Modell festzulegen, sondern hierzu gehört auch die Definition von gültigen Wertebereichen (Domänen) für die Datenfelder. Durch diese Normierung der Begrifflichkeiten wird eine gemeinsame Betrachtung und Auswertung unterschiedlicher Untersuchungen zur Artbeobachtung erst möglich. Für zahlreiche Attribute wurden daher zulässige Wertebereiche (Domänen) bzw. Schlüssel Listen im BIS definiert, um die Wertebereiche zu normieren.

5 AUSBLICK

Wie es sich gezeigt hat, erfüllt das entwickelte Konzept noch nicht die Kriterien einer vollumfänglich interoperablen Anwendung. Jedoch stellt allein schon die zentrale Speicherung der Erhebungsdaten in einer Biodiversitätsdatenbank und deren (interne) Bereitstellung in Form von OGC-Webservices ein erheblicher Fortschritt im Vergleich zum bisherigen Datenmanagement dar.

Um die Interoperabilität der entwickelten Webanwendung noch weiter zu steigern, sind verschiedene Ansätze denkbar. So würde eine Erweiterung der OGC-Webservices um die Möglichkeit des Transports von semantischen Informationen, wie des DwC-Schemas, zu noch größerer Interoperabilität führen. Hierzu müsste ein standardisiertes GML-Schema für Artbeobachtungsdaten entwickelt und integriert

werden. Noch verwendet jedes Softwareprojekt im Bereich der Biodiversitätsinformatik sein eigenes GML-Schema (Torre et al. 2007).

Einen umfassenderen Ansatz liefert Staub (2009) mit der Entwicklung einer Beschreibungssprache für semantische Modelltransformationen sowie der prototypischen Implementierung eines entsprechenden Dienstes, welcher in Kombination mit einem WFS ausgeführt wird.

Abgesehen von diesen sehr theoretischen Ansätzen ist geplant, den Funktionsumfang der Anwendung weiter zu erhöhen und z. B. um die Möglichkeit der automati-

sierten Berechnung von Biodiversitätsindikatoren für eine Abbaustätte bzw. einen Standort zu erweitern. Eine weitere Möglichkeit stellt die Erweiterung um einen Web-GIS-Client zur mobilen Erfassung der Biodiversitätsdaten direkt im Gelände dar.

Längerfristig ist dann auch geplant, das Einsatzspektrum über die Rohstoffindustrie hinaus zu erweitern und Vorhaben aus anderen Bereichen, wie Straßenbauvorhaben, kommunaler Wohnungsbau, Erschließung von Gewerbegebieten etc., in die Datenbank aufzunehmen. Entsprechende Möglichkeiten sind bereits im Datenmodell integriert.

6 DANKSAGUNG

Das in diesem Beitrag vorgestellte Biodiversitätsinformationssystem entstand im Rahmen einer Masterarbeit (Wilhelm 2013), die innerhalb des Pilotprojekts „Biodiversitätsdatenbank“ des Industrieverbands Steine und Erden Baden-Württemberg e. V. (ISTE) verfasst wurde. Besonderer Dank gilt der Fa. In medias res GmbH, Freiburg, die diese Masterarbeit ermöglichte, und der gesamten Projektgruppe, die wesentlich zu ihrem Gelingen beitrug.



 **Wichmann**

INTERGEO
Berlin
07. – 09.10.2014
Halle 2.1
Stand B 2.029

NEU

Technikwissen punktgenau:

Beherrschen Sie alle Funktionen von ArcGIS?

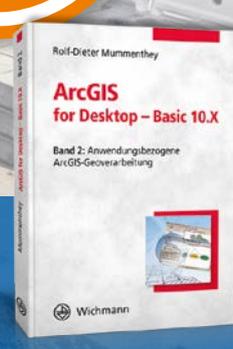
Dieses zweibändige Werk bietet Ihnen anhand von realistischen, leicht nachvollziehbaren Beispielen eine Einführung in die Basis- und erweiterten Funktionen und deren anwendungsbezogene Nutzung in eigenen Projekten.

Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten.



Band 1
2014. Ca. 300 Seiten
Erscheint im Oktober 2014
ca. 49,- €

 -Book



Band 2
2014. Ca. 300 Seiten
Erscheint im Oktober 2014
ca. 49,- €

 -Book

Auch als Set
erhältlich!
ca. 88,- €

Bestellen Sie jetzt: (030) 34 80 01-222 oder www.vde-verlag.de/140962



Literatur

- Berensohn, W. G. (2001): Biodiversity Informatics. <http://www.bgbm.org/BioDivInf/def-e.htm>, Zugriff 5/2013.
- Berensohn, W. G.; Güntsch, A.; Hoffmann, N.; Kohlbecker, A.; Luther, K.; Müller, A. (2011): Biodiversity information platforms: From standards to interoperability. In: *ZooKeys*, 87 (150), S. 71-87.
- Bisby, F. (2000): The Quiet Revolution: Biodiversity Informatics and the Internet. In: *Science*, 289 (5488), S. 2309-2312.
- Boyle, B.; Hopkins, N.; Lu, Z.; Raygoza Garay, J. A.; Mozzherin, D.; Rees, T.; Matasci, N.; Narro, M. L.; Piel, W. H.; McKay, S. J.; Lowry, S.; Freeland, C.; Peet, R. K.; Enquist, B. J. (2013): The taxonomic name resolution service: an online tool for automated standardization of plant names. In: *BMC bioinformatics*, 14 (1), S. 16.
- Canhos, V.; Souza, S.; Giovanni, R.; Canhos, D. A. L. (2004): Global Biodiversity Informatics: setting the scene for a new world of ecological forecasting. In: *Biodiversity Informatics*, 1, S. 1-13.
- Chen, P. P. (1976). The entity-relationship model – toward a unified view of data. In: *ACM Trans. Database Syst.*, 1 (1), S. 9-36.
- CoL (2014): Catalogue of Life. <http://www.catalogueoflife.org>, Zugriff 2/2014.
- GBIF (2010): Darwin Core Archive: How-To Guide. Global Biodiversity Information Facility (GBIF), Copenhagen, Ausgabe 1.0, 21 S.
- GBIF (2011): Create your own Darwin Core Archive: Step-by-Step Guide. Global Biodiversity Information Facility (GBIF), Copenhagen, Ausgabe 1.0, 8 S.
- GBIF (2014): Global Biodiversity Information Facility (GBIF). <http://www.gbif.org/>, Zugriff 2/2014.
- IUCN (2014): International Union for Conservation of Nature. <http://www.iucnredlist.org>, Zugriff 2/2014.
- Mitchell, T.; Emde, A.; Christl, A. (2008): Web Mapping mit Open Source-GIS-Tools. O'Reilly Verlag, Köln, 454 S.
- Nicolay, H.; Nicolay, G. (2012): Amphibienarten bestehen erste Bewährungsprobe. In: *Steinbruch und Sandgrube*, 6/2012, S. 50-52.
- OGC (2001): OGC 02-059: Filter Encoding Implementation Specification, OpenGIS Implementation Specification. Open Geospatial Consortium Inc., Ausgabe 1.0.0, 32 S.
- OGC (2005): OGC 04-094: Web feature service implementation specification, OpenGIS Implementation Specification. Open Geospatial Consortium Inc., Ausgabe 1.1.0, 131 S.
- OGC (2006): OGC 06-042: OpenGIS Web Map Server Implementation Specification, OpenGIS Implementation Specification. Open Geospatial Consortium Inc., Ausgabe 1.3.0, 85 S.
- OGC (2010a): OGC 09-025r1: OpenGIS Web Feature Service 2.0 Interface Standard, OpenGIS Implementation Standard. Open Geospatial Consortium Inc., Ausgabe 2.0.0, 239 S.
- OGC (2010b): OGC 09-026r1 and ISO 19143:2010(E): OpenGIS Filter 2.0 Encoding Standard. Open Geospatial Consortium Inc., Ausgabe 2.0.0, 90 S.
- OMG (2013): Object Management Group <http://www.omg.org/spec/UML/1.4/>, Zugriff 5/2013.
- Page, R. D. M. (2005): A Taxonomic Search Engine: federating taxonomic databases using web services. In: *BMC bioinformatics*, 6, S. 48.
- PESI (2014): Pan European Species directories infrastructure. <http://www.eu-nomen.eu/portal/>, Zugriff 2/2014.
- Rademacher, M.; Tränkle, U. (2006): Optimising the balance between quarrying and nature conservation. In: *Mining Environmental Management*, 10/2006, S. 16-18.
- Seifert, M. (2008): Wissenschaftlicher Beitrag für den Aufbau einer Geodateninfrastruktur zur Lösung von Aufgaben des E-Government. Dissertation, ETH Zürich, 199 S.
- SOGI (2003): Worin liegt der praktische Nutzen von Interoperabilität und Normung für den GIS-Anwender in der Schweiz? Bericht der Fachgruppe GIS-Technologie, Schweizerische Organisation für Geo-Information, 12 S.
- Spang, W.; Krakow, L. (2007): Aktuelle gesetzliche Änderungen und deren Konsequenzen für Genehmigungsverfahren der Rohstoffgewinnung. In: *ZI Ziegelindustrie International*, S. 36-42.
- Staub, P. (2009): Über das Potenzial und die Grenzen der semantischen Interoperabilität von Geodaten. Ein operationelles Verfahren zur Nutzung verteilter Systeme in Geodaten-Infrastrukturen. Dissertation, ETH Zürich, 238 S.
- TDWG (2013): <http://www.bgbm.org/tdwg/codata/schema/default.htm>, Zugriff 5/2013.
- Thompson, F. C. (1996): Names: The keys to Biodiversity. In: Reaka-Kudla, M. L.; Wilson, D. E.; Wilson, E. O. (Eds.): *Biodiversity II*. J. Henry Press, Washington, DC, S. 199-211.
- Torre, J. D.; Sutton, T.; Meganck, B.; Vieglais, D.; Stewart, A.; Brewer, P. (2007): BioGeoSDI workshop – GeoInteroperability Testbed Pilot Project, Version 0.6, Band 2007. Taxonomic Database Working Group (TDWG), Campinas, Brazil, 12 S.
- Wieczorek, J.; Döring, M.; Giovanni, R.; Robertson, T.; Vieglais, D. (2009): Darwin Core. Biodiversity Information Standards (TDWG). <http://rs.tdwg.org/dwc/>, Zugriff 4/2013.
- Wikimedia (2014): http://species.wikimedia.org/wiki/Main_Page, Zugriff 2/2014.
- Wilhelm, K. (2013): Was macht der Uhu im Steinbruch? – Entwicklung eines webbasierten Biodiversitätsinformationssystem für Abbaustätten der Steine und Erden Industrie. UNIGIS Masterthesis, Zentrum für Geoinformatik, Universität Salzburg.
- WISIA (2014): Wissenschaftliches Informationssystem zum Internationalen Artenschutz. <http://www.wisia.de/>, Zugriff 2/2014.