

Qualitätssicherung einer 3D-GDI EU-Umgebungslärmkartierung Stufe 2 in NRW

Angela Czerwinski, Gerhard Gröger, Sascha Reichert und Lutz Plümer

Zusammenfassung

Die Stufe 2 der EU-Umgebungslärmkartierung in Nordrhein-Westfalen ist im Sommer 2012 erfolgreich abgeschlossen worden. Zur hohen Qualität der Enddaten haben der große Anteil der Qualitätssicherung sowie die Ausrichtung von Projektmanagement und Qualitätssicherung nach dem *V-Modell XT* beigetragen. Das Konzept einer dreidimensionalen Geodateninfrastruktur (3D-GDI) bestehend aus CityGML-Daten und OGC Web Services wurde bereits in der ersten Stufe der Lärmkartierung erfolgreich eingesetzt und stellte für die Landesvermessung den Einstieg in die nachhaltige Datenbereitstellung in einer 3D-GDI dar. Dieses Konzept hat sich bewährt und wird zu einer fristgerechten, sachgerechten und kostengünstigen Umsetzung der Stufe 2 beitragen. Im Artikel werden die Qualitätssicherungsmaßnahmen sowie die 3D-GDI-Projektarchitektur vorgestellt.

Summary

The second iteration of EU noise mapping in North Rhine-Westphalia has been terminated successfully in summer 2012 and has reached a very high final data quality. The reason for this high quality has been the large portion of quality management in this project as well as the use of V-Modell XT for project and quality management. The concept of a three-dimensional Spatial Data Infrastructure (3D-SDI) composed of CityGML data and OGC Web Services has been successfully employed in the first iteration of noise mapping. For the state surveying agency (Geobasis NRW), it has been the entry into the provision of data in a sustainable 3D-SDI. This concept has proved of value. The implementation has been in due time, cost-efficient and appropriate to the noise mapping conditions. This article demonstrates the quality management measures as well as the 3D-SDI project architecture.

Schlüsselwörter: EU-Umgebungslärmkartierung, CityGML, 3D-GDI, Web Services, 3D-Daten

1 Einleitung

Mit der Verabschiedung der EU-Richtlinie 2002/49/EG über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm und der Umsetzung in deutsches Recht mussten bis zum 30. Juni 2007 in einer ersten Stufe Lärmkarten für alle Hauptverkehrsstraßen, Haupteisenbahnstrecken, Großflughäfen und größere Ballungsräume erstellt wer-

den. In einer nachfolgenden zweiten Stufe, in der ein wesentlich dichteres Verkehrsnetz und auch kleinere Ballungsräume einbezogen wurden, mussten Lärmkarten bis zum 30. Juni 2012 berechnet werden (Stöcker-Meier et al. 2007). Mit den Lärmkarten sollen Lärmbelastungen aufgezeigt und, darauf aufbauend, Lärmaktionspläne erstellt werden, um schädlichen Umgebungslärm zu vermeiden, zu verringern oder diesem vorzubeugen. Das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW) beauftragte das Landesamt für Umwelt, Natur und Verbraucherschutz NRW (LANUV NRW), die Umsetzung der EU-Umgebungslärmrichtlinie in Nordrhein-Westfalen zu koordinieren und die Lärmkartierung für alle Hauptverkehrsstraßen und nicht-bundeseigenen Schienenwege außerhalb der Ballungsräume und für alle Großflughäfen durchzuführen (www.umgebungslaerm.nrw.de). Die 26 Ballungsräume – Gemeinden mit mehr als 100.000 Einwohnern und mit mehr als 1.000 Einwohnern pro km² – kartierten eigenständig.

In der ersten Stufe der Umsetzung der Lärmkartierung in NRW entstand eine dreidimensionale Geodateninfrastruktur zur Bereitstellung, Integration und Fortführung der für die Lärmkartierung notwendigen Geodaten, die sich durch die konsequente Nutzung von Standards auszeichnete. Standardisiert war zum einen die Repräsentation der Daten. Hier wurde durchgängig der internationale Standard *CityGML* (City Geography Markup Language, Gröger et al. 2008) eingesetzt. Ebenso erfolgte die Bereitstellung und der Austausch der Daten durch Nutzung standardisierter *Geo-Web-Services*: 3D-Gebäude im Level-of-Detail 1 (LoD1, sogenannte »Klötzchenmodelle«), Lärmschutzeinrichtungen, Straßen und Schienenwege wurden über einen *Web Feature Service* (WFS) ausgetauscht, während für die Bereitstellung des Geländemodells in verschiedenen Auflösungsstufen ein *Web Coverage Service* (WCS) verwendet wurde. Die Fortführung sowie die Speicherung der integrierten und veredelten 3D-Daten erfolgte standardisiert über einen *transaktionalen WFS* (WFS-T). Für die öffentliche Verwaltung in NRW bedeuteten diese Services den Einstieg in die dreidimensionale GDI, die aktuell auf verfeinerte Gebäude erweitert wird. Solche Gebäude ergänzen die Klötzchenmodelle durch prototypische Dachformen (Level-of-Detail 2), die aus Laserbefliegungen gewonnen werden (Henn et al. 2013). Als Vorteile der 3D-GDI für das Land NRW ergeben sich die nachhaltige, multifunktionale Nutzung der Geodaten auch für andere Anwendungen und eine Kostenersparnis von bis zu 70 % gegenüber der konventionellen Datenbereitstellung (Czerwinski et al. 2007b).

Da sich das 3D-GDI-Konzept in der Stufe 1 bewährt hatte, basiert auch die Stufe 2 der EU-Umgebungslärmkartierung NRW auf der 3D-GDI-Systemarchitektur aus Stufe 1 mit integrierter Datenveredelung und Lärmbe-rechnung (s. Abb. 1, Czerwinski und Plümer 2008a). Ziel war es weiterhin, einen nachhaltigen und effizienten Zugang zu den benötigten 3D-Geodaten und Fachdaten für die verschiedenen Anwender der Lärmkartierung zu schaffen.

Die Herausforderungen ab Stufe 2 bestanden darin, dass sich der Kartierungsumfang mit nunmehr ca. 8.000 km Hauptverkehrsstraßen, mehr als 100 km nicht-bundeseigenen Schienenwegen und zwei Großflughäfen fast verdoppelte. Zum anderen hatte die Durchführung der Stufe 1 aufgezeigt, welche Optimierungsmöglichkeiten sich für die weiteren Stufen der EU-Umgebungslärmkartierung in NRW ergeben. Hierzu gehörten z. B. die Fortführung und Anpassung der Eingangs- und Lärm-daten, die Automatisierung der Prozesse, die Erhebung von Daten für den erweiterten Kartierungsbereich, das neue Koordinatenreferenzsystem der Landesvermessung ETRS89/UTM32 sowie erweiterte Anforderungen an das Projektmanagement und die Qualitätssicherung.

OGC Web Services und CityGML-Datenbanken wurden in einen Regelbetrieb für die kommenden Iterationen der Lärmkartierung im 5-Jahres-Rhythmus überführt. Ein besonderer Schwerpunkt wurde in Stufe 2 auf die Qualitäts-sicherung (QS) gelegt, bei der das etablierte V-Modell XT (Friedrich und Sihling 2008, BBI 2012) eine wesentliche Rolle spielt. Die QS-Maßnahmen sollen in diesem Artikel beschrieben und bewertet werden.

2 Projektarchitektur und Projektanforderungen

Die 3D-GDI-Systemarchitektur wurde aus der Stufe 1 übernommen, erweitert und optimiert. Sie besteht aus den im Folgenden beschriebenen Komponenten und Pro-zessen (s. Abb. 1).

Zunächst wurden folgende landesweite Eingangsda-ten des Landesbetriebs Straßenbau NRW (Straßen.NRW) und der Abteilung 7 der Bezirksregierung Köln (Geobasis NRW) bereitgestellt:

- Netz-, Bestands-, Verkehrsdaten und Lärmschutzein-richtungen von Straßen.NRW
- AAA®-ATKIS®-Daten zu Straßen, Bahnstrecken und Bauwerken im Verkehrsbereich von Geobasis NRW
- 3D-Gebäudemodelle (Stand 2010) im Format City GML 1.0 (Klötzchenmodelle LoD1) von Geobasis NRW
- Digitale Höhenmodelle DGM 10 m × 10 m und DGM 1 m × 1 m (nur im Bereich der betroffenen Privatbahnen)
- Sachdaten und Geometrien zu den betroffenen Privat-bahnstrecken (Geometrien wurden aus ATKIS®-Daten und DGM 1 m × 1 m gewonnen)

Diese landesweiten Eingangsdaten wurden erstmals für NRW über OGC Web Feature Services im einheitlichen, interoperablen CityGML-Format zentral bereitgestellt:

- Web Feature Service (WFS) mit CityGML-Klötzchen-modellen LoD1,
- Web Coverage Service (WCS) mit dem Digitalen Hö-henmodell DGM 10 m × 10 m im GeoTIFF-Format,
- WCS mit dem DGM 1 m × 1 m im GeoTIFF-Format,
- WFS mit ATKIS®-Straßen- und Schienendaten im City GML-Format (LoD0), WFS mit Straßen.NRW-Daten im CityGML-Format (LoD0).

Durch diese Web Services wurden eine automatisierte Homogenisierung und eine erste Fehlerbereinigung der vielen verschiedenen Eingangsdaten zu einheitlichen CityGML-Daten ermöglicht. Die CityGML-Outputdaten dieser Web Services dienen zum einen als Ausgangsda-ten der Datenveredelung, zum anderen standen sie den selbstrechnenden Kommunen als Informationsquelle zur Verfügung.

Für die Datenveredelung wurden die benötigten Daten aus den Web Services der Eingangsdaten in die Lärm-datenbank mit transaktionalem Web Feature Service (WFS-T) überführt. Der WFS-T spielt in der 3D-GDI-Systemarchitektur des Projektes eine zentrale Rolle, da hierüber die gesamten Veredelungsarbeiten an den 3D-CityGML-Daten sowie die Lärmberechnung selbst von verschiedenen Projektpartnern aus erfolgten. Für diese Arbeiten weist der WFS-T eine hohe Transaktions-geschwindigkeit (Performanz) der großen NRW-weiten 3D-CityGML-Datenmengen der Lärmdatenbank mit ins-gesamt 10 Mio. Features und 50 GB auf (Czerwinski und Plümer 2008b, Plümer und Czerwinski 2009).

Im Zuge der Datenveredelung griff das Veredelungs-tool via Internet über den WFS-T auf die Lärmdaten-bank sowie auf weitere benötigte Daten aus den Web Services der Eingangsdaten zu. In der Datenveredelung wurden Verschneidungs- und Homogenisierungsarbeiten flächendeckend und größtenteils automatisiert an den CityGML-Daten der Web Services durchgeführt. Ziel der Veredelungsarbeiten war die Erstellung von hochqualita-tiven akustischen 3D-Lärm-Modelldaten in CityGML, die die hohen Anforderungen der Schallausbreitungsberechnung in NRW erfüllen. Zu den Veredelungsarbeiten ge-hörten z. B. das Setzen und Befüllen fehlender Attribute, Geländeanpassungen verschiedener Daten, insbesondere die Generierung des 3D-Straßenbettes als Bruchkanten im CityGML-Format, sowie die Erzeugung von 3D-Brücken im CityGML-Format. Die Datenänderungen wurden über den WFS-T in die Lärmdatenbank zurückgespielt. Nach der Durchführung der Veredelungsmaßnahmen standen bereinigte CityGML-Daten (*Lärm-Modelldaten*) in der Lärmdatenbank bereit.

Vor der finalen Lärmberechnung wurde eine zusätzli-che *Korrekturrunde* durchgeführt, in der alle betroffenen Kommunen die Gelegenheit hatten, die Qualität der ver-edelten CityGML-Lärm-Modelldaten der Lärmdatenbank

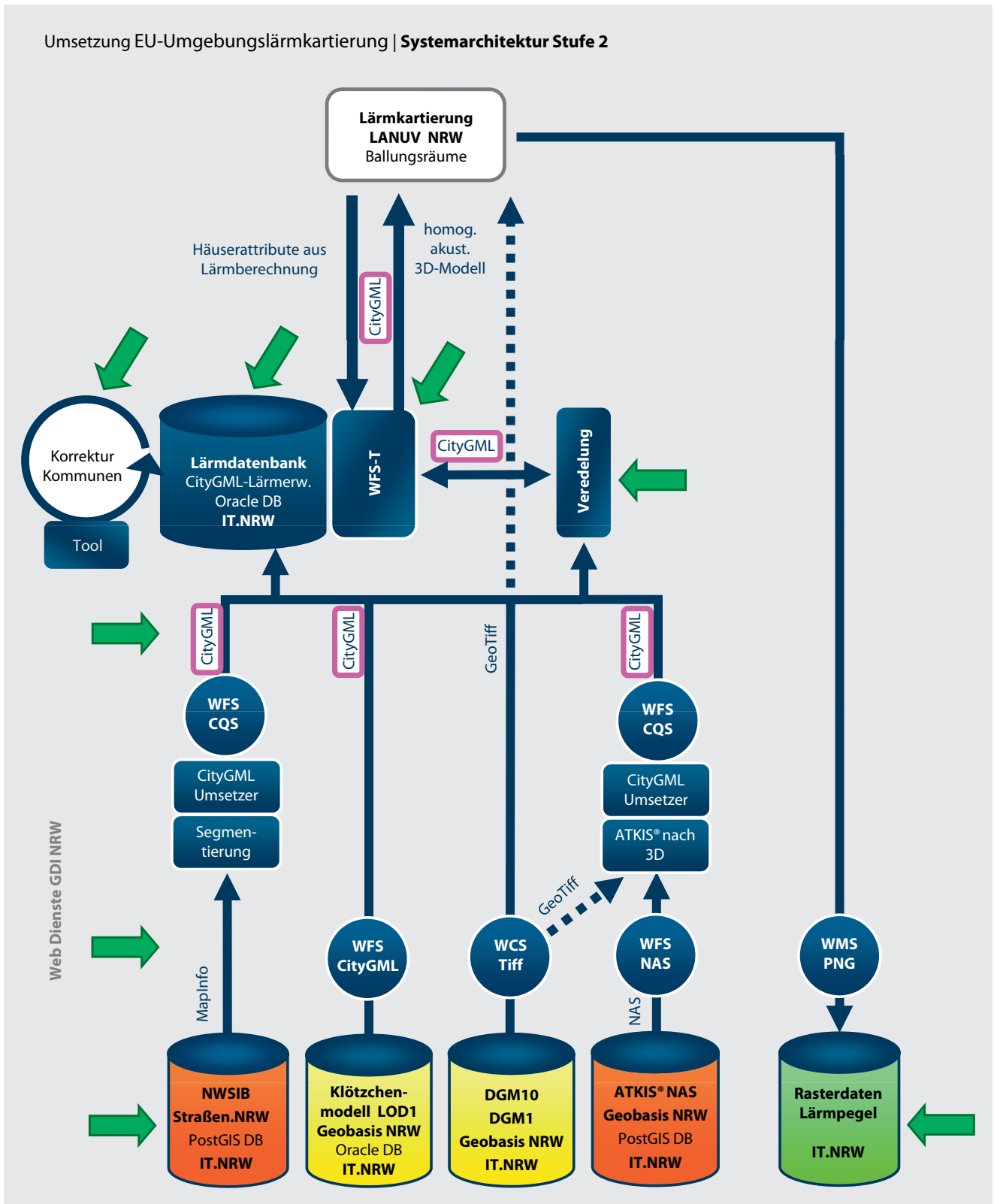


Abb. 1: 3D-GDI-Systemarchitektur der EU-Umgebungslärmkartierung Stufe 2 in NRW mit durchgeführter Qualitätssicherung (grüne Pfeile)

nochmals zu überprüfen und Änderungen an den finalen Daten anzubringen. Kommunale Datenänderungen wurden vom LANUV NRW einzelfallgeprüft in der Lärmdatenbank über den WFS-T abgelegt.

Nach der *Korrekturrunde* standen die mehrfach qualitätsgesicherten Daten der Lärmdatenbank über WFS-T der

Lärmberechnung durch das LANUV NRW und der selbst kartierenden Ballungsräume zur Verfügung. Das Lärmberechnungstool griff über den WFS-T auf die finalen CityGML-Lärm-Modelldaten der Lärmdatenbank zu und spielte die Berechnungsergebnisse dorthin zurück. Die gebäudespezifischen Ergebnisdaten der Lärmberechnung

wurden über den WFS-T als Attribute zu den CityGML-Klötzchenmodellen wieder zurück in die CityGML-Lärmdatenbank geschrieben. Ebenso wurden Daten zu den Gemeinden und weitere Ergebnisse der Lärmberechnung (Auslöselinien und Isophonenflächen) als CityGML-Objekte zurückgeschrieben.

Lärmkarten und weitere Berechnungsergebnisse werden über einen Web Map Service (WMS) für die Öffentlichkeit bereitgestellt (s. Abb. 7). Die flächenhaften Ergebnisse der Lärmberechnung sowie die 2D-Darstellung der verwendeten Modellelemente werden als einfache Feature Class in eine PostgreSQL/PostGIS-Datenbank überführt und von dort über einen WMS im PNG-Bildformat bereitgestellt. Der WMS ermöglicht eine flexible Darstellung der Lärmkartierungsergebnisse (www.umgebungslaermkartierung.nrw.de).

Als einheitliches Datenmodellierungsformat und Austauschformat zwischen den OGC Web Services und der Software für die Lärmsimulation wird das OGC-Datenformat CityGML Version 1.0 und die für Stufe 2 angepasste CityGML-NoiseADE (lärmspezifische Application Domain Extension) verwendet. Das international standardisierte Format CityGML erlaubt eine Verarbeitung und Ansicht der Lärmdaten in verschiedenen Systemen und Viewern (Czerwinski et al. 2007a).

An der Stufe 2 der EU-Umgebungslärmkartierung NRW waren folgende Institutionen und Firmen beteiligt:

- Auftraggeber: LANUV NRW und MKULNV NRW,
- Datenlieferanten: Straßen.NRW und Geobasis NRW,
- Optimierung der 3D-GDI-Systemarchitektur, Datenintegration und Veredelung: Generalauftragnehmer interactive instruments GmbH im Konsortium mit Institut für Geodäsie und Geoinformation der Universität

Bonn (IGG Uni Bonn) und Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH,

- Durchführung der Lärmberechnung: LANUV NRW.

Die Stufe 2 der EU-Umgebungslärmkartierung basierte auf zusätzlichen Projektanforderungen im Vergleich zu Stufe 1. Diese berücksichtigen die Optimierungsvorschläge des Fortführungskonzepts des IGG Uni Bonn 2009 (Plümer und Czerwinski 2009) und betreffen folgende Projektkomponenten:

- die Vorarbeiten bei den Eingangsdaten (z.B. den Abgleich Straßen.NRW- und ATKIS®-Straßendaten, zusätzliche Attribute im CityGML-Klötzchenmodell LoD1 bei Geobasis NRW),
- das Projektmanagement und Qualitätssicherung (Vorgehen und Dokumente nach V-Modell XT, Plausibilitätsprüfung der Eingangsdaten beim Laden in die Datenbanken und ggf. automatisierte Fehlerkorrektur im WFS) und
- die Datenveredelung.

Aus dem Rückblick auf die Datenveredelung der Stufe 1 wurden zusätzliche Qualitätsanforderungen, die Auswirkungen auf die Lärmberechnung haben, an die veredelten CityGML-Lärm-Modelldaten für die zukünftigen Stufen gestellt sowie mehr Transparenz und Nachvollziehbarkeit der durchgeführten Veredelungsschritte zur Fehlernachverfolgung gefordert. Daher wurden folgende Schwerpunkte in Stufe 2 gesetzt:

1. sehr detaillierte Qualitätsanforderungen an die veredelten Daten (z.B. Wertebereiche für alle Attribute; Lagegenauigkeiten von Gebäuden, Straßen und Lärmschutzeinrichtungen zueinander in Metern),

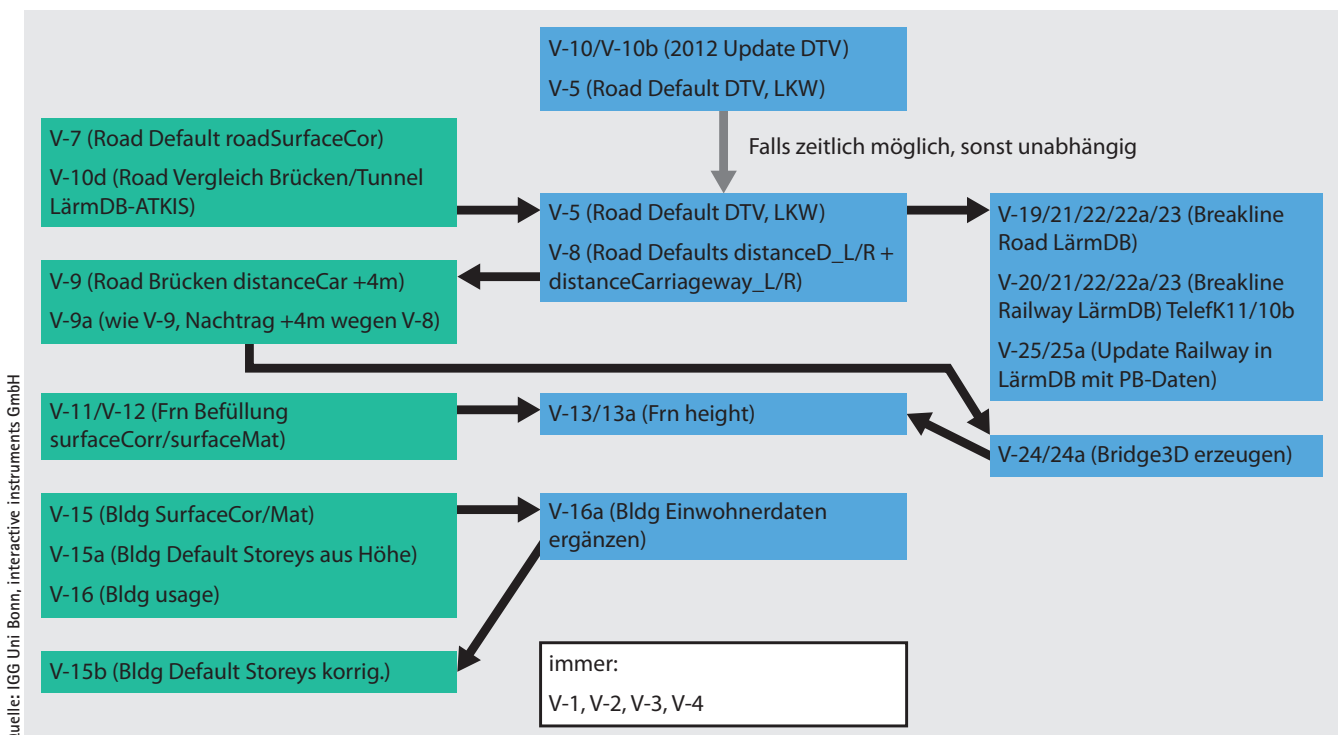


Abb. 2: Ablaufdiagramm der Veredelungsdetailschritte entsprechend Pflichtenheft und verteilt auf zwei Projektpartner

2. hohe Automatisierung der Veredelungsschritte mittels Nutzung wiederholbarer Skripte, dabei möglichst datenbankgestützte Durchführung zur Vermeidung von Datenkonvertierungsfehlern (SQL-Befehle und WFS-T-Updates statt lokaler Datenverarbeitung für z. B. das Setzen und Befüllen fehlender Attribute oder für die Verbreiterung relevanter Brücken um vier Meter),
3. Zerlegung der Veredelungsaufgaben in spezifizierte Detailschritte und Erstellung eines Ablaufdiagramms der auf zwei Projektpartner verteilten Detailschritte (s. Abb. 2),
4. Qualitätssicherung nach jedem durchgeführten Veredelungsschritt sowie nach Beendigung der gesamten Veredelung durch einen an der Veredelung unbeteiligten Projektpartner,
5. verstärkte Behebung von Mängeln, die in den Plausibilitätsprüfungen der Eingangsdaten festgestellt wurden.

Durch die genau spezifizierten Veredelungsschritte und die Erstellung eines Ablaufdiagramms ergab sich der Vorteil, dass die CityGML-Lärmdatenbank immer in einem wohldefinierten Zustand vorlag und jeweils nachfolgende Veredelungsschritte leicht erkennbar waren. Dadurch wurde die Veredelung besser nachvollziehbar und kontrollierbar sowie weniger fehleranfällig. Die Abb. 2 zeigt das Ablaufdiagramm der Veredelungsdetailschritte entsprechend Pflichtenheft und verteilt auf zwei Projektpartner. Mit V werden alle Veredelungsaufgaben des Pflichtenheftes bezeichnet und von 1 bis 25a nummeriert. In V-7 wird z. B. für das Attribut *roadSurfaceCorrection* aller *Road*-Objekte ein Default-Wert gesetzt.

3 Voraussetzungen für das Gelingen von Qualitätssicherung und Projektmanagement

Das Primat des Qualitätsmanagements regierte das Projekt der Stufe 2 der EU-Umgebungslärmkartierung NRW. Oberstes Ziel war es, qualitativ hochwertige und widerspruchsfreie Daten für die Lärmberechnung zu erzeugen. Ein Großteil der Aufwände des Projekts bezog sich daher auf das Qualitätsmanagement.

Die Qualitätssicherung war als Teil der Projektleitung realisiert, jedoch in einer personellen Trennung von Projektleiter und QS-Beauftragtem/Leitung der QS. Der QS-Beauftragte war für die Überwachung der Qualität im gesamten Projekt zuständig und damit für die Qualität der Projektergebnisse verantwortlich. Es bestand eine Trennung von Prüfgegenstand und Prüfer, wonach der Prüfer nicht der Ersteller des Prüfgegenstands sein durfte.

Methodisch war für Qualitätssicherung und Projektmanagement das V-Modell XT zugrunde gelegt. Daraus wurden ausgewählte Dokumente (Pflichtenheft, Lastenheft, QS-Handbuch, Projekthandbuch, Projektplan, Produktbibliothek, Prüfspezifikationen) genutzt. Ebenso wurden gemäß V-Modell XT konstruktive QS-Maßnahmen

(z. B. Telefonkonferenzen oder Nachverfolgung von Arbeitsaufträgen) und analytische QS-Maßnahmen (z. B. QS von Daten und Diensten laut Prüfspezifikation mit Mängelnachverfolgung) angewandt.

Ergänzend aus der Sicht des Projektmanagements und als prinzipielle Regelung für die Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern galt die Verpflichtung, dass grundsätzlich alle Erkenntnisse, die zu einer Verminderung der Qualität führen könnten, oder Vorschläge, welche diese fördern könnten, angesprochen und bewertet werden müssen (z. B. in den Telefonkonferenzen).

4 Qualitätssicherung von Daten und Diensten

Eine begleitende Qualitätssicherung war ein kontinuierlicher Bestandteil des gesamten Projektablaufs. Qualitätsmängel sollten präventiv vermieden bzw. frühzeitig erkannt und behoben werden.

4.1 Qualitätssicherung der Projektkomponenten

Folgende Architekturkomponenten der EU-Umgebungslärmkartierung Stufe 2 in NRW wurden qualitätsgesichert (s. Abb. 1):

- Projekt-Dokumente (Pflichtenheft, QS-Handbuch, Projekthandbuch, Projektplan, Dokumentation),
- Daten
 - Roh- bzw. Eingangsdaten der Datenhersteller,
 - Output-Daten der Web Services (im CityGML-Format),
 - Veredelte Daten (im CityGML-Format),
 - Rückgeführte Daten nach der *Korrekturrunde*, d. h. finale Lärm-Modelldaten der Lärmdatenbank/WFS-T (im CityGML-Format),
- Web Services und zugehörige Datenbanken,
- Veredelungsschritte und Veredelungsskripte,
- Skripte der *Korrekturrunde*,
- Finaler Bericht an die Europäische Union über die Ergebnisse der Lärmberechnung.

4.2 Qualitätssicherungsverfahren

Bei der Qualitätssicherung der Architekturkomponenten des Projektes wurden konstruktive und analytische QS-Maßnahmen gemäß V-Modell XT durchgeführt. Die konstruktiven QS-Maßnahmen beinhalteten vor allem Richtlinien und Standards des Projektablaufs und der Entwicklung. Die analytischen QS-Maßnahmen beinhalteten Prüfungen und Bewertungen der Projektkomponenten mit dem Ziel nachvollziehbarer Qualitätsnachweise. Wesentlich für die Qualität der EU-Umgebungslärmkartierung NRW Stufe 2 war das Bewusstsein bei allen Projektbeteiligten, dass analytische Maßnahmen ohne die Umsetzung der konstruktiven Maßnahmen wirkungslos bleiben.

Folgende konstruktive QS-Maßnahmen wurden im Projekt angewandt:

- Zur Förderung der Kommunikation erfolgten ein regelmäßiger E-Mail-Austausch sowie wöchentliche oder 14-tägige Telefonkonferenzen der Projektpartner zu aktuellen Problemen im Projektfortschritt inkl. Protokollierung.
- Auf die strenge Einhaltung von Projektvorgaben aus den Projektdokumenten Pflichtenheft, Projektplan und QS-Handbuch wurde geachtet.
- Es erfolgte eine Begleitung im Aufgabenmanagement der Projektpartner durch Absprache von detaillierten Arbeitsaufträgen in den oben genannten Telefonkonferenzen oder durch zusätzliche E-Mails sowie durch ernsthaftes Nachgehen jeden Verdachtsfalls eines Fehlers in den Spezifikationen bis zur endgültigen Klärung.
- Archivierung und Umgang mit Fehlern und Entscheidungen erfolgte durch beispielhafte Dokumentation in QS-Prüfspezifikation und Produktbibliothek sowie durch die Setzung des Attributes *modi* in allen Objekten. In allen CityGML-Objekten beinhaltet das Attribut

modi eine Buchstabenfolge, welche alle Plausibilisierungsbefunde und Änderungen für ein Objekt nachweist.

- Für Entwicklung und Programmierung wurde bei Bedarf das 4-Augen-Prinzip in schwierigen Datenfällen angewandt sowie zusätzlich zur internen QS der Projektpartner die externen QS-Maßnahmen des QS-Beauftragten durchgeführt.
- Bei Veredelung und Datenfortführung erfolgte die Datenanpassungen der Lärmdatenbank möglichst nur über Updates des WFS-T (insbesondere die aufwendige Veredelung der Straßendaten), um fehleranfällige Datentransformationen oder Geometrie-Neusegmentierungen zu vermeiden.

Im Folgenden werden die analytischen QS-Maßnahmen beschrieben. Erstellte QS-Dokumente für die analytischen QS-Maßnahmen waren die Prüfspezifikation als Word-Dokument, bestehend aus Anforderungsbeschreibung, Prüffällen, Prüfergebnissen, Mängelliste und Mangelumgang sowie die Fehlerlisten als CSV-Dateien (Comma Separated Value, s. Abb. 3). Prüfgegenstände waren alle

Quelle: Stapelfeldt IG

Fehlercode	Schwere	OID1	OID2	Text	height	Kommentar
CSH_G13_G	E	CNCS4608 117H46081 171_202_2_R	NCSS4608 117H46081 171_202_2_R	HEIGHT: NOISECITYFURNITURESEGMENT LIEGT AUF GELÄNDE UND RELATIVE HÖHE IST GRÖßER ALS 13 METER	17.79	Nicht relevant, da keine Unterschallung
<p>Anmerkung: Schweregrad E ist hoch. <i>OID1</i> und <i>OID2</i> sind die betroffenen Objekt-IDs. <i>Text</i> beschreibt den vorliegenden Fehler im Attribut <i>height</i>. <i>Kommentar</i> beschreibt die Relevanz des Fehlers für die Lärmberechnung.</p>						

Abb. 3: Beispiel für einen erkannten Fehler als CSV-Datei, hier in Form einer Tabelle

Quelle: IGG Uni Bonn, interactive instruments GmbH

Einschränkungen des CityGML-Schemas			
AbstractBuilding [bldg:Building, bldg:BuildingPart]	C002	Das function Attribut soll genau einmal vorkommen (statt [0..*])	inv: function->size()=1
	C003	Das lod2Solid Attribut soll nicht vorkommen (statt [0..1])	inv: lod2Solid->isEmpty()
Zusätzliche Einschränkungen des Noise-Schemas			
AbstractBuilding [bldg:Building, bldg:BuildingPart]	N137	Wenn das Attribut measuredHeight vorhanden ist, so muss es einen Wert von 2 m oder mehr aufweisen.	inv: measuredHeight->notEmpty() implies measuredHeight>=2.0
	N138	Das stringAttribute mit dem Attribut name='HH-Entstehung' muss in den Objekten der Klötzchendatenbank und in allen folgenden Verarbeitungszuständen vorhanden sein.	inv: stadium.includes('G') implies stringAttribute->notEmpty() and stringAttribute.name='HH-Entstehung'
	N201	Wenn das Attribut buildingAirLNightEq angegeben ist, muss gelten 0<= buildingAirLNightEq<=120	inv: buildingAirLNightEq -> notEmpty () implies 0<= buildingAirLNightEq and buildingAirLNightEq <=120
	N202	Das Attribut buildingHabitants muss angegeben sein in den Objekten der Lärmdatenbank nach der Durchführung der Lärmberechnung	inv: stadium.includes('L') implies buildingHabitants ->notEmpty()

Abb. 4: Beispielhafter Auszug aus den CityGML-Schema/ NoiseADE-Constraints in OCL als Grundlage der Plausibilitätschecks in XPath/Schematron

im Pflichtenheft bezeichneten Architektur-Komponenten und Aktivitäten des Projektes.

■ **Plausibilitätschecks:**

Prüfziele der Plausibilitätschecks waren die Lagekorrektheit einfacher Objekt-Geometrien sowie die Korrektheit der Wertebereiche der Attribute. Es erfolgte eine Plausibilitätsprüfung der Eingangsdaten beim Laden in die Datenbanken und nachfolgend ggf. eine automatisierte Fehlerkorrektur im WFS, z.B. hinsichtlich gültiger Straßenhöhen und plausibler Straßensteigungen und des Abgleichs der Straßenhöhen mit DGM10-Höhenwerten. Geprüfte Architektur-Komponenten waren neben den Eingangsdaten auch die Web Services Output-Daten, die veredelten Daten, die Daten nach der Korrekturrunde bzw. die finalen Modelldaten der Lärmdatenbank/WFS-T sowie die Web Services selbst. Folgende Instrumente wurden zur Durchführung eingesetzt:

- FME-Skripte (Feature Manipulation Engine),
- Anfragen an den WFS-T,
- XPath/Batch-Skripte (Schematron-Tool) mit der Implementierung der in OCL (Object Constraint Language) spezifizierten, projektspezifischen CityGML-Schema-/NoiseADE-Einschränkungen (s. Abb. 4). Schematron ist eine Schemasprache zur Validierung von Inhalten von XML-Dokumenten.

■ **Nachveredelungs-Prüfungen:**

Prüfziele der Datenprüfungen nach der Datenveredelung waren die Lagekorrektheit von Objekt-Geometrien in Kombination mit der Plausibilität von Attributen, z.B. ob eine Lärmschutzwand benachbarte Gebäude schneidet oder ob eine Straße benachbarte Gebäude tangiert (s. Abb. 5). Geprüft wurde die Architektur-Komponente der veredelten Daten des WFS-T. Folgende Instrumente wurden zur Durchführung eingesetzt:

- FME-Skripte
- Anfragen an den WFS-T.

■ **Detektion von Ausreißern mit dem Ausreißertool des IGG Uni Bonn:**

Ziel des Ausreißertools war das Finden von nicht offensichtlichen Fehlern in den Daten, welche mit Standardwerkzeugen in der Regel nicht aufgedeckt werden konnten. Geprüft wurden die Werte von Attributen, die geometrischen Eigenschaften von Objekten (z.B. die Steigung) und die räumliche Lage von Objekten zueinander. Bei der Prüfung wurden auch die Korrelation von Attributen und der lokale Kontext von Objekten berücksichtigt, da sich viele Fehler durch Abweichungen eines Wertes von den entsprechenden Werten benachbarter Objekte ergaben. Ein Beispiel ist die Steigung von Straßensegmenten im Kontext von benachbarten Segmenten, aber auch im Kontext des Digitalen Geländemodells. Zur Erkennung von Fehlern wurden sowohl etablierte als auch neu entwickelte Methoden der (räumlichen) Ausreißerdetektion angewandt. Eine Explorationskomponente ermöglichte die visuelle Inspektion der gefundenen Ausreißer durch die Gegenüberstellung der räumlichen Situation mit der grafischen Darstellung der Werte, die zu der Erkennung von Ausreißern geführt haben. Das Ausreißertool wurde auf die veredelten Daten der Lärmkartierung angewandt. Durch den Einsatz des Tools konnten mehrere unerwartete Fehler erkannt werden, die ansonsten unentdeckt geblieben wären, wie z.B. starke Steigungen von Straßen- und Bahnsegmenten im Bereich von überführenden Brücken (s. Abb. 6).

■ **Probelauf der Lärmberechnung auf 20 % der betroffenen Fläche:**

Prüfziel des Probelaufs war, die veredelten Daten des WFS-T zusätzlich zu den anderen Prüfmaßnahmen nochmals auf mögliche versteckte Datenfehler zu testen. Hierzu wurde die Plausibilität der Lärmberechnungsergebnisse exemplarisch herangezogen.



Abb. 5: Beispiel eines Lagekonfliktes von Lärmschutzeinrichtung (gelb) und Gebäude als Prüfziel der Nachveredelungs-Prüfungen



Abb. 6: Beispiel für einen Fehler, der durch das Ausreißertool aufgedeckt wurde: Im Bereich der Überführung einer Autobahn durch eine Brücke tauchen extrem starke Steigungen auf, die im Kontext der Autobahn ungewöhnlich sind.

■ **Sichtprüfungen:**

Prüfziel der an einzelnen Beispielen durchgeführten Sichtprüfungen war die Vollständigkeit und Plausibilität von Dokumenten, Skripten und CityGML-Daten verschiedener Verarbeitungszustände. Geprüfte Architektur-Komponenten waren die Web Services Outputdaten, die veredelten Daten sowie die Daten nach der *Korrekturrunde* bzw. die finalen Lärm-Modelldaten der Lärmdatenbank/WFS-T.

4.3 Qualitätsbewertung des Projektes

Dank der Verwendung des V-Modells XT sind die entsprechenden Projektmanagement-Dokumente erstellt worden, die sich für die Projektplanung und Qualitätssicherung als sehr geeignet erwiesen haben. Arbeitsvorgänge, Ergebnisse, Mängel und Mängelbehebungen des Projektes sind aufgrund der Nutzung einer Produktbibliothek sehr detailliert und in vollständigem Maße in verschiedenen Dokumenten niedergeschrieben worden. Verbesserte Organisation und Dokumentation der QS-Prüfungen wurden durch die Nutzung von Prüfspezifikationen mit Mängellisten erreicht. Die detaillierte Dokumentation von Mängeln ermöglichte einen guten Überblick über die jeweils aktuelle Qualität der einzelnen Architektur-Komponenten und eine schnelle, meist automatisierte Mangelbehebung.

Zur Qualitätsbewertung der Architektur-Komponenten lässt sich Folgendes zusammenfassen: Die Eingangsdaten wiesen einige Inkonsistenzen und Unplausibilitäten auf, die durch automatisierte Fehlerkorrekturen oder Veredelungsarbeiten behoben wurden. Dank der intensiven QS-Prüfungen an allen Verarbeitungsstadien der Daten konnten vor allem systematische Fehler in den Daten selbst, den Web Services oder den Veredelungsskripten erkannt werden. In der Veredelung wurden hauptsächlich systematische Datenfehler beseitigt und großflächige Datenergänzungen gemäß Pflichtenheft durchgeführt.

Einzelfallkorrekturen konnten in der Veredelung nur in geringem Maße berücksichtigt werden und waren daher Bestandteil der *Korrekturrunde* der Kommunen. Diese einzelfallgeprüften, finalen CityGML-Lärm-Modelldaten sind als sehr geeignet für die EU-Lärmberechnung und von hoher Qualität einzustufen. Die aufwendige Veredelung insbesondere der Straßendaten ist ausschließlich über Updates des WFS-T erfolgt und hat fehleranfällige Datentransformationen oder Geometrie-Neusegmentierungen vermieden. Die Web Services bei IT.NRW sind einem Performanztest unterzogen worden: der WFS-T der Lärmdatenbank erreicht die erforderliche Performanz von 300 Features/Sekunde beim Download von komprimierten Daten.

Bei der konstruktiven Qualitätssicherung haben vor allem die regelmäßigen Telefonkonferenzen zu einem verbesserten Informationsmanagement, zur Klärung aller Fragen und zur Einbindung aller Projektpartner für verbindliche Entscheidungen beigetragen, welche nachvollziehbar in Protokollen und Arbeitsaufträgen festgehalten wurden. Die detaillierte Planung der Veredelungsschritte hat zu einer besseren Organisation der voneinander abhängigen Arbeiten geführt. Als Teil der analytischen Qualitätssicherung hat sich das für die Plausibilitätschecks entwickelte Schematron-Tool (CityGML-Schema-/NoiseADE-Einschränkungen) als gute Handreichung für die Projektpartner mit Entwicklungsaufgaben erwiesen, da dadurch die erzeugten CityGML-Daten in jedem Verarbeitungszustand geprüft werden konnten.

Die verstärkte Qualitätssicherung hatte verbesserte Lärmberechnungsergebnisse in Stufe 2 zur Folge. In den Lärmkarten der Abb. 7 ist links das Ergebnis der Lärmberechnung Stufe 1 aus 2007 mit einer geringeren Schallausbreitung zu sehen im Vergleich zum Ergebnis von Stufe 2 aus 2012 rechts. Grund hierfür ist, dass erst in 2012 durch die verstärkte Qualitätssicherung festgestellt wurde, dass die Straßenhöhe an dieser Stelle fälschlicherweise unter der Geländehöhe lag und dadurch die Schall-emissionen der Straße vom Gelände abgeschirmt wurden.

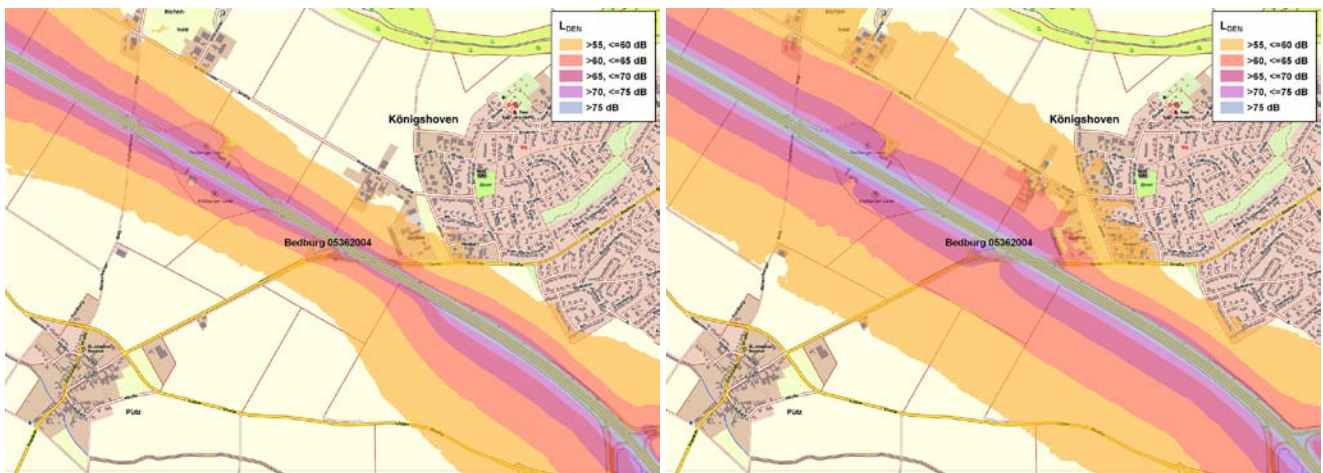


Abb. 7: Lärmkarten mit den Lärmberechnungsergebnissen für 2007 (links) und 2012 (rechts) am Standort Bedburg im Vergleich

Quelle: LANUV NRW

5 Fazit und Ausblick

Das Projekt EU-Umgebungslärmkartierung Stufe 2 in NRW stellte eine mengenmäßig und räumlich sehr große Anwendung einer Geodateninfrastruktur in Deutschland dar. An diesem Projekt hat sich gezeigt, dass selbst mit großen, landesweiten 3D-Geodatenmengen transaktionale Web Feature Services und das Austauschformat CityGML performant funktionsfähig implementiert werden können. Die gesamte Datenverarbeitung, d. h. die Datenveredelung und die Lärmberechnung, von landesweiten 3D-CityGML-Daten erfolgte ausschließlich über den transaktionalen Web Feature Service.

Es hat sich an diesem Projekt ebenso gezeigt, dass es lohnenswert ist, einen Großteil des Projektvolumens in erfolgreiche Qualitätssicherungsmaßnahmen zu setzen. Dank des hohen QS-Aufwandes wurde eine sehr gute Endqualität der finalen CityGML-Daten für die Lärmberechnung erreicht. Alle konstruktiven und analytischen QS-Maßnahmen haben eine Vielzahl von Mängeln meist in automatisierten Verfahren aufgedeckt. Die externe QS unter Leitung des QS-Beauftragten zusätzlich zur internen QS der Projektbeteiligten hat sich als erfolgreich und unabdingbar erwiesen, da dadurch eine Vielzahl an Mängeln aufgedeckt wurde, welche in der internen QS der Projektpartner nicht aufgefallen ist. Diese durchgeführte Qualitätssicherung sollte auch in den folgenden Stufen der EU-Umgebungslärmkartierung beibehalten werden. Die zeitaufwendige Qualitätssicherung hat sicherlich den engen Projektzeitplan voll ausgereizt, jedoch konnte dafür aufgrund der guten Enddatenqualität die Lärmberechnung selbst schneller erfolgen.

Das eingesetzte 3D-GDI-Konzept und die Verwendung des CityGML-Formates haben sich erneut bewährt und zu einer fristgerechten, sachgerechten und kostengünstigen Umsetzung des Projektes beigetragen, so wie es auch vom Fortführungskonzept 2009 gefordert wurde. Es wurde ein flexibler Datenzugriff und -update (7/24) sowie eine nachhaltige Datenfortführung ermöglicht.

Die Verwendung des CityGML-Datenformates brachte im Projekt EU-Umgebungslärmkartierung in NRW folgenden Nutzen: Echte 3D-Objekte wie z.B. Brücken konnten generiert werden. Sie ermöglichten ein exaktes Abbild der Umwelt sowie die Speicherung detaillierter Informationen für die Lärmkartierung ohne Verlust. Dadurch haben sie zur hohen Enddatenqualität beigetragen. CityGML ist ein lebender Standard in der Weiterentwicklung. Die neue Version CityGML 2.0 (Gröger et al. 2012; Löwner et al. 2012) beinhaltet das einheitliche Objektattribut *relativeToTerrain*, welches für die Lärmberechnung sehr gut einsetzbar ist. CityGML erweist sich als flexibel, sodass zukünftig ggf. anspruchsvollere Berechnungsmodelle der EU-Richtlinie leicht in CityGML abgebildet werden können. Dank des GDI-Konzeptes und des CityGML-Austauschformates konnten fehleranfällige Datentransformationen zwischen proprietären Systemen vermieden werden. Die CityGML-Daten und Web Services

des Projektes können im Rahmen der GDI NRW für andere Projekte in NRW genutzt werden. CityGML bleibt auch zukünftig Austauschformat, da ein NRW-weites Gebäudemodell im Format CityGML (LoD2) bis Ende 2013 aufgebaut wird. Für die INSPIRE-Umsetzung erfolgen die Übernahme großer Teile des CityGML-Gebäudemodells (LoD1, LoD2) und eine flächendeckende Bereitstellung über WFS. Auch die Niederlande plant die landesweite Einführung von 2D/3D-CityGML-Daten.

Gegebenenfalls lässt sich in Zukunft eine noch stärkere Automatisierung der von verschiedenen Projektpartnern durchgeführten und teilweise voneinander abhängigen QS-Prüfungen erzielen, um den Abstimmungsaufwand unter den Projektpartnern zu reduzieren und um die Wiederholung einzelner Maßnahmen zu verhindern. Denkbar wäre eine automatisierte Abfolge der QS-Prüfungen.

Automatisierte Qualitätssicherungsmaßnahmen sind derzeit deutschlandweiter Trend. Die *Special Interest Group 3D (SIG 3D)* der *Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE)* arbeitet an einem Qualitätskonzept, das die Automatisierung von Prüfungen beabsichtigt, basierend auf einheitlichen CityGML-Modellierungsregeln für 3D-Stadtmodelle (Modellierungshandbuch siehe <http://wiki.quality.sig3d.org>). Die meisten Definitionen dieses Modellierungshandbuchs für CityGML-Gebäudemodelle (Basismodellierung) finden sich auch im Projekt EU-Umgebungslärmkartierung Stufe 2 in NRW wieder. Die Prüfspezifikationen des Projektes können als Beispiel und Ideengeber für die Prüfspezifikationen des Qualitätskonzeptes der SIG 3D dienen.

Literatur

- Czerwinski A., Gröger G., Dörschlag D., Stroh V., Kolbe Th.H., Plümer L. [Czerwinski et al. 2007a]: Nachhaltige Erweiterung der Geodateninfrastruktur für 3D-Geodaten auf Basis von CityGML – am Beispiel der EU-Umgebungslärmkartierung. In: Kartographische Schriften, 2007, S. 67–74.
- Czerwinski A., Plümer L. [Czerwinski 2008a]: Abschlussbericht zur Umsetzung der EU-Umgebungslärmkartierung Stufe 1 in NRW, 2008, www.umgebungslaerm.nrw.de/materialien/_hilfen/_laermkartierung_durchfuehrung/Abschlussbericht_Kartierung_Stufe_1.pdf, letzter Zugriff 10/2012.
- Czerwinski A., Plümer L. [Czerwinski 2008b]: Landesweite Web Services der GDI NRW und CityGML – erfolgreicher Einsatz für die EU-Umgebungslärmkartierung. In: GIS.Business, 2008, Heft 7, S. 41–43.
- Czerwinski A., Sandmann S., Stöcker-Meier E., Plümer L. [Czerwinski et al. 2007b]: Sustainable SDI for EU noise mapping in NRW – best practice for INSPIRE. In: International Journal for Spatial Data Infrastructure Research (IJSIDIR, <http://ijsidir.jrc.it>), 2007. Jg. 2007, Heft 1.
- Die Beauftragte der Bundesregierung für Informationstechnik [BBI 2012] (Hrsg.): Das V-Modell XT. www.v-modell-xt.de, letzter Zugriff 11/2012.
- Friedrich J., Sihling M.: Das V-Modell XT im Kleinen: Paulas pragmatische Projektführung. In: OBJEKTSpektrum 02/2008, S. 54–59. www.sigs-datacom.de/fileadmin/user_upload/zeitschriften/os/2008/02/friedrich_sihling_OS_02_08.pdf, letzter Zugriff 11/2012.
- Gröger G., Kolbe T.H., Czerwinski A., Nagel C.: OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. OGC Int. Standard, Doc. No. 08-007r1 2008.

- Gröger G., Kolbe T.H., Nagel C., Häfele K.-H.: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Version: 2.0. OGC Int. Standard, Doc. No. 12-019 2012
- Henn A., Gröger G., Stoh V., Plümer L.; Model driven reconstruction of roofs from sparse LIDAR point clouds. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Heft 76, S. 17–29. 2013, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2012.11.004.
- Löwner M.-O., Benner J., Gröger G., Gruber U., Häfele K.-H., Schlüter S.: CityGML 2.0 – ein internationaler Standard für 3D-Stadtmodelle, Teil 1: Datenmodell. zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 6/2012, 137. Jahrgang, S. 340–349, 2012.
- Plümer L., Czerwinski A., Kolbe T.H.: Machbarkeitsstudie – Umsetzung der EU-Umgebungslärmkartierung in NRW, 2006, www.umgebungslaerm.nrw.de/materialien/_hilfen/_laermkartierung_durchfuehrung/Machbarkeitsstudie_zur_Umsetzung_der_EU-ULR_in_NRW.pdf, letzter Zugriff 27.11.2012.
- Plümer L., Czerwinski A.: Fortführungskonzept für die EU-Umgebungslärmkartierung in NRW. Auftraggeber: Landesamt für Umwelt, Natur und Verbraucherschutz NRW, 2009 (unveröffentlicht).
- Stöcker-Meier E., Hillen R., Czerwinski A., Plümer L.: Umsetzung der Umgebungslärmrichtlinie aus der Sicht des Landes Nordrhein-Westfalen. In: Lärmbekämpfung – Zeitschrift für Akustik, Schallschutz und Schwingungstechnik, Bd. 2, Jg. 2007, Heft Nr. 1, S. 7–15.

Anschrift der Autorin/Autoren

Angela Czerwinski | PD Dr. Gerhard Gröger | Prof. Dr. Lutz Plümer
Institut für Geodäsie und Geoinformation – Abteilung Geoinformation
Meckenheimer Allee 172, 53115 Bonn
czerwinski@igg.uni-bonn.de
groeger@igg.uni-bonn.de
pluemmer@igg.uni-bonn.de

Sascha Reichert

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen
sascha.reichert@lanuv.nrw.de