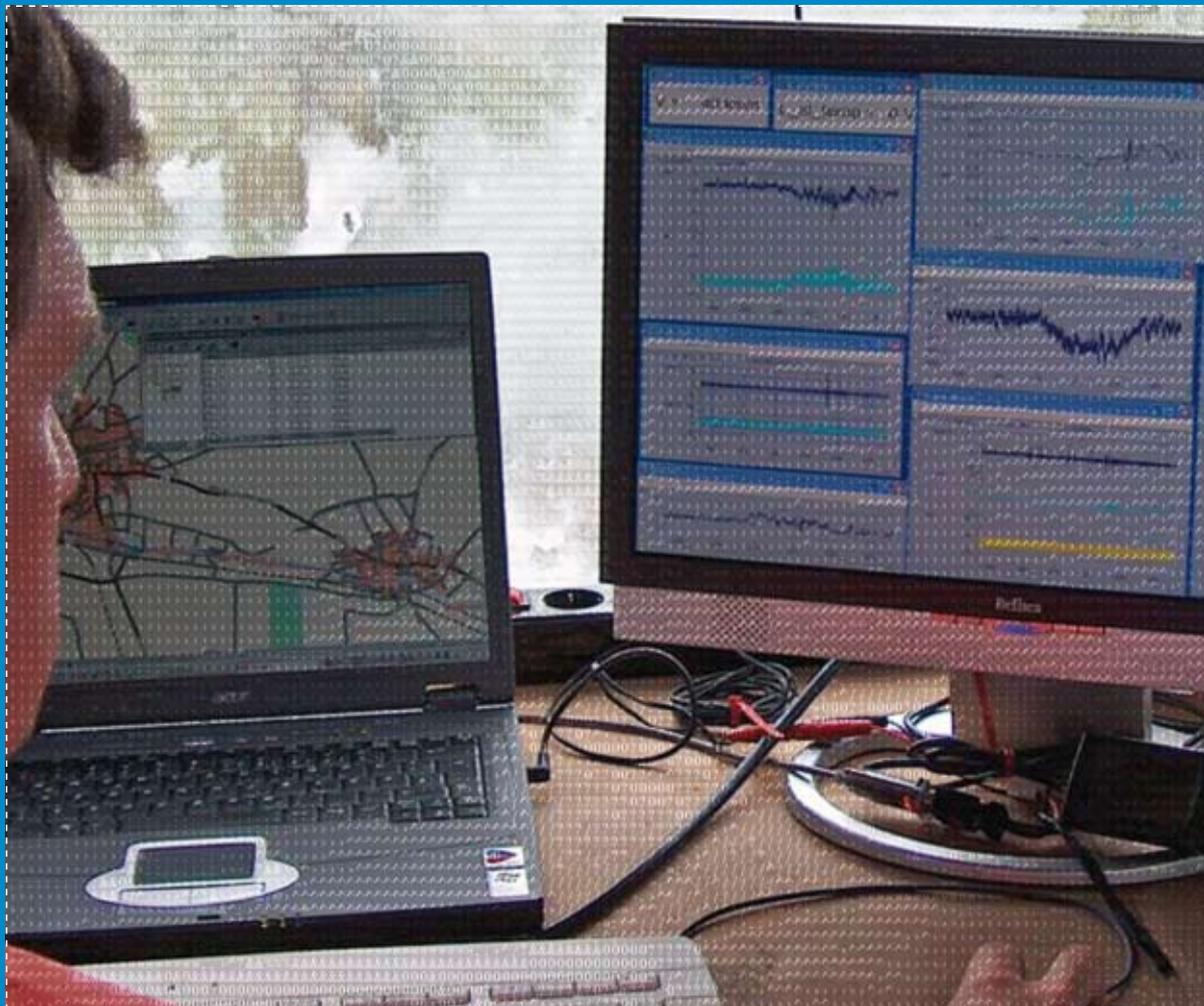


08
—
09

> SonBase – die GIS-Lärmdatenbank der Schweiz

Grundlagen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

sonBASE

Lärmdatenbank Schweiz

08
—
09

> SonBase – die GIS-Lärmdatenbank der Schweiz

Grundlagen

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Reto Höin, PLANTEAM GHS AG, Sempach-Station

Kirk Ingold, Abt. Lärmbekämpfung, BAFU

Micha Köpfl, LCC Consulting, Zürich

Thomas Minder, PLANTEAM GHS AG, Sempach-Station

Begleitung BAFU

Fredy Fischer, Abt. Lärmbekämpfung, BAFU

Urs Walker, Abt. Lärmbekämpfung, BAFU

Zitiervorschlag

BAFU 2009: SonBase – die GIS-Lärmdatenbank der Schweiz. Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0908. Bundesamt für Umwelt, Bern: 61 S.

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch, Uerkheim

Titelfoto

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Download PDF

www.umwelt-schweiz.ch/uw-0908-d

(eine gedruckte Fassung ist nicht erhältlich)

Code: UW-0908-D

Diese Publikation ist auch in englischer Sprache erhältlich (UW-0908-E).

© BAFU 2009

> Inhalt

Abstracts	5	4.4.1	Strassenverkehrslärm	48	
Vorwort	7	4.4.2	Eisenbahnlärm	50	
Überblick	8				
<hr/>					
1	Ziele und Aufbau von SonBase	9	5	Ausblick	53
1.1	Ausgangslage	9	5.1	Das Potenzial von SonBase	53
1.2	Ziele des Projekts SonBase	10	5.1.1	Strategien und Szenarien	53
1.3	SonBase – eine Herausforderung	10	5.1.2	Auswertungen nach der EU-Umgebungs-lärmrichtlinie oder den Kriterien der WHO	54
1.4	Zwei Genauigkeitsstufen	11	5.1.3	Ermittlung von wirtschaftlichen Kosten	55
1.5	Technische Grundlagen von SonBase	12	5.2	Möglichkeiten zur Erhöhung der Genauigkeit in SonBase	55
1.5.1	Aufbau des Systems	12	5.3	Integration weiterer Lärmarten	57
1.5.2	Menüführung	15	5.4	Strategische Überlegungen zur Weiterentwicklung	57
1.5.3	Zeitscheiben- und Versionierungskonzept	17			
1.5.4	Internet und Intranet	18			
1.5.5	Dämpfungstabelle	19			
<hr/>					
2	Grundlagendaten und Anpassungen	20	Anhang	58	
2.1	Verwendete Daten	20	A1	CadnaA-Recheneinstellungen GS1	58
2.2	Harmonisierung und Verknüpfung der Daten	23	A2	Datenblätter (Auszug)	59
<hr/>					
3	Lärberechnung und Auswertung	29	Verzeichnisse	60	
3.1	Die Berechnung des Lärms	29	Abbildungen	60	
3.1.1	Ablauf einer «gesteuerten» Lärmberechnung	30	Tabellen	60	
3.1.2	Ermittlung des Strassenverkehrs- und Eisenbahnlärms	32	Literatur	61	
3.1.3	Verknüpfung der (Gebäude-)Pegel mit Statistikdaten	34			
3.1.4	Erste Lärmberechnungen	34			
3.2	Auswertungen der Lärmberechnung	37			
<hr/>					
4	Validierung der Resultate	41			
4.1	Analytische Validierung beim Strassenverkehrslärm	41			
4.2	Analytische Validierung beim Eisenbahnlärm	43			
4.3	Praktische Validierung beim Strassenverkehrslärm	44			
4.3.1	Interpretation der Resultate	46			
4.4	Historische Validierung	48			

> Abstracts

With SonBase, the Swiss Federal Office for the Environment (FOEN) has a technical instrument at its disposal that enables it to obtain scientifically based and comprehensive findings concerning the current extent of noise pollution from the main sources in Switzerland. This report describes the structure and methodological criteria of SonBase. A variety of geographical data are integrated into a homogeneous geographical information system. SonBase forms the basis for comprehensively monitoring the noise situation and its chronological and spatial development, as well as for providing the general public with detailed information about the ongoing status of noise pollution. Noise situations can be modelled and analysed with the aid of scenarios.

Mit SonBase steht dem Bundesamt für Umwelt BAFU ein technisches Instrument zur Verfügung, welches wissenschaftlich fundierte und flächendeckende Aussagen zum Ausmass der aktuellen Lärmbelastung aus den wichtigsten Lärmquellen in der Schweiz ermöglicht. Der vorliegende Bericht beschreibt den Aufbau und die methodischen Hintergründe von SonBase. Verschiedene Geoinformationsdaten werden mit berechneten Lärmdaten in ein homogenes Geographisches Informationssystem integriert. Mit SonBase wurde die Grundlage geschaffen, um die Lärmsituation und deren zeitliche sowie räumliche Entwicklung flächendeckend zu verfolgen und um die Öffentlichkeit sachgerecht über den Stand der Lärmbelastung zu informieren. Anhand von Szenarien können Lärmsituationen modelliert und analysiert werden.

SonBase sert à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) d'instrument technique pour décrire l'ampleur de la pollution sonore due aux sources majeures de bruit en Suisse. Le présent rapport explique la mise en place et le contexte méthodologique de SonBase. Plusieurs données géoinformatives sont intégrées avec des données de bruit calculées dans un système d'information géographique homogène. SonBase constitue la base qui permet de suivre la situation de bruit et son évolution, aussi bien spatiale que temporelle, à grande échelle et d'informer le public de la pollution sonore en Suisse. Différents outils d'analyses et de calculs de scénarios permettent de modéliser et d'interpréter la situation.

Con SonBase, l'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) si è dotato di uno strumento tecnico che permette di valutare in modo scientificamente attendibile ed esaustivo l'entità dell'inquinamento fonico provocato in Svizzera dalle maggiori fonti di rumore. Il presente rapporto illustra la struttura e i principi metodologici di SonBase. Vari dati geoinformatici e dati relativi al rumore elaborati vengono inseriti in un sistema di informazione geografico omogeneo. SonBase costituisce il presupposto sia per un monitoraggio su larga scala della situazione fonica e della relativa evoluzione spaziale e temporale, sia per un'informazione appropriata dell'opinione pubblica sullo stato dell'inquinamento fonico in Svizzera. Attraverso degli scenari è infatti possibile elaborare dei modelli di situazioni foniche e analizzarle.

Keywords:

SonBase
noise pollution
geographical information system
noise pollution maps
methodology

Stichwörter:

SonBase
Lärmbelastung
GIS
Lärmkarten
Methode

Mots-clés:

SonBase
pollution sonore
SIG
cartes du bruit
méthodologie

Parole chiave:

SonBase
inquinamento fonico
GIS
mappa del rumore
metodo

> Vorwort

Aus gesundheitlicher und ökonomischer Sicht ist übermässiger und chronischer Lärm heute eines der bedeutendsten Umweltprobleme in der Schweiz. Lärm ist in unserem Alltag praktisch allgegenwärtig.

Die systematische Bestandsaufnahme und die Überwachung des Lärms ist eine der Aufgaben des Bundesamts für Umwelt BAFU. Das Wissen über das Ausmass der Lärmbelastung war bislang allerdings sehr lückenhaft und basierte auf punktuellen Schätzungen und Hochrechnungen. Das BAFU hat deshalb Ende 2004 das Pilotprojekt «Lärmdatenbank Schweiz» gestartet. Ziel war es, ein leistungsfähiges Instrument zu schaffen, welches flächenhafte Auswertungen und Analysen der Lärmsituation ermöglicht. Zudem sollten strategische Fragestellungen beantwortet werden: Wie wirkt sich beispielsweise der Einbau von lärmarmen Strassenbelägen auf die Lärmbelastung der Bevölkerung aus? Und wie hoch sind die volkswirtschaftlichen Kosten der Liegenschaftsentwertung durch Lärm?

Innerhalb von drei Jahren hat das BAFU ein modernes, auf einem geographischen Informationssystem basierendes Monitoringsystem namens SonBase entwickelt. Damit sind flexible Berechnungen von Lärmbelastungen möglich. Daten der Geoinformation wie zum Beispiel über die Bevölkerung und die Raumplanung können flächenhaft erfasst und dargestellt werden.

Die Resultate einer ersten Lärmberechnung wurden im BAFU-Bericht «Lärmbelastung in der Schweiz» präsentiert. Der vorliegende Bericht, der parallel dazu publiziert wurde, stellt den Aufbau und die methodischen Hintergründe von SonBase dar und zeigt auf, wie das Instrument in Zukunft weiter entwickelt wird.

Gérard Poffet
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Überblick

SonBase liefert wissenschaftlich fundierte und flächendeckende Aussagen zum Ausmass der aktuellen Lärmbelastung aus den Hauptlärmquellen Strassen-, Eisenbahn- und Flugverkehr in der Schweiz. Verschiedene Geoinformationsdaten werden dabei mit berechneten Lärmdaten in ein homogenes Geographisches Informationssystem GIS integriert.

Das Kernstück von SonBase bildet eine GIS-Applikation, die auf den Komponenten von ESRI ArcGIS und Oracle als Datenbank basiert. Sie ermöglicht unter anderem das Aufbereiten, das Editieren und die zentrale Verwaltung der Daten sowie vielfältige statistische Auswertungen, räumliche Abfragen und die Generierung von Berichten.

Für die erstmalige flächendeckende Lärmberechnung der Schweiz wurden homogene Basisdaten auf der Grundlage der vektorisierten Landeskarte 1 : 25 000 des Bundesamtes für Landestopographie swisstopo (Vektor 25) verwendet sowie weitere, schweizweit vorhandene Daten über die Bevölkerung und Raumplanung eingelesen (Kap. 2). Zahlreiche Parameter wie das Geländemodell, die Lagegenauigkeit von Lärmquellen und Gebäuden haben einen Einfluss auf die Genauigkeit der Lärmberechnung und die Berechnungszeit. Ein zentraler Punkt ist dabei die Bestimmung der angestrebten Basisgenauigkeit. Ziel ist es, über eine grosse Berechnungsfläche statistisch möglichst genaue Resultate bei gleichzeitig geringer Berechnungszeit zu erhalten. Die dazu getroffenen Annahmen und gewählten Berechnungseinstellungen werden in Kapitel 3 beschrieben. Nach der Lärmberechnung wurden die Resultate analytisch anhand eines praktischen Beispiels und historischer Daten validiert (Kap. 4).

Es ist geplant, SonBase in Zukunft durch die Einbindung von weiteren Lärmarten (z. B. Schiesslärm, Militärlärm), durch technische Optimierungen und die Verbesserung und Aktualisierung der Grundlagedaten (z. B. Verkehrsdaten) weiter zu entwickeln (Kap. 5).

Mit SonBase wurde die Grundlage geschaffen, die Öffentlichkeit sachgerecht über den Stand der Lärmbelastung zu informieren. SonBase stellt ein wichtiges Instrument dar, um die Lärmbelastung in der Schweiz gesamthaft oder in frei wählbaren Gebieten zu überwachen und strategische Entscheide fällen zu können. Lärm kann anhand der Schweizerischen Gesetzgebung (Umweltschutzgesetz, Lärmschutz-Verordnung) oder der EU-Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG beurteilt werden.

1 > Ziele und Aufbau von SonBase

Die GIS-Applikation SonBase ermöglicht es dem Bundesamt für Umwelt BAFU, fundierte und flächendeckende Aussagen zum Ausmass der Lärmbelastung aus den drei Hauptlärmquellen Strassen-, Eisenbahn- und Flugverkehr in der Schweiz zu machen. Die Grundstruktur von SonBase besteht aus einer relationalen Datenbank, einem Lärmberechnungsmodul sowie einer GIS-Benutzeroberfläche. Geobasisdaten werden in ein Datenbank-Schema integriert und durch Ergänzungen und Anpassungen optimiert. Das Monitoring der aktuellen Lärmbelastungen und die Berechnungen zukünftiger Lärmbelastungen werden dem Bund wichtige Grundlagen für die Erarbeitung von Strategien zur Reduzierung der Lärmbelastung liefern.

1.1 Ausgangslage

Räumliche Informationen zum Lärm sind bei verschiedenen Dateneigentümern des Bundes, der Kantone und der Gemeinden sowie bei den Inhabern von lärmemittierenden Anlagen vorhanden. Sie liegen aber in unterschiedlichen Qualitäten, Formaten, Aktualisierungsgraden und Rechtsverbindlichkeiten vor.

Für Strassen, Eisenbahnen und Flugplätze sind die Vollzugsbehörden verpflichtet, sogenannte Lärmbelastungskataster zu führen. In diesen sind die zulässigen Lärmbelastungen der einzelnen Anlagen festzuhalten. Der Lärmbelastungskataster stellt eine Aufnahme des Ist-Zustandes dar und dient primär als Grundlage für die Planung und die Realisierung von Massnahmen im Rahmen der Lärmsanierung. Die darin enthaltenen Informationen beschränken sich allerdings in der Regel auf punktuelle Angaben von Überschreitungen der massgeblichen Belastungsgrenzwerte der Lärmschutz-Verordnung. Sie sind somit nicht flächendeckend, zum Teil nicht nachgeführt oder nicht in digitaler Form verfügbar. Das bedeutet, dass einheitliche Geoinformationsdaten zur Ermittlung der Lärmbelastung in der Schweiz flächendeckend nicht vorhanden sind.

Flächendeckende Daten zur Lärmbelastung fehlen bisher

1.2 Ziele des Projekts SonBase

Ziel des BAFU-Projektes war es, ein flächendeckendes, GIS-basiertes Monitoring-System zu entwickeln, welches verschiedene Möglichkeiten bietet, die Lärmbelastungen aus den Hauptverkehrsquellen mit Geoinformationen aus weiteren Bereichen (z. B. Bevölkerung, Beschäftigtenzahlen, Raumplanung, Liegenschaften) flächenhaft zu analysieren und darzustellen. Zudem sollten strategische Fragestellungen wie die Wirkung lärmarmen Strassenbeläge und die volkswirtschaftlichen Kosten der Liegenschaftsentwertung durch Lärm beantwortet werden können. Ein weiteres wichtiges Ziel war es, den Datenaustausch zwischen Bund und Kantonen zu fördern und zu vereinheitlichen.

Ein GIS-basiertes Lärmmonitoring

Mit dem Abschluss eines Pilotprojektes nach dreijähriger Entwicklungszeit und dessen Überführung in das System SonBase konnte die Grundlage geschaffen werden, die Lärmbelastung und deren zeitliche und räumliche Entwicklung flächendeckend zu verfolgen und die Öffentlichkeit sachgerecht über den Stand der Lärmbelastung zu informieren.

Information der Bevölkerung

1.3 SonBase – eine Herausforderung

Die Entwicklung von SonBase war eine neuartige und anspruchsvolle Aufgabe technischer und organisatorischer Art. Unsicherheiten bestanden insbesondere bezüglich der technischen und fachlichen Umsetzung, den systemtechnischen Anforderungen und des finanziellen Aufwandes. Folgende Hürden mussten überwunden werden:

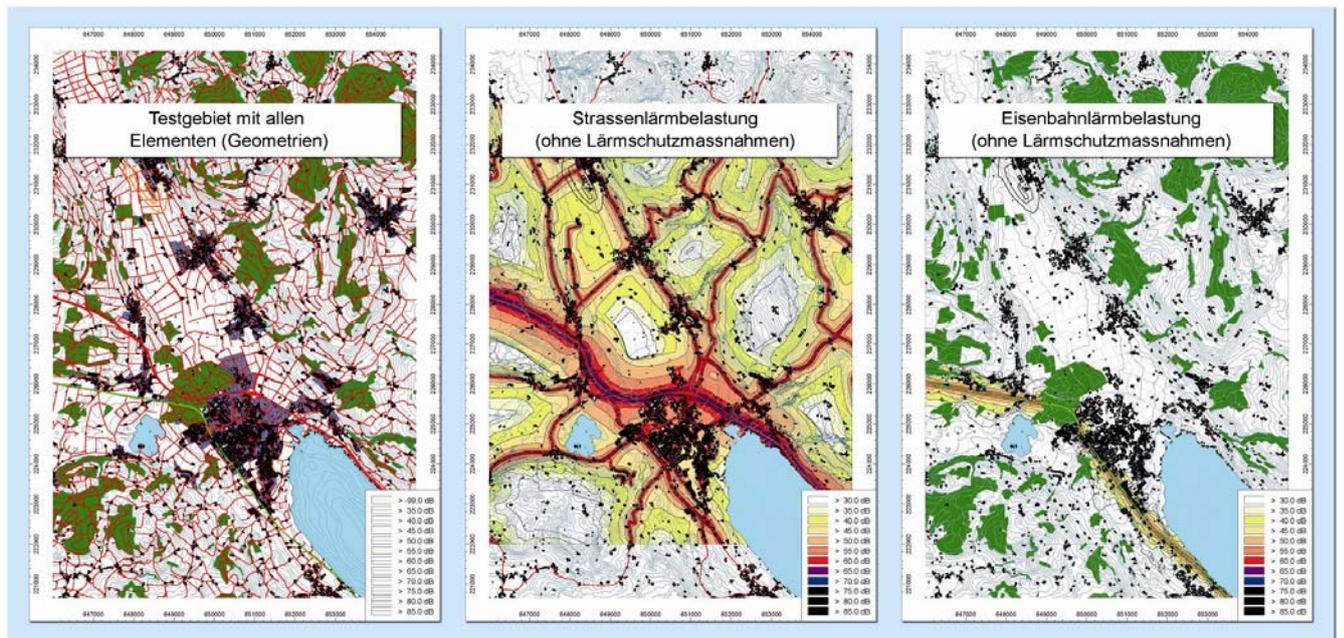
Technische und organisatorische Herausforderungen bei der Umsetzung

- > Erhebung flächendeckender Geoinformationen und deren Überführung in ein digital einheitliches Format.
- > Technische Umsetzung: Insbesondere die Programmierung und Installation der GIS-Plattform im Bundesamt für Informatik (BIT), das Zusammenspiel verschiedener Systemkomponenten (GIS-Datenbank und Lärmberechnungsmodul), der Aufbau der relationalen Datenbank (Oracle) und der Umgang mit immensen Datenmengen.
- > Minimierung der Berechnungszeiten: Für Lärmberechnungen über die ganze Schweiz beträgt die reine Rechenzeit mit 15 zeitgleich arbeitenden, handelsüblichen Computern ungefähr 24 Tage.

Die Entwicklung der GIS-Applikation wurde schrittweise an einem ausgewählten Testgebiet mit zehn Gemeinden (99 km²) und einem entsprechenden «Prototyp» entwickelt (Abb. 1). Dazu wurden alle notwendigen Grundlagendaten sowie Emissionsdaten respektive Immissionsdaten von Eisenbahnen und Flugplätzen des Testgebietes eingelesen. Die fehlenden Lärmemissionen der Strassen wurden in einem spezifischen Lärmberechnungsmodul ermittelt. Dazu wurden an den einzelnen Gebäuden so genannte Beurteilungspunkte generiert und die Lärmimmission an diesen Punkten berechnet. Zudem wurden über die gesamte Schweiz Rasterdaten mit einer Auflösung von 10 x 10 Metern berechnet.

Abb. 1 > Das Testgebiet

Ausgangsdaten (links) und Resultat der ersten flächenhaften Lärmberechnungen – Rasterkarten Strassenlärm (Mitte), Eisenbahnlärm (rechts)



1.4 Zwei Genauigkeitsstufen

Die Datengrundlagen beeinflussen massgeblich das Berechnungsergebnis. Aus diesem Grund werden in SonBase zwei unterschiedliche Genauigkeits-Stufen (GS) definiert:

- > **Übersichtsvariante Gesamtschweiz:** In der Genauigkeitsstufe 1 (GS 1) werden die auf Bundesebene verfügbaren Geoinformationsdaten (z. B. Vektor25) für die gesamtschweizerische Berechnung der Verkehrslärmbelastung verwendet. Mit minimalen Datenergänzungen (Einsetzen von Default-Werten bei fehlenden Grundlagen) konnte diese Erstberechnung im Winter 2007/08 durchgeführt werden.
- > **Mittelfristige Detailvariante:** In der Genauigkeitsstufe 2 (GS 2) werden für die Berechnung – sofern vorhanden – die aktuellen Datengrundlagen zum Strassenlärm von den kantonalen Behörden verwendet. In einer Pilotphase wurden von den Pilotkantonen Luzern, Neuenburg und Zürich entsprechende Daten zur Verfügung gestellt. Für ausgewählte Gemeinden wurden diese Daten in SonBase importiert, die Lärmbelastung berechnet und die Resultate analog der GS 1 ausgewertet. Gleichzeitig dienen sie zur Validierung der Resultate aus der GS 1. Ziel ist es, schrittweise genauere Daten in SonBase einzuführen und somit die Genauigkeit der Aussagen zur Lärmbelastung in der Schweiz zu verbessern (siehe Kap. 4.3).

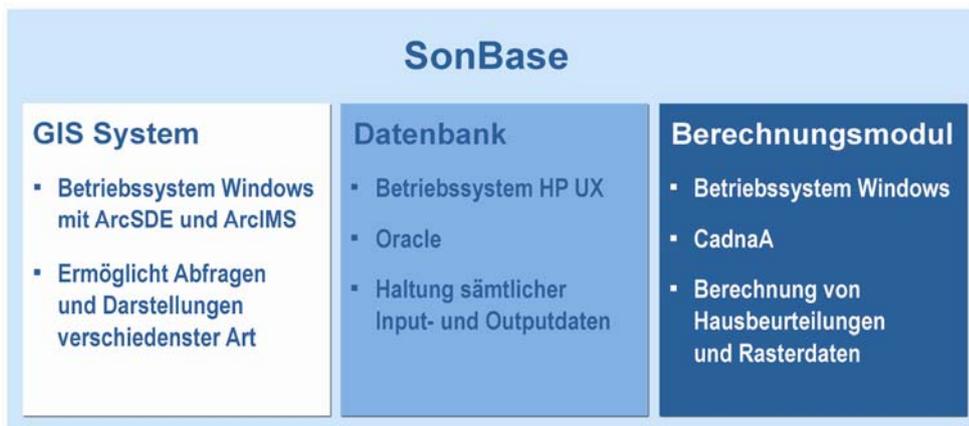
1.5 Technische Grundlagen von SonBase

1.5.1 Aufbau des Systems

Die Basis des SonBase-Systems bilden die GIS-Komponenten ESRI ArcGIS Desktop und ESRI ArcSDE mit Oracle als Datenbank. Zur Lärmberechnung wird die Software CadnaA (Computer Aided Noise Abatement) der Firma DataKustik GmbH, Greifenberg, eingesetzt (Abb. 2).

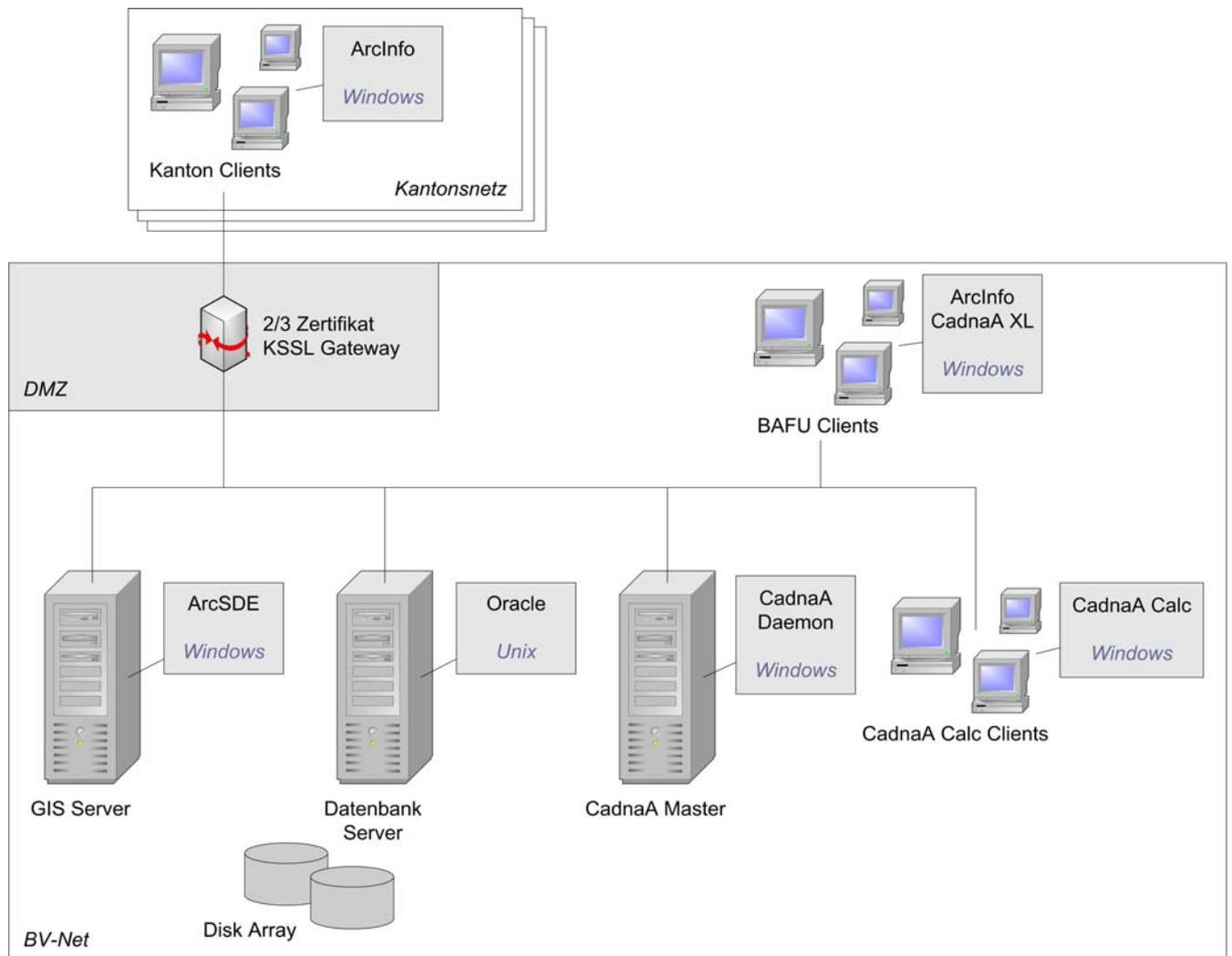
Über die ArcGIS Desktop Clients kann von internen wie auch von externen Stellen zugegriffen werden. Der SonBase-Client ist eine ESRI ArcGIS Desktop-Erweiterung und wurde im .NET Framework 2.0 entwickelt. Die Systemarchitektur ist in Abb. 2 dargestellt.

Abb. 2 > Das Konzept von SonBase



Die SonBase-spezifischen Erweiterungen von ArcGIS Desktop unterstützen den Benutzer bei sämtlichen Arbeitsschritten – vom Datenimport über die Datenvalidierung und Datenkomplettierung bis hin zu Auswertungen und den Export von Resultaten. Zudem erlaubt eine integrierte Benutzerverwaltung eine flexible Vergabe von Rechten auf die Geoinformations- und Sachdaten. Zur Steuerung und Überwachung der Lärmberechnungen wird ein sogenannter «Daemon» eingesetzt, welcher über die Datenbank mit dem GIS-System kommuniziert. Der Daemon steuert dabei die einzelnen Berechnungsschritte vom Datenimport bis zum Rückimport der Berechnungsergebnisse in die Datenbank.

Abb. 3 > Der Aufbau von SonBase



Bei den Lärmberechnungen von grossen Gebieten ist es notwendig, die Fläche in so genannte «Kacheln» zu unterteilen, welche von einem einzelnen Rechner problemlos im Arbeitsspeicher gehalten werden können. Dadurch erhöht sich die Rechenleistung, da Auslagerungen von Daten auf die Harddisk vermieden werden können. Die Kacheln werden von der Berechnungssoftware nach definierten Vorgaben (Kachelabmessungen z. B. 500 x 500 m) automatisch generiert und verwaltet.

Die Benutzerverwaltung erlaubt eine flexible Vergabe von Lese- und Schreibrechten auf die Oracle-Tabellen. Zusätzlich können Rechte für die einzelnen Versionen und Versionstypen gemäss den unterschiedlichen Bedürfnissen der Benutzer vergeben werden. Damit ist ein sicheres Arbeiten mit den Datenbeständen gewährleistet.

Tab. 1 > Technische Daten von SonBase*DB-Eigenschaften von SonBase*

Betriebssystem DB:	HP Unix
Technologie DB:	ORACLE 10g
Grösse:	391 (Tabellen), 3572 (Attribute)
Anzahl Datensätze:	Jährlich: ca. 500 000 000
Benötigter Speicher:	45 GB
Grösse Arbeitsspeicher:	2 GB für Datenbank reserviert
Schnittstellen:	ODBC/SQL
Entwicklungssprache:	VB.Net
Anzahl User:	Derzeit ca. 10

Die leistungsintensiven und flächendeckenden Lärmberechnungen für verschiedene Lärmarten finden auf einem separat an die Datenbank gekoppelten Rechnercluster mit 15 bis 30 CadnaA-Calc Clients statt (Abb. 4). Sie werden über ein in ArcMap implementiertes Interface gestartet und überwacht. Die Steuerung von Rechenaufträgen erfolgt dabei zentral über die Oberfläche der SonBase-Applikation.

Das Bundesamt für Informatik BIT stellt den Betrieb, die Wartung und Performance-Überwachung der Datenbank sicher und überwacht den Betrieb der Server-Infrastruktur sowie der dazugehörigen Betriebssysteme. Gleichzeitig stellt es die vereinbarte Speicherkapazität bereit und garantiert die Datensicherung und Datenwiederherstellung sowie den Betrieb des Rechenzentrums.

Abb. 4 > Cadna-Cluster für die Lärmberechnungen

Die gewählte Systemarchitektur von SonBase bietet Multiuser-Fähigkeit und garantiert durch eine rollenbasierte Benutzerverwaltung und das zugrunde liegende Versionierungskonzept die Integrität der verfügbaren Datensätze.

Die spezifische SonBase-Erweiterung von ArcGIS Desktop bietet unter anderem effiziente Funktionalitäten für den Import, die Aufbereitung und Bereinigung von Daten sowie eine Schnittstelle für vielfältige Lärmberechnungen (Ist-Zustand, Szenarien und Prognosen). Über die Oberfläche der SonBase-Erweiterung werden diese Rechenaufträge definiert. Damit werden die lärmrelevanten Daten vollautomatisch exportiert und in der Lärmberechnungssoftware (CadnaA) ermittelt und überwacht. Anschliessend werden die Resultate in das GIS zurückimportiert und stehen für Auswertungen zur Verfügung. SonBase unterstützt dabei die Vorgaben der Schweizer Lärmschutz-Verordnung LSV und die Erstellung von strategischen Lärmkarten gemäss der EU-Umgebungslärm-Richtlinie 2002/49/EG.

SonBase spezifisches Menü
für automatisierte
Lärmberechnungen

Für statistische Auswertungen und visuelle Darstellungen der Lärmdaten in Form von Karten oder Statistiken werden flexibel einsetzbare Standardwerkzeuge von ArcGIS Desktop verwendet. Zusätzlich können vollautomatisiert und effizient Standardauswertungen generiert werden (z. B. Anzahl lärmbelastete Personen, Gebäude, Wohnungen, Flächen), welche für frei wählbare Gebiete möglich sind.

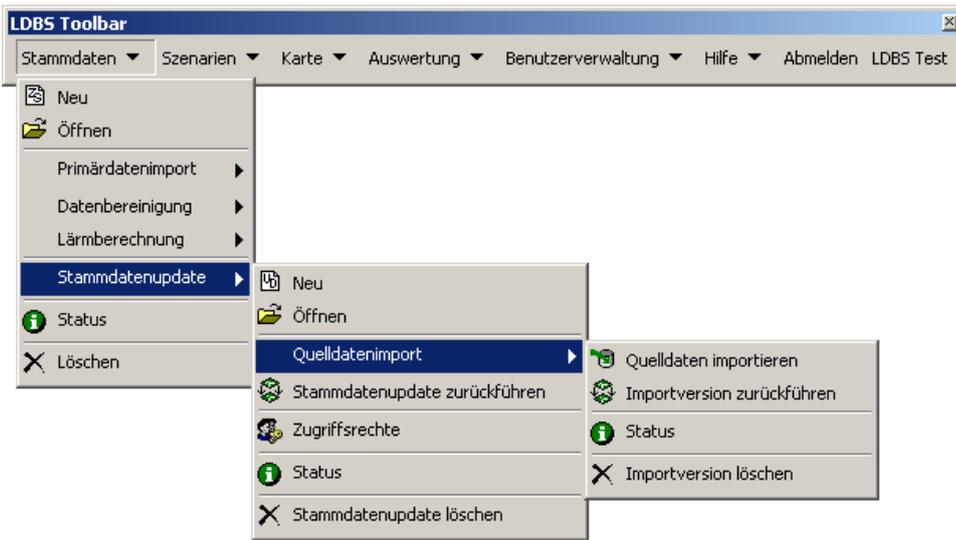
1.5.2 Menüführung

Sämtliche GIS-Zusatzfunktionen stehen über das spezifisches Menü «SonBase Toolbar» zur Verfügung. Auch die Administration der Benutzerrechte auf die Datenbank wird in diesem Menü unter dem Punkt «Benutzerverwaltung» bewirtschaftet.

Beim Start der Applikation werden die Benutzer über ein Dialogfenster aufgefordert, sich anzumelden. Abhängig von deren Benutzer-Rechten kann auf bestehende Zeitscheiben, Stammdaten-Updates oder Szenarien zugegriffen werden. Abhängig vom Datentyp (Stammdaten/Szenarien) regeln spezifische Menüpunkte das Erstellen, Bereinigen und Löschen von Geo- und Lärmdaten. Damit wird zum Beispiel der Import neuer Quelldaten über «Versionen» (Import, Bereinigung) stufenweise und klar geregelt (Abb. 5).

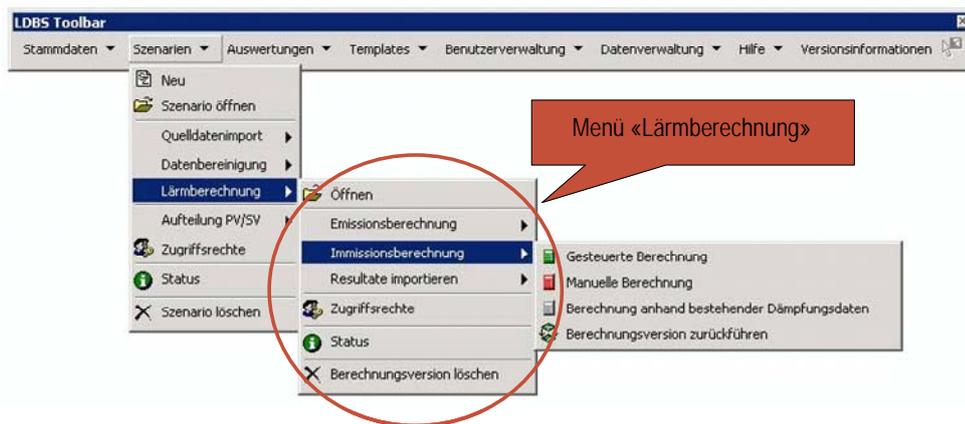
Einfache Benutzerführung
und Verwaltung der Daten

Abb. 5 > SonBase-Toolbar – Stammdaten



Eine Stärke von SonBase sind die unter dem Menü «Szenarien» möglichen, gesteuerten oder manuellen Lärmberechnungen nach verschiedenen Normen und über geografisch frei wählbare Gebiete (Gesamtschweiz, Kanton, Gemeinde, andere Gebiete) (Abb. 6).

Abb. 6 > SonBase-Toolbar – Szenarien



1.5.3 Zeitscheiben- und Versionierungskonzept

ArcGIS (über ArcSDE) bietet die Möglichkeit, Geodatenätze in verschiedenen Zuständen zu halten. SonBase erweitert diese Funktionalität um Versionstypen, eine Versionsverwaltung sowie dem Setzen von rollenbasierten Zugriffsrechten und einem Workflow (Abb. 7). Dieses Konzept liefert die Lösung für:

- > Das Halten von Datensätzen zu verschiedenen Datenerhebungszeitpunkten
- > Kontrollierte Updates bestehender Basisdaten mit neuen Quelldaten
- > Das Erstellen von Lärminderungsplänen
- > Das Generieren beliebiger Szenarien
- > Die Konsistenzsicherung zwischen Basis- und Fachdaten

Abb. 7 > Zeitscheiben- und Versionierungskonzept



Quelle: e-geo.ch Nr. 18, Newsletter Oktober 2007

Um verschiedene Lärmsituationen vergleichbar zu machen, müssen die Lärmresultate (Emissionen, Immissionen) zeitabhängig in SonBase gespeichert werden. Dafür wurde ein System von so genannten «Zeitscheiben» geschaffen. Zeitscheiben werden dabei vollständig und flächendeckend neu berechnet (Rechenzeit mehrere Wochen). Diese dienen bis zur nächsten Zeitscheibenberechnung (z. B. im 2-Jahres-Rhythmus) als Referenzberechnung und als Basis für die Auswertungen zur Lärmbelastung.

System von Zeitscheiben

Innerhalb dieser Zeithorizonte können beliebige Szenarien oder Prognosen über frei wählbare Teilgebiete der Schweiz berechnet werden. Zudem werden die aktualisierten Daten laufend abgelegt und für die nächste Zeitscheibenberechnung aufgearbeitet. Da die Lärmbelastung in einer Zeitscheibe wesentlich von den zugrunde gelegten Emissionen abhängig ist, kann man in diesem Sinne auch von «Emissionshorizonten» sprechen.

Durch eine Kapselung der Daten in «Zeitscheiben» (einzelne Datenbankschemen) können im Ein- oder Mehrjahreszyklus komplett unabhängige Datensätze eingespielt werden. Dadurch wird einerseits eine Archivierung ermöglicht und andererseits eine gleich bleibende Performance sichergestellt.

Die strikte Trennung zeitlich verschiedener Daten erleichtert deren Archivierung. Zudem sind bestehende Basisdaten (Grundlagendaten inkl. manuellen Updates) mit neuen Quelldaten (externe Datenquellen) kombinierbar. Dank dem Import via einem spezifischen Container besteht eine grosse Unabhängigkeit gegenüber den Datenquellen, auch wenn sich Datenformate oder die Datengliederung ändern.

Das Versionierungskonzept von SonBase bietet die Möglichkeit, Szenarien beliebiger Versionen zu erstellen. Innerhalb eines Szenarios stehen sämtliche Funktionen von SonBase zur Verfügung – vom Bearbeiten der Geodaten bis hin zur Durchführung einer Fachberechnung. Über Szenarien können beispielsweise Prognosen berechnet oder zusätzliche Lärmschutzmassnahmen geplant werden.

Berechnung von Szenarien

Die Aktualisierung der Stammdaten kann zu beliebigen Zeitpunkten erfolgen, indem die Daten der letzten «Zeitscheibe» benutzt oder neu importierte Quelldaten verwendet werden. Der Start einer neuen Zeitscheibe erfordert allerdings eine neue gesamtschweizerische Berechnung aller Lärmdaten.

1.5.4 Internet und Intranet

SonBase ist noch nicht vollumfänglich webfähig. Datenänderungen und komplexe Auswertungen können derzeit ausschliesslich über die Client-Server Umgebung vorgenommen werden (Zugriff für Externe derzeit via VPN). Für die Öffentlichkeit werden einzelne Daten bereits als Lärmraster in ecoGIS (<http://www.ecogis.admin.ch>) und der Homepage des BAFU (<http://www.bafu.admin.ch/umwelt>) zur Verfügung gestellt.

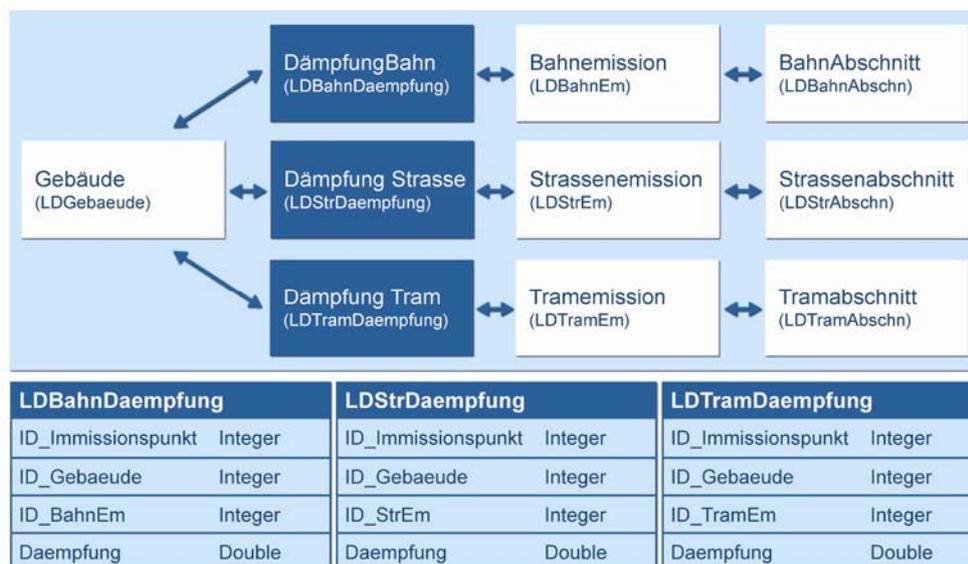
1.5.5 Dämpfungstabelle

Mit SonBase sind die Resultate von Lärmberechnungen, rasch verfügbar. Da ein einzelner Berechnungsgang über eine grosse Fläche auch mit einem Rechnerpool von 15 PC's mehrere Wochen dauern kann, wurde eine Möglichkeit gesucht diese Rechenzeit massiv zu verkürzen. So wurde in die SonBase-Version 1.0 das Tool «Dämpfungstabelle» integriert. Hier werden aus den Emissionen der einzelnen Quellenabschnitte (Strasse oder Eisenbahn) und den dazugehörigen Teilimmissionen pro Empfangsort die Dämpfungen zwischen den einzelnen räumlichen Abschnitten und den Empfangspunkten (z. B. lautester Punkt pro Gebäude) bestimmt und in SonBase abgelegt (Abb. 8). Die Dämpfungen enthalten alle relevanten Ausbreitungsdämpfungen (z. B. Hinderniswirkung, Luftabsorption, Abstandsdämpfung, Reflexionen).

Massive Verkürzung von Rechenzeiten ermöglichen effiziente Lärmberechnungen

Bei geänderten oder neuen Verkehrsdaten können damit neue Emissionen und die daraus resultierenden Immissionen ohne aufwändige neue Ausbreitungsrechnung direkt im GIS ermittelt werden. Die Berechnungszeiten verkürzen sich damit wesentlich.

Abb. 8 > Schematische Darstellung der Dämpfungstabelle



2 > Grundlagendaten und Anpassungen

In SonBase werden zahlreiche digital vorhandene Daten zusammengeführt. Dadurch werden flächendeckende Lärmberechnungen über die ganze Schweiz ermöglicht. Durch die Inhomogenität der verschiedenen Datenquellen musste ein beträchtlicher Aufwand in die Ergänzung, Harmonisierung und Verknüpfung dieser Daten investiert werden.

2.1 **Verwendete Daten**

Als geografische Basis für SonBase werden der Datensatz der vektorisierten Landeskarte 1 : 25 000 (Vektor 25) und das digitale Höhenmodell DHM25 des Bundesamtes für Landestopographie swisstopo verwendet. Zusätzlich wurden für die umfangreichen Lärmberechnungen verschiedene Grundlagendaten der Bundesämter für Raumentwicklung (ARE), für Strassen (ASTRA), für Verkehr (BAV), für Zivilluftfahrt (BAZL), für Statistik (BFS) und für Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) herangezogen (Tab. 2). So wird für den Strassenverkehrslärm beispielsweise das Verkehrsmodell 2004 des Bundesamtes für Raumentwicklung ARE (mit Ergänzungen) und beim Eisenbahnverkehr der Emissionsplan 2015 integriert. Für statistische Aussagen zu Personen und Wohnungen wurde auf die Volkszählung 2000 (BFS) zurückgegriffen. Tab. 2 gibt eine Übersicht der verwendeten Grundlagen.

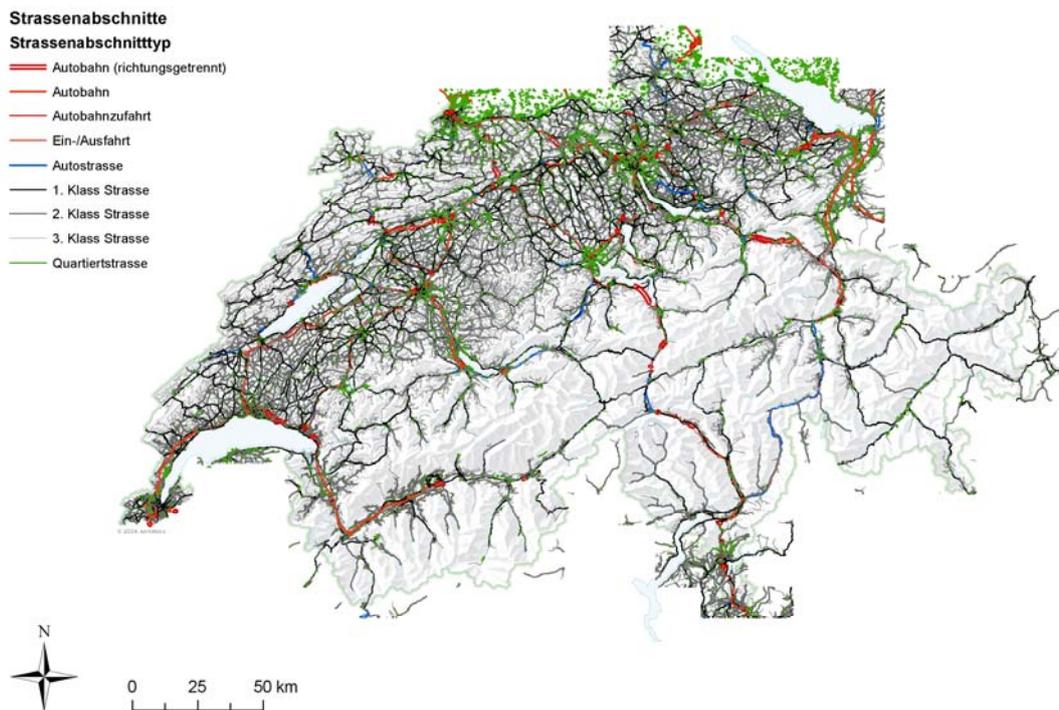
Geodaten verschiedener Herkunft werden verknüpft

Tab. 2 > Verwendete Datengrundlagen für die Erstberechnung GS1

Datenbezeichnung	Datenherkunft	Genauigkeit/Bemerkungen
Digitales Geländemodell (DGM)		
Gebäude (xy)	Vektor25	± 8 m
Strassen (xy)	Vektor25	± 8 m
Höhenlinien 10 m; z. T. 5 m (xyz)	Vektor25/DHM25	± 8 m
Höhenpunkte (xyz)	Vektor25/DHM25	± 8 m
Strassen-Verkehr		
Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV)	VM-UVEK (2004)	Netz unvollständig
Geschwindigkeiten (v) und Steigungen (%)	VM-UVEK (2004)	Netz unvollständig
Lage Lärmschutzwände/-wälle (xy) Nationalstrassen	UH-Peri ASTRA	keine Höhenangaben
Eisenbahn-Verkehr		
Gleis-Lage (xy) und Emissionen (dB)	SBB (EPlan2015)	nur SBB-Netz
Lärmschutzwände/-wälle (xy, Höhe über SOK)	DfA SBB	
Flug-Verkehr		
Fluglärm-Isophonen Zivilflugplätze (xy, dB)	BAZL	
Fluglärm-Isophonen Militärflugplätze (xy, dB)	VBS	
Raumplanung		
Bauzonen generalisiert (xy)	ARE	unvollständig
Empfindlichkeitsstufen (xy)	ARE	unvollständig
Statistik		
Anzahl Personen/Wohnungen pro Gebäude	VZ2000 BFS	ID: über Geb.-Koordinaten
Anzahl Arbeitsplätze pro Gebäude	BZ2001 BFS	ID: über Geb.-Koordinaten

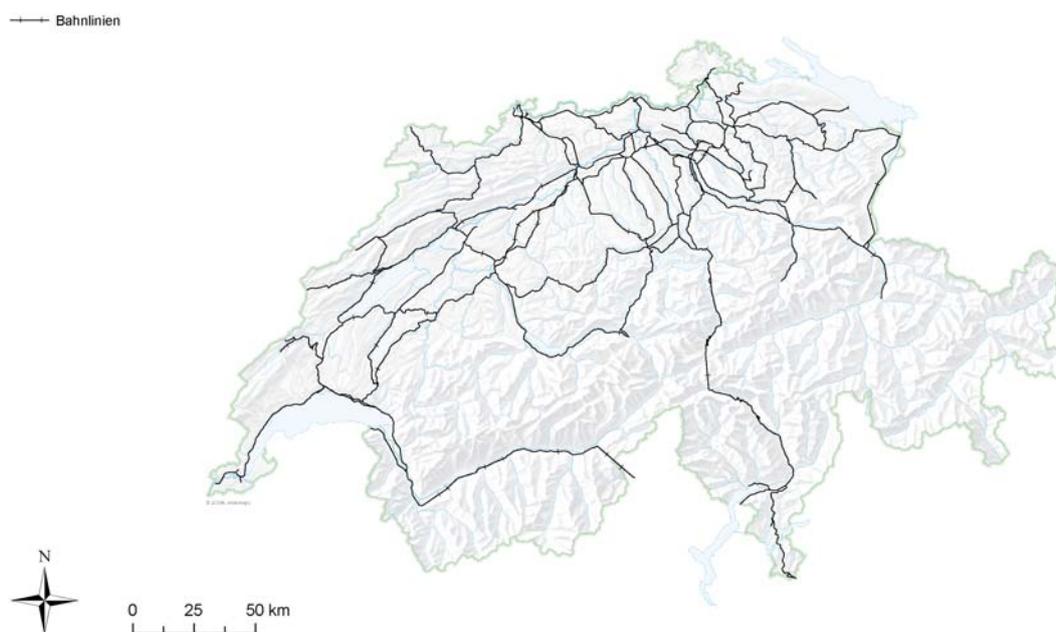
In Abb. 9 und Abb. 10 sind die in SonBase verwendeten Strassen und Eisenbahnlinien dargestellt. Bei den Strassen wird nach verschiedenen Strassentypen unterschieden. Beim Fluglärm werden die verfügbaren Flugisophonen der zivilen Flugplätze und -felder des Bundesamts für Zivilluftfahrt (BAZL) und UNIQUE sowie jene des VBS für den militärischen Fluglärm verwendet.

Abb. 9 > Verwendete Strassen mit Verkehrsmengen nach Typ (VM UVEK, ARE)



© 2008 Bundesamt für Umwelt BAFU, ARE, swisstopo (DV002232.1)

Abb. 10 > Verwendete Eisenbahnlínien (Eplan2015)



© 2008 Bundesamt für Umwelt BAFU, BAV, swisstopo (DV002232.1)

2.2 Harmonisierung und Verknüpfung der Daten

Da die vorhandenen Geoinformationsdaten nicht homogen sind, wurde ein beträchtlicher Aufwand in zusätzliche Arbeiten zur Harmonisierung und Verknüpfung der Daten investiert. Die Netze von Strassen, Eisenbahnen und Tramlinien waren zwar aus dem Vektor25-Datensatz importierbar, mussten allerdings mit den Verkehrsmodellen der Schweiz verknüpft werden. Bei fehlenden Daten wurden Richtwerte angenommen und für die weitere Verarbeitung verwendet. Aus den Statistikdaten der Volkszählung 2000 wurden den einzelnen Wohngebäuden die jeweiligen Bevölkerungszahlen, Anzahl Wohnungen, Anzahl Zimmer, sowie Angaben zur Anzahl Geschosse zugeordnet. Zusätzliche Daten der Raumplanung (z. B. Bauzonen, administrative Grenzen) sowie zu den Lärmschutzmassnahmen (z. B. Art, Lage und Dimensionen, Stand der Sanierungen, Baujahr, Kosten) wurden – soweit sie verfügbar waren – ebenfalls berücksichtigt.

Bei diesen Grundlagendaten wurden verschiedene Probleme bzw. Ungenauigkeiten festgestellt. Die wichtigsten werden im Folgenden kurz besprochen:

Fehlende Gebäudehöhen

Im Vektor25-Datensatz fehlen für alle Gebäude der Schweiz die jeweiligen konkreten Angaben zu den einzelnen Gebäudehöhen. Diese stellen aber durch ihre Hinderniswirkung einen wichtigen Faktor der Lärmausbreitung dar.

Beschreibung

Als (Zwischen-)Lösung wurde eine Standardhöhe von 9 m für alle Gebäude angenommen. Für die nächste Neuberechnung der Lärmarten werden konkrete Gebäudehöhen verwendet.

Lösung

Absorption an Gebäudehülle

Die Aussenhüllen von Gebäuden reflektieren den Schall zu einem bestimmten Grad. Diese Reflexionen wurden in der vorliegenden Erstberechnung – zur Verkürzung der Rechenzeit – nicht berücksichtigt. Für künftige Berechnungen werden die Gebäude jedoch mit einer Standard-Absorption versehen.

Beschreibung

Eingabe einer Standard-Absorption von $\alpha = 0,21$ resp. einem Reflexionsverlust von 1 dB.

Lösung

Zusammengebaute Gebäude

Zusammenhängende Gebäude (z. B. Blockrandbebauung, Reihenhäuser) werden im Vektor25-Datensatz nicht separat modelliert, sondern sind oftmals zu einem Gebäude zusammengefasst. Eine Aufteilung der Vektor25-Gebäude in die Gebäude gemäss BFS-Datensatz ist zwar technisch möglich, wird jedoch auf eine künftige Erweiterung von SonBase verschoben.

Beschreibung

Alle Daten (Personen, Wohnungen, Arbeitsplätze) der BFS-Gebäude, die innerhalb eines zusammengefassten Vektor25-Gebäudes liegen, werden zusammengefasst.

Lösung

Fehlende Verkehrsdaten

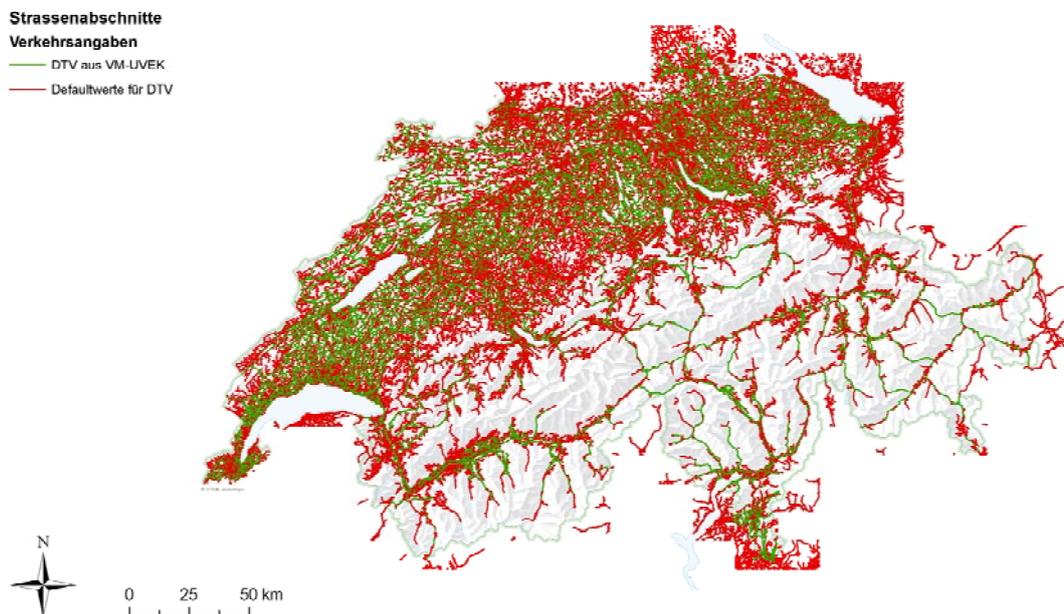
Im gesamtschweizerischen Verkehrsmodell (VM-UVEK) fehlen gewisse Strassenabschnitte und damit auch die entsprechenden Verkehrsangaben (Abb. 11).

Beschreibung

Für die fehlenden Strassenabschnitte wurden Default-Werte gesetzt (Tab. 3).

Lösung

Abb. 11 > Verwendete Strassen nach Datenherkunft (VM-UVEK oder Default-Werte)



© 2008 Bundesamt für Umwelt BAFU, ARE, swisstopo

Tab. 3 > Default-Werte durchschnittlicher täglicher Verkehr für fehlende Strassenabschnitte

Strasstyp	Default-Wert DTV (Fz/24h)	Strassenlänge mit Default-Wert (Km)		Strassenlänge Total (Km)
Autobahn	21 000	467	17,1 %	2 724
Autobahn richtungsgetreunt	20 000	164	38,2 %	429
Autobahn Zufahrt	5 500	41	82,0 %	50
Autostrasse	6 500	79	19,2 %	412
Autobahn Ein-/Ausfahrt	5 900	513	86,1 %	596
1.Klass-Strasse	3 400	1 300	14,3 %	9 081
2.Klass-Strasse	1 200	8 437	46,5 %	18 127
3.Klass-Strasse	450	27 191	97,0 %	28 025
Quartier-Klass-Strasse Kernstädte (Typ 1)	1 300	2 975	93,8 %	3 170
Quartier-Klass-Strasse Regionen Typ 2, 3, 4	600	13 890	100 %	13 890
Total		55 057	72,0 %	76 504

Fehlende zeitliche Aufteilung der Verkehrsdaten

Bei allen verwendeten Verkehrsdaten (aus VM-UVEK oder Default-Werte) fehlen Angaben zur Verteilung auf die Tag- und Nachtperiode sowie über den Anteil der lärmintensiven Fahrzeuge.

Beschreibung

Hier müssen ebenfalls Standardwerte zu Hilfe genommen werden. Dabei wird auf die Grundlagen der Lärmschutz-Verordnung (Anhang 3, Abschnitt 33) abgestellt. Die folgenden Verteilungen und Anteile kommen dabei zur Anwendung:

Lösung

- > $N_t = 0,058 * DTV$ $N_n = 0,009 * DTV$
- > $N_{t1} = 0,9 * N_t$ $N_{n1} = 0,95 * N_n$
- > $N_{t2} = 0,1 * N_t$ $N_{n2} = 0,05 * N_n$

Dabei bedeuten: N_t , N_n stündlicher Verkehr tags bzw. nachts.

- > N_{t1} , N_{n1} Teilverkehrsmenge 1:
Personenwagen, Lieferwagen, Kleinbusse, Motorfahräder und Trolleybusse
- > N_{t2} , N_{n2} Teilverkehrsmenge 2:
Lastwagen, Sattelschlepper, Gesellschaftswagen, Motorräder, Traktoren

Fehlende Geschwindigkeitsangaben

Im gesamtschweizerischen Strassenverkehrsmodell (VM-UVEK) fehlen auf zahlreichen Strassenabschnitten konkrete Geschwindigkeitsangaben.

Beschreibung

Für die fehlenden Strassenabschnitte wurden folgende Default-Werte gesetzt:

Lösung

- > 120 km/h: Autobahn, Autobahn richtungsgetreunt
- > 100 km/h: Autostrasse
- > 80 km/h: Autobahn Zufahrt, 1.-Klass-Strasse ausserorts,
2.-Klass-Strasse ausserorts
- > 60 km/h: 3.-Klass-Strasse ausserorts
- > 50 km/h: 1.-Klass-Strasse innerorts, 2.-Klass-Strasse innerorts,
3.-Klass-Strasse innerorts, Quartier-Klass-Strasse

Höhe der Lärmschutzwände

Von den Lärmschutzwänden und -wällen entlang der Nationalstrassen ist nur die Lage, nicht aber deren Höhe bekannt. Lärmschutzmassnahmen an den Hauptstrassen und an den übrigen Strassen sind (noch) nicht flächendeckend digital vorhanden und konnten damit nicht berücksichtigt werden.

Beschreibung

Lärmschutzwälle liegen mehrheitlich im ländlichen Raum. Deren Höhe wurde generell mit 2,5 m angenommen.

Lösung

Lärmschutzwände liegen mehrheitlich im städtischen Gebiet. Deren Höhe wurde generell mit 6,0 m angenommen.

Absorption an Lärmschutzwänden (Strasse und Eisenbahn)

Lärmschutzwände reflektieren den Schall bis zu einem bestimmten Grad. Diese Reflexion wurde in der vorliegenden Erstberechnung (zur Verkürzung der Rechenzeit) nicht berücksichtigt. Für künftige Berechnungen werden die Lärmschutzwände beidseitig mit einer Standard-Absorption versehen.

Beschreibung

Eingabe einer Standard-Absorption von $\alpha = 0,84$ resp. einem Reflexionsverlust von 8 dB.

Lösung

Modellierung von Brücken

Strassen und Eisenbahnen werden rechnerisch auf das Gelände abgelegt. Die Lärmquelle liegt dadurch normgemäss 0,80 m über dem Strassen-Terrain resp. 0,50 m über dem Schienen-Terrain. Dies gilt auch für den Brückenbereich. Die Lage der Brücken ist zwar bekannt, das Ablegen der Lärmquelle auf den Brückenkörper bedarf jedoch noch eines Zusatzaufwandes.

Beschreibung

Dieses Problem ist noch nicht gelöst. Die Lärmquellen im Brückenbereich liegen auf dem Niveau des Geländemodells. Es ist vorgesehen, SonBase für die Zukunft diesbezüglich zu erweitern.

Lösung

Bauzonen und ihre Empfindlichkeitsstufen

Die vom Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) zur Verfügung gestellten generalisierten Bauzonen stellen Nutzungszonen dar. Darin enthalten sind auch diverse Zonentypen, welche explizit keine Bauzonen sind (z. B. Grün- und Freihaltezone, Abbau- und Deponiezone, Reservezone). Explizit nicht enthalten sind die Landwirtschaftszonen.

Beschreibung

Was bei den (generalisierten) Bauzonen fehlt, sind die Zuordnungen der Empfindlichkeitsstufen (ES) und hier insbesondere der Bereich der Aufstufungen von der ES II in die ES III. Diese Aufstufungen erfolgen in der Regel entlang der Hauptverkehrsachsen (Strasse und Schiene). Durch das Fehlen dieser Aufstufungen werden die Grenzwertbetrachtungen und Zahlen für die ES II generell eher überschätzt und für die ES III eher unterschätzt. Sollten die Aufstufungen auch künftig nicht verfügbar sein, ist zu prüfen, ob nicht ein Bereich entlang der Hauptverkehrsachsen grundsätzlich aufzustufen ist. Ebenfalls enthält der Datensatz des ARE keine Industriezonen (diese sind grösstenteils unter Arbeitszonen enthalten), womit die Zuordnung zur ES IV praktisch verunmöglicht wird. Weiter kann den fehlenden Landwirtschaftszonen sowie anderen, nicht enthaltenen Flächen, keine ES zugeordnet werden. Damit sind für eine gewisse Anzahl Personen, Gebäude, Wohnungen, Arbeitsplätze und Flächen auch keine Aussagen zu Grenzwertüberschreitungen möglich.

Das Problem der fehlenden Aufstufungen ist noch nicht gelöst.

Lösung

Bei einer fehlenden Zuordnung der Empfindlichkeitsstufen wurden die ES gemäss den Anforderungen von Artikel 43 der Lärmschutz-Verordnung wie folgt festgelegt (Abb. 12):

- > ES I: Intensiverholungszone, Grün- und Freihaltezone
- > ES II: Wohnzone, Zone für öffentliche Bauten und Anlagen, Kernzonen, Ortsbildschutzzone, Tourismuszone, Spezialzone, Weilerzone, Zone für Sport- und Freizeitanlagen, Reservezone
- > ES III: Arbeitszone, Mischzone, Zentrumszone, Intensivlandwirtschaftszone, Zone für militärische Bauten und Anlagen, Abbau- und Deponiezone, Verkehrszone
- > ES IV: Industriezone

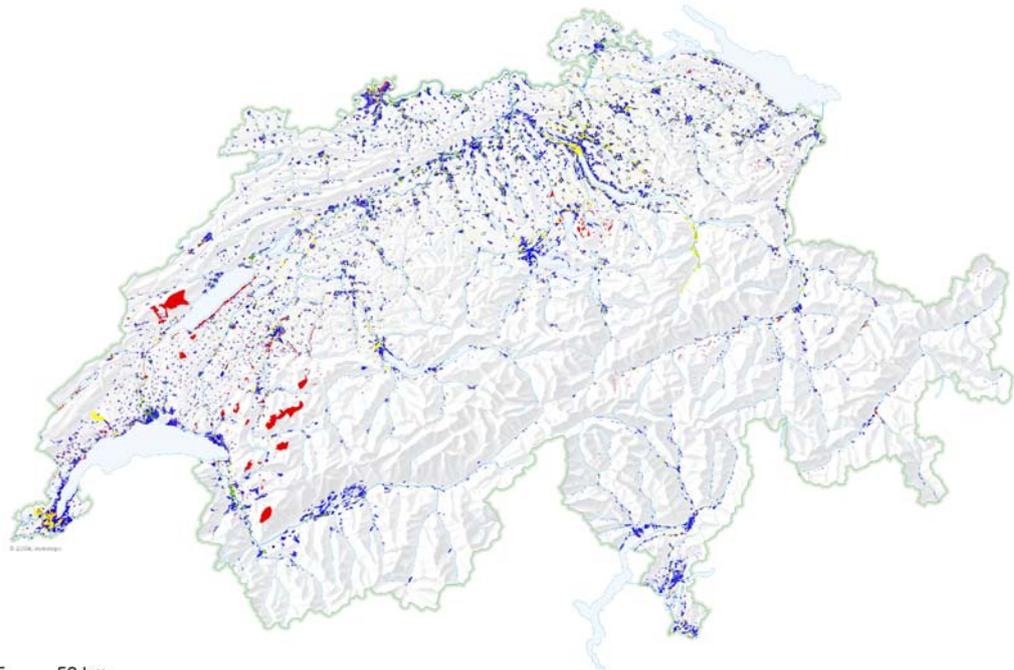
Die realen Nutzungspläne der Gemeinden enthalten in der Regel keine oder höchstens kleine Flächen, welche der ES I zugeordnet sind. Daher werden bei den Auswertungen in SonBase die Aussagen über Grenzwertüberschreitungen in der ES I auch zu deutlich höheren Zahlen führen.

Hinweis

Abb. 12 > Bauzonen in der Schweiz, aufgeteilt nach Empfindlichkeitsstufen

Bauzonen
Empfindlichkeitsstufe

- ES 1
- ES 2
- ES 3
- ES 4



BFS-Gebäude-Koordinaten ausserhalb der Vektor25-Gebäude

14,5 % der BFS-Gebäude-Koordinaten liegen ausserhalb von Gebäudeumrissen der Vektor25-Daten. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass bei der BFS-Erhebung zum Teil die Koordinaten des Eingangs zum Gebäude bestimmt wurden und diese nun aufgrund der Lageungenauigkeit ausserhalb des Vektor25-Gebäudes zu liegen kommen. Andererseits führt der unterschiedliche Nachführungszustand der Landeskarte 1:25 000 im Vergleich zum Erhebungszeitpunkt der Statistikdaten (Jahr 2000) zu Differenzen, weil neuere Gebäude fehlen.

Beschreibung

BFS-Gebäude-Koordinaten, welche näher als 8 Meter (Lagegenauigkeit Vektor25) vom nächstgelegenen Vektor25-Gebäude entfernt sind (ca. 12,5 %), werden diesem Gebäude zugeordnet. Um die verbleibenden BFS-Gebäude-Koordinaten (2 %) wurde ein «virtuelles» Gebäude erstellt (reguläres Achteck, mit Radius 0,2 m).

Lösung

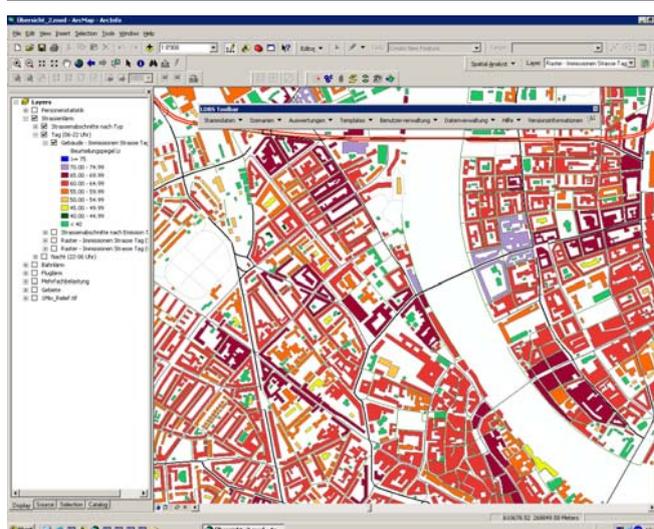
3 > Lärmberechnung und Auswertung

Die flächendeckenden Berechnungen des Strassen- und Eisenbahnlärms mit Hilfe von SonBase erfolgen in mehreren Schritten. Für die Auswertungen der Lärmbelastung in der Schweiz werden zudem weitere Geodaten herangezogen. Die Resultate können kartographisch oder tabellarisch dargestellt werden. Zur besseren Handhabung wurden in SonBase die wichtigsten Abfragen vorprogrammiert.

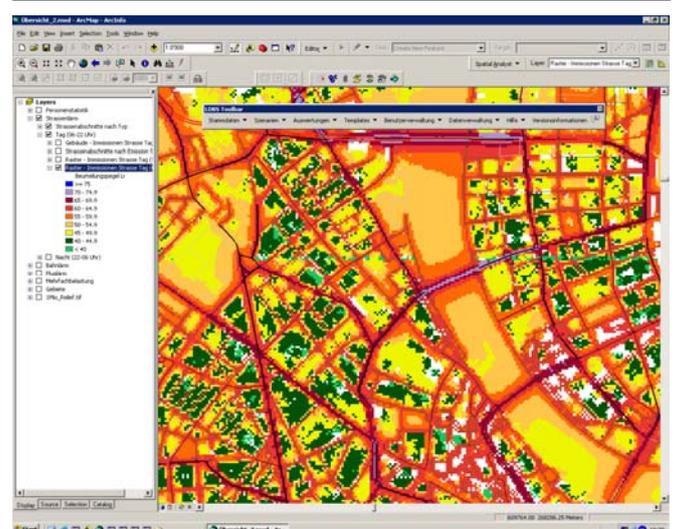
3.1 Die Berechnung des Lärms

Die Lärmermittlung beim Strassen- und beim Eisenbahnverkehr erfolgt innerhalb von SonBase mit der Berechnungssoftware CadnaA. Dabei werden in einem ersten Schritt im GIS aus den verfügbaren Grundlagendaten (z. B. Geobasisdaten, Statistikdaten, Verkehrsdaten) die Emissionen der Quellen berechnet. Für den Eisenbahnverkehr werden die Emissionen aus dem Emissionsplan 2015 übernommen. Anschliessend werden für beide Lärmarten unter Einbezug des digitalen Höhenmodells die jeweilige Ausbreitungsdämpfung und die resultierenden Lärmimmissionen ermittelt. Die Resultate werden als «Hausbeurteilungen» (maximaler Lärmwert pro Haus) und als Rasterdaten gespeichert (Abb. 13).

Abb. 13 > Ausschnitt einer Hausbeurteilung



Lärmraster



Für den Fluglärm wurden direkt die beim Bund vorhandenen Fluglärmimmissionen (als 5-dB(A)-Isolinien) in das System übernommen.

Möglich sind grundsätzlich zwei Arten von Berechnungen: «Automatische» oder «manuelle» Lärmberechnungen. Erstere laufen voll automatisiert anhand vordefinierter Berechnungseinstellungen (Gesamtschweiz, Kanton und Gemeinden, frei wählbares Rechengebiet) im Hintergrund über das Lärmberechnungsmodul ab. Sie dienen dazu, flächendeckend einheitliche Lärmdaten zu generieren. Die «manuellen» Berechnungen hingegen können vom Benutzer vollständig frei gewählt (individuelle Berechnungseinstellungen im Lärmmodul) und gestartet werden.

Automatische oder manuelle
Lärmberechnungen möglich

3.1.1 Ablauf einer «gesteuerten» Lärmberechnung

Die Lärmberechnungen laufen nach einem vorgegebenen Schema ab (Abb. 14). In einem ersten Schritt werden im GIS aus den Grundlagendaten (Geobasisdaten, Statistikdaten, Verkehrsdaten) die Emissionen der Quellen gerechnet.

Danach werden im Lärmmodul CadnaA unter Einbezug des digitalen Höhenmodells die Ausbreitungsdämpfungen berechnet und daraus die resultierenden Lärmimmissionen an den Empfangspunkten ermittelt. Dazu wird in einem ersten Schritt ein Rechenauftrag definiert und die notwendigen Daten sowie Steuerungs- und Prototypdateien in ein File-System exportiert. Der Daemon ruft dann CadnaA auf und startet und überwacht die Berechnungen. Die Dateien werden dazu importiert und die zu rechnenden (Lärm-)Kacheln – je nach Status – in zwei Verzeichnisse (IN/OUT) geschrieben. Die eigentliche Lärmberechnung besteht im Wesentlichen aus drei Teilen: Aufteilung des Gebietes in Kacheln, Berechnen der einzelnen Kacheln durch die einzelnen Clients und Zusammensetzen der Kacheln durch den Master (Abb. 15).

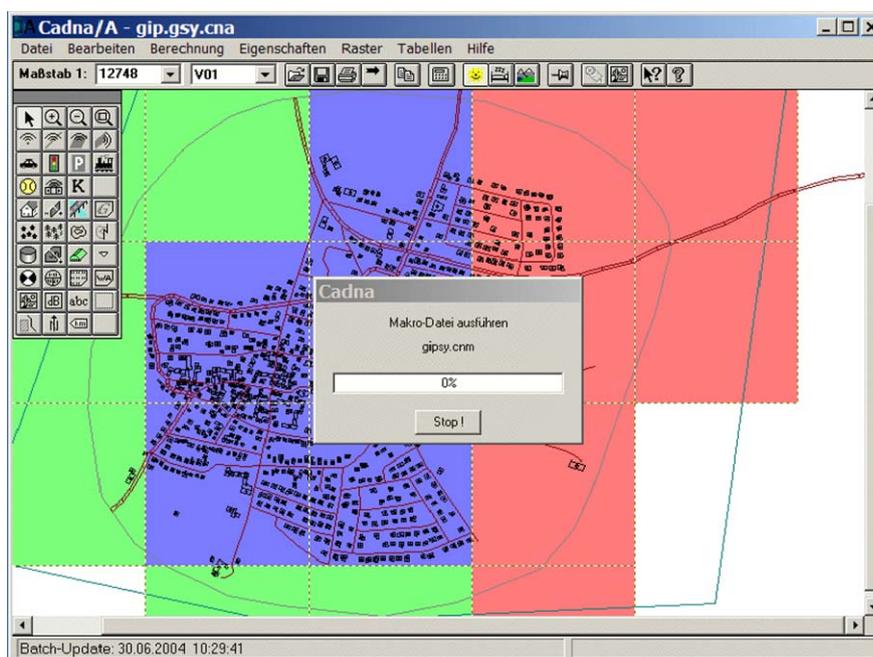
Nach Beendigung des Rechenauftrages werden die Resultate der einzelnen Kacheln in ein Verzeichnis («Auto Task» bzw. «Man Task») geschrieben und stehen für den Rückimport in die GIS-Datenbank zur Verfügung. Dort können aus den Rastern auch die Isophonen generiert werden.

Abb. 14 > Sequenzdiagramm der «gesteuerten» Lärmberechnungen



Quelle: e-geo.ch Nr. 18, Newsletter Oktober 2007

Abb. 15 > Berechnung und Überwachung der Lärmkacheln



3.1.2 Ermittlung des Strassenverkehrs- und Eisenbahnlärms

In SonBase wird die Lärmbelastung für jedes Gebäude der Schweiz (mit mindestens einer Wohnung oder einem Arbeitsplatz), an jeder Fassade und in jedem Geschoss berechnet. Zur Reduzierung der Datenmengen wird in der Datenbank SonBase aber nur noch der pro Gebäude lauteste Pegel tags und nachts getrennt für den Strassenverkehrs- und den Eisenbahnlärm gespeichert. Dies entspricht in der Regel dem vereinfachten Vorgehen zur Lärmermittlung bei früheren Arbeiten, bei denen grossflächig gearbeitet wurde.

Die Fenster in einem Gebäude sind nicht alle gleich stark mit Lärmimmissionen belastet. Die am stärksten beschallte Fassade liegt normalerweise parallel zur Strasse oder der Eisenbahn. Dafür erhalten die Fenster an den Seitenfassaden (rechtwinklig zur Lärmquelle) ungefähr 3 dB(A) weniger Lärm. Fenster an den rückwärtigen Fassaden sind um rund 10 bis 20 dB(A) weniger durch Lärm belastet. Während sich die Exposition der Wohnung respektive des Zimmers stark auf die Lärmbelastung auswirkt, ist der Einfluss der einzelnen Geschosse relativ gering. Im Nahbereich beträgt die Differenz zwischen Erdgeschoss und beispielsweise dem 5. Obergeschoss noch ungefähr 3 dB(A). Im Fernbereich bewegt sie sich gegen Null.

Da in der vereinfachten Gebäudedarstellung der Landeskarte 1 : 25 000 (= Grundlage für die Erstberechnung) zum Teil mehrere zusammenhängende Gebäude als ein Gebäude dargestellt werden, kann dies dazu führen, dass der berechnete lauteste Gebäudepegel stellvertretend für die ganze zusammenhängende Gruppe von Gebäuden steht. Dies entspricht einem anerkannten Maximal-Ansatz in der Lärmermittlung. Allerdings werden damit die Wirkungen von Lärmschutzwänden und -wällen im Nahbereich der Verkehrsträger tendenziell unterschätzt. Bei entsprechend grossem Datenspeicher können in Zukunft in SonBase auch mehrere berechnete Gebäudepegel gespeichert werden.

Die Lärmbelastungen werden in SonBase auch als Raster (Auflösung 10 x 10 m) flächendeckend über die ganze Schweiz berechnet. Dabei wird der Beurteilungspegel für jeden Rasterpunkt in einer Höhe von 4,0 m über Terrain – diese Höhe wird in der Umgebungslärmrichtlinie der EU definiert – unter Berücksichtigung der vorhandenen Hindernisse und Quellen berechnet. Damit sind Darstellungen der flächenhaften Lärmbelastung ebenso möglich wie Auswertungen über verschiedene Flächen (z. B. Bauzonen).

Die Abb. 16 und Abb. 17 zeigen für einen kleinen Ausschnitt die beiden Berechnungsarten mit den dazugehörigen Ergebnissen.

Abb. 16 > Strassenverkehrslärmbelastung – Hausbeurteilung

Lärmbelastung in der Schweiz - Strassenlärm (Tag)

Gebäude - Immissionen 06-22 Uhr (in dB)

Beurteilungspegel Lr

> 75

70 - 74.9

65 - 69.9

60 - 64.9

55 - 59.9

50 - 54.9

45 - 49.9

40 - 44.9

< 40

Keine Immissionen berechnet



© 2008 Bundesamt für Umwelt BAFU, Swisstopo, ARE

Abb. 17 > Strassenverkehrslärmbelastung – Raster

Lärmbelastung in der Schweiz - Strassenlärm (Tag)

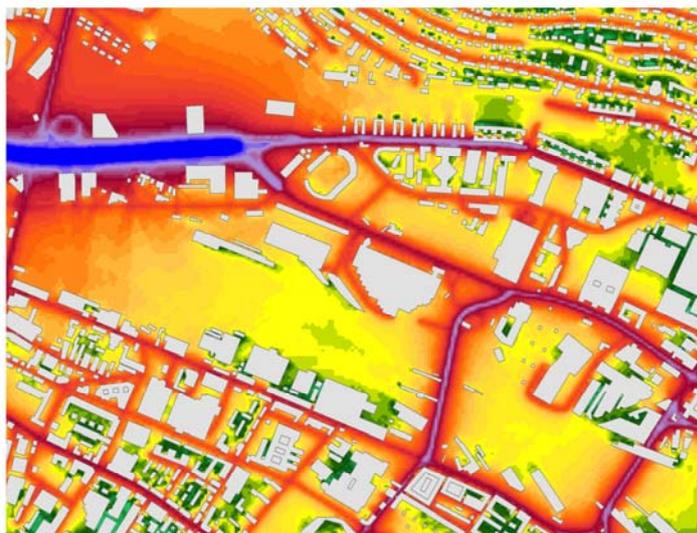
Immissionen 06-22 Uhr (in dB)

Beurteilungspegel Lr

≥ 75

≤ 40

Gebäude



© 2008 Bundesamt für Umwelt BAFU, Swisstopo, ARE

3.1.3 Verknüpfung der (Gebäude-)Pegel mit Statistikdaten

Damit statistische Auswertungen zur Lärmbelastung in Bezug auf belastete Personen, Gebäude und Flächen möglich sind, werden weitere Datensätze in SonBase verwendet. So liegen die Volkszählungsdaten des Bundesamtes für Statistik (BFS) georeferenziert (mit xy- Koordinaten der Gebäude in der Mitte oder Eingang des Gebäudes) vor. Diese Koordinaten werden im Lärmberechnungsprogramm dem Hausbeurteilungssymbol zugeordnet. Das wiederum löst die Lärmberechnung für das entsprechende Gebäude aus.

Einbezug von Daten
aus Volkszählung 2000

Damit wird eine eindeutige Verknüpfung der Lärmbelastungen mit den Statistikdaten (Personen, Wohnungen und Arbeitsplätze pro Gebäude) sichergestellt. Dies erlaubt Aussagen zur Anzahl belasteter Personen, Arbeitsplätze und Wohnungen in der Schweiz.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass auf Grund der unterschiedlichen Zeitpunkte und Genauigkeiten der Datenerhebung viele Statistikpunkte nicht eindeutig einem Gebäude zugeordnet werden konnten. Daher mussten Korrekturen eingeführt werden (Kap. 2.2)

3.1.4 Erste Lärmberechnungen

SonBase unterstützt die Bestimmungen der schweizerischen Lärmschutz-Verordnung LSV wie auch der EU-Umgebungslärm-Richtlinie 2002/49/EG (strategische Lärmkarten) aufgeteilt nach Tag und Nacht (Abb. 18).

Lärmbeurteilung nach LSV und
EU-Umgebungslärmrichtlinie

Abb. 18 > Anforderungen an die Lärmberechnungen, Gesamtschweiz (2006)

- **Pegelbereich** - ab 45 dB(A) Tag, bzw. 35 dB(A) Nacht
- **Auflösung** - in 1 dB - Schritten
- **Belastungs- und Störungsmasse Tag/Nacht (CH, EU):**
 - $L_{r(\text{Tag})}$, $L_{r(\text{Nacht})}$, L_{max} nach LSV
 - L_d , L_e , L_n , L_{den} (EU)
 - L_{eq}
- **Gesamtlärm Strasse, Schiene, Flugverkehr (Addition ist zu definieren)**
- **Berücksichtigte Berechnungsmodelle:**
 - Strassenverkehrslärm: StL86+ (StL02), NMBP-Routes-96, RSL-90
 - Eisenbahnlärm: SEMIBEL (zwingend), niederländische Berechnungsmethode 1996
 - Flugverkehr: FLULA 2 (nur Lärmkurven)

Die initiale Ausbreitungsrechnung über die Schweiz (41 000 km²) fand im Lärmberechnungsmodul statt und würde an einem einzigen Rechner ca. 300 Computertage dauern. Diese äusserst rechenintensiven Leistungen erfolgten deshalb auf einem Rechen-Cluster mit einem zentralen Server und einem Rechenpool von 15 PC-Rechnern (Abb. 4). Als Resultat wurden die Lärmbelastungen als Rasterkarten und als Hausbeurteilungen gerechnet (Abb. 19). Insgesamt konnte damit die reine Berechnungsdauer – ohne zusätzliche Arbeiten zu Export, Import und Korrekturen – auf rund drei Wochen reduziert werden: Rund 10 (Bahnlärm) bzw. 14 Tage (Strassenverkehrslärm) auf einem System mit durchschnittlich 14 Rechnern.

Rechenzeiten wurden durch den PC-Cluster erheblich reduziert

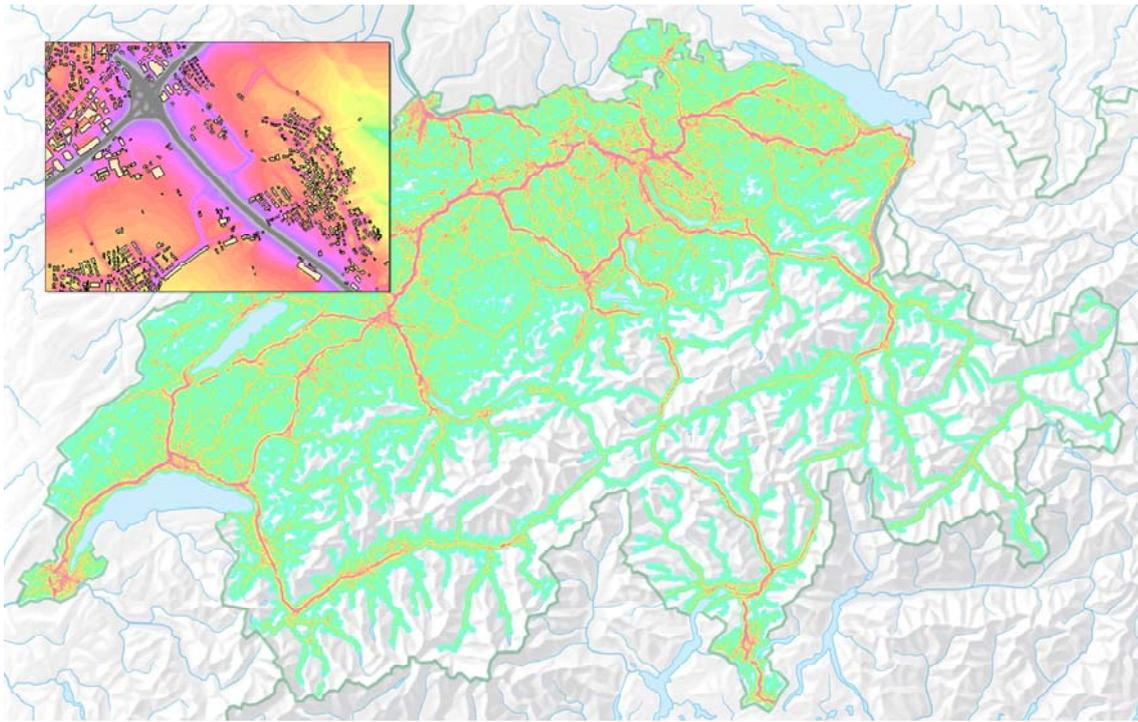
Folgende Parameter haben dabei Einfluss auf die Berechnungsgenauigkeit und die Rechenzeit (z. B. max. Fehler, Suchradius, Projektion von Linienquellen, max. Reflexionszuordnung):

- > Geländemodell
- > Lagegenauigkeit Quellen – Gebäude (für Hausbeurteilungen)
- > Lagegenauigkeit Quellen – Lärmschutzmassnahmen
- > Gebäudehöhen (Abschirmung und Reflexionen)
- > Genauigkeit der Verkehrsdaten

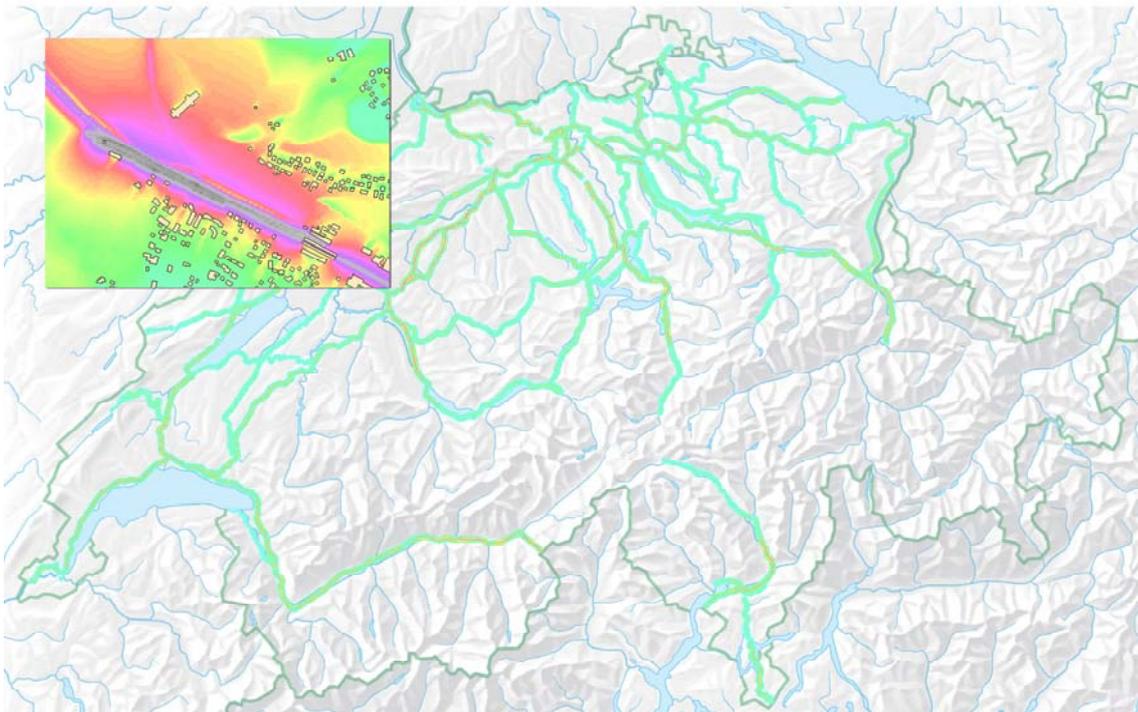
Die Rechenzeiten sind enorm und abhängig von der Gebietsgrösse und von der gewünschten Genauigkeitsstufe. Zentraler Punkt ist die Wahl einer vertretbaren Basisgenauigkeit für aussagekräftige Resultate und die Frage, wie jene Faktoren verbessert werden können, um diese Genauigkeit zu maximieren. Für die Rasterberechnungen wurde mit einer eher «ungenauen» Basisgenauigkeit gearbeitet. Zudem weisen die zur Verfügung stehenden Grundlagendaten relative Ungenauigkeiten auf. Es scheint damit vertretbar, die Berechnungen in einer geringen Genauigkeit durchzuführen. Für die Berechnung der Hausbeurteilungen wurde und wird zukünftig aber eine höhere Genauigkeit angestrebt.

Abb. 19 > Rasterkarte der Lärmbelastung am Tag

Strassenlärm



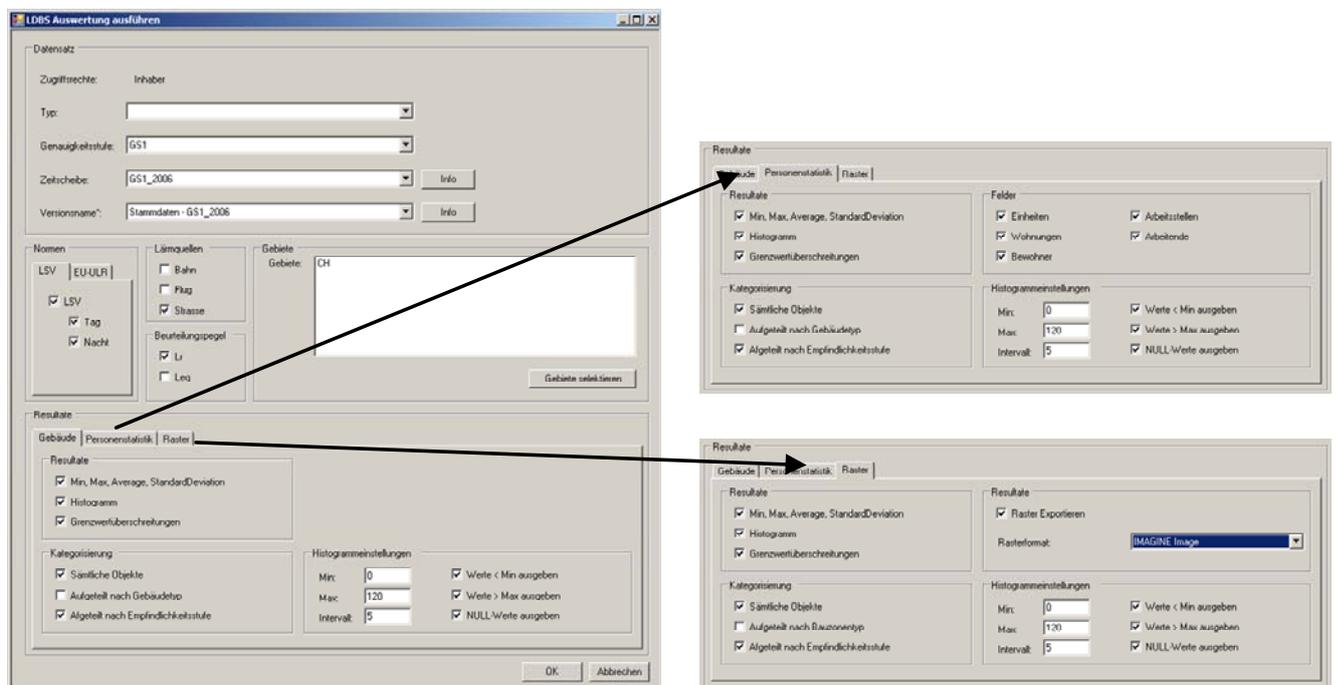
Eisenbahnlärm



3.2 Auswertungen der Lärmberechnung

Die mit SonBase berechneten und gespeicherten Lärmdaten (Raster in 10 x 10 Meter-Auflösung, Hausbeurteilungen) können auf vielfältige Weise ausgewertet werden. Dafür stehen grundsätzlich alle gängigen ESRI-Auswertungstools zur Verfügung. Zur vereinfachten Handhabung wurden die wichtigsten Abfragen (Anzahl belastete Personen, Gebäude, Flächen) vorprogrammiert, so dass statistische Resultate für frei wählbare Gebiete wie Agglomerationen oder eine Gemeinde automatisch generiert werden können (Abb. 20).

Abb. 20 > Maske für die statistischen Auswertungen



Abfragen zur Lärmbelastung sind anhand folgender Kennwerte möglich:

- nach Personen
- nach Gebäuden
- nach Wohnungen
- nach Arbeitsplätzen
- nach Arbeitsstellen
- nach lärmbelasteten Flächen

getrennt nach den Lärmarten:

- > Strassenverkehrslärm
- > Eisenbahnlärm und
- > Fluglärm

und aufgetrennt für folgende räumliche Ebenen:

- > Für die ganze Schweiz
- > Für einen oder mehrere Kantone
- > Für eine oder mehrere Gemeinden
- > Für eine oder mehrere Regionen (Kernstadt einer Agglomeration [1], andere Agglomerationsgemeinde [2], isolierte Stadt [3] und ländliche Gemeinde [4])
- > Für einzelne oder mehrere Bauzonen
- > Für einzelne oder mehrere Empfindlichkeitsstufen
- > Für beliebig zu definierende Gebiete

Es werden ausschliesslich Gebäude berechnet, in welchen sich entweder Wohnungen oder Arbeitsplätze befinden (gemäss Datensatz BFS). Somit beziehen sich Aussagen zu Gebäuden immer auf die Summe dieser Gebäude (Abb. 21).

Abb. 21 > Hausbeurteilungen beim Strassenverkehrslärm

Lärmbelastung in der Schweiz - Strassenlärm (Tag)

Gebäude - Immissionen Strasse Tag (in dB)

Beurteilungspegel Lr

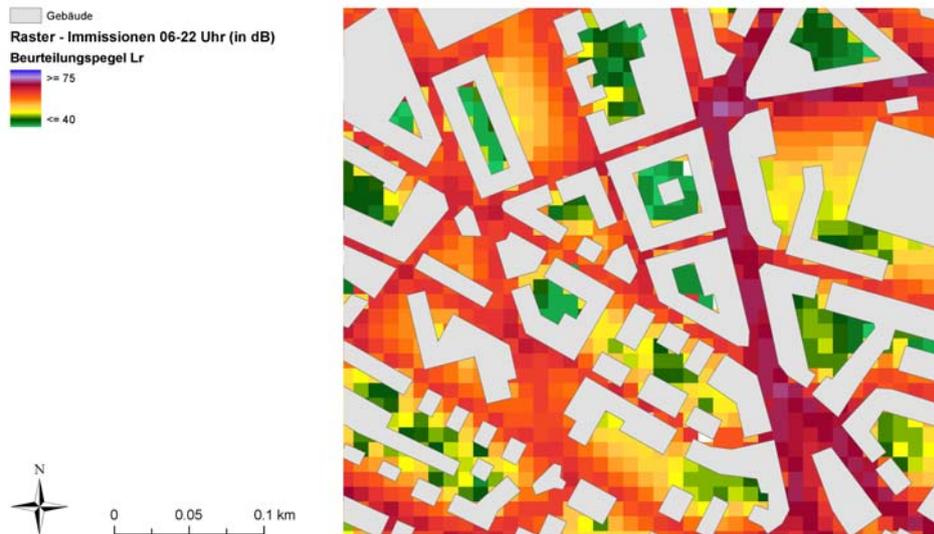


0 0.05 0.1 km



Abb. 22 > Lärmraster – Strassenlärmimmissionen als flächenhafte Raster

Lärmbelastung in der Schweiz - Strassenlärm (Tag)



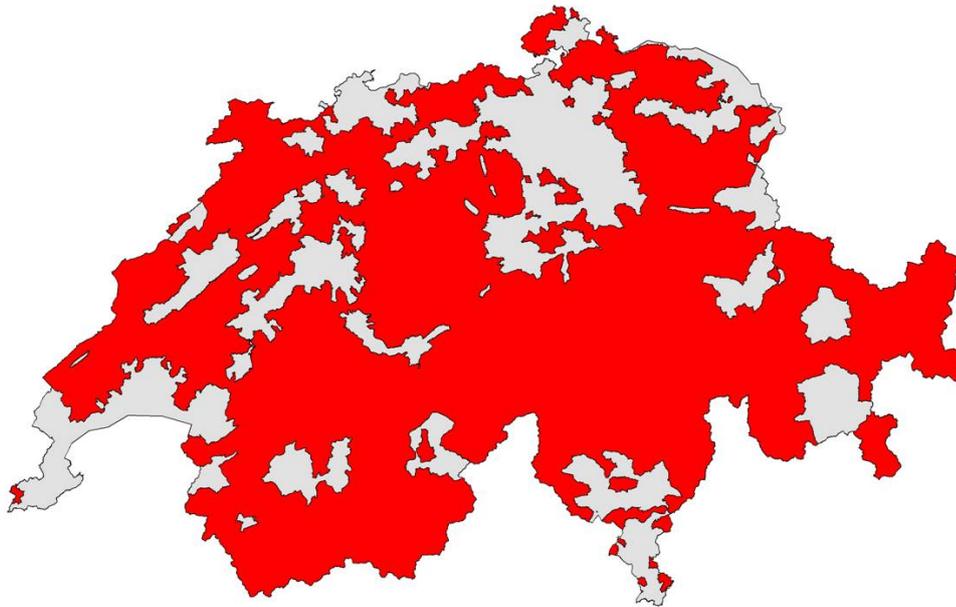
© 2008 Bundesamt für Umwelt BAFU, Swisstopo, ARE

Gestützt auf die «Raumgliederung Schweiz» des BFS werden in SonBase statistische Analysen auch über verschiedene Teilgebiete der Schweiz gemacht. Für die Lärmbelastung in «städtischen» und «ländlichen» Gebieten wurden existierende Raumkategorien des BFS zusammengefasst (Abb. 23):

- > Gesamtschweiz (Kategorien isolierte Städte, Kernstädte und Gemeinden der Agglomerationen, ländliche Gemeinden)
- > Agglomeration (Ebene «Gesamtschweiz» ohne ländliche Gemeinden)
- > Ländliche Gemeinden (nur ländliche Gemeinden)

Abb. 23 > Einteilung der Schweiz in Agglomerationen und ländliche Gemeinden

Graue Flächen: Isolierte Städte, Kernstädte und Gemeinden der Agglomerationen
Rote Flächen: Ländliche Gemeinden



Die Lärmbelastung wird anhand folgender Schwellen- oder Grenzwerten ermittelt:

- > Gerechnete Lärmbelastung in 5 dB-Klassen (Lärmermittlung) für Tag und Nacht.
- > Lärmbelastung aufgrund der gesetzlichen Belastungsgrenzwerte LSV.
- > Lärmbelastung basierend auf Richtlinien und Empfehlungen der WHO von 55 dB(A) (Tag) und 45 dB(A) (Nacht).

Ein wichtiger Bestandteil von SonBase ist die Ermittlung des Trends von Lärmbelastungen, welche durch Veränderung der Eingangsdaten (z. B. Verkehrsmenge, Lärmschutzwände, neue Gebäude) möglich ist. Die Resultate solcher Szenarien oder Prognosen können in der Datenbank separat abgespeichert werden. Als Differenzrechnung können die akustischen Veränderungen und lärmtechnischen Auswirkungen im Raum sichtbar gemacht werden.

Im BAFU-Bericht «Lärmbelastung in der Schweiz. Ergebnisse des nationalen Lärmmonitorings SonBase» (BAFU 2009) sind die wichtigsten Resultate aus der ersten Lärmberechnung und den statistischen Analysen zur Lärmbelastung in der Schweiz aufgeschlüsselt nach Lärmart und nach Gebieten (Schweiz, Agglomerationen und Städte, ländliche Räume) dargestellt.

4 > Validierung der Resultate

Die Berechnung der Lärmsituation der Schweiz mit SonBase ist mit gewissen Unsicherheiten behaftet. Die Genauigkeit der Resultate wurde mit verschiedenen Methoden analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Genauigkeitsstufe 1 für grossflächige Auswertungen genügt, um statistisch korrekte Daten zu erhalten.

4.1 Analytische Validierung beim Strassenverkehrslärm

Die Ermittlung der Lärmbelastung durch den Strassenverkehr stützt sich auf vordefinierte Berechnungsgrundlagen sowie auf das gewählte Emissions- und Immissionsmodell (hier STL86+). Beide sind aber mit Unsicherheiten behaftet. Die zur Berechnung der Standardunsicherheit berücksichtigten Daten sind aus den Tab. 4 und Tab. 5 ersichtlich. Bei der Festlegung der Standardabweichungen der einzelnen Parameter wurden alle möglichen Einflüsse (z. B. mögliche Höhendifferenzen bei Gebäudehöhen, Inhomogenität Stadt-Land, maximale Lagegenauigkeit) mit berücksichtigt.

Unsicherheiten
der Lärmberechnungen
werden analysiert

Bei der Bestimmung der vorhandenen Unsicherheiten wurde nach der sogenannten GUM-Methode vorgegangen. Der GUM wurde 1993 veröffentlicht und legt die international anerkannten Grundlagen für eine weltweit einheitliche Ermittlung und Angabe der Messunsicherheit dar. Die tragenden Aspekte in der Unsicherheitsermittlung nach GUM sind die Berücksichtigung aller Kenntnisse über die wirkenden Einflussgrössen, die Modellierung des Prozesses zum Aufstellen des mathematischen Modells sowie die wahrscheinlichkeitstheoretische Betrachtung und Einschätzung aller Eingangsgrössen mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilungen.

Auf Grund der Unsicherheiten sollten Daten aus SonBase GS1 nur für grossflächige statistische Aussagen verwendet werden. Die Fehler bei kleineren Gebieten können zum Teil wesentlich grösser sein als hier angegeben. Rund 66 % der berechneten Werte weisen eine Abweichung von weniger als 2,6 dB(A) (Tag) bzw. 3,1 dB(A) (Nacht) auf (Tab. 6).

Tab. 4 > Unsicherheiten bei der Berechnung der Emission beim Strassenverkehrslärm

Grösse x_i	Empfindl.-Koeffizient	Resultierende Unsicherheit: tags		Resultierende Unsicherheit: nachts	
		$ c_i \cdot u(x_i)$ [dB]	[%]	$ c_i \cdot u(x_i)$ [dB]	[%]
Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) [Fz/h]	1,0	1,4	40,0	2,0	45,2
Geschwindigkeit [km/h]	1,0	0,4	10,4	0,8	16,9
LKW-Anteil [%]	1,0	0,5	14,8	0,5	11,3
Steigung [%]	1,0	0,4	11,1	0,4	8,5
Emission STL86+ [dB]	1,0	0,8	23,7	0,8	18,1
Standardunsicherheit u		1,7	100,0	2,4	
DTV	Genauigkeit Fz/h; Annahme: Ntags = 0,058 * DTV, Nnachts = 0,009 * DTV				
Geschwindigkeit	Verhältnis V-Annahme zu V-Effektiv				
LKW-Anteil	Verhältnis LW zu Fz tags; Annahme Ntags2 = 0,10 * Nt, Nnachts2 = 0,05 * Nn				
Steigung	Genauigkeit Steigung in %				
Emission STL86+ $u(x_i)$	Genauigkeit der Emissionsformel im Modell STL86+ Standardunsicherheit				

Tab. 5 > Unsicherheiten bei der Berechnung der Immission beim Strassenverkehrslärm

Grösse x_i	Empfindl.-Koeffizient	Resultierende Unsicherheit	
		$ c_i \cdot u(x_i)$ [dB]	[%]
Höhe LSW [m]	0,2	0,6	20,7
Lage Vektor25 [m]	1,0	0,2	8,5
Höhe Gebäude [m]	1,0	0,3	8,6
Ausbreitung STL86+ [dB]	1,0	1,8	62,2
Standardunsicherheit u		1,9	100,0
Höhe LSW	Genauigkeit der Höhe der Lärmschutzwände entlang Autobahnen		
Lage Vektor25	Lage-Genauigkeit von Strassen, Gebäude und Höhenlinien aus Vektor25		
Höhe Gebäude	Genauigkeit der Höhe der Gebäude (Default-Wert = 9,0 m)		
Ausbreitung STL86+ $u(x_i)$	Genauigkeit der Ausbreitungsformel im Modell STL86+ Standardunsicherheit		

Tab. 6 > Resultat der Standardunsicherheit beim Strassenverkehrslärm

	Tag [dB]	Nacht [dB]
Unsicherheit Emissionsmodell	1,7	2,4
Unsicherheit Immissionsmodell	1,9	1,9
Standardunsicherheit u	2,6	3,1

4.2 Analytische Validierung beim Eisenbahnlärm

Die Ermittlung der Lärmbelastung durch den Bahnverkehr stützt sich ebenfalls auf die Berechnungsgrundlagen sowie auf ein spezifisches Emissions- und ein Immissionsmodell (hier SEMIBEL). Die Bestimmung des (Schiene-)Verkehrs (inkl. Berücksichtigung der Fahrbahnkorrekturen) sowie die Berechnung der daraus resultierenden Emissionen erfolgten nicht innerhalb von SonBase. Diese Daten wurden direkt aus dem Emissionsplan 2015 des Bundesamtes für Verkehr (BAV) entnommen, welche sich auf die «Verordnung über die Lärmsanierung der Eisenbahnen» VLE stützt.

Auch bei der Berechnung des Eisenbahnlärms gibt es gewisse Unsicherheiten (Tab. 7 und Tab. 8). Die Resultate aus SonBase sollen daher nur für grossflächige Aussagen verwendet werden. 66% der berechneten Lärmwerte weisen eine Abweichung von weniger als 2,0 dB(A) (Tag und Nacht) auf (Tab. 9).

Validierung der
Bahnlärmbelastung

Tab. 7 > Unsicherheiten bei der Berechnung der Emission beim Eisenbahnlärm

	Empfindl.- Koeffizient	resultierende Unsicherheit	
Grösse x_i	c_i	$ c_i \cdot u(x_i) $ [dB]	[%]
Emission SEMIBEL [dB]	1,0	0,8	100
Standardunsicherheit u		0,8	100,0

Tab. 8 > Unsicherheiten bei der Berechnung der Immission beim Eisenbahnlärm

	Empfindl.- Koeffizient	resultierende Unsicherheit	
Grösse x_i	c_i	$ c_i \cdot u(x_i) $ [dB]	[%]
Höhe LSW [m]	0,2	0,1	4,2
Lage V Vektor25 [m]	1,0	0,2	10,2
Höhe Gebäude [m]	1,0	0,3	10,4
Ausbreitung CadnaA [dB]	1,0	1,8	75,2
Standardunsicherheit u		1,8	100,0
Höhe LSW	Genauigkeit der Höhe der Lärmschutzwände entlang Eisenbahnen		
Lage Vektor25	Lage-Genauigkeit von Bahnen, Gebäuden und Höhenlinien aus Vektor25		
Höhe Gebäude	Genauigkeit der Höhe der Gebäude (Default-Wert = 9,0 m)		
Ausbreitung CadnaA	Genauigkeit der Ausbreitungsformel im Modell CadnaA		
$u(x_i)$	Standardunsicherheit		

Tab. 9 > Resultat der Standardunsicherheit beim Eisenbahnlärm

	Tag [dB]	Nacht [dB]
Unsicherheit Emissionsmodell	0,8	0,8
Unsicherheit Immissionsmodell	1,8	1,8
Standardunsicherheit u	2,0	2,0

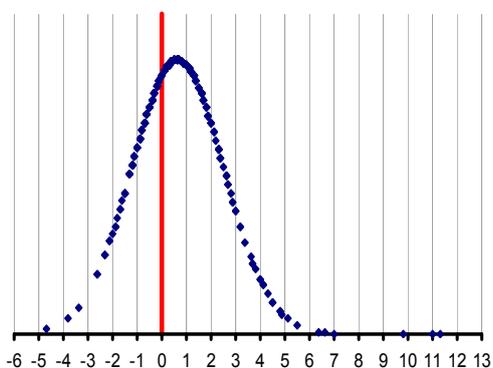
4.3 Praktische Validierung beim Strassenverkehrslärm

In drei Gebieten wurden Vergleichsberechnungen durchgeführt (Abb. 25). Dabei wurden jeweils die Hausbeurteilungen aufgrund der Basisberechnung Gesamtschweiz (GS1) jenen mit genaueren Datensätzen (GS2) gegenüber gestellt (Tab. 10). In mehreren Teilschritten wurden anschliessend die Berechnungsmodelle verfeinert und die Zwischenresultate mit den Basiswerten verglichen.

Die Zahlenwerte in den Tab. 11 und Tab. 12 zeigen die Differenzen der genaueren Grundlagedaten GS2 gemäss den in der ersten Tabellenspalte beschriebenen Modelldaten und Modelleinstellungen zu den Basiswerten GS1. Angegeben sind jeweils die mittlere Differenz und die entsprechende Standardabweichung. Positive Zahlenwerte bedeuten, dass die genauere Berechnung im Mittel höhere dB-Werte ergibt als das Basismodell von SonBase (Abb. Abb. 24).

Abb. 24 > Beispiel

Mittlere Differenz	-0,6 dB(A)
Standardabweichung	±1,9 dB(A)

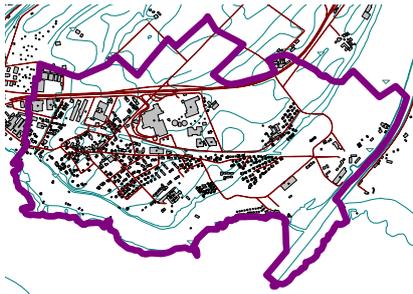


Die vertikale rote Linie stellt den genaueren Wert dar, die blauen Punkte zeigen die Abweichung der Berechnung GS1. Die genaueren Werte liegen im gezeigten Beispiel durchschnittlich 0,6 dB(A) unter den Werten der Basisberechnung GS1, die Standardabweichung von $\pm 1,9$ dB(A) umfasst – unter der Voraussetzung einer Normalverteilung – 68 % aller Werte.

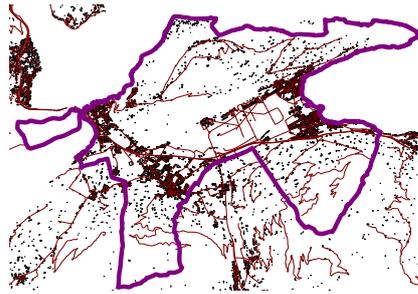
Tab. 11 zeigt die Resultate unter Berücksichtigung aller Gebäude im gewählten Perimeter. Bei der Tab. 12 wurden nur jene Gebäude berücksichtigt, welche eine Belastung > 55 dB(A) tags bzw. > 45 dB(A) nachts aufweisen, was dem Planungswert der Empfindlichkeitsstufe ES II entspricht.

Abb. 25 > Untersuchte Gebiete für die Validierung beim Strassenverkehr

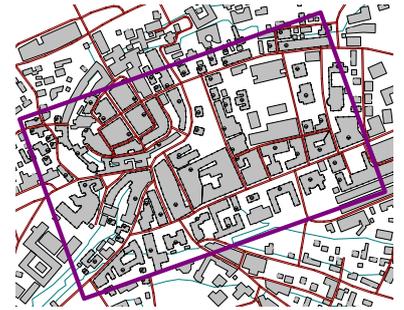
*Gemeinde Marin-Epagnier
(Kanton Neuenburg), Fläche ca. 3,3 km²*



*Gemeinden Stansstad, Stans, Buochs
und Ennetbürgen (Kanton Nidwalden),
Fläche ca. 39 km²*



*Teilgebiet der Stadt Aarau (Kanton Aargau),
Fläche ca. 0,3 km²*

**Tab. 10 > Modellgrundlagen**

	Basis-Berechnung GS1	Verfeinerte Berechnung GS2
Gebäude	Vektor 25	AV-Daten (Amtliche Vermessungsdaten)
Höhenlinien	Vektor 25/DHM 25 Äquidistanz 10 bzw. 5 m	Äquidistanz 1 bzw. 0,5 m
Strassen (Lage)	Vektor 25	AV-Daten
Strassen (Verkehr)	VM-UVEK resp. Default-Werte	Zählwerte
Berechnungskonfiguration	Max. Fehler 1,0 dB(A) Max. Suchradius 1000 m Keine Projektion von Linienquellen	Max. Fehler 0,2 dB(A) Max. Suchradius 2000 m Projektion von Linienquellen

Tab. 11 > Vergleich der mittleren Differenz und Standardabweichung der Lärmbelastung pro Gebäude bei verbesserten Modellgrundlagen

	Marin-Epagnier		Nidwalden		Aarau	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Grundmodell GS1, Gebäude GS2	-0,6 ± 1,9	-0,7 ± 1,8	-1,4 ± 2,9	-1,6 ± 3,0	-2,8 ± 4,6	-3,1 ± 4,9
Grundmodell GS1, Höhenlinien GS2			-0,1 ± 0,9	-0,1 ± 0,9	0,1 ± 1,3	0,1 ± 1,3
Grundmodell GS1, Strassen (Lage und Verkehr) GS2, Gesamtbetrachtung aller Strassen, auch solcher, für welche keine genaueren Daten in der GS2 vorhanden sind	-0,9 ± 3,4	-0,3 ± 2,2	0,5 ± 1,5	1,5 ± 1,8	0,4 ± 2,4	0,6 ± 3,2
Grundmodell GS1, Strassen (Lage und Verkehr) GS2, Teilbetrachtung: Strassen ohne genauere GS2-Daten wurden deaktiviert	-1,0 ± 3,5	-0,3 ± 2,2	0,9 ± 2,1	2,2 ± 2,2	0,8 ± 3,7	1,2 ± 4,6
Grundmodell GS1, Berechnungskonfiguration GS2	0,5 ± 0,6	0,5 ± 0,7	0,4 ± 1,0	0,5 ± 1,2	0,2 ± 0,3	0,2 ± 0,3
Alle Daten und Einstellungen gemäss GS2	-1,1 ± 3,8	-0,5 ± 2,9	-0,8 ± 3,4	0,0 ± 3,5	-2,1 ± 5,1	-2,0 ± 5,8

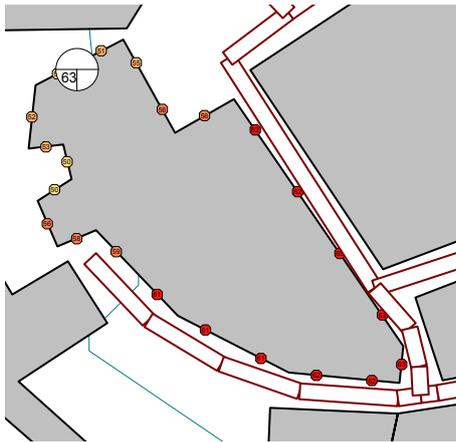
Tab. 12 > Vergleich der mittleren Differenz und Standardabweichung der Lärmbelastung pro Gebäude > 55/45 dB(A) bei verbesserten Modellgrundlagen

	Marin-Epagnier		Nidwalden		Aarau	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Grundmodell GS1, Gebäude GS2	-0,6 ± 2,2	-0,7 ± 2,2	-1,4 ± 3,2	-1,6 ± 3,6	-2,5 ± 4,2	-2,9 ± 4,9
Grundmodell GS1, Höhenlinien GS2			-0,1 ± 0,8	-0,2 ± 0,9	0,1 ± 1,4	0,1 ± 1,4
Grundmodell GS1, Strassen (Lage und Verkehr) GS2, Gesamtbetrachtung aller Strassen, auch solcher, für welche keine genaueren Daten in der GS2 vorhanden sind	0,7 ± 2,8	0,1 ± 2,2	0,7 ± 1,7	2,0 ± 1,9	0,3 ± 2,5	0,7 ± 3,1
Grundmodell GS1, Strassen (Lage und Verkehr) GS2, Teilbetrachtung: Strassen ohne genauere GS2-Daten wurden deaktiviert	0,8 ± 3,0	0,1 ± 2,3	0,9 ± 1,9	2,4 ± 2,0	0,7 ± 3,8	1,3 ± 4,7
Grundmodell GS1, Berechnungskonfiguration GS2	0,3 ± 0,4	0,3 ± 0,5	0,2 ± 0,4	0,3 ± 0,5	0,1 ± 0,2	0,1 ± 0,2
Alle Daten und Einstellungen gemäss GS2	0,4 ± 3,6	0,3 ± 3,6	-0,8 ± 3,8	0,0 ± 4,0	-2,2 ± 4,8	-2,0 ± 5,7

4.3.1 Interpretation der Resultate

Grundmodell GS1, Gebäude GS2

Bei der Berücksichtigung von Gebäudedaten aus der amtlichen Vermessung (AV) resultieren tendenziell tiefere Hausbeurteilungspegel als bei der Basisberechnung. Besonders auffällig ist dies im Testgebiet der Stadt Aarau. Der Grund liegt hauptsächlich darin, dass im Basismodell zusammenhängende Häuser als ein Gebäude modelliert und die höchsten Lärmbelastungen der gesamten Häusergruppen berechnet werden (Abb. 26).

Abb. 26 > Modellierung von Häusergruppen*Gebäude gemäss Vektor 25**Gebäude gemäss AV-Daten*

Die Modellverbesserung durch feinere Höhenlinien kann bei einzelnen Gebäuden zu deutlich höheren oder tieferen Pegeln führen. Im Mittel ergeben sich jedoch keine signifikanten Abweichungen zur Grundberechnung.

Grundmodell GS1,
Höhenlinien GS2

Die Berechnung mit der genauen Strassenlage und den verbesserten Verkehrszahlen führt bei den drei ausgewerteten Testgebieten tendenziell zu höheren Hausbeurteilungspegeln, vor allem im Nachtzeitraum. Werden ausschliesslich die Strassen berücksichtigt, für welche genauere Daten vorhanden sind (Deaktivierung der übrigen Strassen), wird diese Tendenz gar noch etwas verstärkt.

Grundmodell GS1,
Strasse (Lage und Verkehr) GS2

Im Grundmodell führt sowohl der zugelassene maximale Fehler von 1,0 dB(A) als auch der maximale Suchradius dazu, dass Schallquellen, deren Beitrag am Immissionspunkt vernachlässigbar ist oder die weiter als 1000 m entfernt sind, nicht berücksichtigt werden. Durch die Verfeinerung der Berechnungskonfiguration (max. Fehler 0,2 dB(A), max. Suchradius 2000 m) kann dieser systematische Fehler, der stets zu einer Unterschätzung der Lärmbelastung führt, verringert werden. Dies allerdings zu Lasten deutlich höherer Rechenzeiten.

Grundmodell GS1,
Berechnungskonfiguration GS2

Durch die Kombination aller vorgängig erwähnten Verbesserungsmöglichkeiten ergeben sich in den Testgebieten tendenziell etwas tiefere Lärmbelastungen. Die Resultate sind jedoch uneinheitlich und streuen im Einzelfall relativ stark. Deshalb ist eine Extrapolation auf die Berechnungsergebnisse der gesamten Schweiz nicht möglich.

Berechnungsmodell GS2
(Kombination aller
Verbesserungen)

4.4 Historische Validierung

Die aktuellste, von SonBase unabhängige schweizweite Lärmermittlung erfolgte im Rahmen der Studie «Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000» (ARE 2004). Innerhalb dieser Studie erfolgten einerseits eine Neuberechnung für die ganze Schweiz sowie Vergleiche mit früheren Untersuchungen. Nachfolgend sollen die Neuberechnungen sowie die Vergleichsuntersuchungen dem Resultat von SonBase gegenübergestellt werden.

Vergleiche mit früheren Untersuchungen zur Lärmbelastung in der Schweiz

4.4.1 Strassenverkehrslärm

Die mit SonBase berechnete Lärmbelastung wird mit folgenden zwei Studien verglichen:

ARE 2000

Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz

Die Strassenverkehrslärmexposition wurde über die Summe folgender Teilermittlungen berechnet:

- > Den **a priori bekannten Mengengerüsten**; diese umfassen den Kanton Zürich (exkl. Städte Zürich und Winterthur), den Kanton Luzern (excl. Stadt Luzern) und den Kanton Nidwalden, jeweils mit aktuellen und umfassenden Lärmdaten.
- > Einer **Stichproben-Lärmermittlung** über die restlichen Gebiete der Schweiz, bestehend aus 30 Rasterzellen mit anschliessender Hochrechnung. Es wurde folgender Stichprobenplan festgelegt: PPS-Sampling mit Zurücklegen (Ziehungswahrscheinlichkeit proportional zur Anzahl Wohnungen im Planquadrat), Planquadrate von 400 x 400 Metern, keine Schichtung (Stichprobenumfang zu klein). Die Lärmbelastungen wurden mit dem Lärmberechnungsmodell «CadnaA» berechnet. Die notwendigen Grundlagen wurden von den Kantonen (Situationspläne und Verkehrsdaten) zur Verfügung gestellt und vor Ort ergänzt (z. B. zusätzliche Verkehrsdaten, signalisierte Geschwindigkeiten, Hindernisse, Gebäudehöhen).

LUK 1995

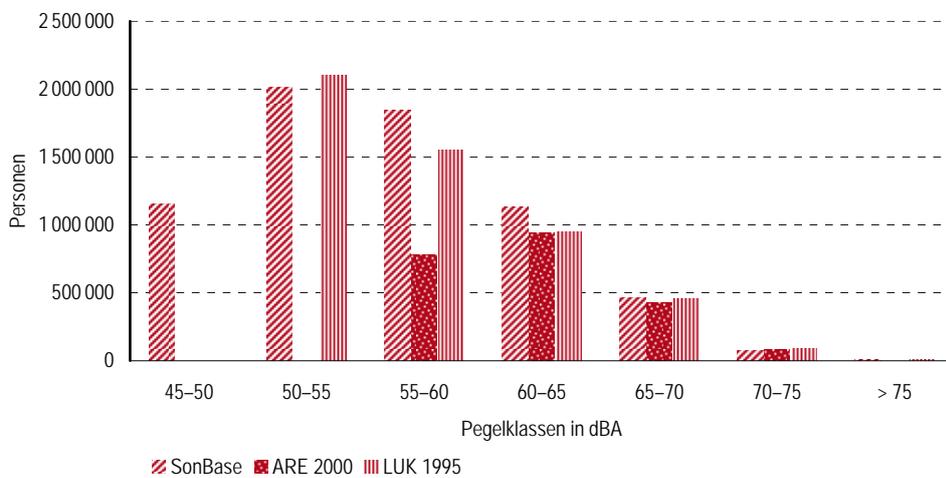
Aus: Müller-Wenk (1999). Life-Cycle Impact Assessment of Road Transport Noise.

Die Daten der Studie Müller-Wenk stützen sich auf den Lärmübersichts-Kataster des Kantons Zürich (LUK). Der LUK ist in der Studie «Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz» ebenfalls detailliert umschrieben. In der Studie Müller-Wenk werden die lärmbeeinträchtigten Wohnungen aus dem Flächen-LUK (allgemeine Lärmbelastung ausserhalb stark befahrener Strassen) und dem Linien-LUK (Strassenverkehrslärm entlang Staatsstrassen und stark befahrenen Gemeindestrassen) zusammengezählt und auf die gesamte Schweiz hochgerechnet.

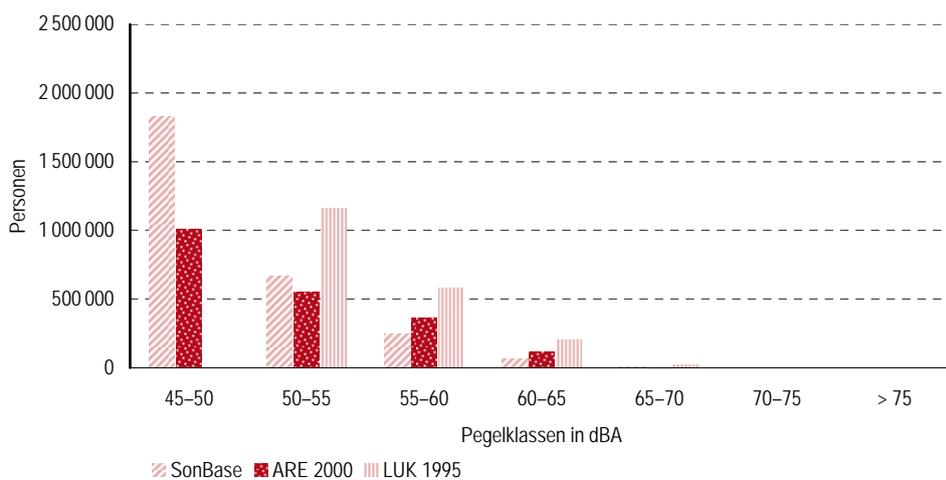
Der Vergleich zeigt eine gute Übereinstimmung der SonBase – Resultate mit den Hochrechnungen aus dem LUK 1995 und ab der Pegelklasse 60–65 dB(A) auch mit den Werten der ARE – Studie (Abb. 27). Die markant tieferen Werte der ARE – Studie in der Pegelklasse 55–60 dB(A) sind möglicherweise ein Hinweis darauf, dass damals die Datenlage in dieser Pegelklasse für eine Hochrechnung ungenügend waren.

Abb. 27 > Vergleich SonBase mit ARE 2000 und LUK 1995: Strassen

Tag



Nacht



Die Werte für die Nacht aus SonBase und ARE 2000 berücksichtigen die Normverteilung des durchschnittlichen täglichen Verkehrs (DTV) auf den Nachtzeitraum (22–06 Uhr) gemäss den Vorgaben der Lärmschutz-Verordnung LSV. Damit werden gemäss dem aktuellen Wissensstand der Verkehr und die Lärmbelastung in der Nacht unterschätzt. Die Daten des LUK 1995 basieren auf Verkehrszählungen und Lärmmessungen und bestätigen die Vermutung, dass die Lärmbelastung nachts mit SonBase eher unterschätzt wird (Abb. 27).

4.4.2 Eisenbahnlärm

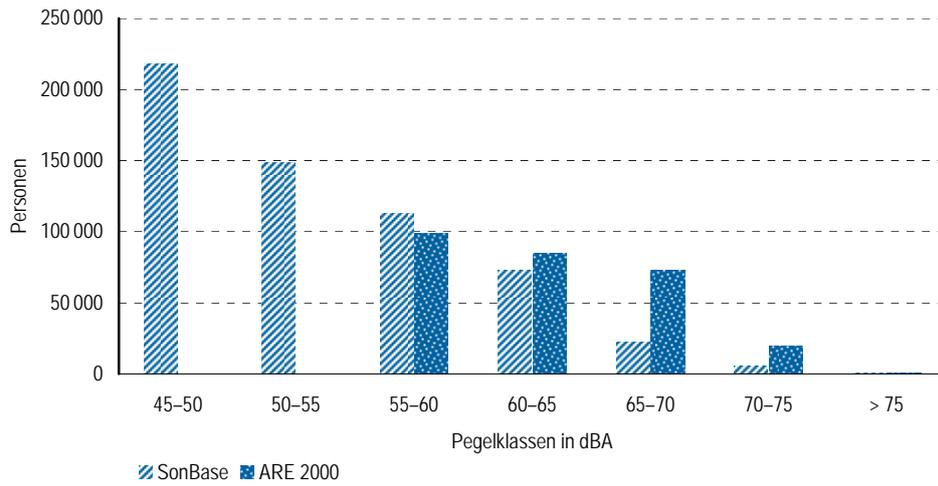
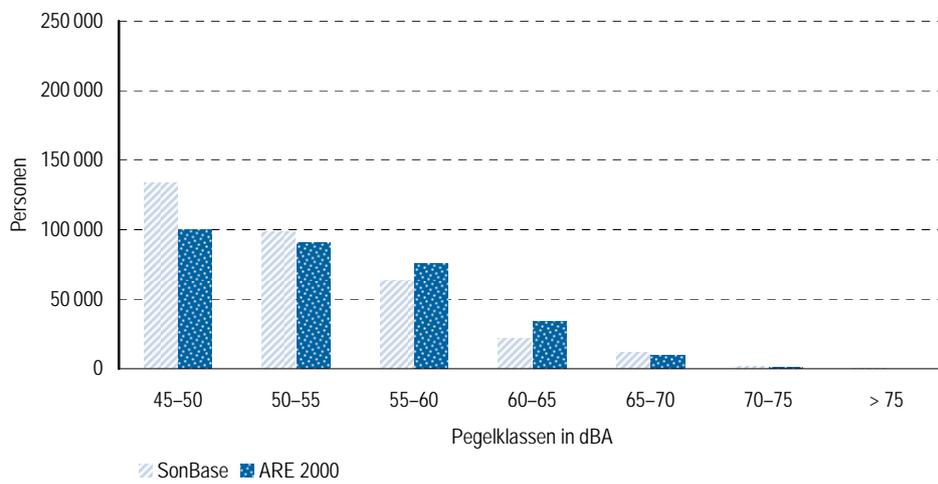
Die mit SonBase berechnete Lärmbelastung wird mit einer Hochrechnung der Daten aus dem Lärmbelastungskataster der Schweizerischen Bundesbahnen SBB (SBB-LBK-CH) von 1998 auf 2000 verglichen. Das Vorgehen ist ebenfalls aus ARE 2000 ersichtlich. Der SBB-LBK-CH 1998 diente der Interdepartementalen Arbeitsgruppe Eisenbahnlärm (IDA-E) als Grundlage für die Erstellung des Lärmsanierungsprojektes für die Eisenbahnen.

Die Emissionen berücksichtigen den Verkehr, die Infrastruktur und die Qualität des Rollmaterials im Ermittlungshorizont 1998. Entsprechend den betrieblichen und den baulichen Vorgaben sowie den bekannten Emissionsansätzen für die Fahrzeuge wurden für mehr als 6000 Streckeneinheiten die Teilemissionen pro Zugart und die daraus resultierenden Beurteilungsemissionspegel für den Betriebszustand tags (06–22 Uhr) und nachts (22–06 Uhr) rechnerisch ermittelt.

Die Berechnung der Immissionen erfolgte mit dem Berechnungsmodell für den Lärm von Eisenbahnen (SEMIBEL). Zur Ermittlung der Lärmbelastung wurde jeweils an einem Empfangsort (stellvertretend für kleinere Gebäudegruppen) die Lärmbelastung tags und nachts berechnet. Auf der Grundlage des Hektarrasters erfolgte dann eine Verteilung der Personen pro Hektare analog dem Volumen der berechneten Gebäude.

Die Hochrechnung des SBB-LBK-CH 1998 auf 2000 berücksichtigte folgende Schritte:

- > Annahme, dass sich die Emissionen 1998 und 2000 nur unwesentlich unterscheiden.
- > Der SBB-LBK-CH 1998 basiert auf der Volkszählung 1990. Die Bewohnerzahlen wurden deshalb, gemeindeweise vom Zustand 1990 auf 2000 hochgerechnet.
- > Die Berücksichtigung der Lärmbelastung durch die übrigen Bahnen erfolgte mit einem Zuschlag von 6 % zur SBB-Lärmbelastung.

Abb. 28 > Quervergleich SonBase mit ARE 2000: Eisenbahnen*Tag**Nacht*

Im Bericht zum aktuellen Zustand der Lärmsanierung bei den Eisenbahnen (BAV 2007) werden vergleichbare Zahlen zur Lärmbelastung in der Schweiz ausgewiesen. Die Zahl der insgesamt von übermässigem Bahnlärm betroffenen 265 000 Personen (vor Sanierungsbeginn) kann durch die Rollmaterialsanierung (unter Berücksichtigung des Mehrverkehrs und neuer Infrastrukturen) auf rund 165 000 reduziert werden. Bauliche Massnahmen wie Lärmschutzwände sind hier noch nicht berücksichtigt.

Mit der Errichtung von Lärmschutzwänden entlang der Bahnlinien, die momentan im Gange ist und im Jahr 2015 abgeschlossen sein soll, wird die Zahl der von Lärmbelastungen über den Grenzwerten (IGW) betroffenen Personen weiter reduziert.

Damit stimmen die mit SonBase ermittelten Zahlen mit den oben stehenden aus dem Lärmbericht des BAV überein. Da die Wirkungen der Lärmschutzmassnahmen grösser sind als die Zunahme durch den Mehrverkehr, resultiert gesamthaft mit dem Emissionsplan 2015 eine Lärmabnahme gegenüber dem Zustand vor der Lärmsanierung der Eisenbahnen. Diese Lärmreduktion ist insbesondere im Zeitraum tags deutlich sichtbar.

Resultate aus SonBase
stimmen mit Lärmbericht
zur Bahnsanierung überein

5 > Ausblick

Szenarien und Prognosen zur Lärmbelastung werden dem Bund in Zukunft wichtige Grundlagen für Strategien zur Reduzierung der Lärmbelastung liefern. Verkehrslenkungsmaßnahmen können auf ihre Wirkung überprüft werden. Die wirtschaftlichen und gesundheitlichen Auswirkungen von Lärm lassen sich zudem quantifizieren. Damit SonBase seine Aufgaben optimal erfüllen kann, wird das Instrument laufend verbessert. Weitere Lärmarten werden integriert.

Im Rahmen von SonBase sind folgende Entwicklungen geplant:

- > Auswertungen und Veröffentlichung der Lärmkartierungen in der Schweiz nach CH- und EU-Norm, Austausch von Daten und Indikatoren mit anderen Behörden und Staaten.
- > Studien zu den Auswirkungen von Lärm (Gesundheit, wirtschaftliche Kosten).
- > Zusammenarbeit mit verschiedenen Projekten (BAFU): MFM-U, Ruhelabel, kombinierte Schadstoffberechnung Luft-Lärm.
- > Szenario und Prognosen in der Schweiz: Berechnungen verschiedener Varianten wie Verkehrszunahmen und neue Lärmschutzmassnahmen in Agglomerationen.
- > Einbindung weiterer Lärmarten: Tramlärm, Industrie- und Gewerbelärm, Schiesslärm, Militärlärm.
- > Technische Optimierungen der Applikation, Verbessern und Ergänzen bestehender Grundlagendaten für eine höhere Genauigkeit. Vergleich der Daten aus der Ersterhebung mit nachfolgenden Lärmberechnungen
- > Web-Auftritt, eventuell Datenzugang für Kantone und Bundesbehörden.

5.1 Das Potenzial von SonBase

5.1.1 Strategien und Szenarien

In SonBase besteht die Möglichkeit, innerhalb einer Zeitscheibe mit Szenarien verschiedene Lärmzustände sowie mögliche Veränderungen in der Belastung zu berechnen und die Ergebnisse entweder mit der Erstberechnung für die Gesamtschweiz oder mit anderen Szenarien zu vergleichen.

So können zum Beispiel über frei definierbare Gebiete präzisere Berechnungen mit genaueren Recheneinstellungen durchgeführt werden (z. B. Reflexionen, maximaler Fehler, maximale Rechenstanz Quelle–Empfangspunkt). Zudem lassen sich mit Szenarien auch Massnahmen zur Verkehrsumlenkung (z. B. Verlagerung von Güter-

transporten von der Strasse auf die Schiene) oder andere Massnahmen (z. B. Ausdehnung oder Aufhebung LKW-Nachtfahrverbot, Geschwindigkeitsbegrenzungen) vorgängig auf die Auswirkungen im Bereich Lärm und auf die dort wohnende Bevölkerung prüfen. Es können aber auch zukünftige Verkehrszunahmen, die Auswirkungen einer neuen Umfahrungsstrasse oder die Wirkung von Lärmschutzwänden geprüft werden.

Generell können in SonBase auf einfache und effiziente Weise strategische Fragestellungen zu möglichen Lärmschutz-Massnahmen sowie deren Auswirkungen auf Menschen und Gebäude berechnet und aufgezeigt werden.

5.1.2 Auswertungen nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie oder den Kriterien der WHO

Neben den Resultaten zur Lärmbelastung nach der schweizerischen Gesetzgebung (LSV) sowie nach absoluten und weitergehenden Schwellenwerten können in SonBase auch Auswertungen nach anderen Kriterien und Schwellenwerten vorgenommen werden.

Dabei stehen Auswertungen nach EU-Richtlinien im Vordergrund. Mit diesen Auswertungen wird die EU in der Lage sein, in Zukunft auch statistische und kartografische Vergleiche zur Lärmbelastung zwischen den europäischen Ländern zu erstellen. Im Gegensatz zur LSV in der Schweiz werden zum Teil unterschiedliche Beurteilungskriterien (z. B. andere Tag- und Nachtperioden, zusätzliche Ruhezeiten, andere Pegelkorrekturen) verwendet. Speziell zu erwähnen ist hier der Tag-Abend Nacht-Pegel L_{den} , welcher aus den Lärmbelastungen für den Tag (12 Stunden), den Abend (4 Stunden) und die Nacht (8 Stunden) berechnet wird:

$$L_{den} = 10 * \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

Zudem können Auswertungen im Hinblick auf die «Noise Night Guidelines» der Weltgesundheitsorganisation WHO (WHO 2007) durchgeführt werden. Dabei werden Gebiete ausgeschieden, für welche die Nachtlärmbelastung einen bestimmten Schwellenwert – 30 dB(A), 40 dB(A), 55 dB(A) – nicht überschreiten darf, weil dies Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der betroffenen Personen hat.

Je nach Aufgabenstellung müssen diese Auswertungen im Einzelfall in den Berechnungseinstellungen in SonBase konfiguriert werden. Allenfalls sind auch zusätzliche Lärmberechnungen erforderlich (z. B. neuer Parameter L_{den} nach EU-URL).

5.1.3 Ermittlung von wirtschaftlichen Kosten

In Zukunft sollen in SonBase auch Informationen zu den Kosten von Lärmschutzmassnahmen integriert werden. Damit lassen sich über spezifische Auswertungsschritte auch Kosten-Nutzen-Analysen vorhandener oder geplanter Lärmschutzmassnahmen durchführen. Einerseits sollen diese an Hand der BAFU-Publikation «Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen» (BAFU 2006) ermittelt werden. Andererseits sollen mit SonBase die Basisinformationen für weitere Auswertungen im Bereich der durch Lärm verursachten wirtschaftlichen Kosten (z. B. Wertverminderung von Liegenschaften, Gesundheitskosten) erarbeitet werden.

Abschätzung Kosten- Nutzen
von Massnahmen

Dazu sind jedoch Ergänzungen in den Berechnungen erforderlich. Insbesondere müssen die Lärmbelastungen für alle Geschosse einzeln berechnet und in der Datenbank abgelegt werden, damit auch spezifische Aussagen über die Wirkung von Massnahmen in den Beurteilungen berücksichtigt werden können.

5.2 Möglichkeiten zur Erhöhung der Genauigkeit in SonBase

In SonBase werden unterschiedliche Grundlagendaten verwendet, welche die Genauigkeit der Lärmberechnungsergebnisse mehr oder weniger stark beeinflussen (z. B. Höhenlinien, Lage von Gebäuden, Quellen und Lärmschutzmassnahmen, Verkehrsdaten). Im Folgenden werden verschiedene Verbesserungsmöglichkeiten kurz beschrieben, welche die Genauigkeit der Aussagen zur Lärmbelastung in Zukunft steigern werden.

Geplante Verbesserungen

Einsatz von Daten höherer Genauigkeit: Mit dem Einsatz von Daten der amtlichen Vermessung (AV) mit genauen Lagedaten könnten verschiedene Schwachpunkte der heute verwendeten Vektor25-Daten eliminiert werden. Insbesondere würden alle Gebäude separat erfasst, so dass auch bei der Zuordnung der Statistikdaten des BFS keine Zusammenfassungen mehr erforderlich wären. Damit ergibt sich eine exakte Lärmbelastung für jedes effektiv vorhandene Gebäude mit Wohnungen und Arbeitsplätzen. Weiter ist bei den AV-Daten die Lagegenauigkeit wesentlich besser als bei den Vektor25-Daten, womit die Berechnungsgenauigkeit ebenfalls wesentlich gesteigert werden könnte.

Mitberücksichtigung von Brücken: Durch die Berücksichtigung der exakten Lage von Brücken werden bei den Berechnungen die Ausbreitungsverhältnisse so einbezogen, wie diese der Realität entspricht. Die entsprechenden Möglichkeiten für die Berücksichtigung im Lärmberechnungsprogramm sind vorhanden. Ebenso sind die entsprechenden Streckenabschnitte bei den Strassen und Eisenbahnen gekennzeichnet. Die Geometrien werden so übernommen, dass eine Integration im Berechnungsmodell möglich wird.

Einsatz detaillierter Daten für Lärmschutzwände/-wälle: Die Berücksichtigung von exakten Geometrien der Lärmschutzbauten bringt in deren Einflussbereich eine Steigerung der Genauigkeit der Ergebnisse. Die Möglichkeiten zur Berücksichtigung von genauen Daten sind sowohl in SonBase als auch in CadnaA bereits vorhanden. Somit

müssen nur noch die entsprechend genauen Daten zur Verfügung stehen bzw. bei den Vollzugsbehörden (Kantone, ASTRA) erhoben werden.

Lärmberechnung für einzelne Stockwerke: Die Berechnung und Ablage der Lärm-ergebnisse für einzelne Stockwerke ermöglicht auch die Berücksichtigung der Wirkung von Lärmschutzmassnahmen, welche mit der aktuell verwendeten Methode der lautesten Punkte pro Fassade teilweise verloren gehen. Weiter wird eine Aussage zur Wirkung von Massnahmen auf die Anzahl Betroffener möglich, welche letztlich auch eine Analyse zum Kosten-Nutzen-Verhältnis zulässt. Die Voraussetzung für entsprechende Berechnungen sind präzise Daten wie Gebäudehöhen und Anzahl Geschosse, welche heute nur teilweise und flächendeckend über die Schweiz zur Verfügung stehen.

Lärmberechnung für mehrere Empfangspunkte am Gebäude: Neben der Berücksichtigung der Stockwerke kann auch eine Berechnung für mehrere Empfangspunkte rund um das Gebäude zu einer wesentlichen Präzisierung der Ergebnisse in Bezug auf die lärmbelasteten Personen führen. In einem Gebäude wohnt höchstens ein Teil der Bewohner (ausschliesslich) an der lärmigsten Fassade. Bereits an den Seitenfassaden liegt die Lärmbelastung um mindestens 3 dB(A) tiefer und an der von der Quelle abgewandten Gebäudeseite können bis zu 15 dB(A) tiefere Pegel vorhanden sein.

Verwendung detaillierter Strassenverkehrsdaten: Durch eine Verbesserung resp. eine grössere Differenzierung der Verkehrsdaten ergeben sich Emissionen, welche der Wahrheit näher liegen als die heute für einen grossen Teil der Strassen verwendeten Default-Werte. Insbesondere bei Gemeinde- und Quartierstrassen dürften die Abweichungen zum Teil erheblich sein. Damit können die Berechnungsergebnisse für die betroffenen Gebiete erheblich verbessert werden.

Verwendung aktueller Eisenbahnverkehrsdaten (Emissionspläne): Durch die Verwendung von aktuellen Emissionsdaten der SBB für bestimmte Jahre (anstelle des fiktiven Emissionsplanes für das Jahr 2015) können einerseits die aktuellen Lärmbelastungen ermittelt und beurteilt werden und andererseits auch die Veränderungen über die Jahre dokumentiert werden.

Ergänzung weitere Eisenbahnlinien: Mit der Berücksichtigung weiterer Bahnlinien (insbesondere der Privatbahnen) werden die Ergebnisse in SonBase erweitert und die belasteten Personen, Gebäude, Wohnungen, Arbeitsplätze und Flächen präziser angegeben.

Verwendung detaillierter Zonenpläne inkl. ES-Zuordnung: Der Einsatz detaillierter Zonen- und Lärmempfindlichkeitsstufenpläne mit Berücksichtigung von Aufstufungen und der Zuweisung von ES ausserhalb der Bauzonen führt zu einer genaueren Beurteilung der Grenzwertüberschreitungen in den entsprechenden Gebieten.

Lärmberechnungseinstellungen: Durch die Veränderung der Einstellungen im Lärmberechnungsprogramm CadnaA können die Ergebnisse in ihrer Genauigkeit beeinflusst werden. Dabei ist stets abzuwägen, ob auf Grund der zur Verfügung stehenden Daten eine «genauere» Berechnung überhaupt zu einer Steigerung der Genauigkeit führt. Zudem ist auch die gesteigerte Berechnungszeit zu berücksichtigen.

5.3 Integration weiterer Lärmarten

Das System SonBase ist so aufgebaut, dass mit wenigen Anpassungen an der Datenbank auch weitere Lärmarten integriert werden können. Dabei spielt es im Prinzip keine Rolle, ob die Lärmbelastungen im System berechnet oder in geeigneter Form aus externen Quellen importiert werden. Im Vordergrund stehen folgende Lärmarten:

- > Zivile Schiessanlagen (ca. 1840 300-m-Anlagen, ca. 580 50-m-Anlagen, ca. 290 25-m-Anlagen, ca. 200 Jagdanlagen und ca. 75 übrige Anlagen)
- > Militärische Schiess- und Übungsanlagen (ca. 250 Anlagen)
- > Industrie- und Gewerbeanlagen
- > Tramlärm
- > Freizeit- und Sportanlagen

Die meisten dieser Anlagen haben im Vergleich zu den bereits berücksichtigten Verkehrsträgern (Strassen, Eisenbahnen, Flugverkehr) räumlich relativ kleine Auswirkungen in Bezug auf Lärm. Der Lärm aus diesen Anlagen führt erfahrungsgemäss aber immer wieder zu Klagen und lässt daher den Schluss zu, dass die Anzahl der Personen, welche sich durch diese Lärmimmissionen gestört fühlen, nicht unerheblich ist.

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass für einige Lärmarten (Sportanlagen, Freizeitlärm) in der schweizerischen Umweltschutzgesetzgebung keine konkreten Belastungsgrenzwerte vorhanden sind und die Beurteilung daher im Einzelfall erfolgen muss. Dennoch können die Lärmbelastungen erfasst und dargestellt werden, jedoch ohne entsprechende Beurteilung.

5.4 Strategische Überlegungen zur Weiterentwicklung

Im Hinblick auf zukünftige Projekte und Planungen sowie politische Entscheide können mit SonBase die lärmtechnischen Grundlagen erarbeitet werden. Dazu sind im Moment die nachstehend stichwortartig aufgeführten Punkte denkbar, ohne dass die Aufzählung abschliessend ist.

- > Planung von Verkehrsumlagerungen (Güterverkehr auf die Schiene)
- > Monitoring von Strassenverkehrs- und Eisenbahnlärm
- > Szenarien für die Lärmbekämpfung (z. B. Beläge, Geschwindigkeitsreduktion, Lärmschutzbauten); Ausarbeitung von spezifischen Sanierungsstrategien
- > Szenarien für Verkehrslenkungsmassnahmen (Auswirkungen auf die Lärmbelastungen)
- > Erarbeitung von Grundlagen für die Einführung eines Ruhe-Labels

Integration weiterer
Lärmarten geplant

> Anhang

A1 CadnaA-Recheneinstellungen GS1

Für die Erstberechnung in SonBase mit dem Berechnungsprogramm CadnaA (Version 3.7, Datakustik GmbH, Greifenberg) wurden die nachstehend aufgeführten Einstellungen und Parameter verwendet.

Hausbeurteilung

- > Lautester Punkt pro Fassade
- > Minimale Fassadenabschnittslänge: 0,1 m
- > Maximale Fassadenabschnittslänge: 10,0 m
- > Höhe des ersten Empfangspunktes über Boden: 1,5 m
- > Stockwerkhöhe: 2,8 m

Rasterberechnungen

- > Abstand der Rasterpunkte: 10 x 10 m
- > Berechnungshöhe: 4,0 m über Terrain
(analog der europäischen Umgebungslärmrichtlinie EU-ULR)
- > Raster unter Gebäudeflächen extrapolieren

Weitere Einstellungen

Als weitere generelle Einstellungen wurden in CadnaA entsprechend der Berechnungseinstellung «Grob» folgende Parameter gewählt:

- | | |
|---|----------------------|
| > Maximaler Fehler | 1,0 dB |
| > Maximaler Suchradius | 1000 m |
| > Mindestabstand Quelle-Immissionspunkt | 5,0 m |
| > Rasterinterpolation | 17 x 17 Rasterpunkte |
| > Maximale Differenz Eckpunkte | 5,0 dB |
| > Maximale Differenz Mittelpunkt | 0,1 dB |
| > Rasterfaktor | 1,0 |
| > Maximale Abschnittslänge | 1000 m |
| > Minimale Abschnittslänge | 10 m |
| > Projektion von Linienquellen | keine |
| > Reflexionsordnung | 0 |

A2 Datenblätter (Auszug)

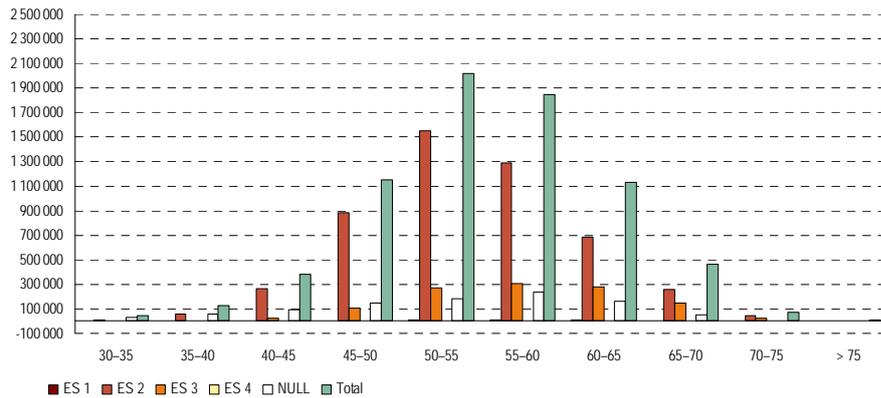
Die in SonBase programmierten Auswertungsmöglichkeiten generieren automatisch sog. Datenblätter, welche statistische Aussagen (Histogramm, Grenzwertüberschreitungen) zu frei wählbaren Gebieten und Kriterien ermöglichen.

Abb. 29 > Belastung von Personen (Histogramm)

Lärmquelle:	Strasse	
Gebiet:	Schweiz	
Tageszeit:	Tag	

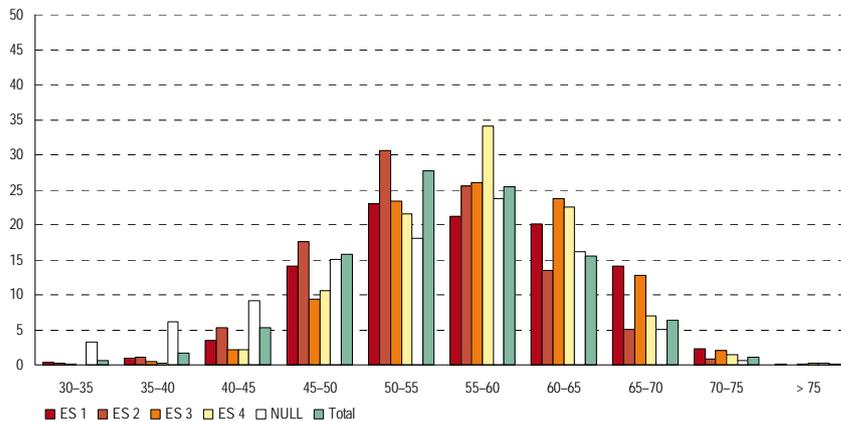
Anzahl

Typ	< 30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	> 75	Total
ES 1	156	163	458	1 589	6 500	10 620	9 826	9 327	6 525	1 051	34	46 249
ES 2	3 337	12 341	56 627	265 874	885 536	1 548 537	1 292 003	682 268	258 301	43 061	2 785	5 050 670
ES 3	355	912	5 540	24 672	109 181	271 983	302 780	277 025	148 303	23 864	1 421	1 166 036
ES 4	1	5	41	344	1 733	3 520	5 562	3 672	1 130	242	42	16 292
NULL	24 433	31 976	61 227	91 708	149 712	180 513	236 643	161 060	50 479	6 543	2 374	996 668
Total	28 282	45 397	123 893	384 187	1 152 662	2 015 173	1 846 814	1 133 352	464 738	74 761	6 656	7 275 915



Prozent

Typ	< 30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	> 75
ES 1	0.34	0.35	0.99	3.44	14.05	22.96	21.25	20.17	14.11	2.27	0.07
ES 2	0.07	0.24	1.12	5.26	17.53	30.66	25.58	13.51	5.11	0.85	0.06
ES 3	0.03	0.08	0.48	2.12	9.36	23.33	25.97	23.76	12.72	2.05	0.12
ES 4	0.01	0.03	0.25	2.11	10.64	21.61	34.14	22.54	6.94	1.49	0.26
NULL	2.45	3.21	6.14	9.20	15.02	18.11	23.74	16.16	5.06	0.66	0.24
Total	0.39	0.62	1.70	5.28	15.84	27.70	25.38	15.58	6.39	1.03	0.09



> Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. 1		Abb. 16	
Das Testgebiet	11	Strassenverkehrslärmbelastung – Hausbeurteilung	33
Abb. 2		Abb. 17	
Das Konzept von SonBase	12	Strassenverkehrslärmbelastung – Raster	33
Abb. 3		Abb. 18	
Der Aufbau von SonBase	13	Anforderungen an die Lärmberechnungen, Gesamtschweiz (2006)	34
Abb. 4		Abb. 19	
Cadna-Cluster für die Lärmberechnungen	14	Rasterkarte der Lärmbelastung am Tag	36
Abb. 5		Abb. 20	
SonBase-Toolbar – Stammdaten	16	Maske für die statistischen Auswertungen	37
Abb. 6		Abb. 21	
SonBase-Toolbar – Szenarien	16	Hausbeurteilungen beim Strassenverkehrslärm	38
Abb. 7		Abb. 22	
Zeitscheiben- und Versionierungskonzept	17	Lärmraster – Strassenlärmimmissionen als flächenhafte Raster	39
Abb. 8		Abb. 23	
Schematische Darstellung der Dämpfungstabelle	19	Einteilung der Schweiz in Agglomerationen und ländliche Gemeinden	40
Abb. 9		Abb. 24	
Verwendete Strassen mit Verkehrsmengen nach Typ (VM UVEK, ARE)	22	Beispiel	44
Abb. 10		Abb. 25	
Verwendete Eisenbahnlinien (Eplan2015)	22	Untersuchte Gebiete für die Validierung beim Strassenverkehr	45
Abb. 11		Abb. 26	
Verwendete Strassen nach Datenherkunft (VM-UVEK oder Default-Werte)	24	Modellierung von Häusergruppen	47
Abb. 12		Abb. 27	
Bauzonen in der Schweiz, aufgeteilt nach Empfindlichkeitsstufen	27	Vergleich SonBase mit ARE 2000 und LUK 1995: Strassen	49
Abb. 13		Abb. 28	
Ausschnitt einer Hausbeurteilung	29	Quervergleich SonBase mit ARE 2000: Eisenbahnen	51
Lärmraster	29	Abb. 29	
Abb. 14		Belastung von Personen (Histogramm)	59
Sequenzdiagramm der «gesteuerten» Lärmberechnungen	31		
Abb. 15			
Berechnung und Überwachung der Lärmkacheln	31		

Tabellen

Tab. 1	
Technische Daten von SonBase	14
Tab. 2	
Verwendete Datengrundlagen für die Erstberechnung GS1	21
Tab. 3	
Default-Werte durchschnittlicher täglicher Verkehr für fehlende Strassenabschnitte	24
Tab. 4	
Unsicherheiten bei der Berechnung der Emission beim Strassenverkehrslärm	42
Tab. 5	
Unsicherheiten bei der Berechnung der Immission beim Strassenverkehrslärm	42
Tab. 6	
Resultat der Standardunsicherheit beim Strassenverkehrslärm	42
Tab. 7	
Unsicherheiten bei der Berechnung der Emission beim Eisenbahnlärm	43
Tab. 8	
Unsicherheiten bei der Berechnung der Immission beim Eisenbahnlärm	43
Tab. 9	
Resultat der Standardunsicherheit beim Eisenbahnlärm	43
Tab. 10	
Modellgrundlagen	45
Tab. 11	
Vergleich der mittleren Differenz und Standardabweichung der Lärmbelastung pro Gebäude bei verbesserten Modellgrundlagen	46
Tab. 12	
Vergleich der mittleren Differenz und Standardabweichung der Lärmbelastung pro Gebäude > 55/45 dB(A) bei verbesserten Modellgrundlagen	46

Literatur

ARE 2004: Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2000. ARE, BAG, BUWAL, Bern.

BAFU 2009: Lärmbelastung in der Schweiz. Ergebnisse des nationalen Lärmmonitorings SonBase. Umwelt-Zustand Nr. 0907. Bundesamt für Umwelt, Bern: 61 S.

BAFU 2006: Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen, Optimierung der Interessenabwägung, UV-0609-D, Bern.

BAFU 2004: SonRoad – Berechnungsmodell für Strassenverkehrslärm, SRU-366-D, Bern.

BAFU 2002: Zurechnung von lärmbedingten Gesundheitsschäden auf den Strassenverkehr, SRU-339-D, Bern.

BAFU 2002: Lärmbekämpfung in der Schweiz. Stand und Perspektiven, SRU-329-D, Bern.

BAV 2007: Lärmsanierung der Eisenbahnen. Standbericht 2007, Bern.

BFS 2005: Eidgenössische Volkszählung 2000. Bundesamt für Statistik, Neuchatel.

BFS 2005: Eidgenössische Betriebszählung 2001 Sektoren 2 und 3. Bundesamt für Statistik, Neuchatel.

Ingold K., Klingl T., Köpfl M. 2007: Nationales Monitoring der Lärmbelastung in der Schweiz. In: e-geo.ch 2007, Nr 18. Bern, Oktober 2007.

EU-URL: Richtlinien2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. <http://ec.europa.eu/environment/noise/directive.htm>

Schweiz. Eidgenossenschaft 2001: Verordnung über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (VLE), Stand 22. Februar 2005, SR 742.144.1, Bern.

Schweiz. Eidgenossenschaft 1983: Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG), Stand 1. Juli 2007, SR 814.01, Bern.