



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abt. Lärmbekämpfung

Lärmberechnungen an Transitachsen A2 /A13

Projekt LDBS & MFM-U (Monitoring Flankierende Massnahmen,
Bereich Umwelt)

Kirk Ingold

SGA-Tagung, 17.-18.04. 2008, Bellinzona



Ziele - Lärmmodellierung A2 / A13

- **Berechnung der aktuellen Lärmsituation entlang der Transitachsen A2/A13 (Strassen), Beitrag Schwerverkehr**
- **Auswirkungen auf die Lärmbelastung (Anzahl belastete Personen, Gebäude und Wohnungen, Flächen)**
- **Anpassungen im BAFU-Pilotprojekt „Lärmdatenbank Schweiz (LDBS)“**
- **Berechnen von vier Verkehrsszenarien**
 - Mit / ohne Verlagerungsziel
 - Verschiedene Geschwindigkeiten (gefahrte v, reduzierte v)
 - Lärmschutz-Massnahmen (Nachtfahrverbot SV)



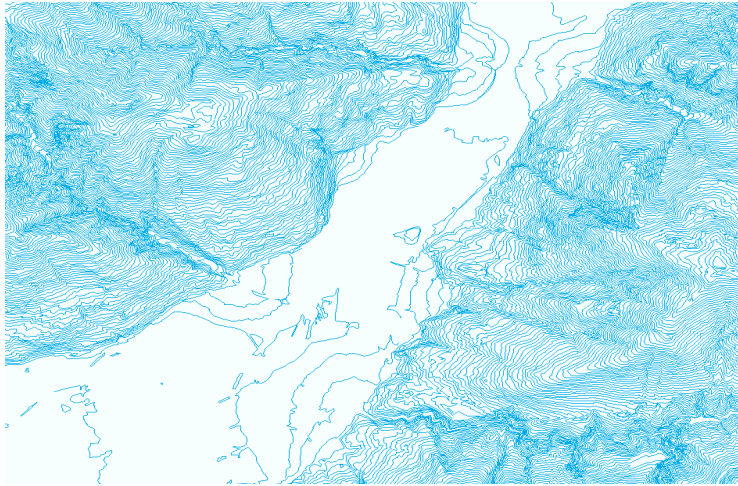
Datengrundlage

Gebäude, Strassen	Vektor25	± 8m
Höhen- und Geländemodell Höhenlinien (10 m), Höhenpunkte	Vektor25 / DHM25	± 8m
Verkehrszahlen (Verkehrsmodell Schweiz (DTV) Geschwindigkeiten u. Steigungen	VM UVEK (ARE)	Nur bestimmte Strecken
Verkehrszählungen (Messungen)	ASTRA	Messwerte (MFM-U) Studie INFRAS 2006, Interpolation zw. Messstellen ASTRA
Statistik Anzahl Personen, Wohnungen, Anzahl Personen in Betrieben	VZ2000/04 (BFS) BZ2001 (BFS)	
Raumplanung (Bauzonen, ES, Kantons- und Gemeindegrenzen)	ARE, BFS	Generalisierte Bauzonen d. Schweiz
Lärmschutzmassnahmen Lärmschutzwände, -wälle, -dämme	UH-Peri ASTRA DfA SBB	nur für Nationalstrassen, keine Höhenangabe

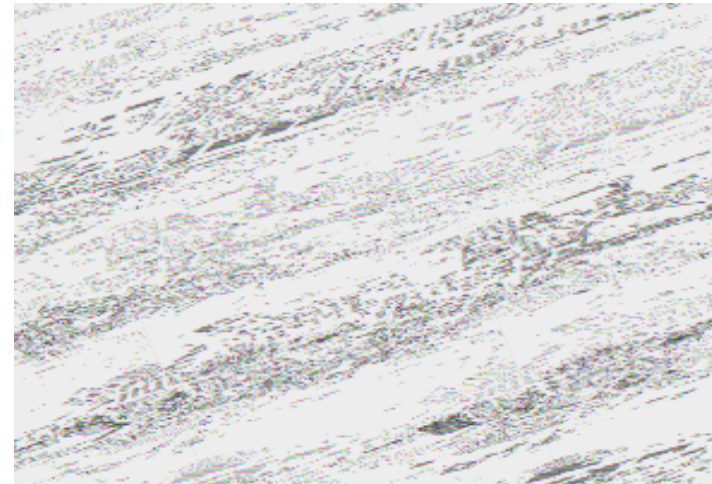


Ausgangsdaten für Lärmberechnung

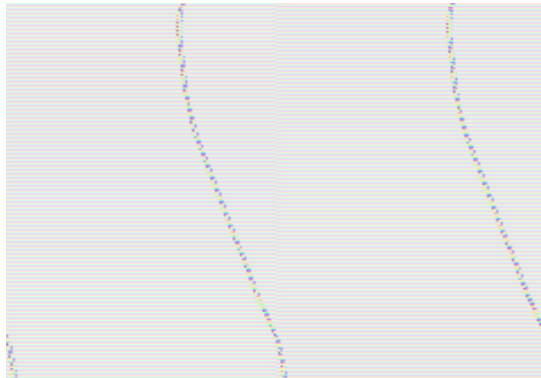
Höhenlinien DHM25



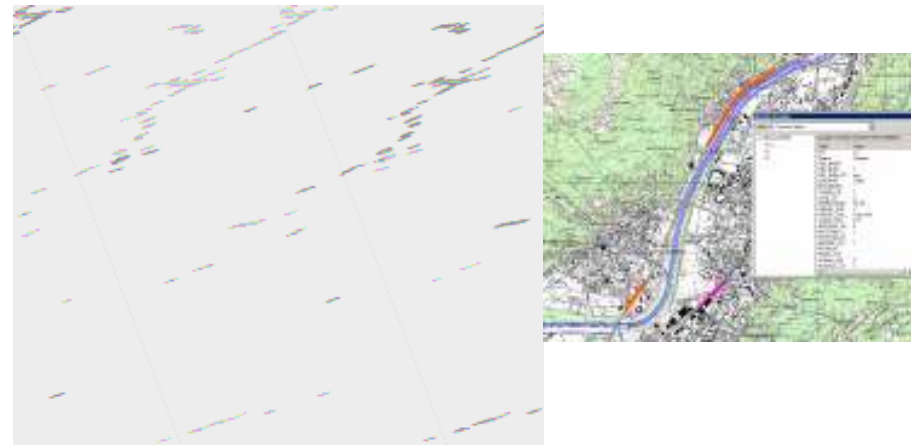
Gebäude V25



Strassen NS



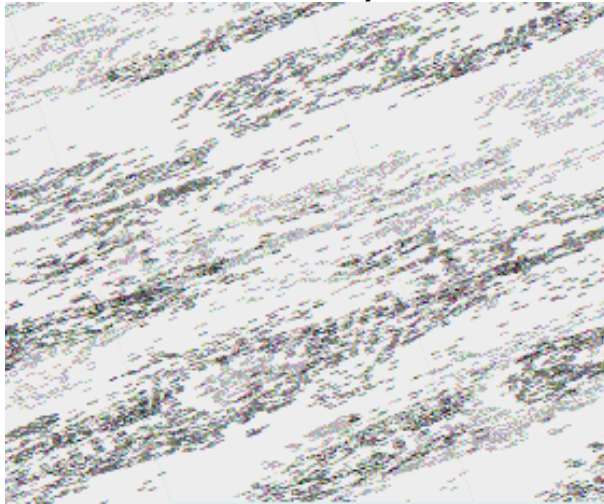
Lärmschutzwände etc.





Daten für die Auswertungen

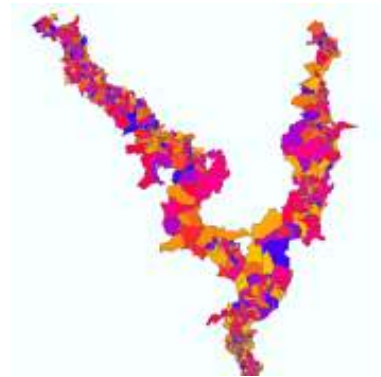
Personenstatistik
VZ2000/04, BZ04



Bauzonen (ARE)



Zusätzlich (Kantone, Gemeinden PK25)



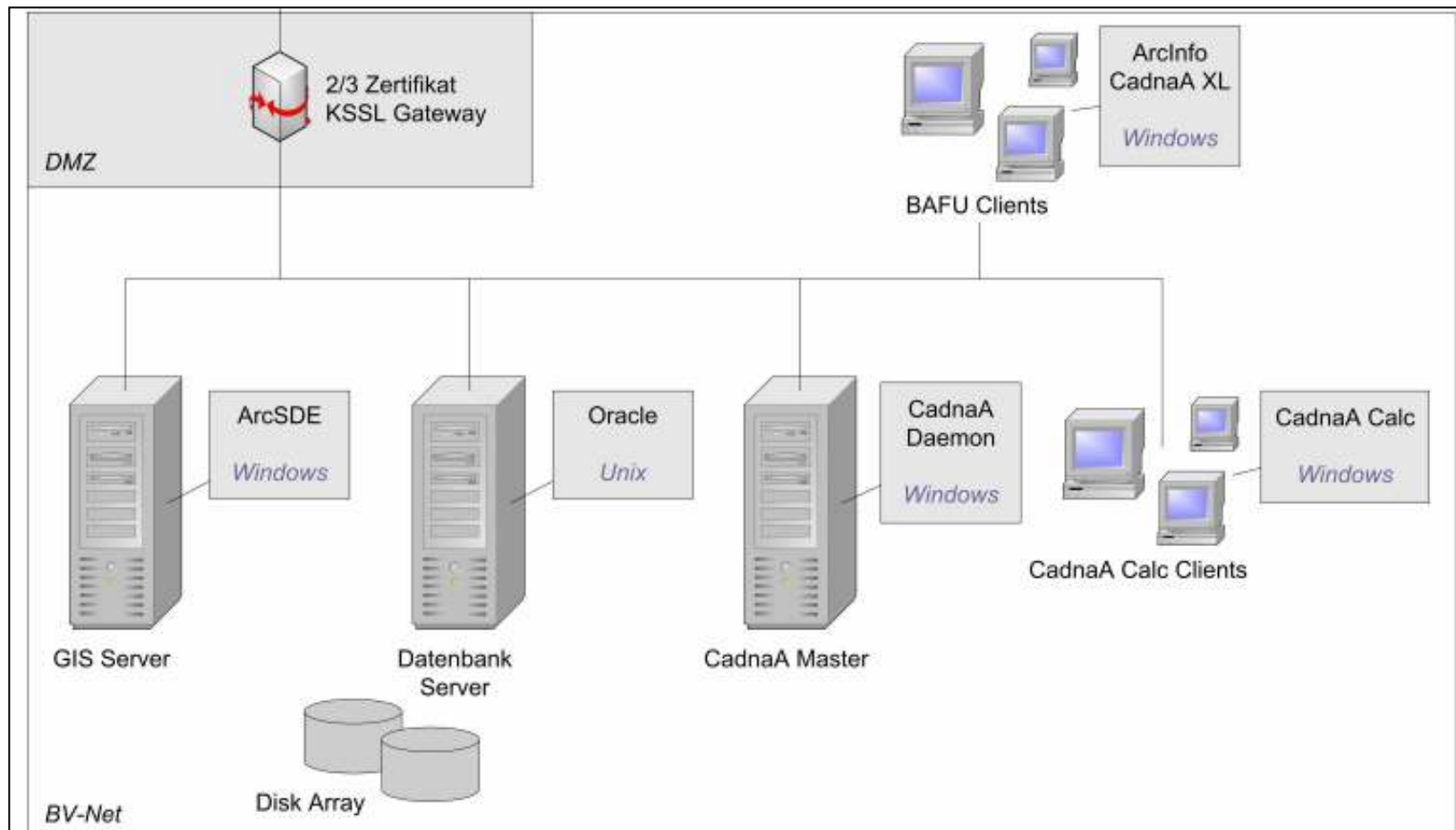


Anpassungen „fehlerhafter“ Daten

Element	Attribut	Defaultwert
Gebäude	Höhe	Algorithmus* h = 2.8*Anzahl Stockwerke (Anzahl Stockwerke <= 4) h = 2.8*Anzahl Stockwerke + Giebeldachhöhe (Falls Anzahl Stockwerke > 4); Fläche 30m ² = 3.5 m, Fläche > 30m ² = 9 m
	Absorptionseigenschaft	$\alpha = 0.21$ resp. Reflexionsverlust = 1 dB
Strassenabschnitt	Geschwindigkeiten PV/SV	
	Autobahn	120/90 km/h
	Autobahn richtungsgetrennt	120/90 km/h
	Autostrasse	100/80 km/h
Lärmschutzwände / -wälle NS	Höhe	2.5 m
	Absorptionseigenschaft (beidseitig)	$\alpha = 0.84$ resp. Reflexionsverlust = 8 dB



System *Lärmdatenbank Schweiz (LDBS)*





Rechner-Pool BAFU

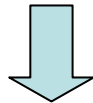
**15 Rechnern
im Verbund**





Emissionsberechnungen (GIS)

Verkehrszahlen d. Strassenabschnitte



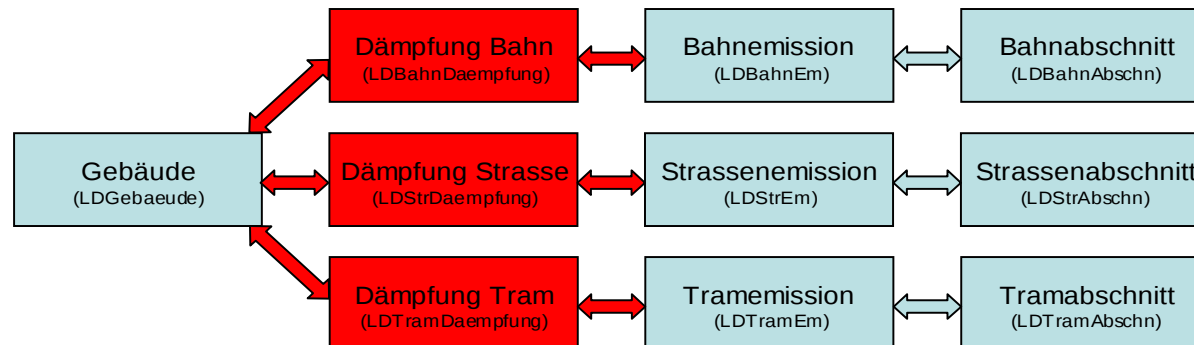
In LDBS – Berechnung der Emissionen
nach dem Ansatz von StL86 mit
SonRoad Emissionsansatz.

The screenshot shows the 'LDBS Emissionsberechnung' window. It contains several sections: 'Berechnungsversion' with dropdowns for 'Genauigkeitsstufe' (set to GS1), 'Zeitscheibe' (set to GS1_2006), and 'Version*' (set to Test ber 1), each with an 'Info' button; 'Zu berechnende Emissionen' with checkboxes for 'Bahnemission', 'Strassenemission', and 'Tramemission', each with 'ohne Korrektur K' and 'mit Korrektur K' options; 'Normen' with checkboxes for 'EU-ULR' and 'LSV'; and 'Gebiet' with radio buttons for 'Kanton', 'Gemeinde', and 'Polygon', each followed by a dropdown menu. At the bottom right are 'Weiter' and 'Abbrechen' buttons.



Ausbreitungsrechnung (in CadnaA)

Initiale Berechnung der Immissionswerte und Dämpfungswerten anhand der Gelände- und Emissionsdaten in CadnaA. Die Daten werden anschliessend im GIS abgelegt („Dämpfungs-Tabellen“)



LDBahnDaempfung	
ID_Immissionspunkt	Integer
ID_Gebaeude	Integer
ID_BahnEm	Integer
Daempfung	Double

LDStrDaempfung	
ID_Immissionspunkt	Integer
ID_Gebaeude	Integer
ID_StrEm	Integer
Daempfung	Double

LDTramDaempfung	
ID_Immissionspunkt	Integer
ID_Gebaeude	Integer
ID_TrEm	Integer
Daempfung	Double



„Dämpfungsdatenbank“

- Neben den Hausbeurteilungen wurden für sämtliche berechneten Gebäude die **Teilimmissionen** der einzelnen Quellen für den lautesten Punkt am Tag und den lautesten Punkt in der Nacht berechnet und in der LDBS abgelegt.
- **Szenario, Prognosen**: Basierend auf „Dämpfungen“ können Hausbeurteilungen innerhalb des GIS-System effizient neu berechnet werden (Veränderungen von Verkehrszahlen, Emissionen).



Immissionsberechnungen (GIS)

LDBS berechnet anhand der Dämpfungsdaten direkt



Immissionen (im GIS-System).

Möglichkeit: Nach einem Update von Emissionen können (nach erfolgter Erstberechnung in CadnaA) neue Immissionen z.B. schnell als „Szenarien“ berechnet werden.

The screenshot shows the 'LDBS Immissionsberechnung' window. It contains several sections: 'Berechnungsversion' with dropdowns for 'Genauigkeitsstufe' (set to 'GS1'), 'Zeitscheibe' (set to 'GS1_2006'), and 'Version' (set to 'Test ber 1'), each with an 'Info' button and a 'Neu' button. 'Zu berechnende Immissionen' has checkboxes for 'Bahnimmission', 'Strassenimmission', and 'Tramimmission', each with 'ohne Korrektur K' and 'mit Korrektur K' options. 'Normen' has checkboxes for 'EU-ULR' and 'LSV'. 'Gebiet' has radio buttons for 'Kanton', 'Gemeinde', and 'Polygon', each followed by a dropdown menu. At the bottom right are 'Weiter' and 'Abbrechen' buttons.



Berechnungseinstellungen 1

Hausbeurteilungen:

- lautester Punkt pro Fassade
- minimale Fassadenabschnittslänge 2,0 m
- maximale Fassadenabschnittslänge 15,0 m
- Höhe des ersten Empfangspunktes über Boden 1,5 m
- Stockwerkhöhe 2,8 m

Raster:

- Abstand der Rasterpunkte 10 x 10 m
- Berechnungshöhe 4,0 m über Terrain
- Raster unter Häusern extrapolieren



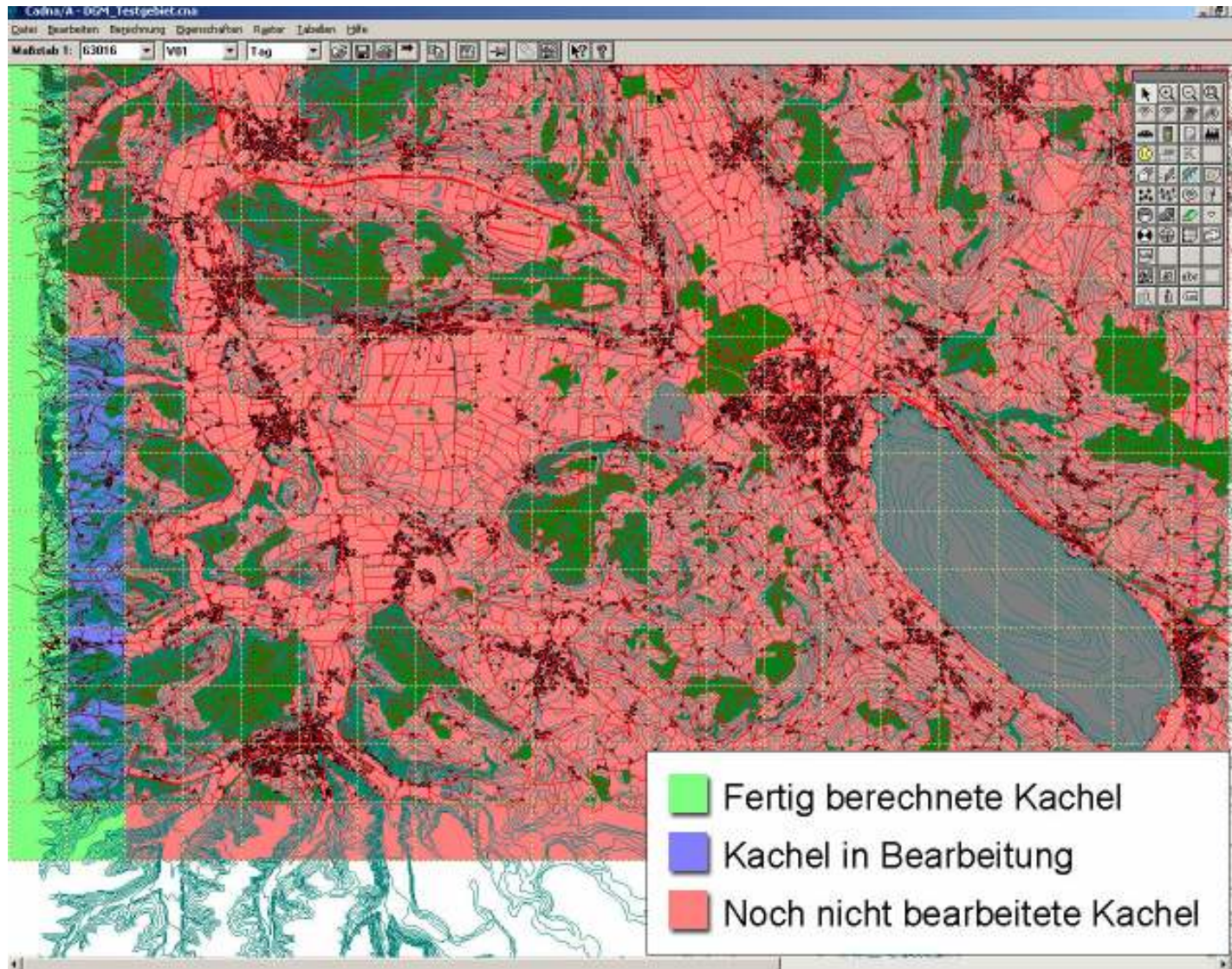
Berechnungseinstellungen 2

Generelle Einstellungen in CadnaA („Grob“):

- Maximaler Fehler = **0.5 dB**
- Maximaler Suchradius = **4000 m**
- Mindestabstand Quelle-Immissionspunkt = **5.0 m**
- Rasterinterpolation = **17 x 17**
- 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 = **ja**
- Reflexionsordnung = **1**

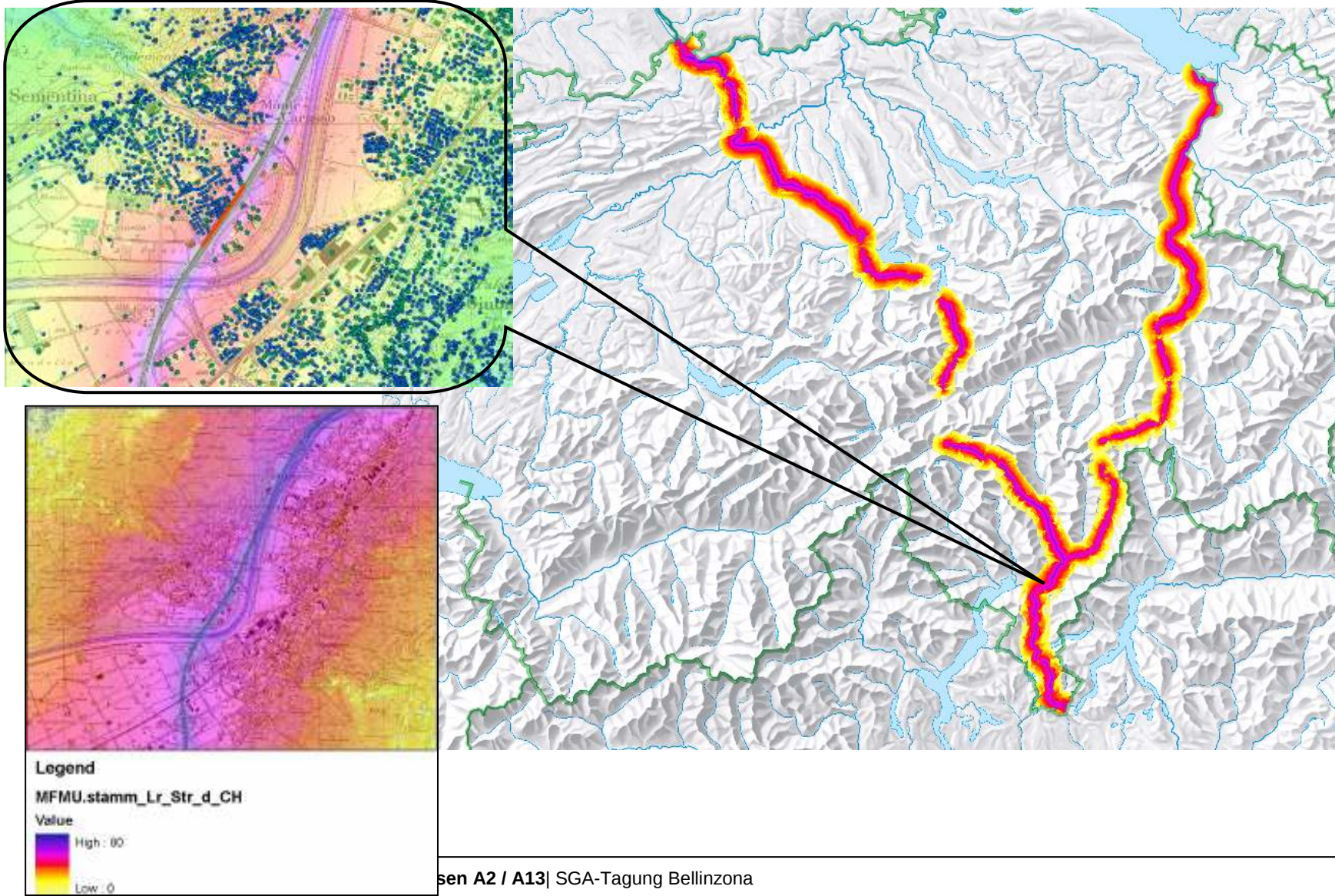


Kachel rechnen - 1



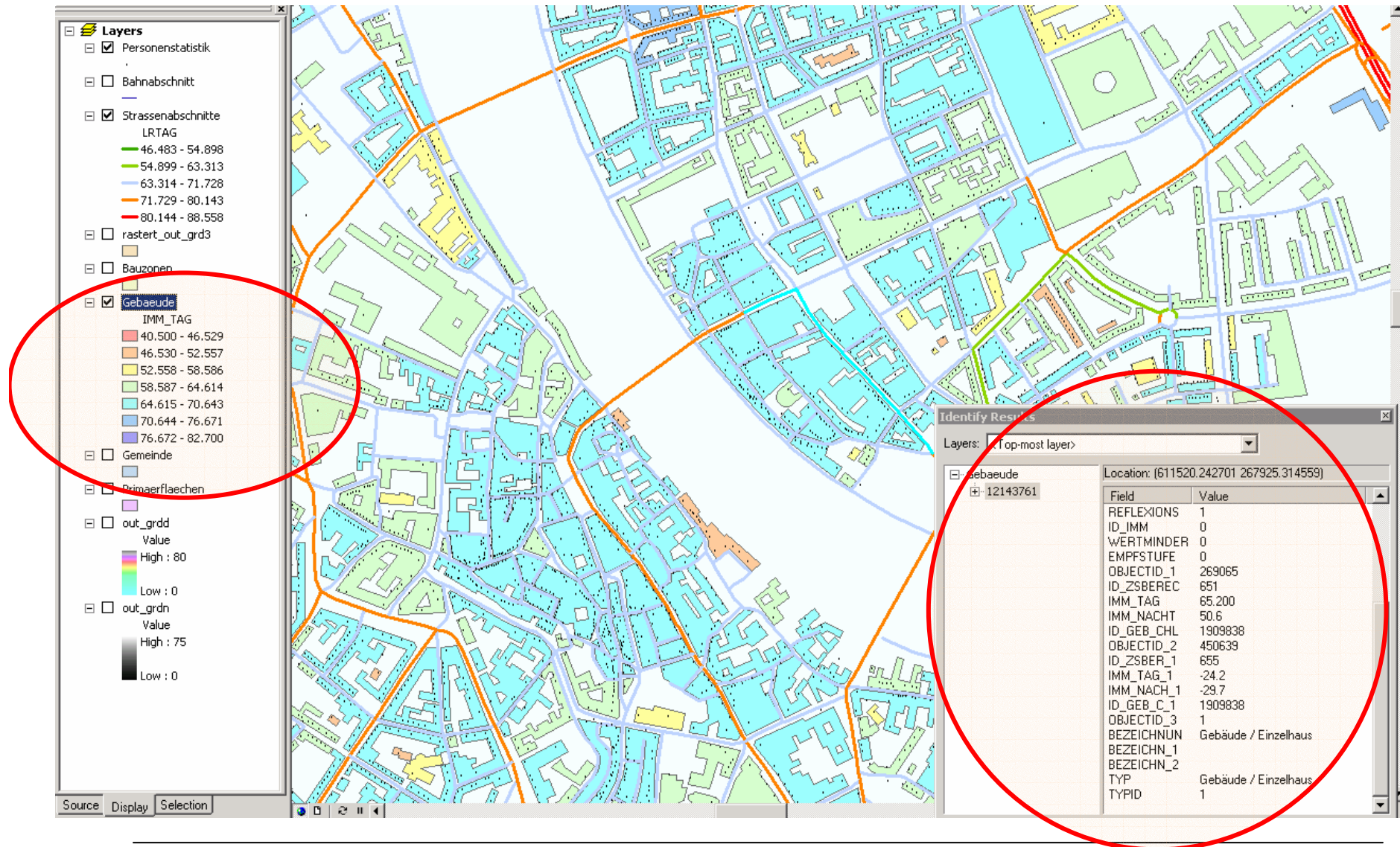


Resultate - Raster (Auflösung 10x10 m)





Immissionen (Hausbeurteilungen)





Resultate – Format

„Hausbeurteilungen“ + Personenstatistik BFS (VZ2000, BZ2004)

=

Auswertungen über Personen, Wohnungen, Arbeitsplätze

1. Histogramme

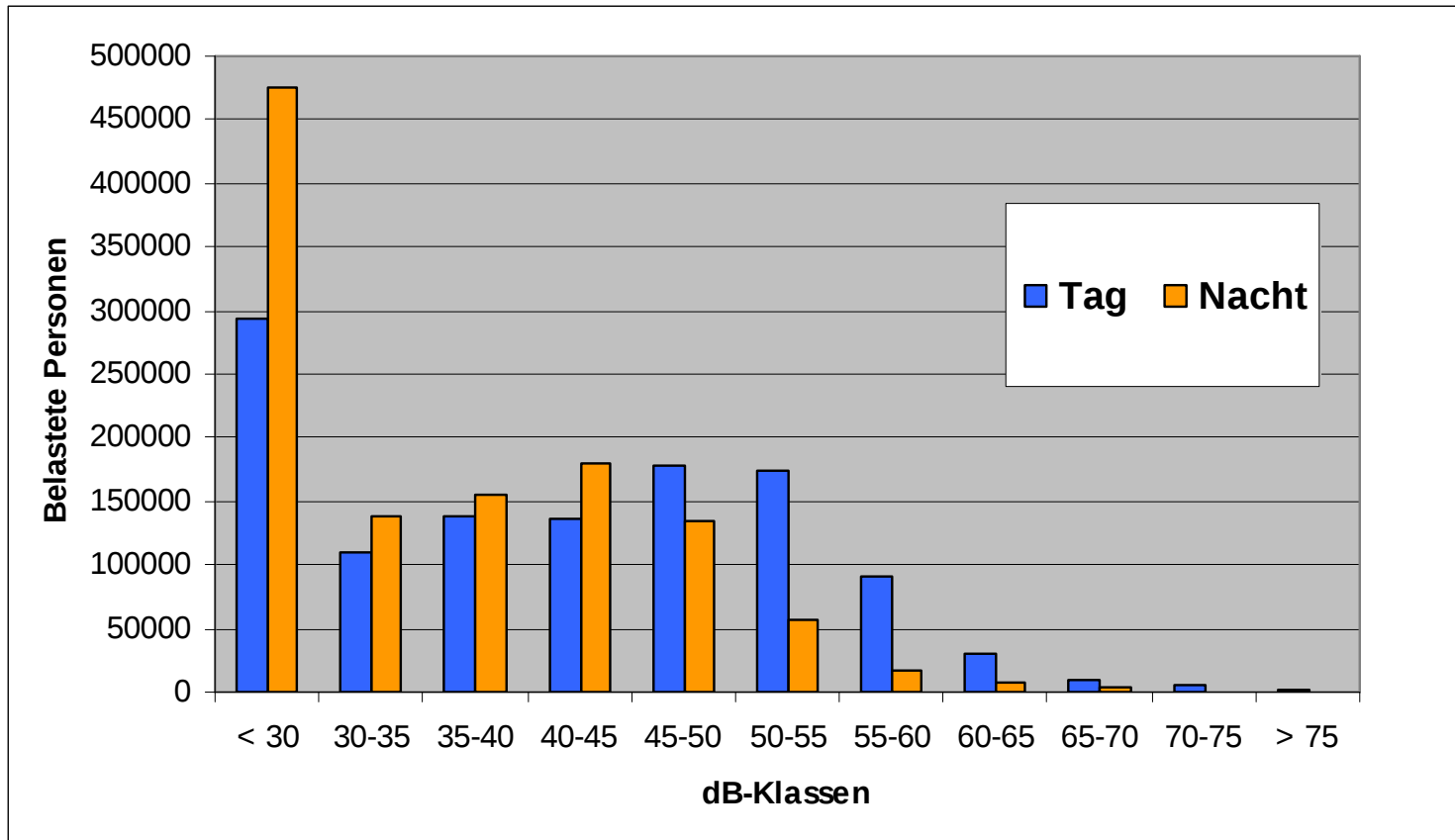
	< 30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	NULL_ Werte
Tag	50739	15782	18512	21166	25023	23694	13389	4455	1502	771	177	63
Nacht	77320	20380	23208	24164	17719	8306	2511	1048	504	49	1	63

2. Grenzwertüberschreitungen (LSV) :

Typ	UNTER_PW	> PW	> IGW	> AW	NULL_Werte
ES I	254	64	174	36	0
ES II	78400	20749	33272	1433	32
ES III	11708	2308	2398	613	14
ES IV	501	158	82	15	0



Resultat – Belastete Personen A2/A13



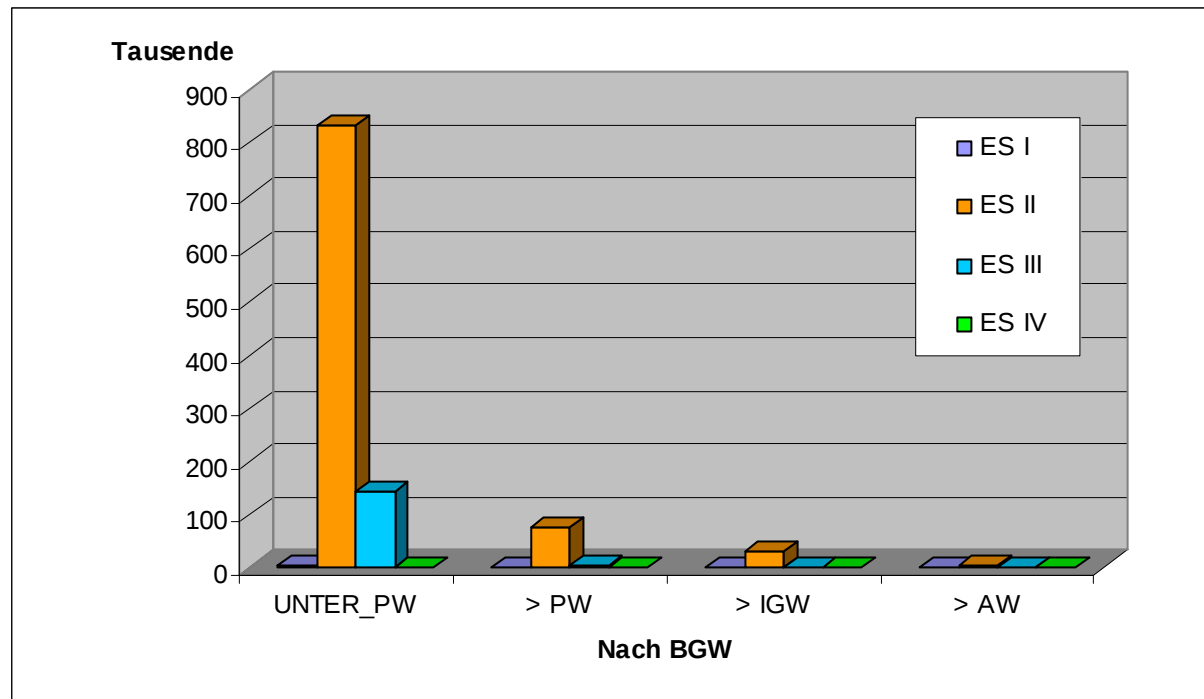
Personen total : ca. 1'168'000

Stark belastet (Tag > 60, Nacht > 50 dB(A))

= 46'500 Personen (Tag), 84'500 Personen (Nacht)



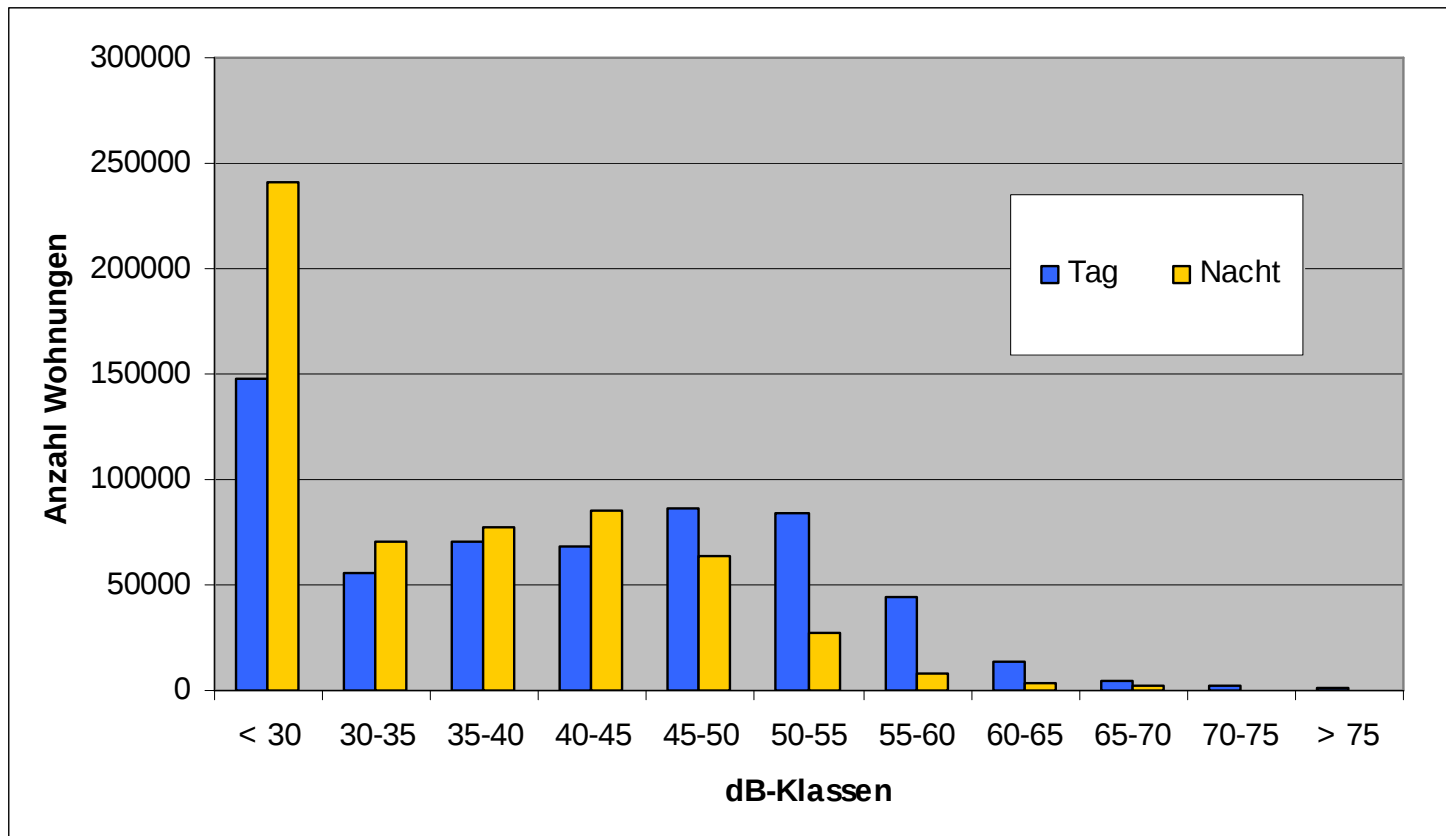
Resultat – Belastete Personen A2/A13 nach BGW



- **IGW** = ca. 33'500 Personen (Tag), 70'000 Personen (Nacht)
- **AW** = ca. 6'700 (Tag), 4'200 (Nacht)



Resultate - Wohnungen



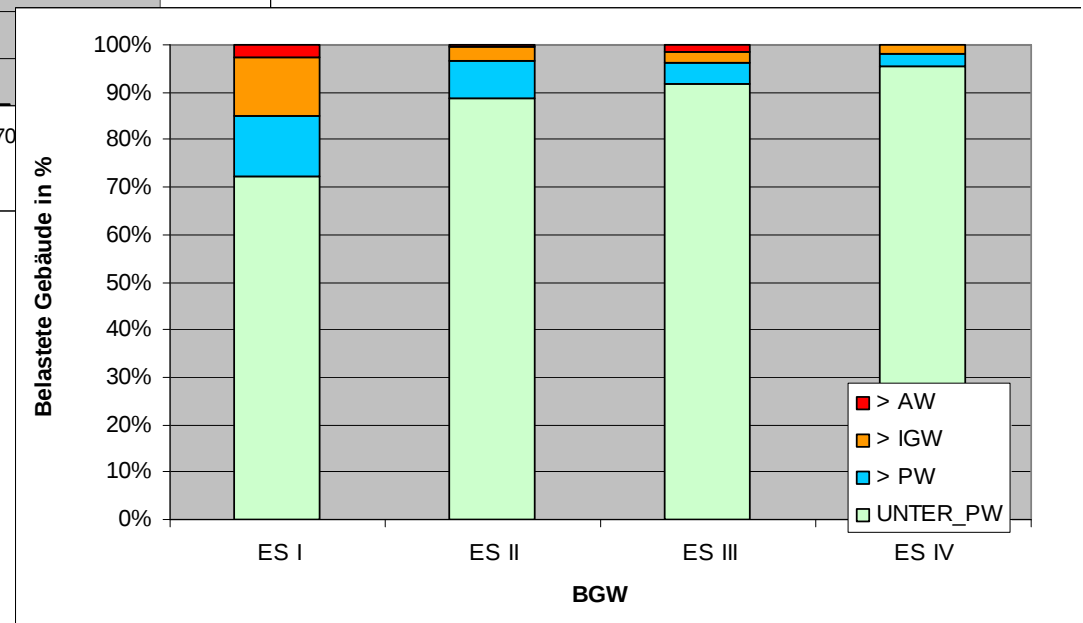
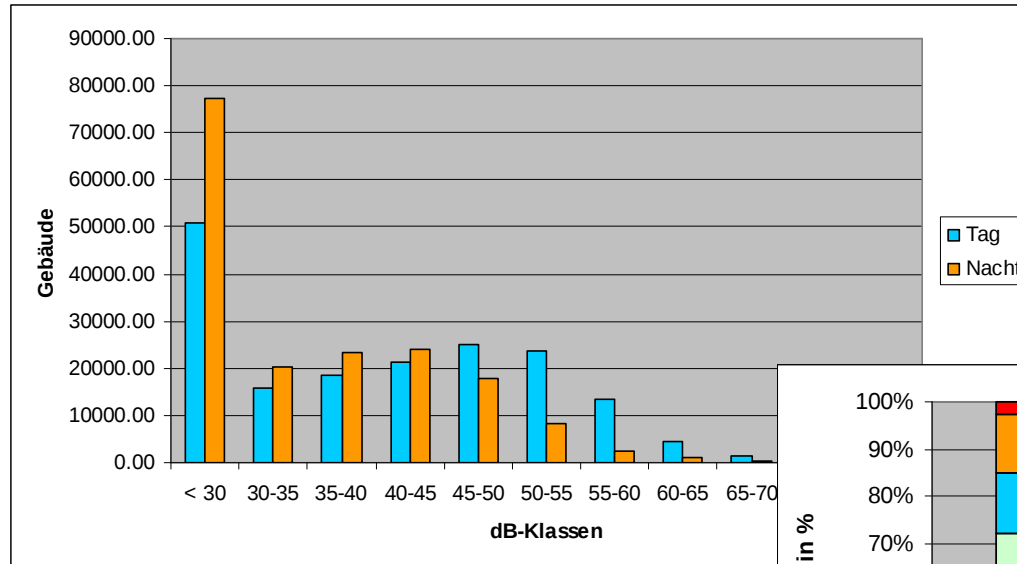
Wohnungen tot.: 578'000

Stark belastet (> IGW ES II)

= 22'000 Wohnungen (Tag), 40'000 Wohnungen (Nacht)



Resultate – Gebäude



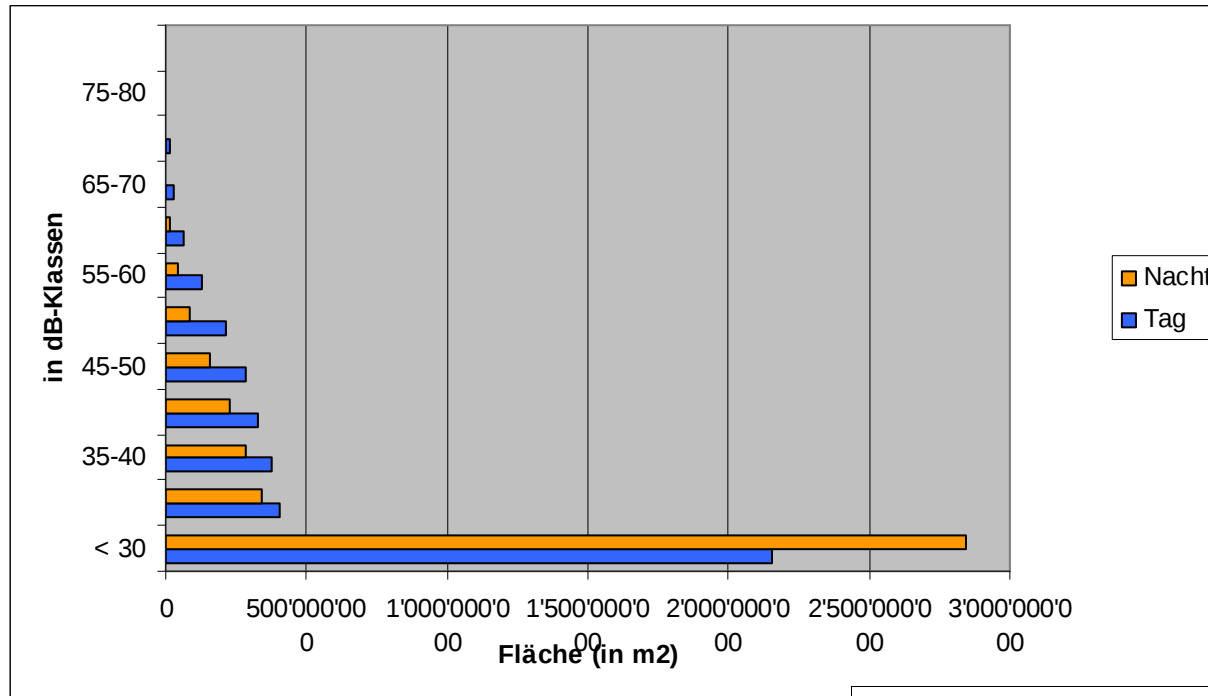
Gebäude tot.: 175'000

➤ **IGW** = ca. 4'400 (Tag), 9'461 (Nacht)

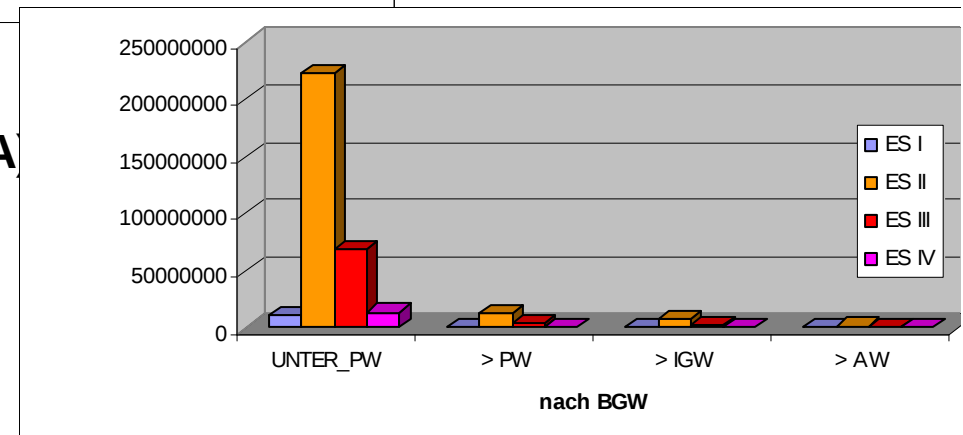
➤ **AW** = ca. 800 (Tag), 474 (Nacht)



Resultate – Flächen (über Raster)



Fläche total MFM-U-Korridor: 4'014 km²
Stark belastet (Tag > 60, Nacht > 50 dB(A)
= 121 km² (3%), 164 km² (4%)





FAZIT I

- Erste **flächenhafte und punktgenaue** Strassenlärm-berechnung entlang d. Transitachse A2/A13
- **Statistische Auswertungen** Ist-Zustand Lärmbe-lastung (Personen, Gebäude, Wohnungen, Flächen).
- **Differenzbetrachtungen** zu 4 Szenarien.
- **Verbesserungen** jederzeit möglich (genauere Grundlagedaten, Import & Berechnen für Teilgebiete)



Datenmenge

- Rechenzeit = ca. **300** Computertage
- Berechnete Fläche = **4014.34 km²**, (4km Perimeter)
- Gesamte Datenmenge (Grundlagendaten + Resultate) angeben = **ca. 2.6 GB**
- Ausbreitung mit Reflexionen erster Ordnung, Emissionen aus EMPA97.



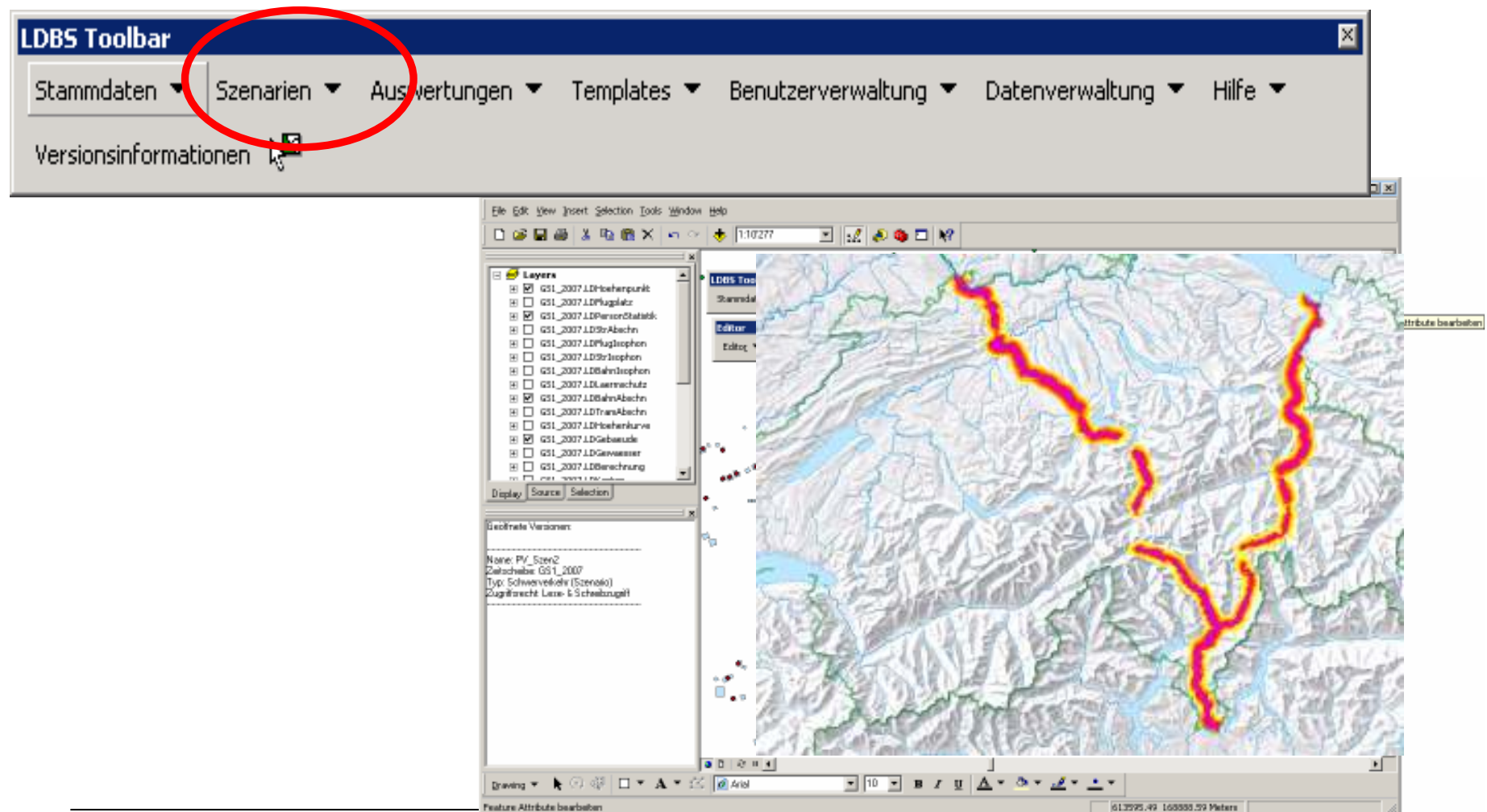
Fazit II - Qualität d. Resultate?

- **Modellierung** der Resultate, Jahresmittelwerte (L_{eq} , L_r), damit **keine saisonalen Schwankungen** enthalten
- **Genauigkeit:** Geometrie +/- 8 m (Vektor25), ungenaue Lage VZ2000-Punkte (BFS)
- **Verzerrungen:** Höhen Gebäude und Lärmschutzwände fehlen (Defaultwerte). Hinderniswirkung und Reflexionen bei Ausbreitungsrechnung. **Brücken** nicht modelliert.
- **Verkehrsdaten Strasse:** Unvollständig, nur DTV (kein Tag / Nacht, Schwerverkehr, Geschwindigkeiten). Ergänzungen u. Korrekturen (manuell), Interpolationen.



Weiteres Vorgehen – MFM-U

- Verkehrsszenarien berechnen



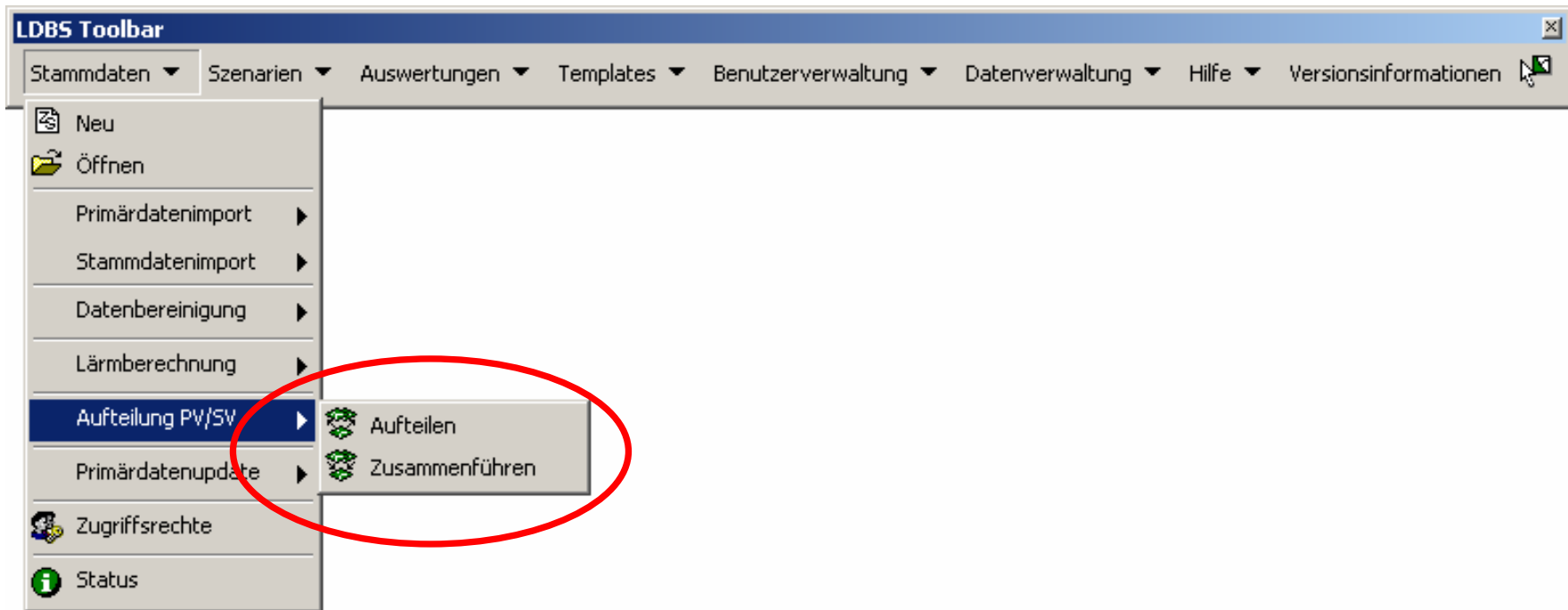


Mögliche Szenarien MFM-U „Lärm“

- Ohne Verlagerungspolitik (1.548 Mio aqSGF)
- Mit Verlagerungsziel (650'000 aqSGF)
- Reduktion SGF: -50%, -70% bis -100% (keine SGF)
- Gefahrene Geschwindigkeiten (Bedingung EXTRA MFM-U SGF +10-15km/h)
- Signalisierte Höchstgeschwindigkeit PW 120km/h, SGF 80km/h (wie GS1)
- Massnahme Geschwindigkeitsreduktion PW auf 100km/h
- Massnahme Erweiterung Nachtfahrverbot bis 6 Uhr



Aufteilung in Schwer- /Personenverkehr



Aufteilung PV - SV

Immissionen können auf die verursachenden Verkehrskategorien (**Personenverkehr / Schwer- bzw. Güterverkehr**) zurückgeführt werden.

Vorgehen: Aus einem Stammdatensatz werden zwei separate Versionen gezogen (jeweilige andere Version wird auf null gestellt)



Exkurs – Pilotprojekt LDBS (BAFU)

- **Lärmmonitoring Schweiz, Lärmberechnungen Gesamtschweiz**

- **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}
- **Berücksichtigte Berechnungsmodelle:**
 - Strassenverkehrslärm: StL86+
 - Eisenbahnlärm: SEMIBEL
 - Flugverkehr: Import d. Lärmisophonen BAZL



Berechnungseinstellungen CH

Parametereinstellungen:

- Max. Fehler = 1,0 dBA
- Max. Suchradius = 2000 m
- Max. Reflexionsordnung = 0

Rechengebiet:

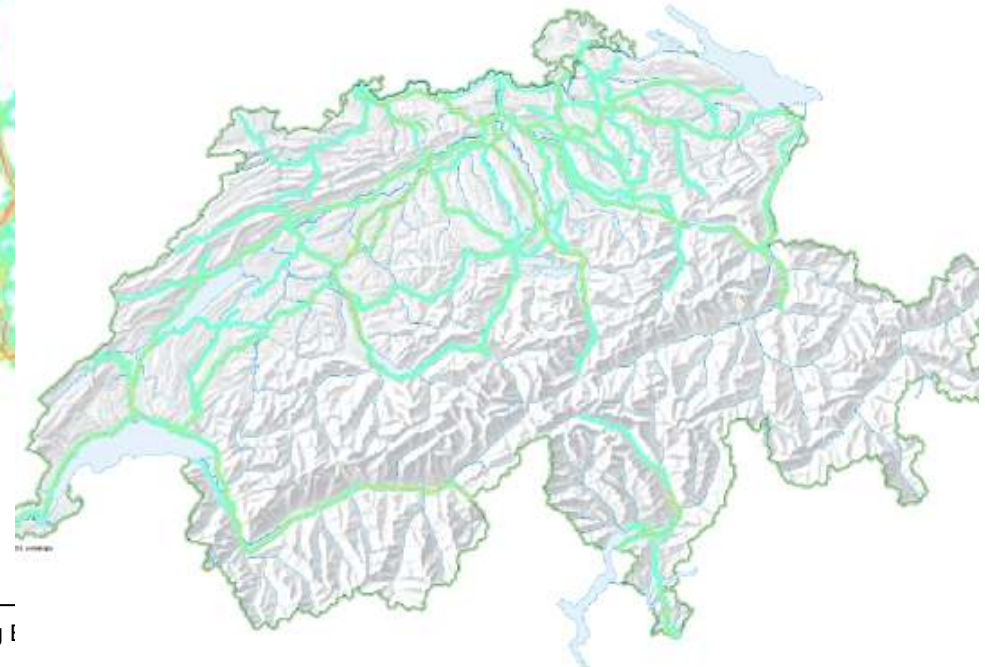
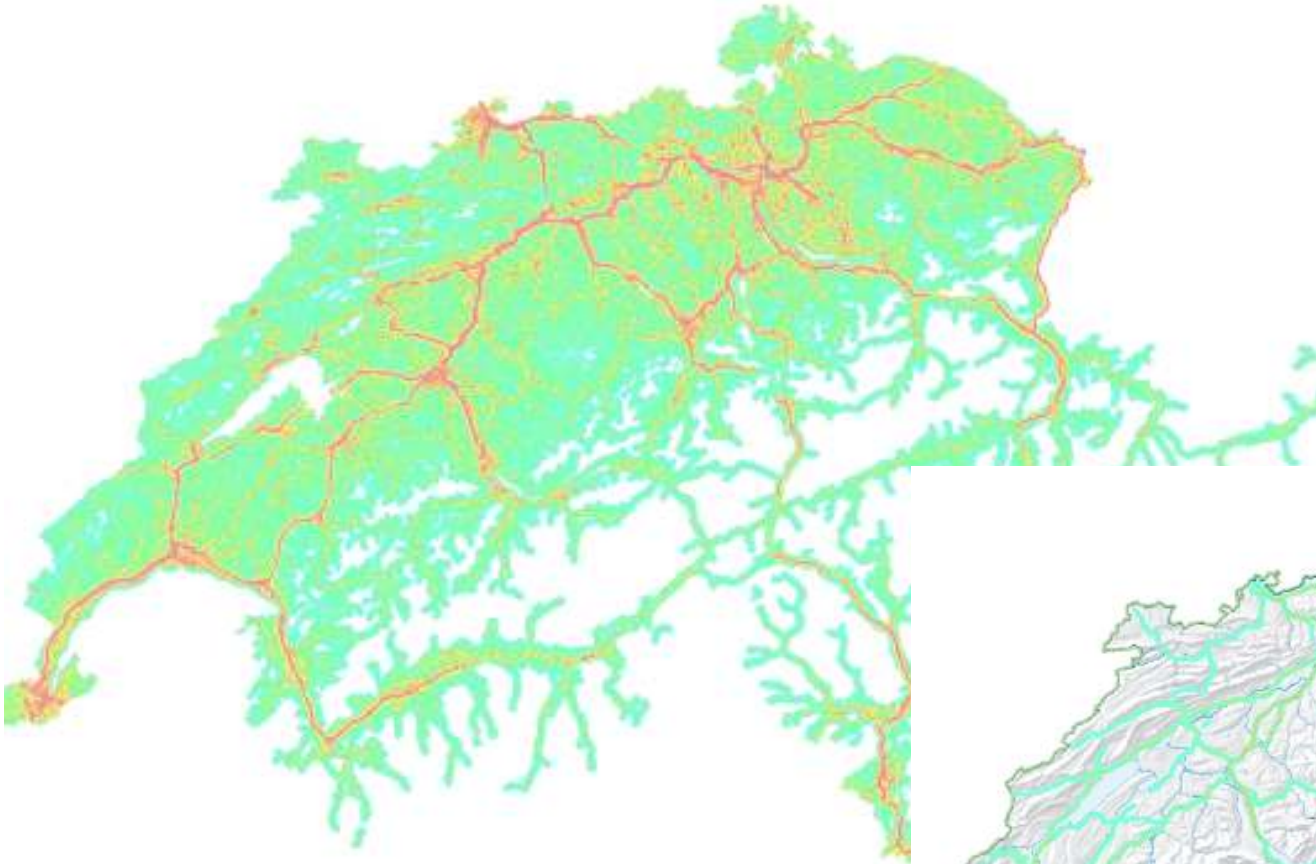
- Gesamte Schweiz (> 41'000 km²)

Datenmenge:

> 100 GB



LDBS – Immissionen Strasse, Eisenbahn (Tag, Raster)





Berechnungszeit

Hochrechnung Schweiz (Anzahl Rechnertage auf 1 PC):

• Strasse Raster	180 Tage
• Strasse Hausbeurteilung	70 Tage
• Bahn Raster	40 Tage
• <u>Bahn Hausbeurteilung</u>	<u>25 Tage</u>
Totale Rechenzeit	315 Tage

Rechengebiet:

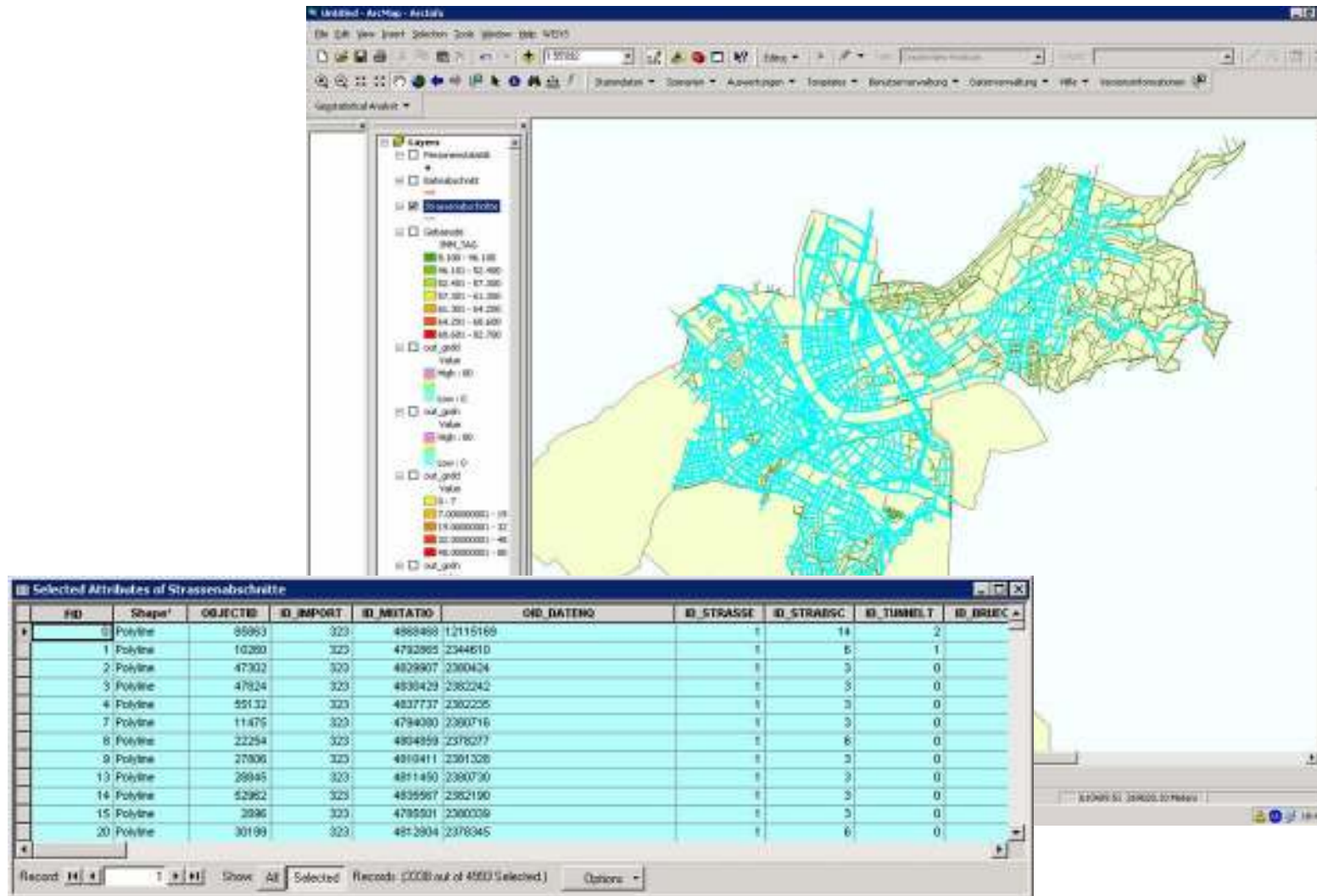
- Gesamte Schweiz (> 41'000 km²)

Datenmenge:

> 100 GB

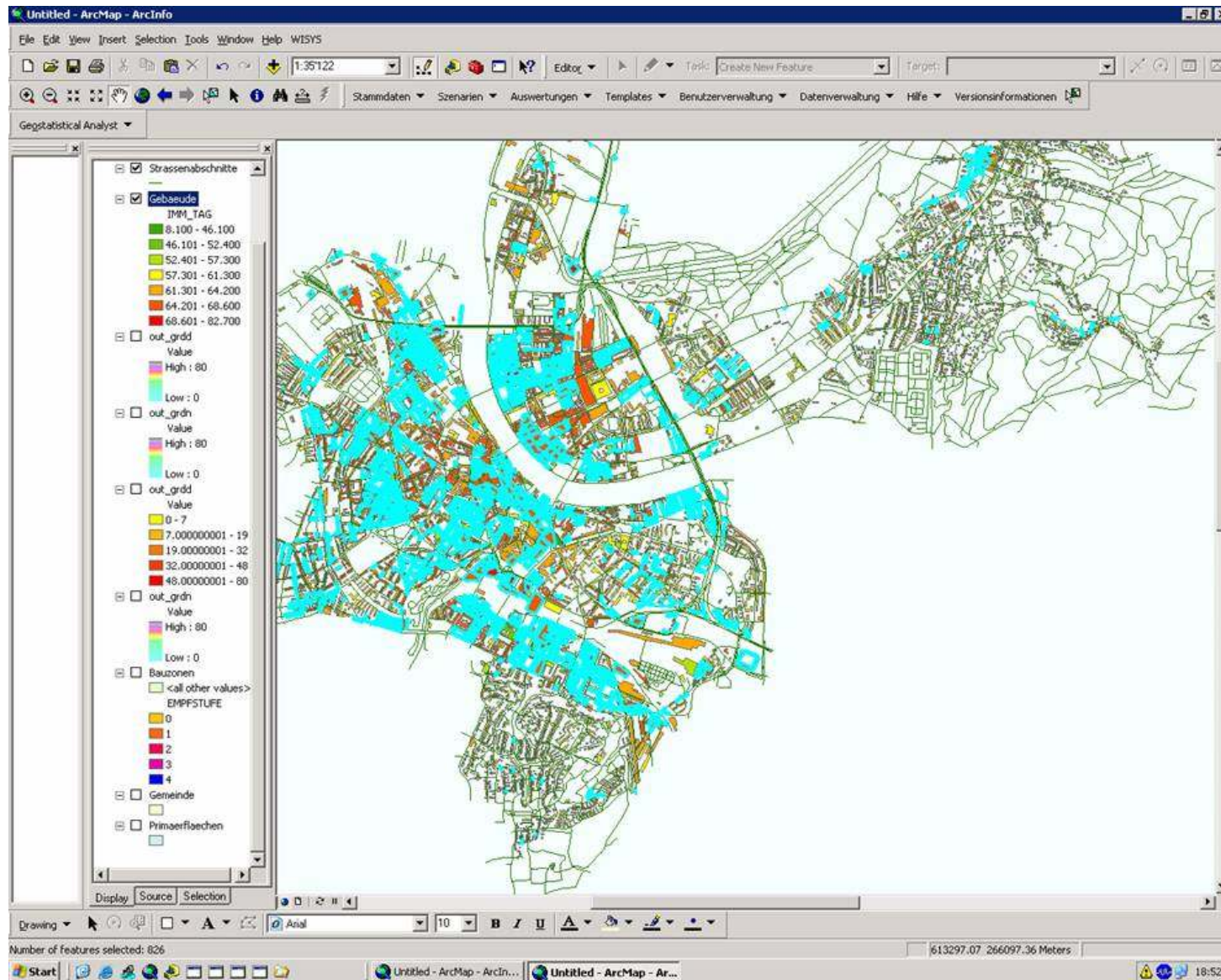


Auswertung – Selektion Strassen mit Emissionen > 65 dB (Tag)



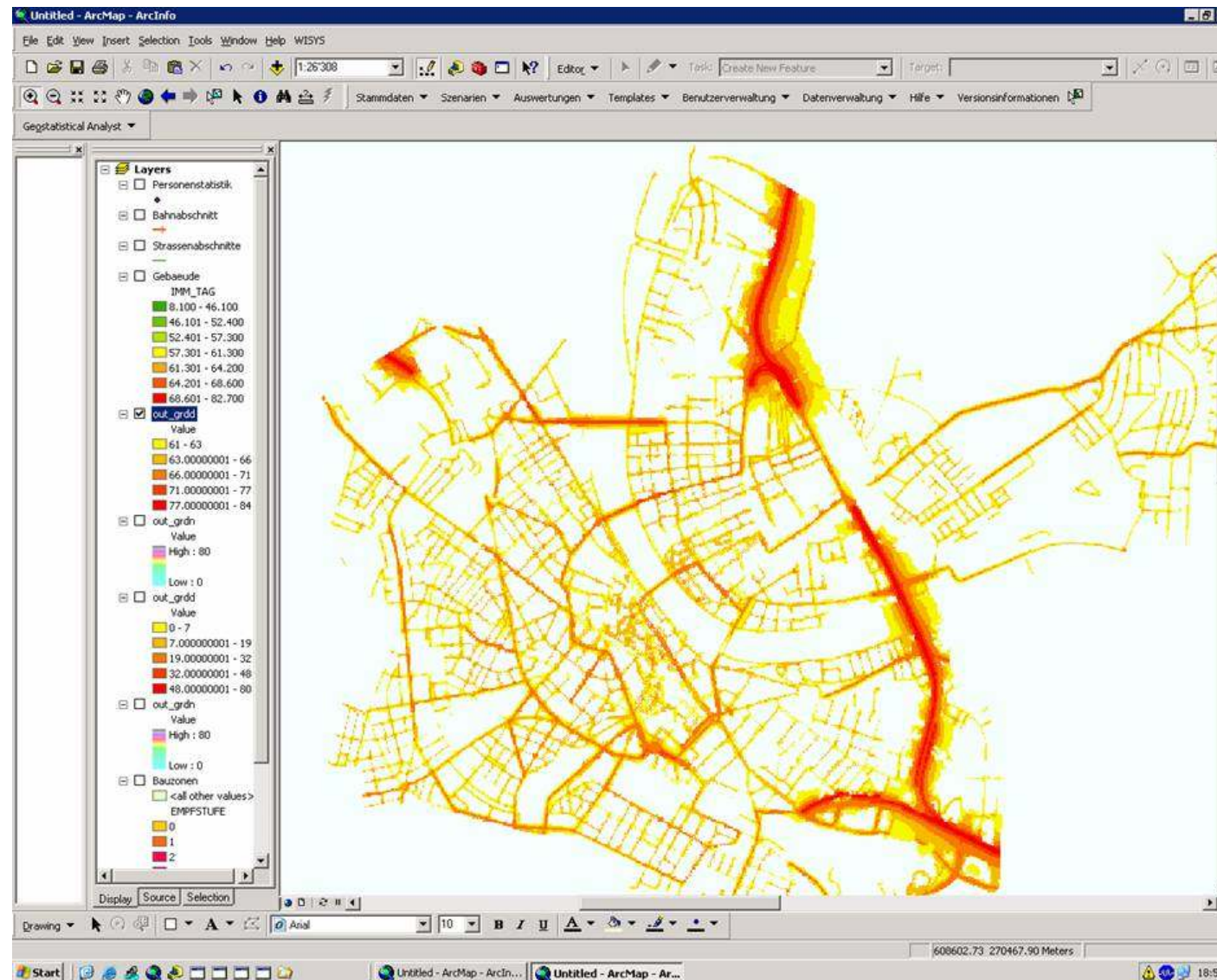


Auswertungen – Gebäude > 65 dB





Auswertungen – Zonen zw. 65/80 dB





Tabellen – Typ, Belag, Massnahmen

OBJECTID*	BEZEICHNUNG_DE	BEZEICHNUNG_FR	BEZEICHNUNG_IT	TYP	TYPID*
1	2. Klass Strasse	<Null>	<Null>	2. Klass Strasse	1
2	4. Klass Strasse	<Null>	<Null>	4. Klass Strasse	2
3	Quartierstrasse	<Null>	<Null>	Quartierstrasse	3
4	D: Wirtweg	<Null>	<Null>	D: Wirtweg	4
5	F: Autre route régulièrement entretenue	<Null>	<Null>	F: Autre route régulièrement entretenue	5
6	1. Klass Strasse	<Null>	<Null>	1. Klass Strasse	6
7	3. Klass Strasse	<Null>	<Null>	3. Klass Strasse	7
8	5. Klass Strasse	<Null>	<Null>	5. Klass Strasse	8
9	D: Fussweg	<Null>	<Null>	D: Fussweg	9
10	6. Klass Strasse	<Null>	<Null>	6. Klass Strasse	10
11	F: Sentier, layon, ligne de coupe	F: Sentier, layon, ligne de coupe	<Null>	F: Sentier, layon, ligne de coupe	11
12	D: Fahrweg	<Null>	<Null>	D: Fahrweg	12
13	Autobahn richtungsgetreunt	<Null>	<Null>	Autobahn richtungsgetreunt	13

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 35 Selected.) Options

OBJECTID*	BEZEICHNUNG_DE	BEZEICHNUNG_FR	BEZEICHNUNG_IT	TYP	TYPID*	BELAGSKORREKTUR
1	nicht geriff. Gussasphalt	<Null>	<Null>	nicht geriff. Gussasphalt	1	0
2	Beton	<Null>	<Null>	Beton	2	2
3	ebenes Pflaster	<Null>	<Null>	ebenes Pflaster	3	3
4	Pflaster	<Null>	<Null>	Pflaster	4	6
5	Beton mit Stahlbesenstrich	<Null>	<Null>	Beton mit Stahlbesenstrich	5	1
6	Beton mit Jutetuch	<Null>	<Null>	Beton mit Jutetuch	6	-2
7	Asphaltbeton <= 0/11	<Null>	<Null>	Asphaltbeton <= 0/11	7	-2
8	Offenpor. Asphalt 0/11	<Null>	<Null>	Offenpor. Asphalt 0/11	8	-4
9	Offenpor. Asphalt 0/8	<Null>	<Null>	Offenpor. Asphalt 0/8	9	-5

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 9 Selected.) Options



Tabellen – Verkehrsmenge, Emissionen

	NTAG	NNACHT	ID_STRABSCHN_VK*	VMAXPV	VMAXSV	DTV	PNDAYS	PNEVENINGS	PNNIGHTS	PNTAGS	PNNACHTS	STEIGUNG	ID_STRBELAGTYP*
▶	23.148	3.592	793918	50	50	399.1	10	10	5	10	5	0	<Null>
	0	0	351607	0	0	0	10	10	5	10	5	0	<Null>
	0	0	85145	0	0	0	10	10	5	10	5	0	<Null>
	0	0	1155903	0	0	0	10	10	5	10	5	0	<Null>

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of *2000 Selected.) Options ▾

	OBJECTID*	verwendekorrektur	LRTAG	LRNACHT	LDAY	LEVENING	LNIGHT	ID_STRABSCHN_EM*	K1TAG	K1NACHT	K1D.
▶	793918	<Null>	0	0	0	0	0	1242887	-5	-5	
	1150965	<Null>	58.335	48.782	58.335	58.335	48.782	351878	-5	-5	
	65758	<Null>	72.767	58.334	72.767	72.767	58.334	587062	0	-5	
	351607	<Null>	0	0	0	0	0	1212829	-5	-5	
	644103	<Null>	0	0	0	0	0	961727	-5	-5	
	85145	<Null>	0	0	0	0	0	150570	-5	-5	

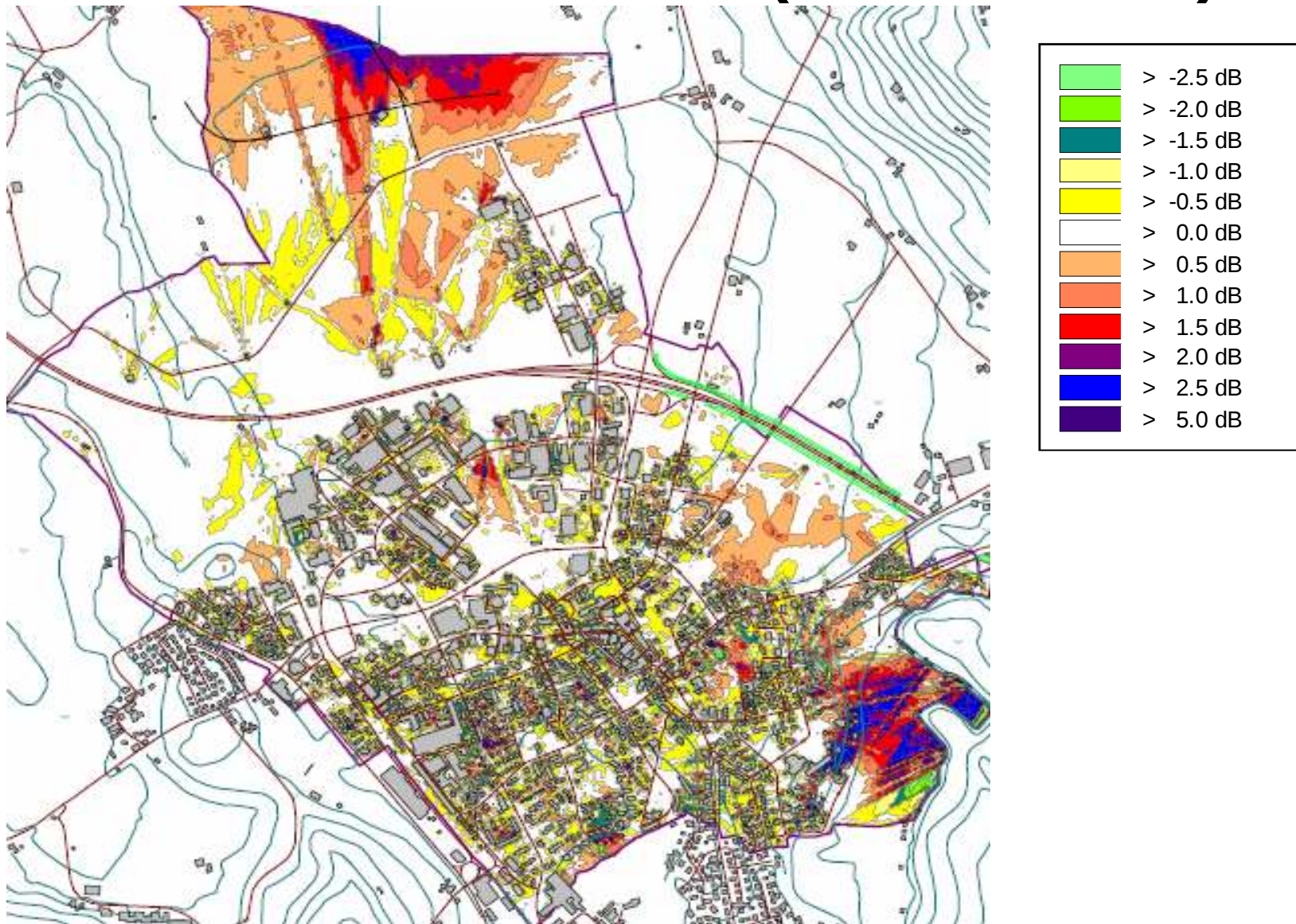
Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of *2000 Selected.) Options ▾

Vergleich „LDBS“ – „MFM-U Lärm“

<i>Einstellung</i>	<i>Genauigkeitsstufe</i>		
	<i>Grob</i>	<i>Mittel</i>	<i>Fein</i>
Max. Fehler [dB]	1.0	0.5	0.0
Max. Suchradius [m]	1000	1500	2000
Rasterfaktor	1.00	0.75	0.50
Maximale Abschnittslänge [m]	1000	750	500
Minimale Abschnittslänge [m]	10	10	10
Projektion Linienquelle	nein	nein	ja
Reflexionsgrad	0	0	1
Relative Berechnungszeit [%]	100	220	13300



Differenz Fein – Grob (Basis: LDBS)





Vergleich Resultat – Anzahl lärmbelasteter Personen

<i>Pegel [dBA]</i>		<i>Anzahl Bewohner</i>					
		<i>Variante Genau</i>		<i>Variante Mittel</i>		<i>Variante Grob</i>	
		<i>Tag</i>	<i>Nacht</i>	<i>Tag</i>	<i>Nacht</i>	<i>Tag</i>	<i>Nacht</i>
<i>von</i>	<i>bis</i>						
	30	0	0	0	0	0	0
30	35	0	4	0	4	0	8
35	40	0	66	0	68	0	62
40	45	0	345	11	394	15	335
45	50	45	246	36	195	30	256
50	55	151	260	158	260	127	262
55	60	314	25	308	26	338	24
60	65	287	5	292	4	295	4
65	70	137	0	129	0	129	0
70	75	17	0	17	0	17	0
75		0	0	0	0	0	0



Fazit MFM-U - LDBS

- im **innerstädtischen Bereich** sind die Differenzen relativ gering (0 bis 3 dB absolut)
- grössere Differenzen in **Distanzen >1000m** zu einer Quelle mit hohen Emissionen; jedoch hier mit **Lr < 40 dBA** („Ruhezonen“)
- die Rechenzeit hängt direkt von der gewählten Genauigkeitsstufe ab



BAFU – Applikation LDBS

- **Flächendeckend homogene** Basis- und Lärmdaten CH
- **Unabhängigkeit** gegenüber externen Datenquellen /-formaten. Daten zu verschiedenen Zeitpunkten halt- und auswertbar.
- **Auswertungen** effizient, einheitlich und kostengünstig (auch von Nichtlärmspezialisten)
- **Externe Stellen** einbindbar (skalierbares System) und flexible Benutzerverwaltung. Bürgerportal möglich (Website)
- **Szenarien und Prognosen** möglich („Was-wäre-wenn?“)
- Modularer Aufbau (ESRI) ermöglicht **Erweiterungen** und Auswertungen effizient zu ändern und einzubinden.



Kontakt BAFU

Kirk Ingold

Abt. Lärmbekämpfung,

Bundesamt für Umwelt BAFU

CH-3003 Bern

Tel. +41 (0) 31 324 13 57

Email: kirk.ingold@bafu.admin.ch



Tom Klingl

CC Geo- und Umweltdatenmanagement

Bundesamt für Umwelt BAFU

CH-3003 Bern

Tel. +41 (0) 31 324 71 03

Email: tom.klingl@bafu.admin.ch