Lärm im regionalen Massstab: ein Computerprogramm zur integralen Ermittlung von regionalen Lärmimmissionen

Autor(en): **Kias, Ulrich / Rihm, Beat / Schmucki, Claudia**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **107 (1989)**

Heft 5

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-77039

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Lärm im regionalen Massstab

Ein Computerprogramm zur integralen Ermittlung von regionalen Lärmimmissionen

Hinsichtlich eines problemadäquaten, mehrstufigen Mitteleinsatzes braucht es neben Rechenmodellen für Einzelsituationen auch solche, die einen Überblick über die Lärmsituation grösserer Gebiete erlauben. Ein solches auf regionalplanerische Fragestellungen zugeschnittenes Computermodell wurde am ORL-Institut der ETH Zürich entwickelt. Die dargestellten Anwendungsbeispiele stammen aus der Fallstudie «Ökologische Planung Bündner Rheintal», deren Ziel der verbesserte Einbezug ökologischer Sachverhalte in die Richtplanung ist.

VON ULRICH KIAS, BEAT RIHM UND CLAUDIA SCHMUCKI, ZÜRICH

Ausgangslage

Die Simulation von Lärmimmissionen ist im Grunde genommen nicht neu. Schon lange hat man neben der Messung des Lärms auch dessen Ermittlung über theoretisch-empirische Modelle verfolgt [1]. Seit Inkraftsetzung des Umweltschutzgesetzes (USG) auf den 1.1. 1985 und der darauf gestützten Lärmschutzverordnung (LSV) vom 15.12. 1986 hat die rechnerische Ermittlung von Lärmimmissionen aber eine neue, brennende Aktualität gewonnen.

Zum einen lässt sich die Belastung durch zukünftige, lärmemittierende Anlagen nur auf diesem Wege bestimmen. Die gemäss Art. 9 USG zu erarbeitenden Berichte zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) werden also auf Modellrechnungen basieren müssen. Darüber hinaus sind Kantone und Gemeinden angewiesen, einen Überblick über bestehende Lärmimmissionen als Grundlage für allfällige Sanierungsnotwendigkeiten, aber auch im Zusammenhang mit zukünftigen Planungen (z.B. der Nutzungsplanung) zu erarbeiten.

Es liegt auf der Hand, dass die Erstellung solcher Lärmkataster flächendekkend über grössere Räume hinweg kaum über den Weg der Lärmmessung erreicht werden kann; der Aufwand ist absolut unverhältnismässig. Einfache, der Erarbeitung eines Überblickes dienende computergestützte Simulationsmodelle können helfen, diese Lücke zwischen gesetzlich Gefordertem und messtechnisch Machbarem zu schliessen. Lärmmessungen bleiben dann weitgehend der Bearbeitung von Einzelfällen und rechentechnischen Problemlagen vorbehalten.

Bisher in der Schweiz existierende Modellansätze für die rechnerische Ermittlung von Lärmimmissionen zielen praktisch ausschliesslich auf zwei massstäbliche Betrachtungsebenen:

- die lokale Betrachtung weniger Einzelsituationen
- die nationale Betrachtung im Überblick

Als Beispiel für den erstgenannten Betrachtungsmassstab ist vor allem das inzwischen zu einem «Schweizer Standard» gewordene Modell StL-86 der EMPA zu nennen [2]. Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass es auf Personal Computern lauffähig und ausgesprochen einfach in der Handhabung ist. Gerade diese Einfachheit beinhaltet natürlich auch die Gefahr des nicht problemadäquaten Einsatzes, da die Benutzung des Programmes vordergründig keine spezifischen Kenntnisse vorauszusetzen scheint. Komplizierter ist da etwa das sogenannte. «Modell 77 von Prof. Rathe», welches aber auch in der Lage ist, wesentlich kompliziertere und komplexere Problemstellungen zu bearbeiten [3].

Als Beispiel für den zweitgenannten Betrachtungsmassstab kann das im Zusammenhang mit den Arbeiten des Stabs für Gesamtverkehrsfragen erarbeitete Modell erwähnt werden, welches auf der Basis eines Hektarrasters für die bebauten Gebiete der Schweiz die Lärmimmissionen aus dem Strassenverkehr überblickhaft ermittelte, um mit diesem Material Bilanzen der Lärmexposition der Bevölkerung zu erstellen. Im Zentrum steht dabei weniger die korrekte Repräsentation jedes Einzelfalles, sondern die Darstellung einer nationalen Gesamtsituation zur Vorbereitung von grundlegenden Gesamtstrategien [4].

Eine dritte Betrachtungsebene, die massstäblich zwischen den genannten anzusiedeln wäre, ist bisher noch wenig beachtet worden. Es ist dies der *regionale Massstab*. Computersimulationsmodelle, die speziell auf diesen Massstab zugeschnitten sind, existierten bislang nicht. Sie müssten vom Anforderungsprofil her die Vorteile der Korrektheit der lokalen Betrachtung mit den Vorteilen der Überblickserreichung der nationalen Betrachtung verbinden. Dass dies eine Gratwanderung auf der Suche nach einem geeigneten Kompromiss sein wird, liegt dabei auf der Hand. Gerade im Hinblick auf einen adäquaten Mitteleinsatz bei der stufenweisen Erarbeitung von Lärmkatastern dürfte sich diese Suche jedoch lohnen. In der Richtplanung sollte die Chance nicht vertan werden, Lärmschutzproblemen zuvorzukommen, statt später für teures Geld Sanierungen durchzuführen [5].

Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes «Grundlagen und Möglichkeiten ökologischer Planung» wurde am Fachbereich Landschaft des ORL-Institutes der ETH Zürich das auf den genannten Anwendungsbereich zugeschnittene Modell REGIOLÄRM erarbeitet. Testraum und erstes Anwendungsbeispiel für dieses Modell ist die Planungsregion «Bündner Rheintal», die in dem Projekt «Ökologische Planung - Fallstudie Bündner Rheintal» bearbeitet wird [6].

Modellansatz für das Modell REGIOLÄRM (Teilbereich Strassenverkehr)

Der Modellansatz des Modells REGIOLÄRM kann unterteilt werden in ein akustisches Modell und ein Geländemodell.

Das akustische Modell

Das akustische Modell beruht auf den gleichen theoretisch-empirischen Grundlagen, auf denen auch das EMPA-Modell StL-86 aufgebaut ist. Wie dieses liefert es den sogenannten A-bewerteten «Leq» oder «energieäquivalenten Dauerschallpegel», gemessen in dB(A), der die Basis für den Beurteilungspegel gemäss Lärmschutzverordnung bildet. Entgegen der früher üblichen Praxis der Verwendung statistischer Pegel wird mit dem Leq eine Art Mass für die Gesamtlärmdosis eingesetzt, der ein Betroffener ausgesetzt ist. Kern des akustischen Modells ist die auch dem Modell StL-86 zugrundelie-

$$L_o = A + 10 \cdot \log[(1 + (v/50)^3) \cdot (1 + B \cdot Eta \cdot (1\text{-}v/150))] + 10 \cdot \log[M] \quad (1)$$

L_o	Energieäquivalenter Dauerschallpegel in dB(A)
A,B	Empirische Konstanten; A = 42, B = 20
v	Geschwindigkeit in km/h
Eta	Lastwagenanteil am Gesamtverkehr
M	Verkehrsmenge in Fahrzeugen/h

$$L_s = L_o + f(p) + f(B) - f(s,\Phi) - f(r) - f(h,r) - f(D,d) - f(\gamma,H) \quad (2)$$

L_s	Lärmpegel im Abstand s = lotrechter Abstand vom Empfangspunkt zur Quelle
L_o	Grundpegel gemäss Quellenfunktion (1)
$f(p)$	Korrektur des Pegels aus der Quellenfunktion aufgrund der Steigung p
$f(B)$	Korrektur des Pegels aus der Quellenfunktion aufgrund der Strassenbelagscharakteristik B
$f(s,\Phi)$	Geometrische Ausbreitungsdämpfung; s = lotrechter Abstand vom Empfangspunkt zur Quelle, Φ = Aspektwinkel
$f(r)$	Luftabsorption; r = Schallweg
$f(h,r)$	Bodendämpfung; h = mittlere Schallausbreitungshöhe, r = Schallweg
$f(D,d)$	Bodennutzungsabhängige Dämpfung; D = Dichte von Bebauung und/oder Bewuchs, d = Dämpfungsstrecke
$f(\gamma,H)$	Topografische Abschirmung; γ = Schattenwinkel der topografischen Abschirmung, H = wirksame Abschirmhöhe

gende *Quellenfunktion,* welche in den Jahren 1978–1981 an der EMPA entwickelt wurde [7] und mit der Formel (1) (vgl. Kästchen) umschrieben wird. Formel (2) ist eine allgemein formulierte und auf die wichtigsten Komponenten reduzierte Beschreibung des *Immissionspegels* für einen beliebigen Punkt im Abstand s von der Fahrbahnachse.

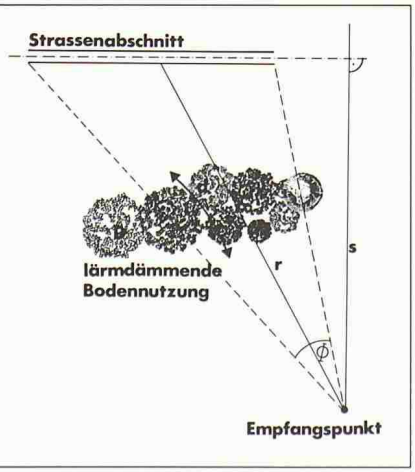


Bild 1. Einige der wichtigsten Parameter aus Gleichung (2)

Mit zwei Ausnahmen sind alle genannten Komponenten in der Formel (2) in Anlehnung an die Berechnungsweise des EMPA-Modells StL-86 in das Modell REGIOLÄRM übernommen worden. Daher werden diese hier nicht mehr ausführlich dargestellt. Der daran interessierte Leser findet die entsprechenden Angaben im Benutzerhandbuch des Modells StL-86 [8].

Zum einen erfolgte die Behandlung der Bodendämpfung aus modelltechnischen Gründen in einer vereinfachten Form. Sie wurde, auf Faustzahlen reduziert, in die Modellkomponente «Bodennutzungsabhängige Dämpfung» eingebettet. Diese wird für verschiedene Typen vorkommender Bodennutzung mit unterschiedlichen Dichtekategorien (z.B. unterschiedlich dichter Gehölzbewuchs) beschrieben als «nutzungsabhängige Dämpfung in dB(A) pro Meter Ausbreitungsweg».

Zum zweiten wurde, im Unterschied zum Modell StL-86, die Möglichkeit einer Pegelkorrektur aufgrund der Strassenbelagscharakteristik vorgesehen.

Das Geländemodell

Das Geländemodell ist auf die Ermittlung der Lärmimissionen mittels einer systematischen Stichprobenmethodik ausgelegt. Das zu bearbeitende Gebiet wird mit einem Rasternetz mit wählbarer Maschenweite überzogen. Die Schnittpunkte dieses Netzes (Netzmaschen) bilden die Stichprobenelemente des Modells. Für die Bearbeitung des Testraumes «Bündner Rheintal» wurden bei einer Maschenweite von 50 Metern Datenmatrizen von 700·500 Elementen benötigt; das ergibt eine Stichprobenzahl von 350 000.

Mit Hilfe von drei den Bearbeitungsraum geografisch repräsentierenden Datenmatrizen werden die für das Modell benötigten räumlichen Parameter beschrieben. Eine dieser Matrizen beinhaltet die Höhe des Geländes über Meer, eine zweite die Bodennutzung des Bearbeitungsraumes und eine dritte den Verlauf der Strassen, die in die Berechnung einbezogen werden sollen. Der Strassenverlauf wird also nicht in Form von Polygonzügen beschrieben. Vielmehr wird ein Strassenstück als Aneinanderreihung einzelner Punktschallquellen wie auf einer Perlenschnur aufgefasst, deren Abstand zueinander sich aus der gewählten Maschenweite des Rasternetzes ergibt. Jeder Eintrag in der Strassenverlaufsmatrix repräsentiert also einen Strassenabschnitt, dessen Länge von der gewählten Maschenweite abhängig ist. Dieses Vorgehen erlaubt eine wesentlich vereinfachte Behandlung des algorithmischen Problems der Lärmausbreitungssimulation, womit auch die Ansprüche an die Rechenkapazität relativ klein gehalten werden. Schallüberlagerungen durch gebündelte oder sich kreuzende Trasseeführungen lassen sich in der Berechnung leicht berücksichtigen. Die Berechnungsergebnisse werden wie die Eingangsdaten in einer Matrix gemäss dem gewählten Rasternetz abgelegt. Bild 2 verdeutlicht den Datenfluss des Modells.

Der Algorithmus zur Lärmausbreitungsrechnung geht auf einen an der Landesanstalt für Umweltschutz in Baden-Württemberg entwickelten Modellansatz zurück [9]. Er wurde jedoch für das Modell REGIOLÄRM grundlegend überarbeitet und erweitert und dabei vollständig neu programmiert.

Die Datenmatrix, welche die Stichprobenelemente für den Verlauf der Strassen enthält, wird auf Einträge abgesucht. Für jeden gefundenen Eintrag wird dann eine Teillärmmatrix (siehe Bild 3) erstellt, deren Grösse von einer vom Benutzer gewählten maximalen Ausbreitungsdistanz R abhängt. Sie enthält für jede Netzmasche den Lärmanteil, der dem jeweils berechneten Strassenabschnitt zuzuschreiben ist. Nachdem die Berechnung der Teillärmmatrix für einen Strassenabschnitt durchgeführt ist, werden deren Ergebnisse gemäss der Formel für die Addition mehrerer Schallpegel zu den Einträgen in der Gesamtlärmmatrix addiert (vgl. Formel (3)).

$$L_{gesamt} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^{n} 10^{0,1\,L_i} \quad (3)$$

L_i: Einzelschallpegel
n: Anzahl der Einzelpegel

Die Berechnung der jeweiligen Teillärmmatrix geschieht dabei wie folgt:

Zunächst wird der Grundpegel an der Quelle ermittelt. Gemäss der vorgewählten maximalen Ausbreitungsdistanz werden zwei das Quellenelement umgebende Hilfsmatrizen belegt. Eine enthält die Entfernung jeder Netzmasche zur Netzmasche, welche die Quelle repräsentiert. Die zweite Hilfsmatrix enthält für jede Netzmasche den Höhenwinkel zur Quellmasche, welcher für die Berechnung der topografischen Abschirmung benötigt wird.

Ausgehend von der Quellmasche werden nun so viele radiale Profile verfolgt, bis alle Stichprobenelemente des durch die vorgewählte maximale Ausbreitungsdistanz definierten Umkreises erfasst sind. Das Programm prüft dabei, ob Sichtbeziehungen zur Quellmasche vorliegen oder ob sich Empfangspunkte

im Topografieschatten befinden (siehe Bild 3). Die jeweiligen Dämpfungswirkungen durch die Topografie sowie durch die Bodennutzung werden errechnet, bis die gesamte Teillärmmatrix belegt ist.

Vergleichstest zwischen dem Modell REGIOLÄRM und dem EMPA-Modell StL-86

Aufgrund der Ergebnisse eines ersten Testlaufes für das ganze Bündner Rheintal wurden eine Reihe von Transsekten quer zu Strassenstücken von unterschiedlichem Typ und Verkehrsaufkommen ausgewählt, um diese einem Vergleichstest mit dem als Standard eingeführten Lärmausbreitungsmodell der EMPA (StL-86) zu unterziehen.

Der mittlere Fehler dieses *Vergleichstests* mit über 50 Empfangspunkten lag in der Grössenordnung von 2 dB(A). Dieser Wert kann angesichts der Unterschiede im Detaillierungsgrad der Ausgangsdaten und modellbedingten Annahmen als sehr gute Übereinstimmung angesehen werden. Es muss schliesslich bedacht werden, dass das regionale Modell auf topografische Daten zurückgreift, die alle 50 m einen Höhenwert enthalten, während das EMPA-Modell mit charakteristischen Geländelinien arbeitet.

Erweiterung des Modells REGIOLÄRM um den Teilbereich Schienenverkehr

Die Gesamtlärmsituation eines Raumes beschränkt sich in der Regel nicht auf die Immissionen aus dem Teilbereich Strassenverkehr, auch wenn dieser häufig einen Hauptanteil trägt. So ergab sich auch bei der Anwendung und dem Test des Modells REGIOLÄRM im Bündner Rheintal die unbefriedigende Situation, dass ganze Raumausschnitte als lärmfrei erschienen, obwohl sie im Einflussbereich einer Bahnlinie liegen. Daher entstand der Entschluss, das Lärmmodell um die Komponente Schienenverkehr zu erweitern. Die dazu nötigen Grundlagen sind dem Eisenbahnlärmmodell der EMPA entlehnt [10]. Eine Ergänzung dieses schon älteren Modells erfolgte dahingehend, dass der Anteil neuen, leiseren Wagenmaterials berücksichtigt werden kann. Weiterhin wurde der für den Strassenlärm entwickelte Algorithmus um eine Pegelkorrektur ergänzt, mit der man in der Lage ist, die Dipoleigenschaft der Lärmquelle Eisenbahn zu berücksichtigen. Diese Eigenschaft rührt daher, dass die scheibenförmigen

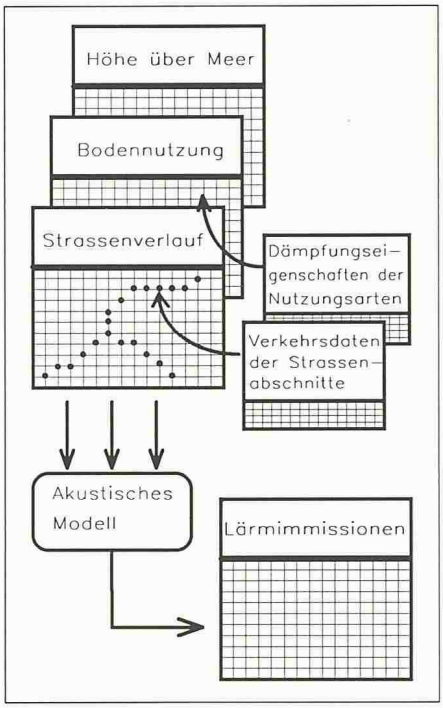


Bild 2. Datenfluss des regionalen Lärmmodells

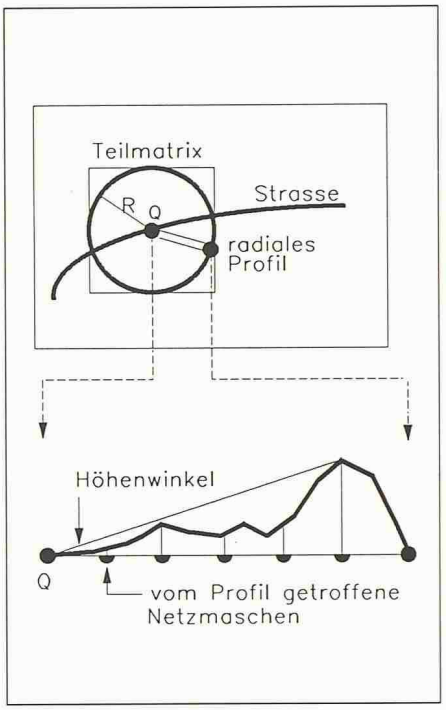


Bild 3. Funktionsweise des Algorithmus zur Ausbreitungsrechnung (Q = Quellmasche, R = wählbare maximale Ausbreitungsdistanz)

Literatur

[1] *Rathe, E.J.:* Über Methoden und Ergebnisse von Geräuschmessungen an Motorfahrzeugen, Habilitationsschrift, ETH Zürich 1965; oder auch die DIN 18005 «Schallschutz im Städtebau», Vornorm 1971.

[2] Bundesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm - Teil 1: Bedienungsanleitung zum Computerprogramm StL-86. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 60, Bern (EDMZ) 1987, 45 S.

[3] *Rathe, E.J.:* Modell 77 - Rechenprogramm für Lärmprognosen, herausgegeben vom Bundesamt für Umweltschutz, Bern 1980, 233 S.

[4] Eidg. Kommission für die schweizerische Gesamtverkehrsplanung GVK-CH (Hrsg.): Modelle zur Ermittlung der Luft- und Lärmbelastung durch den Verkehr; Arbeitsunterlage Nr. 29, Bern 1978, 80 S. und Anhänge. Als Fortführung dieser Arbeiten zu interpretieren ist die vom Planungsbüro Abay und Meier im Auftrag des Bundesamtes für Umweltschutz erarbeitete Verkehrslärmbelastungsstudie Schweiz, Abschlussbericht Mai 1988, sowie «Schweizer Ingenieur und Architekt» Heft 40/87.

[5] «Lärmschutz und Raumplanung», hrsg. vom Bundesamt für Umweltschutz und vom Bundesamt für Raumplanung, Bern (EDMZ) 1988, 145 S.

[6] *Gfeller, M.:* Die Region Bündner Rheintal als Testgebiet für das Projekt «Grundlagen und Möglichkeiten ökologischer Planung»; in *Reith, W.J., Lendi, M., Schmid, W.A.* (Hrsg.): «Ökologische Planung» im Grenzraum; Schriftenreihe des Instituts für Raumplanung und Agrarische Operationen der Universität für Bodenkultur Wien, Nr. 2, Wien 1986, S. 163-170; sowie *Trachsler, H., Kias, U.:* Ökologische Planung - Fallbeispiel Bündner Rheintal, ebenda, S. 171-193.

[7] Siehe dazu z.B. BUS/EMPA: Unterlagen zum Kurs «Strassenlärm» vom 18./19.6.84 sowie *Hofmann, R.:* Lärmbekämpfung I. Vorlesungsskript ETH Zürich 1983.

[8] StL-86-Bedienungsanleitung [2], S. 23-28.

[9] *Ehmke, W., Müller, M.:* Studien zur Ermittlung von Wasserdargebotspotential und Lärmbelästigung mit Hilfe der EDV; Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Bd. VII, Göttingen 1979, S. 191-199.

[10] EMPA: Berechnungsmodell für Eisenbahnlärm. Im Auftrag des Bundesamtes für Umweltschutz erarbeitet von der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe, Dübendorf 1978, 43 S. und Anhang.

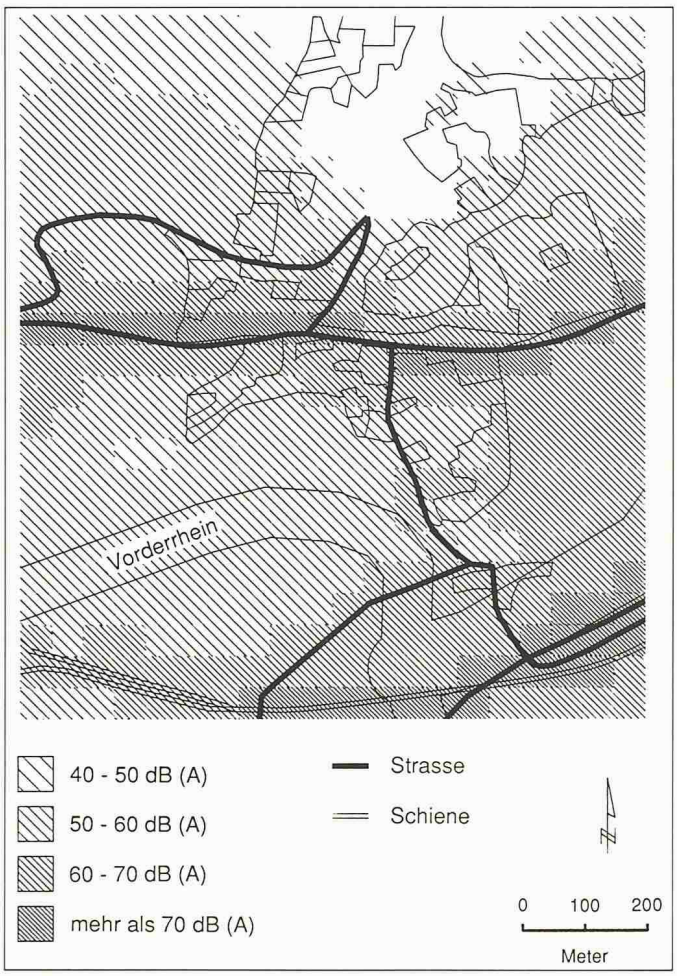


Bild 4. Regionale Lärmimmissionskarte (Ausschnitt Tamins)

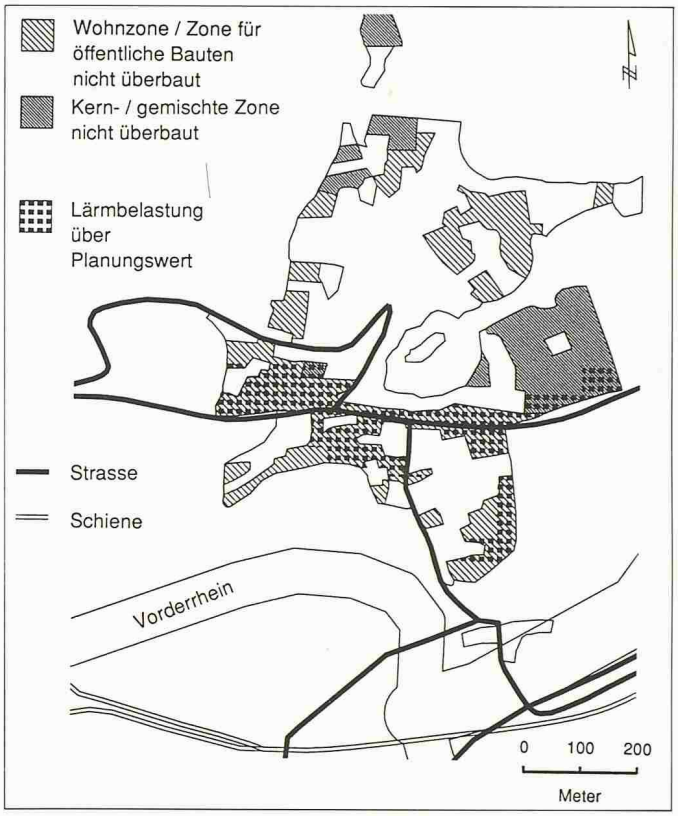


Bild 5. Karte der lärmbelasteten, unüberbauten Bauzonen (Ausschnitt Tamins)

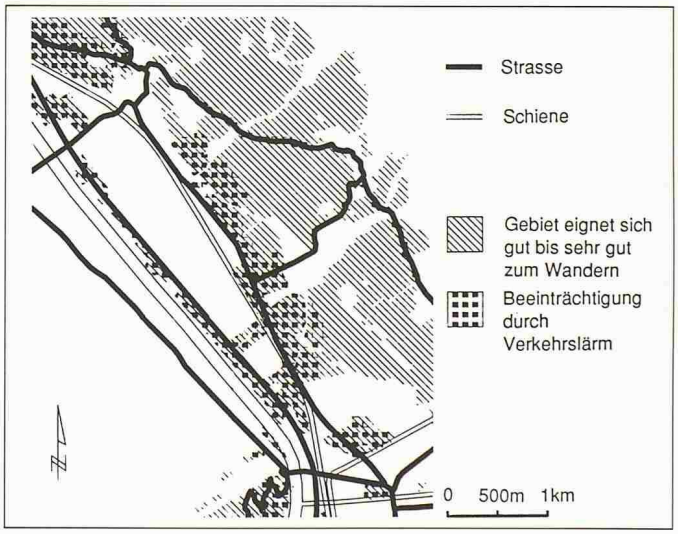


Bild 6. Beeinträchtigung der Erholungstätigkeit Wandern durch Verkehrslärm (Ausschnitt Maienfeld–Landquart)

Bahnräder viel mehr Schallenergie parallel zur Richtung ihrer Achse abstrahlen als senkrecht dazu.

Anwendungsbeispiele aus der Fallstudie «ökologische Planung Bündner Rheintal»

Das Projekt

Ziel des Projektes [6] ist die exemplarische Aufbereitung ökologisch relevanter Erkenntnisse als Grundlage für die regionale Richtplanung. Das konzeptionelle Vorgehen zur Erreichung dieses Zieles sei hier vereinfachend in zwei Schritten dargestellt.

In einem ersten Schritt ist die aktuelle Umweltsituation zu charakterisieren. Dazu gehört insbesondere auch die flächendeckende Ermittlung der Lärmimmissionen. Als Lärmquellen wurden die National- und Ortsverbindungsstrassen (insgesamt 145 km) sowie das Eisenbahnnetz (74 km) miteinbezogen.

In einem zweiten Schritt werden die Immissionskarten mit den Karten der Nutzungseignungen (bzw. Nutzungsvorgaben) überlagert, um Konflikt- und Sanierungsgebiete, aber auch verbleibende Handlungsspielräume sichtbar zu machen. Bezüglich Lärm sind vor allem Aussagen über die Belastung der Nutzungen «Wohnen» und «Erholung» von Interesse.

Zur Datenbeschaffung

Die Parameter zum Verkehrsaufkommen und zu dessen Zusammensetzung wurden zum Teil durch Verkehrszählungen ermittelt, zum Teil sind sie das Ergebnis einer amtsinternen «Delphi-Umfrage» im Tiefbauamt des Kantons Graubünden aus dem Jahre 1985. Auskünfte über die entsprechenden Parameter des Schienenverkehrs lieferten die Kreisdirektion der Schweizerischen Bundesbahnen und die Direktion der Rhätischen Bahn.

Das digitale Geländemodell beruht auf den Höhenkurven der Landeskarte 1:25 000, welche das Bundesamt für Landestopographie in gescannter Form zur Verfügung stellte. Ergänzend dazu

wurden einzelne Höhenkoten digitalisiert. Diese Daten wurden dann am Geographischen Institut der Universität Zürich auf ein regelmässiges Quadratraster der Maschenweite 50 Meter interpoliert.

Die Angaben über die Bodennutzung wurden durch Interpretation von Luftbildern gewonnen. Es standen Infrarot-Farbluftbilder des Sanasilva-Programmes von 1984, in einem Massstab von etwa 1:11 500, zur Verfügung. Die Bodennutzung wurde flächenscharf im Massstab 1:10 000 erfasst, mit Überprüfungen im Feld ergänzt und anschliessend ebenfalls auf ein Raster übertragen. Wie bereits erwähnt, wurden bei einer Maschenweite von 50 Metern Datenmatrizen von 700·500 Elementen benötigt.

Resultate

Zur weiteren Verwendung der Resultate wurden die einzelnen Stichprobenwerte aus darstellungstechnischen Gründen in Klassen eingeteilt. Bild 4 zeigt einen Ausschnitt aus der auf diese Weise entstandenen Lärmimmissionskarte.

Ein Beispiel für die Anwendung der Resultate aus REGIOLÄRM im Aussagebereich «Wohnen» ist in Bild 5 dargestellt: die Lärmimmissionskarte wurde mit der Bauzonenkarte überlagert, wobei diejenigen unüberbauten Zonen, in welchen der Planungswert gemäss LSV überschritten wird, hervorgehoben worden sind. Eine solche Karte stellt z.B. eine Grundlage für regionale Siedlungsentwicklungskonzepte dar, indem sie sanierungsbedürftige Gebiete und die ohne weitere Schutzmassnahmen überbaubaren Zonen im Überblick aufzeigt.

Auch für die Qualität von Erholungsgebieten spielt die Beeinträchtigung durch Lärm eine entscheidende Rolle (siehe Beispiel in Bild 6). Gerade dort, auf relativ grossflächigen Gebieten, erweisen sich Modellrechnungen im regionalen Massstab als äusserst nützlich: sei es zur Ausscheidung von Erholungsschutzzonen, oder zur Abgrenzung von Restriktionsgebieten bei der Standortevaluation lärmemittierender Anlagen.

Adressen der Verfasser: Prof. *U. Kias*, Fachhochschule Weihenstephan, Fachbereich Landespflege, D-8050 Freising 12 / ORL-Institut, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich; dipl. Kulturing. ETH *B. Rihm*, dipl. Geogr. *C. Schmucki*, ORL-Institut, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich.

Horizontale Tragwirkung gerader Gewichtsstaumauern in engen Tälern

Es wird gezeigt, wie einfach die räumliche Tragwirkung gerader Gewichtsstaumauern in engen Tälern mit einer Trägerrostberechnung erfasst werden kann. Damit ist auch erklärbar, warum die gemessenen Durchbiegungen in engen Tälern stets kleiner ausfallen als die für vertikale Kragträger ohne horizontale Lastabtragung berechneten. Die Entlastung der vertikalen Kragträger durch Trägerrostwirkung beträgt beispielsweise für die 285 m hohe Grande-Dixence-Mauer (L/H = 2,44) 27% und für die 112 m hohe Schräh-Mauer (L/H = 1,70) sogar 30%. Infolge ihrer blockweisen Betonierung übertragen die horizontalen Rostträger keine Zugspannungen.

Horizontal load carrying action of straight gravity dams in narrow valleys.
Contents: It is shown how simply the spatial load carrying action of straight gravity dams in narrow valleys can be accounted for with a grid analysis. This explains why in narrow valleys the measured deflections are always smaller than those calculated for independent cantilevers without grid action. The main cantilever is relieved by the horizontal beams in case of the 285 m high Grande Dixence Dam (L/H = 2,44) by 27 percents, and in case of the 112 m high Schräh Dam (L/H = 1,70) even by 30 percents. Because of their blockwise construction the horizontal grid beams cannot resist tension.

Einleitung

Erst vor kurzem sind im Bericht des Schweizer Nationalkomitees zum 15. Talsperrenkongress in Lausanne 1985

VON MAX HERZOG
AARAU

Messergebnisse mitgeteilt worden [1], aus denen hervorgeht, dass die Durchbiegungen gerader Gewichtsstaumauern in engen Tälern wesentlich kleiner sind, als die üblichen Berechnungen des Hauptquerschnitts als unabhängiger Kragträger ergeben. Wie Rescher [2] bereits 1958 angedeutet hatte, ist dies eine Folge der vernachlässigten horizontalen Lastübertragung in die Talflanken. Die 1975 veröffentlichte Parameterstudie [3] weicht infolge Verwendung druck- und zugfester finiter Elemente von den wirklichen Verhältnissen (blockweise Erstellung der Betonmauern mit der Möglichkeit des späteren Öffnens der Blockfugen) erheblich ab.

Der Berechnungsgang [4] wird im folgenden zunächst in allgemeiner Form dargestellt und anschliessend werden die numerischen Ergebnisse der Nachrechnungen für die von 1922–1924 erbaute Staumauer Schräh des Kraftwerks Wägital in Siebnen (Kanton Schwyz) sowie für die 1951–1962 erbaute und 285 m hohe Staumauer Grande Dixence (Kanton Wallis) mitgeteilt.

Bogenwirkung zugspannungsfreier, gerader Träger

Wenn die geraden Träger keine Zugfestigkeit besitzen (blockweise Betonierung der Mauer) und gleichzeitig keine klaffenden Fugen aufweisen sollen, ist nur der Spannungszustand des Bildes 1 möglich. Für einen rechteckigen Querschnitt mit der Höhe b und der Breite t geht der Bogenschub in den höchstbeanspruchten Trägerquerschnitten am Auflager und in Feldmitte durch die Kernpunkte, und der Bogenstich beträgt

(1) $f = b/3$

Für die vorausgesetzte Spannungsverteilung im zugspannungsfreien Träger ergibt sich die Verkürzung der Trägerlängsachse unter der Wirkung einer gleichmässig verteilten Last p zu

$$(2) \quad \Delta L = \frac{HL}{E_c bt} = \frac{pL^3}{8 f E_c bt}$$

und die Verkürzung der Drucklinie des Bogens zu