



Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen: Wie weiter?

Michael Gerber
Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern
Abteilung Lärm und NIS, Sektion Strassenlärm

1. Einleitung

Die Bevölkerung der Schweiz wird in den kommenden fünf Jahrzehnten weiter anwachsen. Zudem weist die Prognose des Bundesamts für Raumentwicklung ARE über die Perspektiven des schweizerischen Güterverkehrs für die Schiene bis 2030 ein Wachstum der Verkehrsleistung von 47 % bis 112 % auf. Durch diese Trends sowie die Verdichtung der Fahrpläne bei den Bahnen, die raumplanerische Verdichtung und die vermehrte Bebauung von Industriebrachen resp. Umnutzung von Industriegebäuden in den Städten zu Wohn- oder Büronutzungen nimmt das Umweltthema Erschütterungen und abgestrahlter Körperschall an Bedeutung zu.

Durch eine wirksame Lärmsanierung der Eisenbahnen nimmt bei den Anwohnern von stark befahrenen Bahnlinien die Sensibilität gegenüber Erschütterungen und abgestrahltem Körperschall zu, da beispielsweise wegen realisierten Lärmschutzwänden der Luftschallanteil der Immissionen abgenommen hat und somit der abgestrahlte Körperschall nicht mehr durch den direkten Luftschall maskiert wird. Die Wahrnehmung fokussiert sich dann bei den Anwohnern auf die Erschütterungen und den abgestrahlten Körperschall.

2. Ausmass

Gemäss einer Schätzung der Schweizerischen Bundesbahnen SBB sind entlang des SBB-Streckennetzes rund 30'000 Personen von lästigen oder schädlichen Erschütterungs- und Körperschalleinwirkungen betroffen (offene Strecken und Tunnelstrecken)¹. Die Konfliktlänge auf der offenen Strecke beträgt rund 170 km; die Konfliktlänge bei Tunnelstrecken beschränkt sich auf ein paar wenige Kilometer. Über die Anzahl der betroffenen Anwohner an anderen Bahnnetzen oder Tramlinien in Städten existieren momentan keine Zahlen. Ebenso ist nicht bekannt, wie viele Personen durch Erschütterungs- oder Körperschallimmissionen von Industrieanlagen (z.B. Schmied- und Stanzwerke) oder Kraftwerken (insb. Wasserkraftwerke) betroffen sind.

Auf Erschütterungs- und Körperschallimmissionen reagiert der menschliche Körper ähnlich wie bei Lärmeinwirkungen. Bei Erschütterungsstärken wie sie typischerweise bei Zugdurchfahrten verursacht werden, können die folgenden Auswirkungen auftreten:

- Subjektive Empfindungen, z.B. als lästig empfundene Erschütterung eines vorbeifahrenden Zuges
- Schlafbeeinflussung, z.B. Ein- und Durchschlafschwierigkeiten, Aufwachreaktionen
- Leistungsbeeinflussung, z.B. Veränderung der Aufmerksamkeit

¹ Quelle: Bericht SBB, "Erschütterungs- und Körperschallimmissionen von Bahnen: Abschätzung der Sanierungskosten gemäss VSE (Stand Juli 2006)"

3. Gesetzliche Grundlage

Nach Massgabe des Umweltschutzgesetzes USG sollen Menschen, Tiere und Pflanzen gegen schädliche oder lästige Einwirkungen geschützt werden (USG, Art. 1). Erschütterungen werden explizit als eine derartige Einwirkung aufgeführt (USG, Art 7, Abs. 1).

Im Sinne der Vorsorge sind Einwirkungen, die schädlich oder lästig werden könnten, frühzeitig zu begrenzen (USG, Art 1, Abs. 2). Dies unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung und so weit als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist (USG, Art 11, Abs. 2). Die Emissionsbegrenzungen werden sodann verschärft, wenn feststeht, dass die Einwirkungen schädlich oder lästig werden (USG, Art. 11, Abs. 2). Für die Beurteilung der schädlichen oder lästigen Einwirkungen legt der Bundesrat durch Verordnung Immissionsgrenzwerte fest (USG, Art. 13).

Die nach dem Vorliegen eines Verordnungsentwurfes durchzuführenden Schritte bis zum Inkrafttreten einer Verordnung sind in der Tabelle 1 grob aufgelistet.

1.	Vorbereitung 1. Ämterkonsultation bis Visum Direktion
2.	1. Ämterkonsultation
3.	Auswertung 1. Ämterkonsultation
4.	Vorbereitung Anhörung/Vernehmlassung bis Visum Direktion
5.	Überprüfung Departement, Unterschrift DepartementsvorsteherIn
6.	Anhörung/Vernehmlassung
7.	Auswertung Anhörung/Vernehmlassung
8.	Vorbereitung 2. Ämterkonsultation bis Visum Direktion
9.	2. Ämterkonsultation
10.	Auswertung 2. Ämterkonsultation
11.	Vorbereitung Mitbericht bis Visum Direktion
12.	Formelle Bereinigung durch Kompetenzzentrum amtliche Veröffentlichungen
13.	Überprüfung Departement, Unterschrift DepartementsvorsteherIn
14.	Mitbericht
15.	Beschluss Bundesrat
16.	Publikation/Inkrafttreten

Tabelle 1: Prozessablauf vom Vorliegen des Verordnungsentwurfes bis zum Inkrafttreten

Bei der Verordnung zum Schutz vor Erschütterungen handelt es sich um die letzte fehlende Ausführungsverordnung des Umweltgesetzes.

Das Umweltschutzgesetz erlaubt lediglich für Lärmimmissionen die Festsetzung von Planungswerten und Alarmwerten (USG, Art. 23 resp. Art. 19). Für Erschütterungen ist eine solche für den Vollzug hilfreiche Abstufung nicht vorgesehen.

Gemäss USG, Art 16, Abs.1 werden alle bestehenden Anlagen insbesondere auch bestehende Eisenbahnanlagen, welche die massgebenden Immissionsgrenzwerte nicht einhalten, sanierungspflichtig.

4. Geschichte der Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen

Die Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen VSE existiert seit 2008 in einer Entwurfsversion; sie ist jedoch noch nicht in Kraft getreten. Eine erste Ämterkonsultation hat stattgefunden und die Änderungsvorschläge der verschiedenen Ämter wurden in die Entwurfsversion eingearbeitet. Ein wichtiger Hinderungsgrund für das Inkrafttreten der VSE waren die hohen geschätzten Kosten für die Sanierung der Eisenbahnen in der Grössenordnung von einer Milliarden Schweizerfranken. Es wurde im Folgenden eine wirksame sowie günstige und somit wirtschaftlich tragbare Schutzmassnahme gesucht. Grosse Hoffnung wurde dabei auf die weiche Schwellenbesohlung (Under Sleeper Pads, USP) gesetzt, welche bei einer Oberbauerneuerung relativ kostengünstig und einfach eingebaut werden kann. Voraussetzung für deren regulären Einbau ist jedoch eine Zulassung welche umfangreiche Erprobungen, Messungen und Sicherheitstests erfordert. Das eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK beschloss im Jahre 2009 im Rahmen der Aufgabenprüfung den vorläufigen Verzicht auf die Erschütterungsverordnung, um die Resultate der Erprobungen und insbesondere die Zulassung für die weiche Schwellenbesohlung abzuwarten. Die Schweizerischen Bundesbahnen SBB führten im Auftrag des damaligen Departementsvorstehers Versuche mit weichen Schwellenbesohlungen durch. Die Messresultate auf der Versuchsstrecke Pieterlen-Lengnau am Jurasüdfuss mit drei verschiedenen Produkten von weichen Schwellenbesohlungen zeigten zwar eine Reduktion der Erschütterungsemissionen je nach Produkt von bis zu 50 % für ICN-Züge und bis zu 25 % bei Güterzügen, jedoch eine Zunahme der direkten Luftschallemissionen² um rund 2 dBA für ICN-Züge und rund 4 dBA bei Güterzügen³.

Die Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die wichtigsten bisherigen Meilensteine in der Entwicklung der Verordnung:

1985	Inkrafttreten Umweltschutzgesetz
1999	BEKS (Vollzugshilfe als Übergangsregelung) : Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen
2004	Konzept zur Sanierung der Schienenverkehrsanlagen
2006	1. Ämterkonsultation
2008	Entwurfsversion der Verordnung
2009	UVEK beschliesst im Rahmen der Aufgabenprüfung den vorläufigen Verzicht auf die Erschütterungsverordnung
2010	UVEK-Departementsvorsteher beauftragt die SBB ein Versuchsprojekt mit Schwellenbesohlungen durchzuführen
2012	Bericht "Belastungsgrenzwerte für Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall" der EKLB ⁴
2013	Abschluss der SBB-Versuche mit Schwellenbesohlungen
2013	Abschluss des europäischen Projekts RIVAS ⁵

Tabelle 2: wichtige bisherige Meilensteine in der Entwicklung der Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen

² hier ist nicht der abgestrahlte Körperschall gemeint

³ vgl. Referat 17. Symposium "Neue Versuche mit weichen Schwellenbesohlungen bei den Eisenbahnen", Roger Müller, Schweizerische Bundesbahnen SBB AG

⁴ EKLB: Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung

⁵ RIVAS: Railway Induced Vibration Abatement Solutions, <http://rivas-project.eu/>

Die Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen konnte bis heute aus mehreren Gründen nicht umgesetzt werden:

Politische Hindernisse	<ul style="list-style-type: none"> • Thema Erschütterungen bei (politischen) Entscheidungsträgern von untergeordneter Bedeutung • Keine aktiven Interessenvertreter • Förderung des öffentlichen Verkehrs • Raumplanerische Entwicklung zu verdichtetem Bauen • Sehr geringe öffentliche Aufmerksamkeit
Physikalische/technische Hindernisse	<ul style="list-style-type: none"> • Wirtschaftlich tragbare und wirksame Schutzmassnahmen für Sanierungen ohne nachteilige Nebeneffekte (Lärmzunahme, aufwendigerer Unterhalt) kaum vorhanden • Im Gegensatz zu Lärm Ausbreitung nicht in gasförmigem, homogenem Medium sondern in festem, heterogenem und meist nur grob bekanntem Medium • Im Gegensatz zu Lärm hohe Abhängigkeit der Immissionen von den Transmissionsbedingungen und den baudynamischen Gebäudeeigenschaften • Prognoseverfahren mit typischerweise relativ hoher Ungenauigkeit/Streuung erschwert Planung und erhöht Planungsrisiko
Finanzielle Hindernisse	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Kosten für Sanierung (Grössenordnung CHF 1 Mrd.) • Verhältnis Sanierungskosten zu Anzahl Betroffener • Fehlende Finanzierungsquelle⁶

Tabelle 3: Politische, physikalische/technische und finanzielle Hindernisse

5. Systematik der Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen

Die Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen wird für bestehende und neue Eisenbahn-, Tram-, Strassen-, Industrie- und Kraftwerkanlagen gelten, jedoch nicht für die Erschütterungseinwirkungen, die in Betriebsarealen oder in militärischen Bauten oder Anlagen erzeugt werden und auf diese selber einwirken. Falls ein neues Wohn- oder Bürogebäude an eine bestehende Erschütterungsquelle gebaut wird, muss der Bauherr einen angemessenen baulichen Schutz gegen Erschütterungen wie beispielsweise eine elastische Gebäudelagerung oder eine Versteifung der Gebäudestruktur vorsehen. Die Verordnung wird - wie im Umweltschutzgesetz gefordert - den Mindestschutz für solche Wohn- und Büro-Neubauten festlegen (USG, Art. 21).

⁶ Finanzierung kann nicht beispielsweise aus den Fonds für Bau und Finanzierung von Infrastrukturvorhaben des öffentlichen Verkehrs (FinöV-Fonds) erfolgen, da diese finanziellen Mittel für die Lärm- jedoch nicht für die Erschütterungsbekämpfungen bestimmt sind

Da speziell bei tieffrequenten Erschütterungen - weniger beim abgestrahlten Körperschall - die Wirksamkeit der technisch zur Verfügung stehenden Schutzmassnahmen physikalisch begrenzt ist, sind an Stelle von Erleichterungen Teilsanierungen möglich (USG, Art. 17). Das heisst, können mit den zum Zeitpunkt der Sanierung realisierbaren Massnahmen die Immissionsgrenzwerte nicht eingehalten werden, gilt der Streckenabschnitt als teilsaniert. Bei teilsanierten Streckenabschnitten ordnet die Vollzugbehörde weitergehende Sanierungen an, wenn nach dem Stand der Technik verhältnismässige Emissionsbegrenzungen verfügbar werden.

Um Betriebseinschränkungen und die Kosten möglichst gering zu halten, sind bei der Sanierung der bestehenden Eisenbahnen relativ lange Sanierungsfristen von 35 Jahren vorgesehen. Dies entspricht ungefähr dem üblichen Erneuerungszyklus des Oberbaus. Die Strecke Zürich - Olten sowie die stark mit Güterverkehr belastete Nord-Süd-Achse müssen innerhalb von 15 Jahren mindestens teilsaniert sein.

Analog zur Lärmschutzverordnung sollen auch bei den Erschütterungen und beim abgestrahlten Körperschall Berechnungs- und Messungsverfahren gleichgestellt sein. Bei den Prognosen des abgestrahlten Körperschalls soll von den prognostizierten Erschütterungswerten der abgestrahlte Körperschall über den Abstrahlungsgrad der Raumbegrenzungsflächen abgeleitet werden. Im Falle eines bereits existierenden Immissionsortes beispielsweise für den Fall der Sanierungen soll der abgestrahlte Körperschall nicht direkt gemessen werden, sondern der abgestrahlte Körperschall soll - falls möglich - aus den gemessenen Erschütterungswerten berechnet werden, da der abgestrahlte Körperschall schwierig zu messen ist (oft Überlagerung mit Luftschall, hohe örtliche und zeitliche Variationen des Schallfeldes, allenfalls vorhandene Hintergrundgeräusche).

Um die Störwirkung des abgestrahlten Körperschalls während der Nacht genügend zu berücksichtigen, soll weiterhin wie in der BEKS beschrieben der energetische Mittelungspegel L_{Aeq} pro Nachtstunde ermittelt werden; wobei der höchste dieser acht Stundenwerte massgebend ist. Um die Schwelle für eine Aufwachreaktion mit einzubeziehen, wird zusätzlich für den abgestrahlten Körperschall während der Nachtphase ein Maximumkriterium M_{max} mit dazugehörigen Grenzwerten eingeführt.

Die vorgesehenen Belastungsgrenzwerte für Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall lehnen sich relativ stark an die Anhaltswerte der Norm DIN 4150-2⁷ und an die Richtwerte der Weisung BEKS⁸.

6. Benötigte Instrumente

Neben dem eigentlichen Verordnungstext werden weitere Verfahrens- und Vollzugsinstrumente sowie technische Instrumente für die Inkraftsetzung benötigt (grün: bereits vorhanden, rot: noch nicht vorhanden):

⁷ DIN 4150 "Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden", 1999

⁸ BEKS: Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen (BEKS), BUWAL, 1999

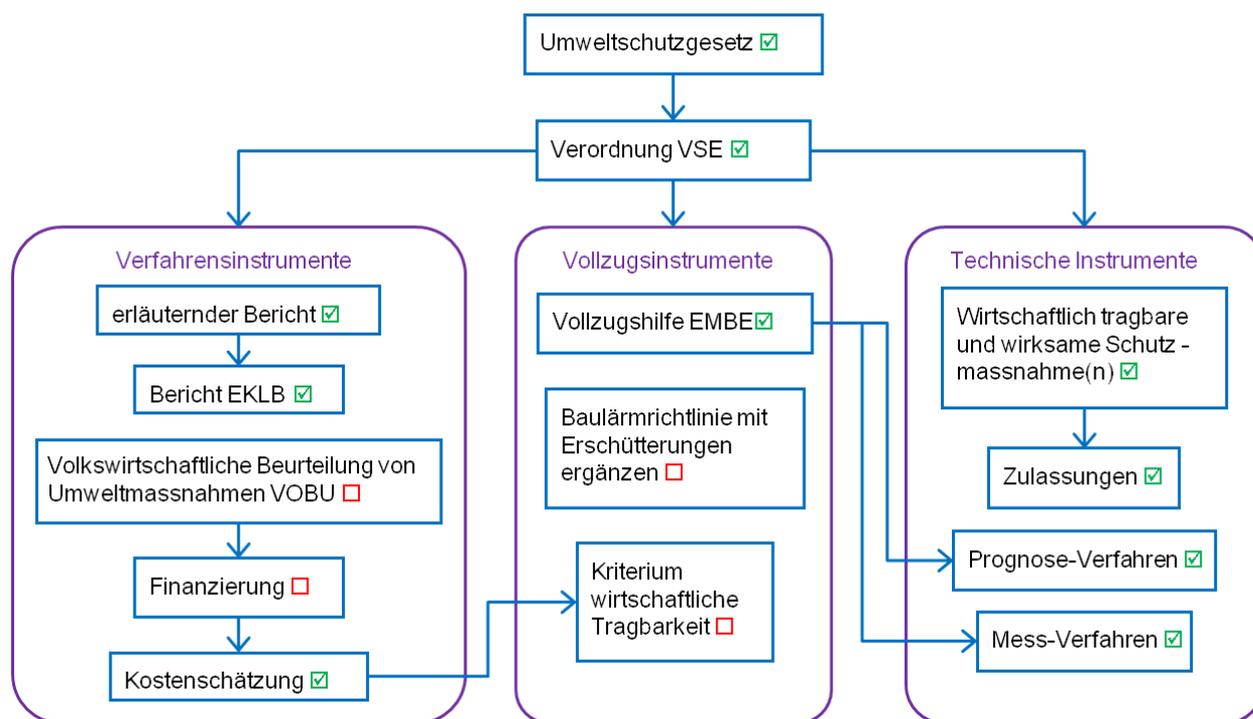


Abbildung 1: Benötigte Instrumente für die Inkraftsetzung der Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen (grün: bereits vorhanden, rot: noch nicht vorhanden)

7. Weiteres Vorgehen / Ausblick

Nachdem Ende des vergangenen Jahres sowohl die Erprobungsversuche mit den weichen Schwellenbeschlüssen als auch das europäische RIVAS-Projekt abgeschlossen wurden, konnten BAFU-intern die Schlussfolgerungen gezogen und das weitere Vorgehen bestimmt werden. Die folgenden Schritte werden als nächstes durchgeführt:

- Einigung mit dem Bundesamt für Verkehr BAV über weiteres Vorgehen insbesondere die Art der Finanzierung
- Erarbeiten der noch fehlenden nötigen Instrumente (siehe Abbildung 1)
- Überarbeiten des Verordnungsentwurfes, danach weiteres Prozedere gemäss Tabelle 1

Da seit der ersten Ämterkonsultation einige Jahre vergangen sind und neue Erkenntnisse in den Entwurfstext einfließen werden, muss die erste Ämterkonsultation erneut durchgeführt werden. Noch offen ist die Frage, ob eine aufwändige Vernehmlassung notwendig sein wird, oder ob sich mit einer einfacheren und kürzeren Anhörung die betroffenen Kreise (Bahnunternehmen, Vollzugsbehörden/Kantone, Verbände, usw.) genügend einbringen können.

Im Weiteren sind vom BAFU finanzierte Forschungs- und Entwicklungsprojekte am Laufen, zum Beispiel um die Genauigkeit von Körperschallprognosen⁹ zu erhöhen oder die Planung von Bodenschlitzen zu vereinfachen.

⁹ vgl. Referat 17. Symposium "Neuer Ansatz zur Bestimmung des abgestrahlten Körperschalls in Räumen - Wie gross ist das Verbesserungspotential?", Adrian Egger, Basler & Hofmann AG

Unsere Abteilung Lärm und nichtionisierende Strahlung setzt vermehrt auf die Strategie "Massnahmen an der Quelle", um den Schwerpunkt von der Symptom- zur Ursachenbekämpfung zu verschieben. Diese Strategie soll zukünftig auch auf den Erschütterungs- und Körperschallschutz angewendet werden, jedoch ohne die Massnahmen am Unter-/Oberbau oder auf dem Ausbreitungsweg auszuschliessen. Die Reduktion von Lärm und Erschütterungen an der Quelle wird auch durch das Umweltschutzgesetz gefordert (USG, Art. 11, Abs. 1).

Die folgende Tabelle 4 liefert eine Übersicht von möglichen baulichen resp. konstruktiven Massnahmen inklusive ihrer grob eingeteilten Wirkung bezüglich Erschütterungen ES und bezüglich abgestrahlten Körperschall KS:

Typ	Massnahme	Wirkung		Vorteile	Nachteile
		ES	KS		
Oberbau/Ausbreitungsweg	Schwellenbesohlung USP	(+)	+?	günstig, Einbau relativ einfach	deutliche Lärmzunahme, Wirkung ES beschränkt
	Unterschottermatten USM	+	++	relativ gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis	leichte Lärmzunahme, steifer Unterbau erforderlich
	Masse-Feder-System MFS	++	++	sehr gute Wirkung	sehr teuer und aufwändig, nur für Neubauten geeignet
	Bodenschlitz	+(+)	++	realisierte Beispiele mit guter Wirkung bei tiefen Frequenzen.	teuer, Werkleitungen / teilweise enge Platzverhältnisse / Bodenbeschaffenheit erschweren Bau
Quelle/Rollmaterial	Reduktion unabgefederte Masse	++	?	hohes Potenzial	nur für neue Fahrzeuge
	Beseitigung von un-runden Rädern	+	?	Synergie zu Lärmbekämpfung und Instandhaltung, Rad-Last-Checkpoints zur Detektion vorhanden	erhöht (kurzfristig) die Unterhaltskosten, reduziert Fahrzeug-Verfügbarkeit
	Radialeinstellung Radsätze	+	?	Synergie zu Lärmbekämpfung und Instandhaltung	nur für neue Fahrzeuge

Tabelle 4: Mögliche bauliche und konstruktive Massnahmen und deren grobe Wirkung bezüglich Erschütterungen ES und abgestrahlten Körperschall KS sowie deren Vor- und Nachteile

Bei den Massnahmen an der Quelle sehen wir vor allem bei der unabgefederten Masse ein grosses Potenzial¹⁰. Gewisse Erschütterungsverursacher, wie beispielsweise Weichen oder Schienenstösse, können jedoch auch mit Massnahmen am Rollmaterial nicht vollständig beseitigt werden. Auch die sogenannte parametrische Anregung, welche von der periodischen Anregung der sich durchbiegenden Schiene zwischen den Schwellen herrührt, kann mit Massnahmen am Rollmaterial nur beschränkt reduziert werden.

¹⁰ vgl. RIVAS-Publikation "Guideline for Design of Vehicles Generating Reduced Ground Vibration, Deliverable D5.5", 16.12.2013, <http://rivas-project.eu/>

Im weiteren sollen die Synergieeffekte zur Lärmbekämpfung und zur Instandhaltung genutzt werden. Speziell bei den Massnahmen an der Quelle (vgl. Tabelle 4) können die Life Cycle Kosten, die Lärm- und die Erschütterungsemissionen optimiert werden.

Unter Anbetracht des langwierigen Verfahrens für das Inkrafttreten einer Verordnung (vgl. Tabelle 1) und der momentan nicht gesicherten Finanzierung können wir keinen konkreten Zeitpunkt für das Inkrafttreten der Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen angeben. Es jedoch unsere Aufgabe und unser Anliegen die weiteren nötigen Schritte bis zum Inkrafttreten der Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen zügig anzugehen.

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Lärm und NIS
Michael Gerber
3003 Bern

Tel. +41 (0)58 462 41 98 (direkt)
michael.gerber@bafu.admin.ch
www.bafu.admin.ch/laerm