Langzeitverhalten von bituminösen Drainbelägen

TEIL 1: Lärmverhalten von Drainbelägen

Thomas Isenring, dipl. Ing. ETH

Forschungsauftrag 3/87

Zwischenbericht, Mai 1991

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung **1**

1.1 Ausgangslage **1**
1.2 Zielsetzungen **1**
1.3 Vorgehen **2**

2. Versuchsanordnung **3**

2.1 Meßstrecken **3**
2.2 Messanordnungen **5**

2.2.1 Der Lärmmessanhänger des IVT 5
2.2.2 Durchflussmesser 7

3. Ergebnisse des Forschungsauftrages 10/82 **9**

3.1 Absorptionsmessungen **9**
3.2 Rollgeräuschmessungen mit dem Lärmmessanhänger **10**
3.3 Messungen mit dem Mikrophon am Strassenrand **10**

4. Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels **11**

4.1 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels bei Drainbelägen **11**

4.1.1 Drainasphalt-Deckschichten 0/10 11
4.1.2 Drainasphalt-Deckschichten 0/16 15
4.1.3 Zusammenfassung 18

4.2 **Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels bei konventionellen Belägen** 19

4.2.1 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels beim AB 10 19
4.2.2 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels beim AB 16 20
4.2.3 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels bei Betonbelägen 22
4.2.4 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels beim Hot Rolled Asphalt 23
4.2.5 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels beim OB 10 23
4.2.6 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels beim OB 16 24
4.2.7 Zusammenfassung 25

4.3 **Vergleich der zeitlichen Entwicklung des Lärmpegels bei Drainbelägen und bei dichten Belägen** 26

5. **Abhängigkeit des Lärmpegels von der Geschwindigkeit** 30

5.1 **Voraussetzungen** 30
5.2 **Ergebnisse** 30
5.3 **Schlussbemerkungen** 34

6. **Vergleich der Lärmpegel von verschiedenen Belagsarten** 35

7. **Vergleich der einzelnen Meßstrecken bezüglich Lärmverhalten und den spezifischen Belagsdaten** 42

7.1 **Zusammenhang zwischen dem Lärmpegel und der Durchlässigkeit bei Drainasphaltbelägen** 42

7.2 **Zusammenhang zwischen dem Lärmpegel und den spezifischen Belagsgrössen der einzelnen Meßstrecken** 49

8. **Schlussfolgerungen** 51

Literaturverzeichnis 53

Beilagen

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Den Drainbelägen wird neben der wichtigen Eigenschaft der Verringerung der Aquaplaninggefahr durch die Möglichkeit des Wasserabflusses durch die Deckschicht selber, auch ein gegenüber dichten Belägen wesentlich günstigeres Lärmverhalten nachgesagt. Dieser Aspekt führte unter anderem dann auch zu den Bezeichnungen *Flüsterasphalt* oder *Anti - Lärmbelag*.

In der Schweiz wurde bereits 1972 auf dem Flughafen Basel - Mühlhausen erstmals ein Drainasphalt eingebaut. Im Strassenbau dagegen kamen diese offenporigen Beläge erst etwa ab Beginn der 80er Jahre zur Anwendung. Erfahrungen bezüglich ihrem Verhalten in der Praxis und insbesondere unter schweizerischen Verhältnissen fehlten weitgehend. Ein 1981 dem Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT) erteilter (1990 abgeschlossen) und 1986 erweiterter Forschungsauftrag sollte deshalb die Fragen des langfristigen Verhaltens bezüglich Durchlässigkeit, Lärm, Verformung, Griffigkeit, Bindemittelalterung usw. untersuchen.

Im Rahmen dieses Forschungsauftrages konnten im Laufe der Jahre Erfahrungen gesammelt und eine Vielzahl von Messungen durchgeführt werden. Aufgrund dieser Vorgaben drängte sich eine separate, weiterführende Betrachtung einzelner belagsspezifischer Eigenschaften auf. Dieser hier vorliegende Bericht befasst sich mit dem langfristigen Lärmverhalten der Drainasphaltbeläge im Vergleich zu anderen konventionellen Strassenbelägen.

1.2 Zielsetzungen

Aufgrund der vorhandenen Erkenntnisse und den Datenmengen der einzelnen untersuchten Meßstrecken über eine unterschiedlich lange Beobachtungsdauer steht die Beantwortung folgender Fragen im Vordergrund :

1. Bei den ersten vorliegenden Beobachtungen kann bei den Drainasphaltbelägen eine Zunahme des Lärmpegels festgestellt werden. Hiermit stellt sich die Frage, ob diese Zunahme über einen längeren Zeitraum hinweg und bei allen untersuchten Drainbelägen konstant ist. Im weiteren ist abzuklären, ob der LMA - Wert bei den dichten konventionellen Belägen ebenfalls eine Änderung in Abhängigkeit der Zeit erfährt.

2. Bei bisherigen Messungen konnte festgestellt werden, dass das mit dem Lärmmessanhänger des IVT gemessene Reifenrollgeräusch mit steigender Fahrgeschwindigkeit nicht konstant zunimmt. In diesem Zusammenhang interessiert die Frage, in welchem Verhältnis die Zunahme der Geschwindigkeit und des Lärmpegels zueinander stehen und ob dieses Verhältnis von der Art des Belages abhängig ist.

3. Mit der Berücksichtigung praktisch aller am IVT durchgeführten Lärmmessungen kann ein Vergleich der Niveaus der Lärmpegel der einzelnen Belagsarten durchgeführt werden.

4. Bei den Drainbelägen konnte eine Abnahme der Durchlässigkeit mit der Gebrauchsdauer festgestellt werden. Aufgrund dieser Tatsache sind Abklärungen über einen allfälligen Zusammenhang zwischen dem verminderten Durchfluss und der Zunahme des Lärmpegels zu machen.

5. Im weiteren soll untersucht werden, wie sich spezifische Eigenschaften der einzelnen Meßstrecken wie Schichtdicke und Porenvolumen sowie das aus diesen beiden resultierende verfügbare Volumen und der Lärmpegel zueinander verhalten.

1.3 Vorgehen

Für den Forschungsauftrag Drainasphalt wurde ein Reihe von Versuchsstrecken ausgewählt, auf denen mehr oder weniger regelmässig zwei Mal pro Jahr Messfahrten mit dem Lärmmessanhänger des IVT durchgeführt und die Durchlässigkeit mit dem Durchflussmesser IVT bestimmt wurden. Mit diesen beiden Arten von Messungen konnte deshalb, ausgehend vom Zeitpunkt des Belagseinbaus, die zeitliche Entwicklung des Lärmpegels und des Durchflusses sowie deren Abhängigkeit voneinander bestimmt werden. Gleichzeitig konnte damit auch ein Vergleich mit den für die einzelnen Meßstrecken typischen Merkmalen wie Schichtdicke, Porenvolumengehalt und verfügbares Volumen angestellt werden.

Grundlage für den Vergleich der Lärmpegelniveaus der einzelnen Belagsarten untereinander bildete die Vielzahl der Messfahrten mit dem Lärmmessanhänger, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden.

2. Versuchsanordnung

2.1 Meßstrecken

Die untersuchten Strecken können nach folgenden Gesichtspunkten charakterisiert werden :

1. Die erste Gruppe besteht aus einer Auswahl der im Forschungsauftrag Drainasphalt über eine unterschiedlich lange Zeit mehr oder weniger regelmässig untersuchten Drainasphaltstrecken. Die Messresultate dieser Beläge wurden für sämtliche Untersuchungen (zeitliches Verhalten des Lärmpegels, Lärmbereiche der einzelnen Belagsarten, Zusammenhang Lärmpegel und Geschwindigkeit, Abhängigkeit des Lärmpegels von der Durchlässigkeit) beigezogen. Diese Strecken befinden sich mit wenigen Ausnahmen alle im Kt. Zürich. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Belagseigenschaften und weiterer Merkmale sind in den Tabellen 1 und 2 zu finden.

2. Gruppe der konventionellen dichten Beläge auf denen ebenfalls im Rahmen des Forschungsauftrages Drainasphalt über eine gewisse Zeitdauer hinweg Lärmmessungen durchgeführt wurden. Die Messresultate dieser Beläge wurden für alle Untersuchungen ausser für die Ermittlung der Abhängigkeit des Lärmpegels von der Durchlässigkeit verwendet. Diese Strecken befinden sich wiederum praktisch alle im Kt. Zürich und können aufgrund ihrer Belagsart wie folgt gruppiert werden :

Strecken Nr.	15	AB 10	HVS a.o.
	16	AB 10	HVS i.o.
	17	AB 16	HVS a.o.
	18 - 24	AB 16	Autobahn
	25	Betonbelag	HVS a.o.
	26	Betonbelag	Autostrasse
	27 - 28	OB 10	Autostrasse
	29	OB 16	HVS a.o.
	30	Hot Rolled Asphalt	HVS a.o.

3. Die dritte Gruppe umfasst Strecken, die nur ein oder zwei Mal befahren wurden und sich deshalb nicht für die Untersuchung der zeitlichen Entwicklung eignen. Diese Messwerte dienten nur zur Festlegung der Lärmbereiche der einzelnen Belagsarten und für die Berechnungen der Abhängigkeit des Lärmpegels von der Geschwindigkeit.

Tabelle 1 : Belagseigenschaften und weitere Merkmale der für die Untersuchungen bezüglich Langzeitverhalten ausgewählten Drainasphaltstrecken mit einer Korngrösse von 0/10

Strecke Nr.	Strassenart	Einbaudatum	Schichtdicke [cm]	Bindemittel	Bindemittelgehalt [Massen-%]	Hohlraumgehalt [%]	Verfügbares Volumen pro cm^2 [cm^3]
1	HVS a.o.	28.8.84	3.6	Rubb. Asphalt	5.80	20.60	0.742
2	HVS i.o.	15.8.85	4.2	Rubb. Asphalt	5.52	16.70	0.701
3	HVS i.o.	19.9.85	2.8	Rubb. Asphalt	5.64	19.00	0.532
4	Autostr.	18.7.83	3.4	Elastoren	4.65	14.60	0.496
5	Autostr.	9.7.83	2.7	Rubb. Asphalt	5.82	21.10	0.570

Tabelle 2 : Belagseigenschaften und weitere Merkmale der für die Untersuchungen bezüglich Langzeitverhalten ausgewählten Drainasphaltstrecken mit einer Korngrösse von 0/16

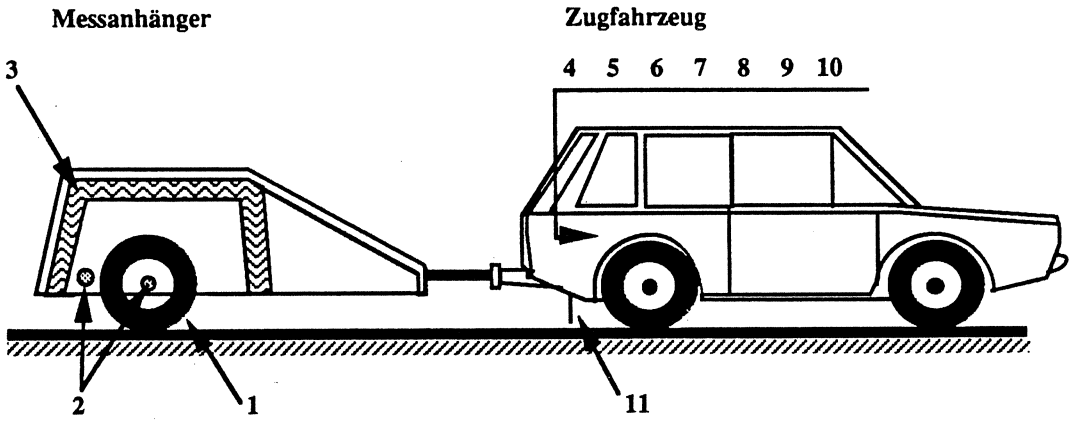
Strecke Nr.	Strassenart	Einbaudatum	Schichtdicke [cm]	Bindemittel	Bindemittelgehalt [Massen-%]	Hohlraumgehalt [%]	Verfügbares Volumen pro cm^2 [cm^3]
6	HVS a.o.	30.6.81	4.3	Olexobit	4.37	16.10	0.692
7	AB	10.9.85	4.6	Betaplast	4.43	17.50	0.805
8	AB	10.9.85	5.0	Betaplast	4.43	15.70	0.785
9	AB	3.9.82	4.8	Olexobit	4.42	15.10	0.725
10	AB	3.9.82	4.8	Olexobit	4.42	14.60	0.701
11	AB	25.7.86	4.4	Betaplast	4.99	16.10	0.708
12	AB	23.7.85	4.3	Elastoren	4.44	17.20	0.740
13	Autostr.	8.8.86	4.4	Elastoren	4.27	19.50	0.858
14	Autostr.	22.8.86	4.7	Elastoren	4.21	19.70	0.926

2.2 Messanordnungen

2.2.1 Der Lärmmessanhänger des IVT

Der Lärmmessanhänger (LMA) wurde 1982 in Anlehnung an ein Gerät der TU Stuttgart vom IVT entwickelt und gebaut. Es handelt sich dabei um einen einrädrigen Messanhänger, der zur Erfassung des Abrollgeräusches von Reifen auf verschiedenen Strassenbelägen bei verschiedenen Geschwindigkeiten dient. Die Schallabstrahlung des Messreifens wird im Nahfeld mittels zweier Mikrophone erfasst. Die Messeinheit wird durch den Aufbau des Anhängers weitgehend gegen Fremdeinflüsse abgekapselt, wodurch eine gute Messgenauigkeit erreicht werden kann. Die Wiederholbarkeit der Messwerte ist normalerweise (keine extrem inhomogenen Beläge und keine starken Störeinflüsse von aussen) besser als ± 1 dB. Während der Messfahrt, die unter Verkehr erfolgt, wird die Messgeschwindigkeit konstant gehalten.

Abb. 1: Lärmmessanhänger LMA des IVT



1 Messrad
2 Messmikrophone fix montiert
3 Entdröhnte Wände mit schalldämpfender Wirkung
4 PCM Processor
5 Video Recorder (in Verbindung mit dem PCM Processor als Informationsspeicher)
6 A-Filter
7 Pegelschreiber
8 Kopfhörer
9 Mikrophon für Kommentar (Audiospur des Video Recorders)
10 Speisegerät und Mikrophonvorverstärker
11 Schalldämmende Schürze

Das Reifengeräusch wird mit zwei Mikrophonen gemessen, die unterschiedlich auf die Geräuschentstehungs- und ausbreitungsmechanismen reagieren. Während das seitliche Mikrophon direkt die Schallabstrahlung infolge der Schwingungen des rollenden Reifens misst, erfasst das hintere Mikrophon speziell die schallverstärkende Trichterwirkung zwischen Reifenlauffläche und schallhartem Belag, bzw. das Fehlen dieser Trichterwirkung auf schallabsorbierenden Belägen.

Als standardisierter Messreifen wird der europäische AIPCR - Reifen 165R 15 mit 4 Längsrillen benützt. Die Radlast beträgt ca. 450 kg und der Reifendruck 2,3 bar. Die Messung erfolgt jeweils in der rechten Radspur.

Die Meßsignale werden über zwischengeschaltete Verstärker zu den Aufzeichnungsgeräten im Zugfahrzeug geleitet. Vor der Aufzeichnung auf Videoband werden die Signale digitalisiert. Die ganze Messeinrichtung wird vor und zwischen den Messungen mittels Eichton wiederholt kalibriert.

Bei der Auswertung wird das gespeicherte Signal demoduliert, über einen A-Filter bewertet und mittels eines Pegelschreibers aufgezeichnet. Die Mittelwertbildung auf dem Meßstreifen erfolgt von Hand. Die Frequenzspektren werden mit Hilfe eines Computers durch die Akustikabteilung der EMPA erstellt.

Gegenüber der Vorbeiroll- bzw. Vorbeifahrtmessung hat die Rollgeräuschmessung mit dem Lärmmessanhänger den Nachteil, dass die im Nahfeld gemessenen Emmissionswerte nicht direkt zur Berechnung der Schall-Immission in der Umgebung der Strasse gebraucht werden können. Andererseits bietet die Anhängermessung aber speziell im Hinblick auf die Beurteilung von Strassenbelägen gegenüber der Messung des Vorbeiroll- bzw. Vorbeifahrtmessung unter anderem folgende Vorteile:

- Die Messung mit dem LMA kommt ohne Absperrung aus, da unter Verkehr gemessen werden kann. Das Messverfahren ist leistungsfähig und kostengünstig.

- Bei der Anhängermessung wird das Reifengeräusch unter standardisierten Bedingungen gemessen. Somit können die Messwerte auch über grosse Distanzen und Zeiträume direkt miteinander verglichen werden, weil das akustische Umfeld neben der Fahrbahn keinen Einfluss hat. Das Messverfahren eignet sich somit besonders gut zur vergleichenden Untersuchung von Strassenbelägen.

- Wegen den standardisierten Messbedingungen und der Mittelwertbildung bei der Auswertung ist die Messgenauigkeit vergleichsweise gut. Ausserdem können Aussagen über die Abstrahlcharakteristik des Reifengeräusches gemacht werden.

Es ist zu beachten, dass die Messwerte geräte- und reifenabhängig sind. Die mit dem Lärmmessanhänger des IVT ermittelten Rollgeräuschdifferenzen scheinen einen deutlichen Zusammenhang mit den auf den Belag zurückzuführenden Immissionsveränderungen zu haben.

Der massgebende LMA-Wert wird in der Regel durch eine energetische Mittelwertbildung der Werte des hinteren und des seitlichen Mikrophons gebildet. Aufgrund der Abstrahlcharakteristik des verwendeten AIPCR - Reifens und des Schallreflexionsverhaltens der Belagsoberfläche ist jedoch nur der Messwert des hinteren Mikrophons massgebend, falls bei dichten Belägen der Messwert des seitlichen Mikrophons unterhalb folgender Pegelwerte liegt :

50 km/h	:	86.5 dB(A)
60 km/h	:	89.0 dB(A)
80 km/h	:	92.0 dB(A)
100 km/h	:	94.0 dB(A)

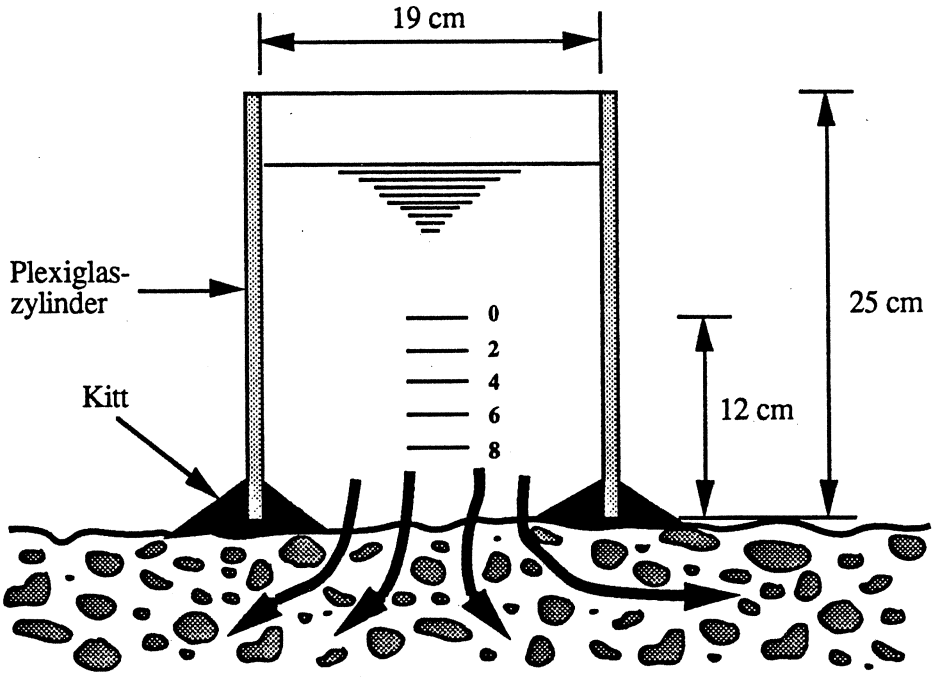
2.2.2 Durchflussmesser

Eine der ersten Tätigkeiten im Rahmen des Forschungsauftrages FA 10/82 galt der Suche nach einem geeigneten Messverfahren für die Erfassung der Durchlässigkeit. Der in der Griffigkeitsnorm SN 640 510b beschriebene Ausflussmesser nach Moore kam für diese Anwendung nicht in Frage, da dieses Gerät wegen des massgebenden Wasserausflusses in der Kontaktfläche Messzylinder - Belagsoberfläche keine Aussage über die Durchlässigkeit von Drainbelägen zulässt. Andere ausländische Durchlässigkeitsmessgeräte waren in der Anwendung zu ungenau oder zu kompliziert. Aus diesem Grund wurde vom Institut ein neues Messverfahren entwickelt, das in der Schweiz nun seit rund sieben Jahren erfolgreich angewendet wird.

Der Durchflussmesser IVT (vgl. Abb. 2) besteht aus einem Plexiglaszylinder mit 19 cm Innendurchmesser (aussen 20 cm) und einer Gesamthöhe von 25 cm. Es sind 5 Markierungen im Abstand von 2 cm eingraviert, wobei sich die Nullmarke 12 cm über der Unterkante befindet. Der Übergang Zylinderwand - Strassenoberfläche wird mit einem Spezialkitt abgedichtet, so dass das Wasser zwangsweise durch die Hohlräume innerhalb des Belages abfliesst. Gemessen wird die Zeit für die Wasserspiegelabsenkung um 8 cm (entspricht einer Ausflussmenge von 2,27 Liter) mit jeweiligen Zwischenzeiten bei allen 2 cm.

Aufgrund der Inhomogenitäten der Drainbeläge und dem punktuellen Messverfahren wurden für eine repräsentative Erfassung pro Meßstrecke mindestens 3 Meßstellen angeordnet. Eine Meßstelle umfasst jeweils zwei Messquerschnitte mit je 4 Messpunkten (bei Strassen mit Pannenstreifen 6 Messpunkte). Um periodischen Untersuchung über einen längeren Zeitraum sicherzustellen, wurden die einzelnen Messpunkte jeweils markiert oder vermasst.

Abb. 2 : Durchflussmesser IVT



3. Ergebnisse des Forschungsauftrages 10/82

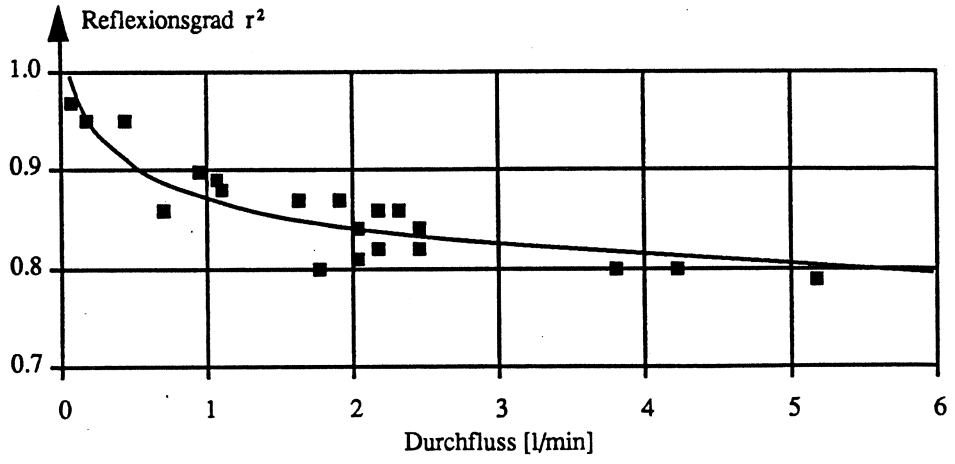
Im Rahmen des VSS - Forschungsauftrages 10/82 wurden im Zusammenhang mit den Untersuchungen des Lärmverhaltens von Drainbelägen neben den Rollgeräuschmessungen mit dem Lärmmessanhänger zusätzlich noch Messungen des Vorbeifahrtpegels bzw. des Mittelungspegels und Absorptionsmessungen durchgeführt.

3.1 Absorptionsmessungen

Die Erfassung der Schallabsorption bzw. -reflexion erfolgte durch die Akustikabteilung der EMPA in Dübendorf entweder mit dem Impedanzrohr bei Bohrkernen im Labor oder mittels einer speziellen Messapparatur direkt auf der Strasse. Da man einen Zusammenhang zwischen der Absorption und dem Drainagevermögen des Belages vermutete, wurden gleichenorts auch Durchlässigkeitsmessungen durchgeführt.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde ein kleinster mittlerer Reflexionsfaktor von 0.79 ermittelt, was einer Absorption von 21 % des auftretenden Schalls entspricht. In gewissen Teilbereichen des Frequenzspektrums werden hingegen bis 40 % absorbiert. Im weiteren konnte ein Zusammenhang zwischen der Schallabsorption und der Durchlässigkeit festgestellt werden (vgl. Abb. 3). Bei einem Durchflusswert von einer l/min kann eine noch hörbare schallabsorbierende Wirkung von 10 % festgestellt werden.

Abb. 3 : Zusammenhang Durchlässigkeit - Schallreflexion



3.2 Rollgeräuschmessungen mit dem Lärmmessanhänger

Da das Verfahren zur Erfassung des Rollgeräusches bereits eingehend in Kapitel 2.2.1 beschrieben wurde, kann an dieser Stelle auf weitere Ausführungen verzichtet werden.

Bei Drainbelägen weisen das hintere und das seitliche Mikrophon im Gegensatz zu dichten Belägen praktisch gleich grosse Pegelwerte auf. In einigen Fällen liegt der LMA - Wert des seitlichen Mikrophons im Gegensatz zu dichten Belägen sogar auf einem etwas höheren Niveau. Dies ist auf die erhöhte Schallabsorption im Trichterbereich des Reifenauslaufes zurückzuführen. Zudem ist einerseits der Einfluss der Absorptionseigenschaft auf das seitliche Mikrophon geringer und andererseits aber der Einfluss der meist rauhen Oberfläche grösser. Bei konventionellen dichten Belägen wurden beim hinteren Mikrophon meistens höhere Werte als beim Seitlichen gemessen.

Ein Anstieg der Differenz des LMA - Wertes des Drainbelages und des konventionellen Belages mit den jeweils niedrigsten Rollgeräuschmesswerten kann mit zunehmender Geschwindigkeit festgestellt werden.

Korngrösse, Kornverteilung, Durchlässigkeit und Belagszustand scheinen im Gegensatz zur Unterlage (Asphalt oder Beton) und Bindemittelsorte den Lärmpegel zu beeinflussen. So können ein kleineres Grösstkorn oder eine gute Durchlässigkeit niedrigere Rollgeräuschwerte bewirken.

3.3 Messungen mit dem Mikrophon am Strassenrand

Die Messungen mit dem Mikrophon erfolgten normalerweise gleichzeitig jeweils 30 Meter vor und nach einem Belagswechsel. Gemessen wurden der Vorbeifahrtpegel einzelner mit konstanter Geschwindigkeit durchfahrender Personenwagen und der Mittelungspegel L_{eq} (inkl. LW).

Beim Vorbeifahrtpegel konnte bei funktionstüchtigen Drainbelägen gegenüber dichten Asphaltbelägen eine Pegelreduktion von 1 - 5 dB(A) gemessen werden. Beim Mittelungspegel L_{eq} liegen die gemessenen Werte bei den Drainbelägen zwischen 3 und 5 dB(A) tiefer als bei Betonbelägen.

4. Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels

4.1 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels bei Drainbelägen

Wie bereits oben erwähnt, weisen die Drainbeläge mit einem kleineren Grösstkorn gegenüber denjenigen mit einem Grösseren im Mittel einen niedrigeren Lärmpegel auf. Um diesen Unterschied klar herauszustellen und auch um besser abgesicherte Resultate zu erhalten, kann auf eine Berücksichtigung der Korngrössenverteilung nicht verzichtet werden. Aufgrund der in der Schweiz bisher vornehmlich eingebauten Drainbeläge werden deshalb in der Folge die Drainbeläge 0/10 und 0/16 einzeln behandelt.

In einem ersten Schritt wurde für die einzelnen Strecken die Abhängigkeit der Höhe des Lärmpegels von der Zeit jeweils für das hintere und seitliche Mikrophon sowie für den massgebenden Pegel ermittelt. In einem zweiten Schritt wurden dann zusätzlich noch die Korrelationen für die einzelnen Geschwindigkeiten auf dem Hintergrund aller Messdaten berechnet.

Bei einigen Meßstrecken stehen Messreihen mit nur wenigen Daten zu Verfügung, so dass die berechneten Abhängigkeiten und Korrelationen mit Vorsicht zu betrachten sind.

4.1.1 Drainasphalt-Deckschichten 0/10

Beim Drainasphaltbelag 0/10 kann sowohl beim hinteren wie auch beim seitlichen Mikrophon eine klare Zunahme des Lärmpegels während der Beobachtungszeit festgestellt werden (vgl. auch Beilage 1). Die aufgrund der Korrelation berechnete Zunahme innerhalb von 5 Jahren schwankt beim hinteren Mikrophon zwischen 0.8 und 6 dB(A) (Mittelwert 3.9 dB(A)) und zwischen 2 und 8.6 dB(A) (Mittelwert 3.5 dB(A)) beim seitlichen Mikrophon. Berücksichtigt man die Werte der Strecken 4 und 5 aufgrund der geringen Anzahl von Messwerten nicht, so bewegen sich die Zunahmen beim hinteren Mikrophon zwischen 2.6 und 6 dB(A) (Mittelwert 4.4 dB(A)) und zwischen 1.3 und 3.8 dB(A) (Mittelwert 2.4 dB(A)) beim seitlichen Mikrophon (vgl. Tabelle 3).

Die Steigungsfaktoren der Korrelationsgeraden liegen mit Ausnahme der Strecke 5 und der Strecke 4 bei 100 km/h beim seitlichen Mikrophon zwischen rund 49 und 72 % (Mittelwert bei rund 59 %) des LMA - Wertes des hinteren Mikrophons. Die Werte des hinteren Mikrophons steigen im Durchschnitt also stärker an, was auf die Verstopfung der Poren des Drainbelages und den stärkeren Einfluss auf das hintere als auf das seitliche Mikrophon zurückzuführen ist.

Tabelle 3 : Korrelationen der einzelnen Meßstrecken
$y = a \cdot x + b$ R = Korrelationskoeffizient

Strecke	50 km/h			60 km/h			80 km/h			100 km/h		
	a	b	R	a	b	R	a	b	R	a	b	R
Hinteres Mikrophon												
1	1.081	84.74	0.960	1.202	86.53	0.979	1.189	90.33	0.943			
2	0.790	86.45	0.968	0.816	89.17	0.974						
3	0.526	86.54	0.846	0.537	88.59	0.933						
4				0.559	86.73	0.849	0.402	90.10	0.934	0.157	93.62	0.630
5				1.050	85.66	0.969	0.983	88.90	0.987	0.894	92.04	0.996
Max.	1.081	86.54	0.968	1.202	89.17	0.979	1.189	90.33	0.987	0.894	93.62	0.996
Mittel	0.799	85.91	0.925	0.833	87.34	0.941	0.858	89.78	0.955	0.526	92.83	0.813
Min	0.526	84.74	0.846	0.537	85.66	0.849	0.402	88.90	0.934	0.157	92.04	0.630
Spannw.	0.555	1.80	0.122	0.665	3.51	0.130	0.787	1.43	0.054	0.737	1.58	0.366
Werte	3	3	3	5	5	5	3	3	3	2	2	2
Std.Abw.	0.278	1.012	0.123	0.294	1.481	0.054	0.408	0.770	0.029	0.521	1.119	0.259
Seitliches Mikrophon												
1	0.572	87.24	0.907	0.592	89.98	0.911	0.757	92.67	0.872			
2	0.385	88.71	0.857	0.560	90.74	0.958						
3	0.265	88.51	0.971	0.271	90.83	0.641						
4				0.402	89.10	0.934	0.246	91.88	0.987	0.313	94.25	0.630
5				1.631	85.46	0.999	1.720	88.32	0.987	1.385	91.99	1.000
Max	0.572	88.71	0.971	1.631	90.83	0.971	1.720	92.67	0.987	1.385	94.25	1.000
Mittel	0.407	88.16	0.912	0.691	89.22	0.912	0.908	90.95	0.949	0.849	93.12	0.815
Min	0.265	87.24	0.857	0.271	85.46	0.857	0.246	88.32	0.872	0.313	91.99	0.630
Spannw.	0.307	1.46	0.113	1.360	5.37	0.113	1.474	4.35	0.116	1.072	2.26	0.370
Werte	3	3	3	5	5	5	3	3	3	2	2	2
Std.Abw.	0.155	0.80	0.0457	0.541	2.214	0.057	0.748	2.318	0.067	0.758	1.597	0.262
Massgebender Pegel												
1	0.861	85.94	0.967	0.854	88.73	0.960	1.002	91.47	0.928			
2	0.628	87.60	0.973	0.706	90.06	0.986						
3	0.368	87.68	0.829	0.385	90.05	0.910						
4				0.559	87.73	0.849	0.246	91.48	0.987	0.313	93.75	0.630
5				1.385	85.49	1.000	1.474	88.34	0.987	1.139	92.01	0.999
Max	0.861	87.68	0.973	1.385	90.06	1.000	1.474	91.48	0.987	1.139	93.75	0.999
Mittel	0.619	87.07	0.923	0.778	88.41	0.941	0.907	90.43	0.968	0.726	92.88	0.815
Min	0.368	85.94	0.829	0.385	85.49	0.849	0.246	88.34	0.928	0.313	92.01	0.630
Spannw.	0.493	1.74	0.144	1.000	4.57	0.151	1.228	3.14	0.060	0.826	1.74	0.369
Werte	3	3	3	5	5	5	3	3	3	2	2	2
Std.Abw.	0.247	0.983	0.082	0.381	1.905	0.062	0.619	1.809	0.034	0.584	1.224	0.261

Tabelle 4 : Korrelation aller Meßstrecken

Hinteres Mikrophon	50 km/h 60 km/h 80 km/h 100 km/h	$y = 0.816 \cdot x + 85.87$ $y = 0.683 \cdot x + 88.13$ $y = 0.986 \cdot x + 90.10$ $y = 0.532 \cdot x + 92.81$	R = 0.878 R = 0.639 R = 0.677 R = 0.631
Seitliches Mikrophon	50 km/h 60 km/h 80 km/h 100 km/h	$y = 0.395 \cdot x + 88.19$ $y = 0.445 \cdot x + 90.28$ $y = 0.734 \cdot x + 92.14$ $y = 0.859 \cdot x + 93.09$	R = 0.748 R = 0.587 R = 0.629 R = 0.657
Massgebender Pegel	50 km/h 60 km/h 80 km/h 100 km/h	$y = 0.625 \cdot x + 87.07$ $y = 0.553 \cdot x + 89.45$ $y = 0.891 \cdot x + 91.12$ $y = 0.734 \cdot x + 92.86$	R = 0.843 R = 0.610 R = 0.688 R = 0.684

Abb. 4: Korrelation hinteres Mikrophon aller Meßstrecken

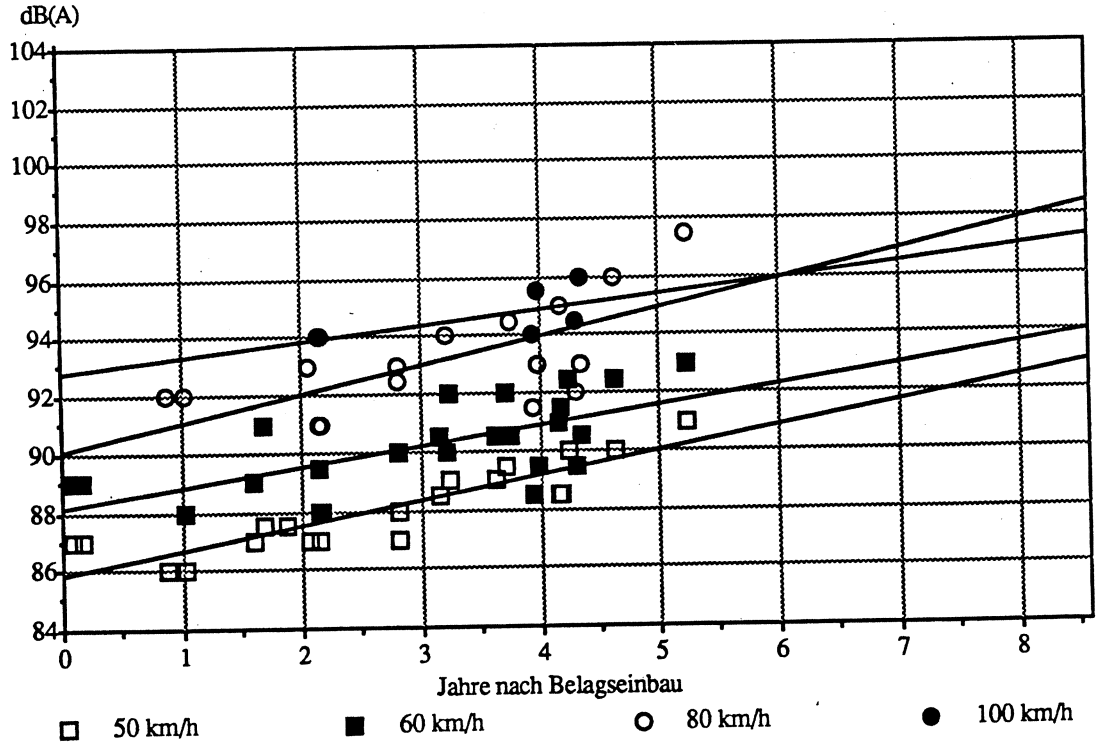


Abb. 5: Korrelation seitliches Mikrophon aller Meßstrecken

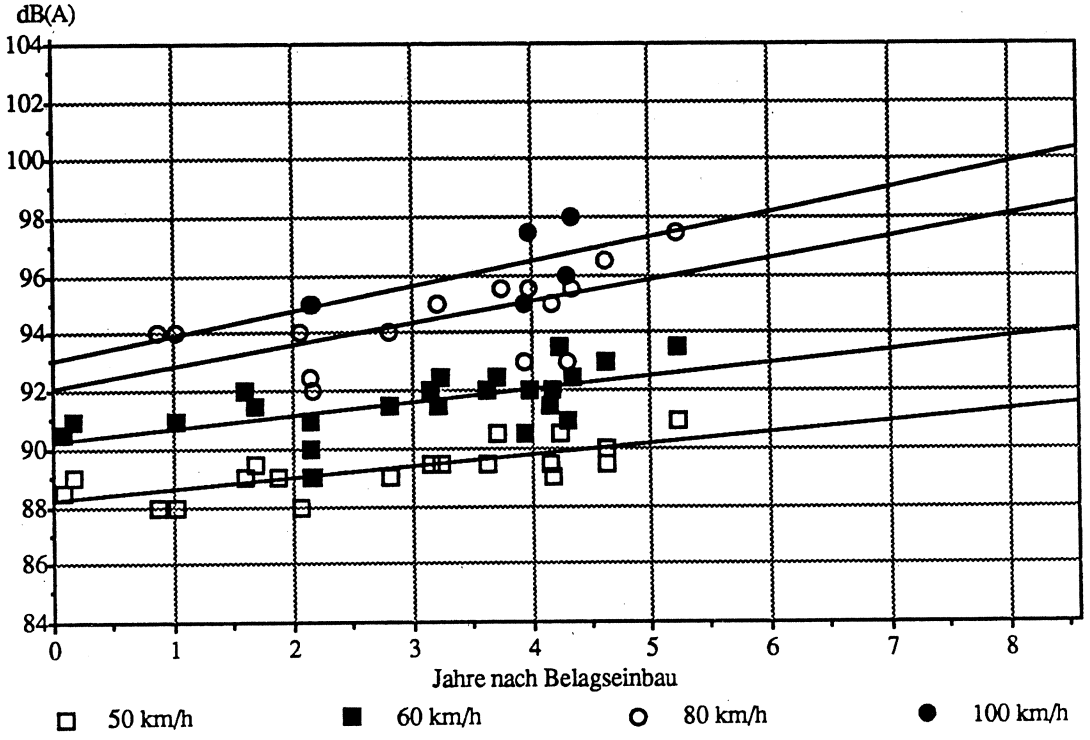
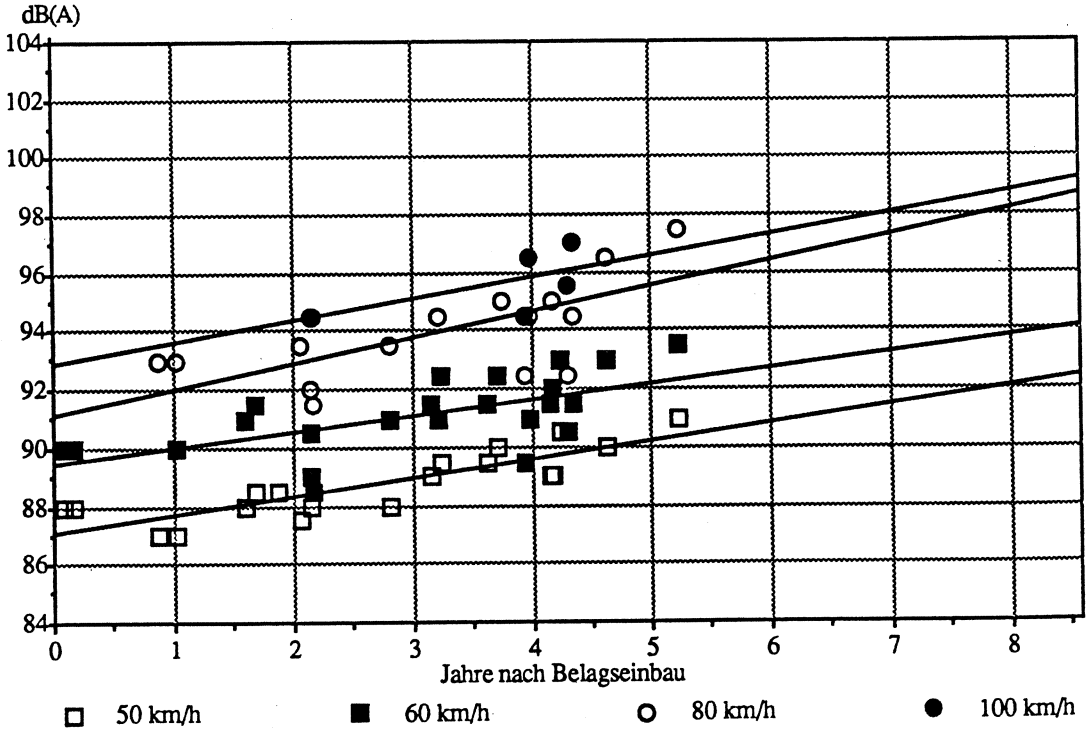


Abb. 6: Korrelation massgebender Pegel aller Meßstrecken



4.1.2 Drainasphalt-Deckschichten 0/16

Beim Drainasphalt 0/16 kann beim hinteren Mikrophon auf allen Teststrecken eine eindeutige Zunahme des Lärmpegels beobachtet werden. Die aufgrund der Korrelation berechnete Zunahme innerhalb von 5 Jahren schwankt zwischen 1.4 und 5.5 dB(A) (Mittelwert 2.9 dB(A)). Beim seitlichen Mikrophon streuen die Pegelwerte zwischen -0.3 und 6.4 dB(A) (Mittelwert 2.2 dB(A)). Die drei Strecken 13,14 und 9 (ausser 100 km/h) weisen dabei ein Steigungsmass von ± 0 auf, während bei den anderen Meßstrecken wiederum eine eindeutige Zunahme der LMA - Werte festgestellt werden (vgl. Tabelle 6 und Beilage 2).

Sowohl beim hinteren wie auch beim seitlichen Mikrophon ist der Trend vorhanden, dass mit zunehmender Geschwindigkeit auch das Steigungsmass der Korrelationsgeraden zunimmt. Gegenüber dem Drainbelägen 0/10 kann beim Drain 0/16 nicht grundsätzlich gesagt werden, dass das Steigungsmass des hinteren Mikrophons grösser ist als dasjenige des Seitlichen. Bei 6 Meßstrecken ist das Steigungsmass beim hinteren, bei 3 Strecken dasjenige des seitlichen Mikrophons grösser (Bei einer Strecke beide Varianten vorhanden).

Wird für alle Strecken eine gemeinsame Korrelation berechnet, ist auffallend, dass sich die Korrelationsgeraden für die einzelnen Geschwindigkeitsbereiche in ihrem Steigungsmass nur wenig unterscheiden und somit annähernd parallel verlaufen (vgl. Tabelle 5 und Abb. 7 - 9).

Tabelle 5 : Korrelation aller Meßstrecken

Hinteres Mikrophon	50 km/h	$y = 0.562 \cdot x + 87.50$	$R = 0.905$
	60 km/h	$y = 0.515 \cdot x + 89.94$	$R = 0.786$
	80 km/h	$y = 0.722 \cdot x + 92.38$	$R = 0.831$
	100 km/h	$y = 0.541 \cdot x + 95.41$	$R = 0.832$
Seitliches Mikrophon	50 km/h	$y = 0.485 \cdot x + 88.90$	$R = 0.886$
	60 km/h	$y = 0.526 \cdot x + 90.96$	$R = 0.788$
	80 km/h	$y = 0.644 \cdot x + 93.82$	$R = 0.806$
	100 km/h	$y = 0.476 \cdot x + 96.50$	$R = 0.721$
Massgebender Pegel	50 km/h	$y = 0.516 \cdot x + 88.15$	$R = 0.871$
	60 km/h	$y = 0.507 \cdot x + 90.66$	$R = 0.804$
	80 km/h	$y = 0.693 \cdot x + 93.19$	$R = 0.834$
	100 km/h	$y = 0.527 \cdot x + 96.01$	$R = 0.805$

Tabelle 6 : Korrelationen der einzelnen Meßstrecken
$y = a \cdot x + b$ R = Korrelationskoeffizient

Strecke	50 km/h			60 km/h			80 km/h			100 km/h		
	a	b	R	a	b	R	a	b	R	a	b	R
Hinteres Mikrophon												
6	0.779	86.00	0.917	0.870	88.37	0.911	0.840	93.02	0.909			
7				0.425	89.74	0.764	0.484	92.24	0.871	0.483	95.11	0.892
8				0.356	90.37	0.963	0.520	92.56	0.773	0.780	94.59	0.932
9				0.283	90.70	0.729	0.410	93.04	0.740	0.607	95.02	0.839
10				0.328	90.36	0.829	0.484	92.78	0.871	0.751	93.90	0.897
11				0.306	91.71	0.610	0.553	93.86	0.828	0.477	96.58	0.791
12				0.977	88.46	0.914	1.051	91.41	0.960	1.105	94.29	0.952
13	0.471	88.26	0.644	0.360	90.36	0.511	0.298	93.49	0.423	0.567	95.34	0.843
14	0.497	87.15	0.723	0.271	89.66	0.501	0.540	92.52	0.871	0.746	94.50	0.993
Max	0.779	88.26	0.917	0.977	91.71	0.963	1.051	93.86	0.960	1.105	96.58	0.993
Mittel	0.582	87.13	0.761	0.464	89.97	0.748	0.576	92.77	0.805	0.690	94.92	0.892
Min	0.471	86.00	0.644	0.271	88.37	0.501	0.298	91.41	0.423	0.477	93.90	0.791
Spannw.	0.308	2.26	0.272	0.706	3.34	0.462	0.753	2.45	0.537	0.628	2.68	0.202
Werte	3	3	3	9	9.	9	9	9	9	8	8	8
Std.Abw.	0.171	1.130	0.221	0.266	1.062	0.175	0.230	0.712	0.158	0.206	0.818	0.066
Seitliches Mikrophon												
6	0.554	88.48	0.837	0.470	92.14	0.811	0.757	94.11	0.806			
7				0.251	91.31	0.482	0.379	94.04	0.599	0.694	95.30	0.865
8				0.462	90.47	0.916	0.600	93.17	0.720	0.904	94.83	0.844
9				-0.028	93.83	0.045	0.061	96.32	0.158	0.511	95.99	0.733
10				0.236	92.31	0.468	0.303	95.16	0.648	0.458	96.51	0.705
11				0.396	92.42	0.651	0.686	94.72	0.787	0.875	96.78	0.976
12				0.881	89.21	0.912	1.076	91.89	0.982	1.284	94.12	0.993
13	0.059	90.11	0.077	0.054	92.39	0.089	0.142	95.61	0.202	0.131	97.83	0.253
14	0.030	89.59	0.032	-0.057	92.11	0.167	0.114	95.27	0.197	0.243	97.31	0.448
Max	0.554	90.11	0.837	0.881	93.83	0.916	1.076	96.32	0.982	1.284	97.83	0.993
Mittel	0.214	89.39	0.315	0.296	91.80	0.505	0.458	94.48	0.567	0.638	96.08	0.727
Min	0.030	88.48	0.032	-0.057	89.21	0.045	0.061	91.89	0.158	0.131	94.12	0.253
Spannw.	0.524	1.63	0.806	0.938	4.62	0.871	1.015	4.43	0.824	1.153	3.71	0.740
Werte	3	3	3	9	9	9	9	9	9	8	8	8
Std.Abw	0.295	0.830	0.452	0.297	1.323	0.345	0.345	1.347	0.305	0.380	1.268	0.259
Massgebender Pegel												
6	0.853	85.82	0.928	0.677	90.33	0.919	0.926	92.90	0.902			
7				0.356	90.52	0.837	0.535	92.94	0.846	0.588	95.20	0.898
8				0.462	90.47	0.916	0.572	92.92	0.850	0.920	94.62	0.936
9				0.127	92.26	0.300	0.292	94.48	0.595	0.559	95.50	0.837
10				0.359	90.98	0.742	0.407	93.98	0.829	0.682	94.88	0.878
11				0.411	91.99	0.764	0.657	94.31	0.853	0.755	96.72	0.966
12				0.987	88.77	0.924	1.144	91.47	0.993	1.291	94.02	0.986
13	0.139	89.54	0.249	0.142	91.61	0.202	0.220	94.55	0.327	0.349	96.59	0.644
14	0.030	89.09	0.032	0.182	90.93	0.429	0.332	94.03	0.613	0.461	96.07	0.792
Max	0.853	89.54	0.928	0.987	92.26	0.924	1.144	94.55	0.993	1.291	96.72	0.986
Mittel	0.341	88.15	0.403	0.411	90.87	0.670	0.565	93.51	0.756	0.701	95.45	0.867
Min	0.030	85.82	0.032	0.127	88.77	0.202	0.220	91.47	0.327	0.349	94.02	0.644
Spannw.	0.823	3.72	0.897	0.860	3.49	0.721	0.924	3.08	0.666	0.942	2.70	0.342
Werte	3	3	3	9	9	9	9	9	9	8	8	8
Std.Abw.	0.447	2.033	0.468	0.278	1.045	0.283	0.306	1.021	0.206	0.296	0.955	0.111

Abb. 7: Korrelation hinteres Mikrophon aller Meßstrecken

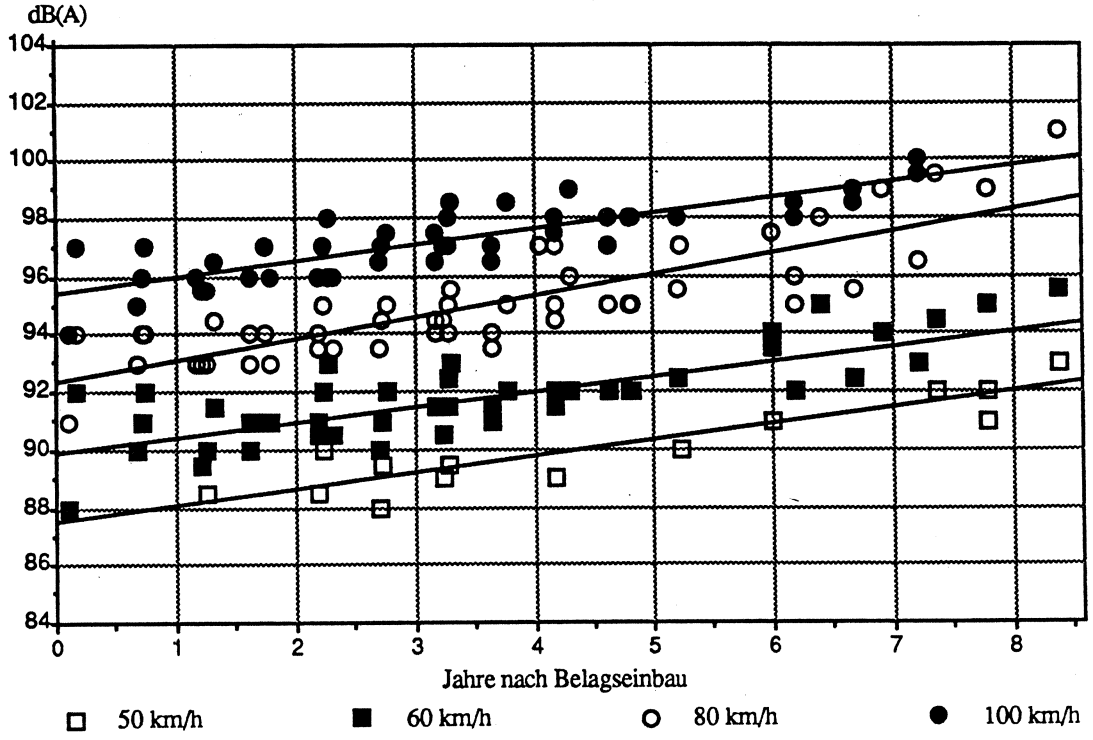


Abb. 8: Korrelation seitliches Mikrophon aller Meßstrecken

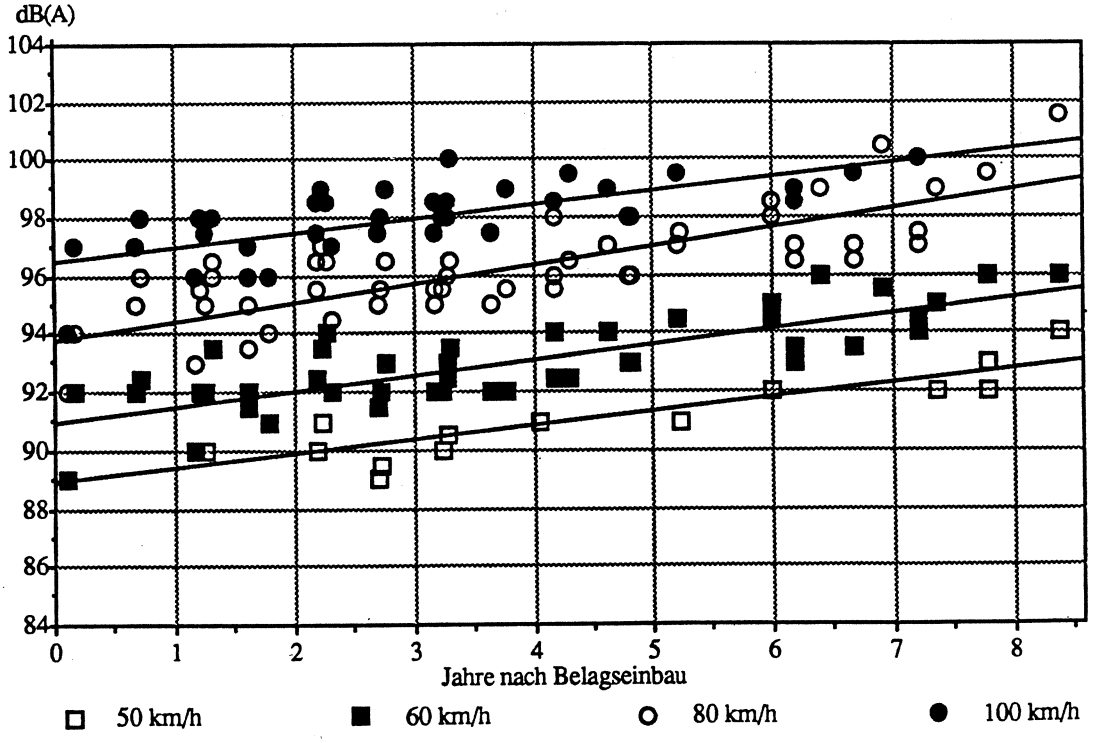
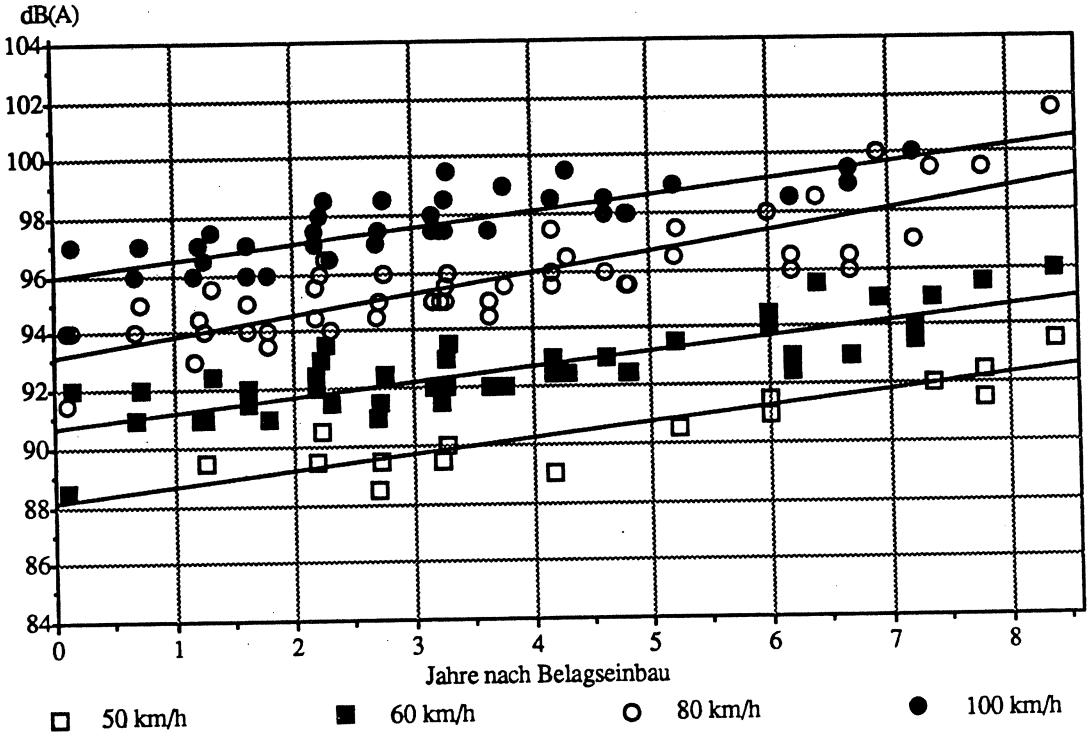


Abb. 9: Korrelation massgebender Pegel aller Meßstrecken



4.1.3 Zusammenfassung

Beim hinteren wie auch beim seitlichen Mikrophon konnte mit einigen wenigen Ausnahmen eine eindeutige Zunahme des Lärmpegels innerhalb der Beobachtungsphase festgestellt werden. Ebenfalls war ausser bei Meßstrecken mit wenigen Messdaten der Trend erkennbar, dass mit zunehmender Geschwindigkeit das Steigungsmass der Korrelationsgerade ebenfalls zunimmt. Die Drainbeläge verlieren also vor allem im höheren Geschwindigkeitsbereich schneller ihre guten Eigenschaften bezüglich Lärmverminderung. Bereits im Forschungsauftrag Drainasphalt (FA 10/82) wurde festgestellt, dass die Pegelunterschiede zwischen den Drainbelägen und den konventionellen Belägen mit steigender Geschwindigkeit zunehmen. Diese beiden Beobachtungen lassen den Schluss zu, dass die offenporige Struktur ihre absorbierende Wirkung speziell im hohen Geschwindigkeitsbereich entfalten und dass sie da aber aufgrund der Verstopfung der Poren sehr anfällig sind. Dank der guten Kenntnisse des Einbaudatums der Drainbeläge auf den einzelnen Meßstrecken kann in den meisten Fällen auf das Lärmpegelniveau im Neuzustand geschlossen werden.

4.2 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels bei konventionellen Belägen

Bei den konventionellen Belägen konnte, da der Zeitpunkt des Einbaus nicht bekannt war, die Korrelation nicht in Abhängigkeit der Gebrauchsdauer ermittelt werden. Die zeitliche Entwicklung wurde deshalb für alle Beläge auf ein gleiches, willkürlich gewähltes Datum bezogen. Damit können auch keine Aussagen bezüglich dem Lärmpegel im Neuzustand gemacht werden. Im weiteren muss aus dem gleichem Grund auf eine Berechnung der Gesamtkorrelation der einzelnen Belagsarten verzichtet werden (vgl. auch Beilage 3).

4.2.1 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels beim AB 10

Tabelle 7 : Korrelationen der einzelnen Meßstrecken
$y = a \cdot x + b$ R = Korrelationskoeffizient

Strecke	50 km/h			60 km/h			80 km/h			100 km/h		
	a	b	R	a	b	R	a	b	R	a	b	R
Hinteres Mikrophon												
15	0.182	90.95	0.814	0.328	92.91	0.949	0.128	98.18	0.635			
16	0.264	91.52	0.769	0.229	94.74	0.896						
Max	0.264	91.52	0.814	0.328	94.74	0.949	0.128	98.18	0.635			
Mittel	0.223	91.23	0.791	0.279	93.83	0.922	0.128	98.18	0.635			
Min	0.182	90.95	0.769	0.229	92.91	0.896	0.128	98.18	0.635			
Spannw.	0.082	0.57	0.045	0.099	1.83	0.053	0.000	0.00	0.000			
Werte	2	2	2	2	2	2	1	1	1			
Std.Abw.	0.058	0.404	0.032	0.070	1.298	0.037	-	-	–			
Seitliches Mikrophon												
15	0.046	88.72	0.179	-0.036	91.60	0.100	0.058	94.59	0.170			
16	0.589	88.75	0.997	0.409	92.12	0.887						
Max	0.589	88.75	0.997	0.409	92.12	0.887	0.058	94.59	0.170			
Mittel	0.318	88.73	0.588	0.187	91.86	0.493	0.058	94.59	0.170			
Min	0.046	88.72	0.179	-0.036	91.60	0.100	0.058	94.59	0.170			
Spannw.	0.543	0.03	0.818	0.445	0.52	0.787	0.000	0.00	0.000			
Werte	2	2	2	2	2	2	1	1	1			
Std.Abw.	0.384	0.018	0.578	0.315	0.370	0.556	-	-	-			
Massgebender Pegel												
15	0.184	89.94	0.773	0.304	92.17	0.818	0.128	96.68	0.635			
16	0.372	90.59	0.932	0.193	93.97	0.887						
Max	0.372	90.59	0.932	0.304	93.97	0.887	0.128	96.68	0.635			
Mittel	0.278	90.27	0.853	0.249	93.07	0.852	0.128	96.68	0.635			
Min	0.184	89.94	0.773	0.193	92.17	0.818	0.128	96.68	0.635			
Spannw.	0.188	0.65	0.159	0.111	1.80	0.069	0.000	0.00	0.000			
Werte	2	2	2	2	2	2	1	1	1			
Std.Abw.	0.133	0.462	0.112	0.078	1.269	0.049	-	-	-			

Beim AB 10 konnte beim hinteren Mikrophon innerhalb von fünf Jahren eine Zunahme des Lärmpegels von zwischen 0.6 und 1.4 dB(A) (Mittelwert 1.1 dB(A)) und beim seitlichen Mikrophon ein Zunahme von 0.3 bis 1.6 dB(A) (Mittelwert 1.1 dB(A)) festgestellt werden. Ansonsten konnten keine Regelmässigkeiten beobachtet werden.

4.2.2 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels beim AB 16

Bei den Asphaltbetonbelägen mit Grösstkorn 16 konnten folgende Feststellungen gemacht werden (vgl. Tabelle 8) :

- Beim hinteren Mikrophon konnten sowohl Meßstrecken mit zunehmenden, als auch mit abnehmenden Pegelwerten beobachtet werden. Dieselben Beobachtungen konnten auch beim seitlichen Mikrophon gemacht werden.

- Bezogen auf eine Zeitdauer von 5 Jahren variiert die Zunahme des Lärmpegels beim hinteren Mikrophon bei 6 Meßstrecken zwischen 0.6 und 4.4 dB(A) (Mittelwert 1.8 dB(A)) und die Abnahme bei 3 Meßstrecken zwischen 0.4 und 2.1 dB(A) (Mittelwert 1.2 dB(A)). Der Mittelwert über alle Strecken betrachtet beträgt 0.7 dB(A).

- Bezogen auf eine Zeitdauer von 5 Jahren variiert die Zunahme des Lärmpegels beim seitlichen Mikrophon bei 6 Meßstrecken zwischen 0.4 und 3.3 dB(A) (Mittelwert 1.9 dB(A)) und die Abnahme bei 3 Meßstrecken zwischen 0 und 1.2 dB(A) (Mittelwert 0.8 dB(A)). Der Mittelwert über alle Strecken gesehen beträgt 0.9 dB(A).

- Rund 2/3 der Steigungsmasse sind beim seitlichen Mikrophon grösser als beim hinteren Mikrophon.

- Beim hinteren Mikrophon kann mit zunehmender Geschwindigkeit ein eher zunehmendes Steigungsmass festgestellt werden, wogegen beim seitlichen Mikrophon eher die Tendenz vorherrscht, dass alle Steigungsmasse etwa gleich grosse Werte aufweisen.

Tabelle 8 : Korrelationen der einzelnen Meßstrecken
$y = a \cdot x + b$ R = Korrelationskoeffizient

Strecke	50 km/h			60 km/h			80 km/h			100 km/h		
	a	b	R	a	b	R	a	b	R	a	b	R
Hinteres Mikrophon												
17	0.258	90.95	0.857	0.430	93.56	0.846	0.287	99.48	0.541			
18				0.073	95.39	0.221	0.275	99.36	0.828	0.302	102.60	0.909
19				0.155	95.13	0.418	0.263	98.89	0.533	0.378	101.94	0.530
20				0.356	94.24	0.962	0.450	98.32	0.621	0.878	100.31	0.955
21				-0.076	95.26	0.110	-0.151	100.15	0.555	-0.076	102.89	0.138
22				0.255	94.94	0.511	0.321	99.11	0.672	0.653	101.49	0.863
23				-0.221	97.18	0.516	-0.208	101.32	0.736	-0.154	104.38	0.422
24				-0.357	97.12	0.748	-0.422	101.38	0.940	-0.421	105.01	0.561
Max	0.258	90.95	0.857	0.430	97.18	0.962	0.450	101.38	0.940	0.878	105.01	0.955
Mittel	0.258	90.95	0.857	0.077	95.35	0.542	0.102	99.75	0.678	0.223	102.66	0.625
Min	0.258	90.95	0.857	-0.357	93.56	0.110	-0.422	98.32	0.533	-0.421	100.31	0.138
Spannw.	0.000	0.00	0.000	0.787	3.62	0.853	0.872	3.06	0.407	1.299	4.70	0.817
Werte	1	1	1	8	8	8	8	8	8	7	7	7
Std.Abw.	-	-	-	0.278	1.262	0.297	0.315	1.116	0.148	0.464	1.630	0.299
Seitliches Mikrophon												
17	0.082	88.18	0.197	0.128	91.08	0.190	0.275	94.79	0.432			
18				0.269	91.21	0.496	0.404	94.19	0.678	0.354	96.76	0.699
19				0.538	89.74	0.879	0.507	93.15	0.873	0.497	95.48	0.613
20				0.492	89.68	0.612	0.530	92.78	0.684	0.660	94.68	0.697
21				0.000	91.00	1.000	-0.112	94.45	0.355	-0.148	97.02	0.272
22				0.255	90.94	0.511	0.264	93.89	0.530	0.455	95.60	0.736
23				-0.212	92.57	0.556	-0.190	96.25	0.706	-0.198	98.36	0.897
24				-0.201	92.80	0.661	-0.201	95.80	0.661	-0.233	97.74	0.735
Max	0.082	88.18	0.197	0.538	92.80	1.000	0.530	96.25	0.873	0.660	98.36	0.897
Mittel	0.082	88.18	0.197	0.159	91.13	0.613	0.185	94.41	0.615	0.198	96.52	0.664
Min	0.082	88.18	0.197	-0.212	89.68	0.190	-0.201	92.78	0.355	-0.233	94.68	0.272
Spannw.	0.000	0.00	0.000	0.750	3.12	0.810	0.731	3.47	0.518	0.893	3.68	0.625
Werte	1	1	1	8	8	8	8	8	8	7	7	7
Std.Abw.	-	-	-	0.285	1.130	0.248	0.308	1.202	0.166	0.378	1.324	0.193
Massgebender Pegel												
17	0.279	89.84	0.868	0.362	92.52	0.651	0.394	97.60	0.677			
18				0.129	93.83	0.367	0.462	97.20	0.927	0.302	100.60	0.909
19				0.156	93.61	0.675	0.307	96.96	0.646	0.071	101.38	0.100
20				0.338	92.80	0.694	0.320	96.92	0.567	0.878	98.31	0.955
21				-0.114	93.71	0.255	-0.151	98.15	0.555	-0.076	100.89	0.138
22				0.255	93.44	0.511	0.321	97.11	0.672	0.653	99.49	0.863
23				-0.183	95.16	0.831	-0.190	99.25	0.706	-0.169	102.45	0.442
24				-0.279	95.46	0.917	-0.292	99.24	0.961	-0.375	102.79	0.547
Max	0.279	89.84	0.868	0.362	95.46	0.917	0.462	99.25	0.961	0.878	102.79	0.955
Mittel	0.279	89.84	0.868	0.083	93.81	0.613	0.146	97.80	0.714	0.183	100.84	0.565
Min	0.279	89.84	0.868	-0.279	92.52	0.255	-0.292	96.92	0.555	-0.375	98.31	0.100
Spannw.	0.000	0.00	0.000	0.641	2.94	0.662	0.754	2.33	0.406	1.253	4.48	0.855
Werte	1	1	1	8	8	8	8	8	8	7	7	7
Std.Abw.	-	-	-	0.245	1.028	0.224	0.303	0.975	0.152	0.453	1.579	0.359

4.2.3 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels bei Betonbelägen

Bei den Betonbelägen können keine gesicherte Aussagen gemacht werden, da sich die beiden untersuchten Strecken gänzlich unterschiedlich verhalten und von Strecke 26 nur wenige Messdaten zur Verfügung standen. Die Strecke 25 weist sowohl beim hinteren wie auch beim seitlichen Mikrophon mehrheitlich zunehmende Pegelwerte auf, während bei der Strecke 26 grundsätzlich eine Abnahme feststellbar ist.

Tabelle 9 : Korrelationen der einzelnen Meßstrecken
$y = a \cdot x + b$ R = Korrelationskoeffizient

Strecke	50 km/h			60 km/h			80 km/h			100 km/h		
	a	b	R	a	b	R	a	b	R	a	b	R
Hinteres Mikrophon												
25	-0.069	93.46	0.145	0.493	94.40	0.569	0.455	99.85	0.533			
26				-0.669	98.14	0.777	-0.513	102.04	0.572	-0.669	106.14	0.777
Max	-0.069	93.46	0.145	0.493	98.14	0.777	0.455	102.04	0.572	-0.669	106.14	0.777
Mittel	-0.069	93.46	0.145	-0.088	96.27	0.673	-0.029	100.94	0.552	-0.669	106.14	0.777
Min	-0.069	93.46	0.145	-0.669	94.40	0.569	-0.513	99.85	0.533	-0.669	106.14	0.777
Spannw.	0.000	0.00	0.000	1.162	3.74	0.207	0.968	2.19	0.039	0.000	0.00	0.000
Werte	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Std.Abw.	-	-	-	0.822	2.647	0.147	0.684	1.550	0.028	-	-	-
Seitliches Mikrophon												
25	0.050	90.18	0.066	0.172	92.55	0.167	0.327	95.86	0.379			
26				-0.737	96.25	0.987	-0.491	99.67	0.987	-0.491	102.17	0.987
Max	0.050	90.18	0.066	0.172	96.25	0.987	0.327	99.67	0.987	-0.491	102.17	0.987
Mittel	0.050	90.18	0.066	-0.283	94.40	0.577	-0.082	97.76	0.683	-0.491	102.17	0.987
Min	0.050	90.18	0.066	-0.737	92.55	0.167	-0.491	95.86	0.379	-0.491	102.17	0.987
Spannw.	0.000	0.00	0.000	0.909	3.70	0.820	0.818	3.81	0.608	0.000	0.00	0.000
Werte	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Std.Abw.	-	-	-	0.643	2.616	0.580	0.578	2.696	0.430	-	-	-
Massgebender Pegel												
25	-0.027	92.16	0.051	0.104	94.26	0.141	0.439	98.32	0.497			
26				-0.580	97.15	0.882	-0.424	101.05	0.643	-0.580	104.65	0.882
Max	-0.027	92.16	0.051	0.104	97.15	0.882	0.439	101.05	0.643	-0.580	104.65	0.882
Mittel	-0.027	92.16	0.051	-0.238	95.71	0.512	0.008	99.69	0.570	-0.580	104.65	0.882
Min	-0.027	92.16	0.051	-0.580	94.26	0.141	-0.424	98.32	0.497	-0.580	104.65	0.882
Spannw.	0.000	0.00	0.000	0.684	2.89	0.741	0.863	2.73	0.146	0.000	0.00	0.000
Werte	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Std.Abw.	-	-	-	0.484	2.044	0.524	0.610	1.932	0.104	-	-	-

4.2.4 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels beim Hot Rolled Asphalt

Beim einzigen beobachteten Hot Rolled Asphalt liegt die mittlere Zunahme der Pegelwerte innerhalb von 5 Jahren beim hinteren Mikrophon bei 2.0 dB(A) und beim seitlichen Mikrophon bei 0.4 dB(A). Die Steigungsmasse des seitlichen Mikrophons sind immer niedriger als diejenigen des hinteren Mikrophons (vgl. Tab.10).

Tabelle 10 : Korrelationen der einzelnen Meßstrecken
$y = a \cdot x + b$ R = Korrelationskoeffizient

	Strecke	50 km/h			60 km/h			80 km/h		
		a	b	R	a	b	R	a	b	R
Hinteres Mikrophon	30	0.428	91.52	0.903	0.481	94.06	0.883	0.263	99.66	0.669
Seitliches Mikrophon	30	0.018	90.81	0.236	0.103	93.44	0.288	0.101	97.45	0.310
Massgebender Pegel	30	0.221	91.40	0.883	0.286	93.87	0.825	0.307	98.56	0.758

4.2.5 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels beim OB 10

Beim hinteren Mikrophon stiegen die Pegelwerte durchwegs an, während beim seitlichen Mikrophon zumindest bei einer Strecke eine deutliche Abnahme festgestellt werden konnte. Bezogen auf eine Zeitdauer von 5 Jahren variiert die Zunahme des Lärmpegels beim hinteren Mikrophon zwischen 0.3 und 5.6 dB(A) (Mittelwert 3.7 dB(A)). Beim seitlichen Mikrophon ergaben sich Werte zwischen - 1.7 und 1.4 dB(A) (Mittelwert -0.3 dB(A)). Sämtliche Steigungsmasse sind beim hinteren Mikrophon grösser als beim seitlichen Mikrophon. Sowohl beim hinteren Mikrophon als auch beim seitlichen Mikrophon kann mit zunehmender Geschwindigkeit auch ein zunehmendes Steigungsmass festgestellt werden (vgl. Tab. 11).

Tabelle 11 : Korrelationen der einzelnen Meßstrecken
$y = a \cdot x + b$ R = Korrelationskoeffizient

Strecke	50 km/h			60 km/h			80 km/h			100 km/h		
	a	b	R	a	b	R	a	b	R	a	b	R
Hinteres Mikrophon												
27				0.427	93.99	0.666	1.121	95.70	0.992	1.121	99.70	0.992
28				0.067	94.93	0.313	0.703	97.52	0.950	0.979	100.04	1.000
Max				0.427	94.93	0.666	1.121	97.52	0.992	1.121	100.04	1.000
Mittel				0.247	94.46	0.489	0.912	96.61	0.971	1.050	99.87	0.996
Min				0.067	93.99	0.313	0.703	95.70	0.950	0.979	99.70	0.992
Spannw.				0.360	0.94	0.353	0.418	1.82	0.042	0.142	0.34	0.008
Werte				2	2	2	2	2	2	2	2	2
Std.Abw.				0.255	0.664	0.249	0.296	1.281	0.030	0.100	0.238	0.006
Seitliches Mikrophon												
27				-0.343	97.05	0.607	-0.201	100.21	0.313	-0.125	102.94	0.126
28				-0.067	98.07	0.313	0.075	101.73	0.205	0.284	104.83	0.666
Max				-0.067	98.07	0.607	0.075	101.73	0.313	0.284	104.83	0.666
Mittel				0.205	97.56	0.460	-0.063	100.97	0.259	0.080	103.89	0.396
Min				-0.343	97.05	0.313	-0.201	100.21	0.205	-0.125	102.94	0.126
Spannw.				0.276	1.02	0.294	0.276	1.52	0.108	0.409	1.88	0.539
Werte				2	2	2	2	2	2	2	2	2
Std.Abw.				0.195	0.724	0.208	0.195	1.078	0.076	0.289	1.332	0.381
Massgebender Pegel												
27				0.009	95.80	0.015	0.494	97.92	0.873	0.636	101.09	0.826
28				-0.067	97.07	0.313	0.284	100.33	0.666	0.703	102.52	0.950
Max				0.009	97.07	0.313	0.494	100.33	0.873	0.703	102.52	0.950
Mittel				-0.029	96.44	0.164	0.389	99.12	0.770	0.670	101.80	0.888
Min				-0.067	95.80	0.015	0.284	97.92	0.666	0.636	101.09	0.826
Spannw.				0.076	1.27	0.298	0.210	2.41	0.208	0.067	1.43	0.124
Werte				2	2	2	2	2	2	2	2	2
Std.Abw.				0.053	0.896	0.211	0.148	1.701	0.147	0.047	1.011	0.088

4.2.6 Zeitliche Entwicklung des Lärmpegels beim OB 16

Bei der einzigen Teststrecke mit einer OB 16 konnte beim *hinteren* Mikrophon eine *Zunahme* und beim *seitlichen* Mikrophon eine *eindeutige Abnahme* der Pegelwerte beobachtet werden. Bezogen auf eine Zeitdauer von 5 Jahren beträgt die mittlere Zunahme beim hinteren Mikrophon 2.1 dB(A) und beim seitlichen Mikrophon die Abnahme 1.2 dB(A).

Tabelle 12 : Korrelationen der einzelnen Meßstrecken
$y = a \cdot x + b$ R = Korrelationskoeffizient

	Strecke	50 km/h			60 km/h			80 km/h		
		a	b	R	a	b	R	a	b	R
Hinteres Mikrophon	29	0.424	91.03	0.962	0.578	92.87	0.947	0.246	98.60	0.655
Seitliches Mikrophon	29	-0.087	92.63	0.158	-0.167	95.02	0.134	-0.443	99.80	0.565
Massgebender Pegel	29	0.205	91.92	0.551	0.001	94.50	0.002	-0.041	99.10	0.084

4.2.7 Zusammenfassung

Die Situation bei den konventionellen dichten Belägen zeigt sich uneinheitlich :

Hinteres Mikrophon : Bei den Betonbelägen konnte im Durchschnitt sogar eine Abnahme des LMA - Wertes festgestellt werden, während bei den übrigen Belagsarten ein Zunahme erkennbar ist.

Seitliches Mikrophon : Beim Beton und den Oberflächenbehandlungen ergab sich eine Pegelabnahme,während bei den restlichen Belägen wiederum eine Zunahme zu verzeichnen ist. Grundsätzlich kann aber gesagt werden, dass im Durchschnitt die Zunahmen geringer ausfallen als beim hinteren Mikrophon. Auffallend ist vielleicht noch, dass bei den feinkörnigen Belägen wie AB 10 und OB 10 die Zunahmen grösser ausfallen als im Vergleich zum AB 16 bzw. OB 16.

Massgebender Pegel : Beim Vergleich der massgebenden Pegel kann eine Glättung der Extrema festgestellt werden. Wiederum kann beim Beton und auch beim OB 16 eine Abnahme des LMA - Wertes beobachtet werden.

Die Ergebnisse müssen jedoch mit Ausnahme der Erkenntnisse beim AB 16 mit Vorsicht betrachtet werden, da bei den meisten Belagsarten nur wenige Meßstrecken mit Daten vorhanden waren und diese Ergebnisse deshalb nicht repräsentativ sein müssen. Ein direkter Vergleich mit den Drainasphaltbelägen ist wegen dem unbekannten Einbaudatum bei den dichten Belägen nicht möglich.

Tabelle 13 : Berechnete Zunahme des LMA - Wertes innerhalb von 5 Jahren

		50 km/ dB(A)	60 km/h dB(A)	80 km/h dB(A)	100 km/h dB(A)	Ø dB(A)
Hinteres Mikrophon	AB 10	1.1	1.4	0.6	-	1.1
	AB 16	1.3	0.4	0.5	1.1	0.7
	Beton	-0.3	-0.4	-0.1	-3.5	-0.8
	OB 10	-	1.2	4.6	5.3	3.7
	OB 16	2.1	2.9	1.2	-	2.1
	HRA	2.1	2.4	1.3	-	2.0
Seitliches Mikrophon	AB 10	1.6	0.9	0.3	-	1.1
	AB 16	0.4	0.8	0.9	1.0	0.9
	Beton	0.3	-1.4	-0.4	-2.5	-1.0
	OB 10	-	1.0	-0.3	0.4	-0.3
	OB 16	-0.4	-0.8	-2.2	-	-1.2
	HRA	0.1	0.5	0.5	-	0.4
Massgebender Pegel	AB 10	1.4	1.2	0.6	-	1.2
	AB 16	1.4	0.4	0.7	0.9	0.7
	Beton	-0.1	-1.2	0.0	-2.9	-0.9
	OB 10	-	-0.1	1.9	3.4	1.7
	OB 16	1.0	0.0	-0.2	-	-0.3
	HRA	1.1	1.4	1.5	-	1.4

4.3 Vergleich der zeitlichen Entwicklung des Lärmpegels bei Drainbelägen und bei dichten Belägen

Um die dichten und durchlässigen Beläge miteinander zu vergleichen, wurde für jede Belagsart die jeweils minimale, maximale und mittlere Zunahme in 5 Jahren berechnet. Zusätzlich wurden sämtliche dichten Beläge in einer Gruppe zusammengefasst und so mit den Drainbelägen verglichen. Beim ganzen Vergleich muss aber berücksichtigt werden, dass nicht alle Beläge den gleichen Bedingungen wie Strassenart, Geschwindigkeit, usw. unterworfen sind und nicht das gleiche Meßspektrum (Geschwindigkeit, Anzahl Beläge) aufweisen. Es können folgende Feststellungen gemacht werden :
(Vgl. dazu Abb. 10 und 11, sowie auch Beilage 5)

- Der beiden Drainbeläge aber auch der OB 10 beim hinteren Mikrophon weisen eine deutliche Pegelzunahme in fünf Jahren auf, wobei die Mittelwerte des Drain 0/10 und des OB 10 praktisch auf gleichem Niveau liegen. Beim AB 16 und bei den Betonbelägen sind sowohl Zunahmen als auch Abnahmen feststellbar, während bei den Betonbelägen sogar der Mittelwert im abnehmenden Bereich liegt.

- Beim seitlichen Mikrophon kann bei HRA, OB 10 und OB 16 gegenüber dem hinteren Mikrophon ein deutlich niedrigerer Mittelwert festgestellt werden, während bei den übrigen Belägen praktisch keine Verschiebung festgestellt werden kann. Auffallend sind die beiden stark streuenden Wertebereiche der beiden Drainbeläge. Die Mittelwerte der beiden OB und wiederum der Betonbeläge liegen im abnehmenden Bereich.

Betrachtet man den massgebenden Pegel als Beurteilungsmass für einen Belag, so können folgende Aussagen gemacht werden :

- Die Drainbeläge werden im Mittel etwa doppelt so schnell laut wie die meisten dichten Beläge.

- Betonbeläge werden mit der Zeit geringfügig leiser.

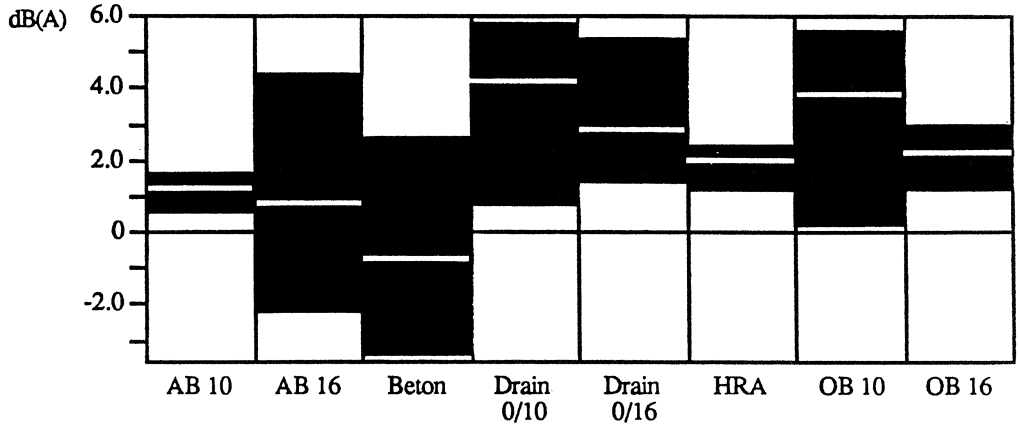
- Es sind starke Streuungen vorhanden, so dass es durchaus möglich ist, dass dichte Beläge stärkere Pegelzunahmen als Drainbeläge aufweisen können.

- Der feinkörnigere Belag einer Belagsart (AB 10, Drain 0/10 und OB 10) weist im Mittel eine höhere Zunahme des Lärmpegels als der entsprechende Grobkörnigere (AB 16, Drain 0/16 und OB 16) auf.

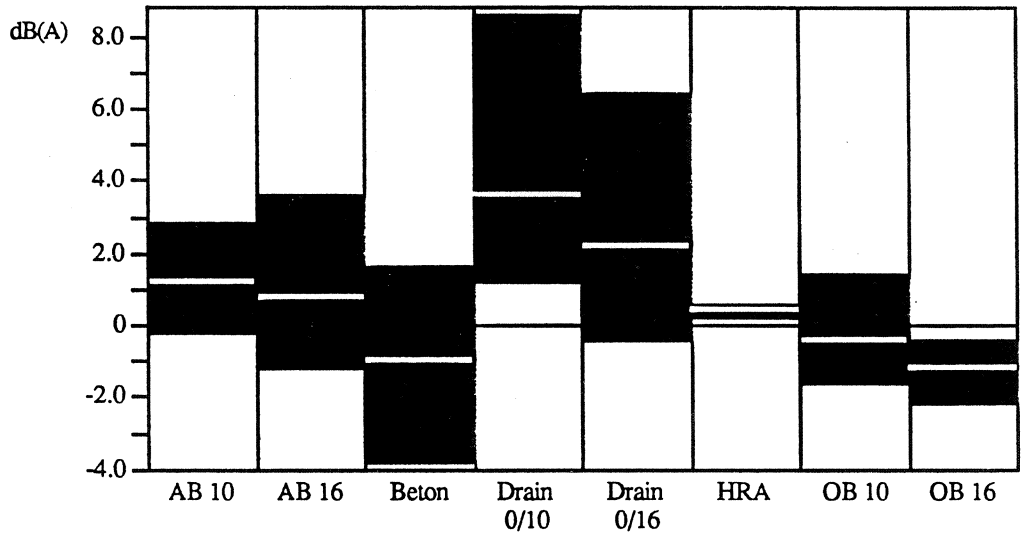
Aufgrund der bisherigen, relativ kurzen Beobachtungszeit kann nicht abschliessend beurteilt werden, ob die Pegelzunahmen kontinuierlich weiter ansteigen werden, oder ob nach einem bestimmten Zeitpunkt eine Abflachung der Zuwachsrate eintreten wird.

Abb. 10 : Wertebereiche und Mittelwerte der Pegelzunahmen einzelner Belagsarten in 5 Jahren

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel

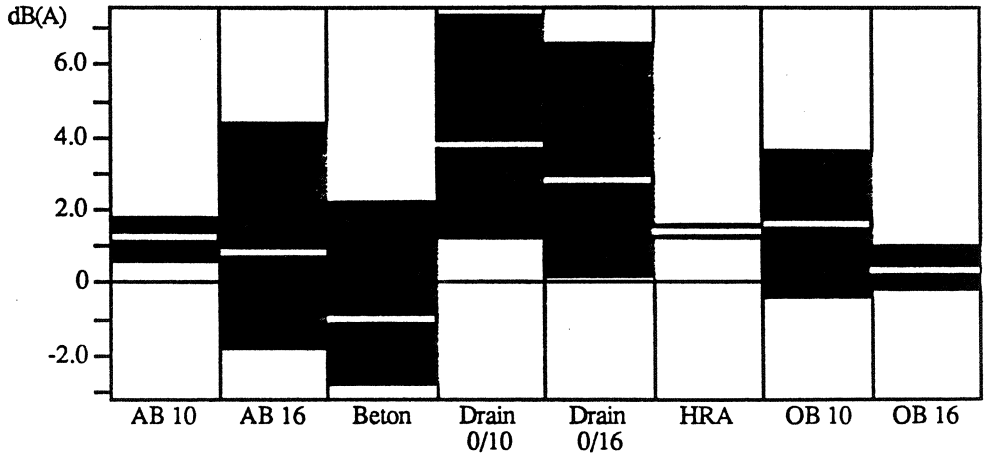
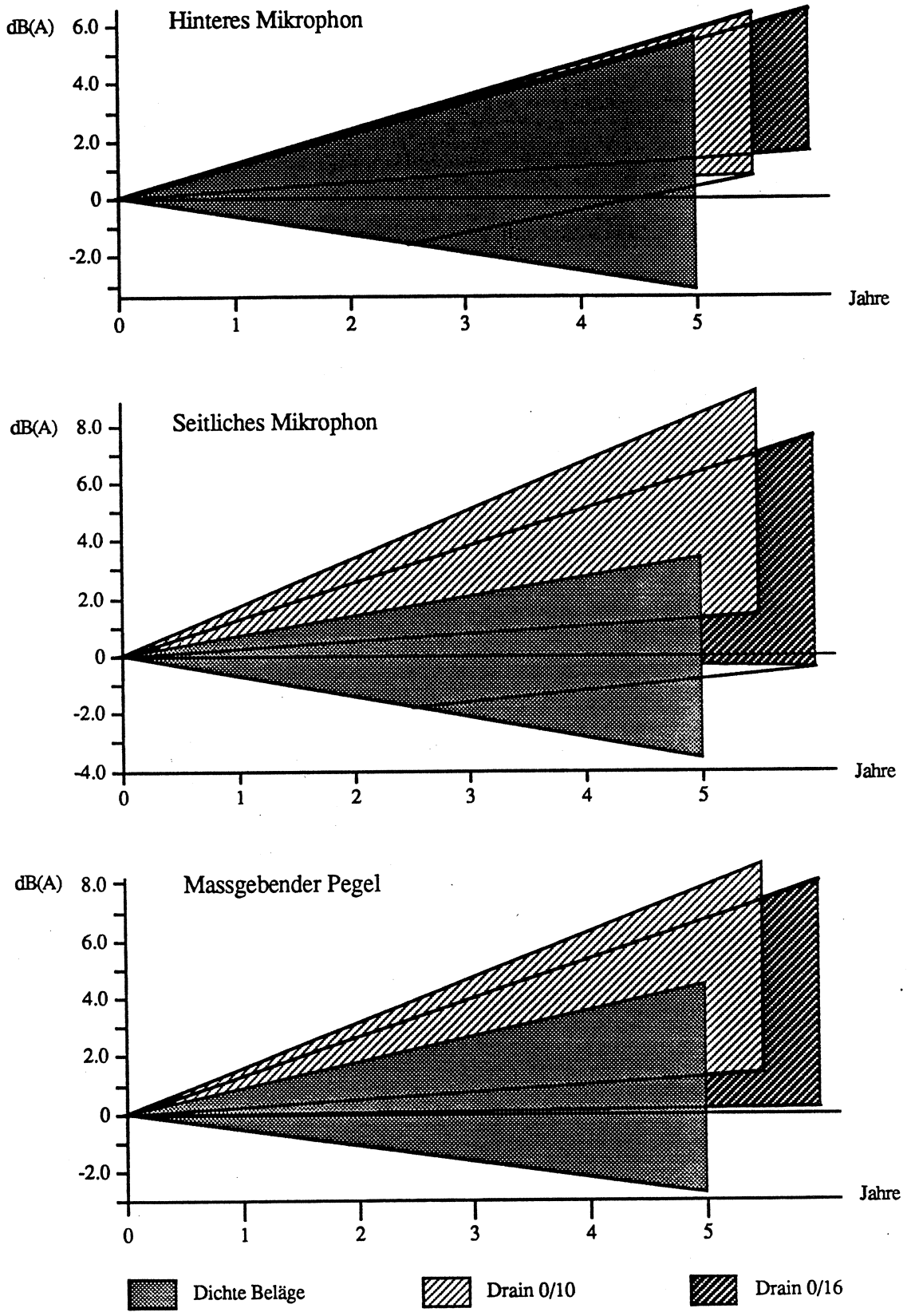


Abb. 11 : Zunahme der Messwerte bei verschiedenen Belägen



5. Abhängigkeit des Lärmpegels von der Geschwindigkeit

5.1 Voraussetzungen

Um die Abhängigkeit des Lärmpegels von der Geschwindigkeit zu eruieren wurden sämtliche bisherigen Messungen in die Berechnung miteinbezogen. Um eine direkte Vergleichsmöglichkeit und vom Alter der Beläge unabhängige Werte zu erhalten, wurden jeweils die Pegeldifferenzen zwischen den einzelnen Geschwindigkeitsstufen ermittelt und anschliessend die Mittelwerte gebildet. Die Resultate sind in den Tabellen 14 und 15 zusammengefasst. Basierend auf diesen Mittelwerten konnte für das hintere und seitliche Mikrophon sowie für den massgebenden Pegel die Steigungsmasse jeweils für die einzelnen Belagsarten (Ausnahme Dünnschichtbelag (DSB) : ungenügende Anzahl Messungen) Mittelwerte berechnet werden (vgl. Beilage 4). Dabei wurde der Wert bei 60 km/h gleich 0 gesetzt und davon ausgehend die anderen Geschwindigkeitswerte jeweils aufsummiert. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die Zunahme des Lärmpegels mit der Geschwindigkeit nicht konstant bleibt, sondern abnimmt. Bei den Korrelationsberechnungen konnte mit einer Kurve 2. Grades für den Wertebereich 50 bis 120 km/h sehr gute Ergebnisse erzielt werden (Regressionsfaktor = 1.0).

5.2 Ergebnisse

Innerhalb der einzelnen Geschwindigkeitsstufen ist zwischen den einzelnen Belägen kein allzugrosser Unterschied feststellbar. Bei den Drainbelägen beträgt bei einer Verdoppelung der Geschwindigkeit von 60 auf 120 km/h die Zunahme des LMA - Wertes rund 8 dB(A), während sie im Gegensatz dazu bei den Betonbelägen rund 12 dB(A) beträgt.

Zwischen 60 und 120 km/h weist der Hot Rolled Asphalt mit 10.2 dB(A) die grösste, der AB 16 mit nur 7.1 dB(A) die kleinste Differenz auf. Auffallend ist, dass die Pegeldifferenzen beim seitlichen Mikrophon im Bereich 60 bis 120 km/h niedriger sind als beim hinteren Mikrophon, während bei der Geschwindigkeitsstufe 50 - 60 km/h bei einigen Belägen (Drain 0/10, HRA, OB) genau das Gegenteil der Fall ist.

Beim massgebenden Pegel können für eine Geschwindigkeitserhöhung von 60 auf 120 km/h beim Drain 0/16 eine Pegelzunahme von 7.8 dB(A) und beim Beton um 11.4 dB(A) festgestellt werden. Bei den Drainbelägen, beim Asphaltbeton und bei den OB sind die Zunahmen praktisch identisch.

Tabelle 14 : Pegeldifferenzen pro Geschwindigkeitsstufe

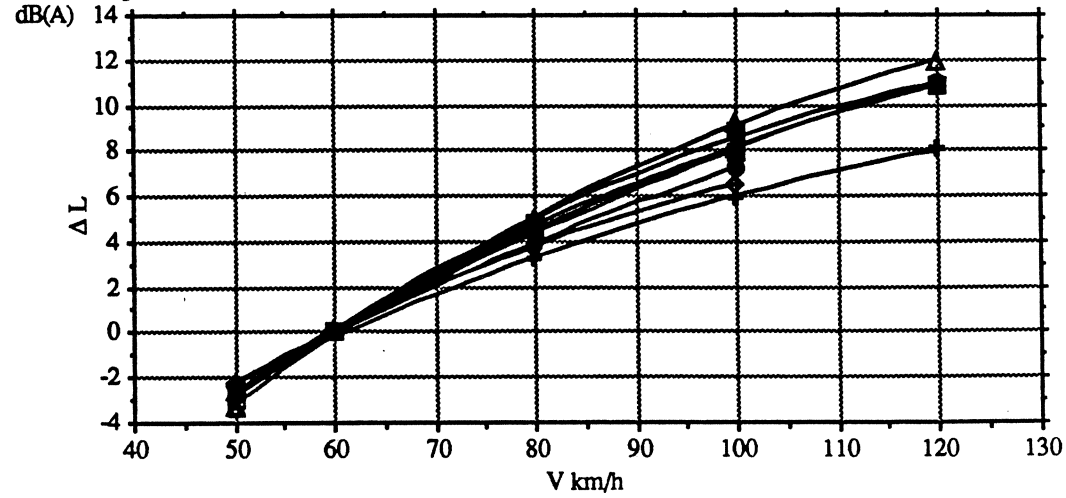
Hinteres Mikrophon	Pegeldifferenz pro Geschwindigkeitsstufe [dB(A)]			
Belag	50 - 60 km/h	60 - 80 km/h	80 - 100 km/h	100 - 120 km/h
AB 10	2.8	4.4	3.6	3.0
AB 16	3.0	4.6	3.3	3.0
Beton	3.3	4.9	4.3	2.7
Drain 0/10	2.4	3.7	2.8	
Drain 0/16	2.4	3.2	2.7	2.1
DSB		4.8		
Gussasphalt		3.9	3.3	
HRA	2.7	4.8	4.0	2.0
Mikro	2.7	4.7	3.3	
OB 10	2.3	4.3	3.7	
OB 16	2.3	4.8		

Seitliches Mikrophon	Pegeldifferenz pro Geschwindigkeitsstufe [dB(A)]			
Belag	50 - 60 km/h	60 - 80 km/h	80 - 100 km/h	100 - 120 km/h
AB 10	2.7	3.0	2.9	2.2
AB 16	2.5	3.2	2.3	1.6
Beton	2.5	4.0	3.0	1.7
Drain 0/10	2.3	3.1	2.5	
Drain 0/16	2.4	3.3	2.4	1.6
DSB		2.8		
Gussasphalt		4.9	2.5	
HRA	2.8	4.5	3.4	2.3
Mikro	1.8	3.2	2.4	
OB 10	3.1	3.7	3.5	
OB 16	2.8	4.2		

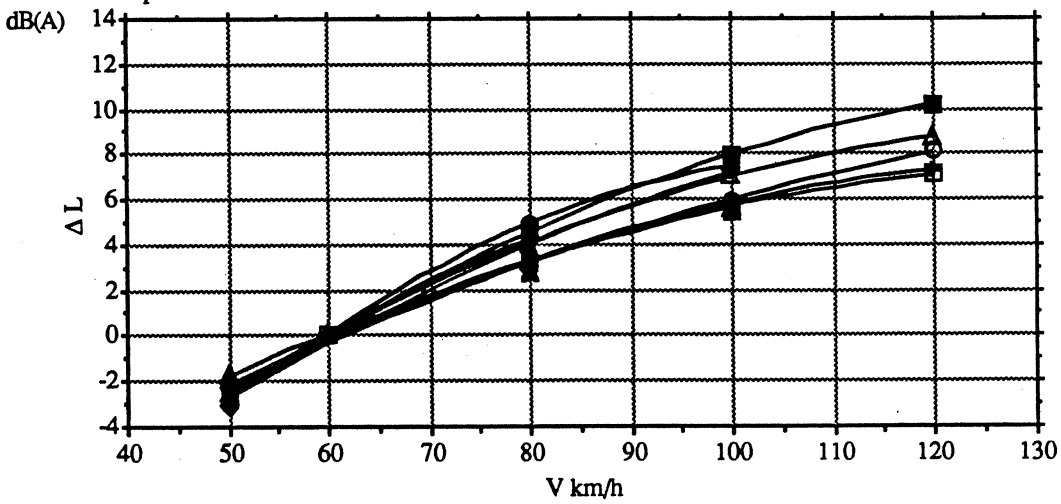
Massgebender Pegel	Pegeldifferenz pro Geschwindigkeitsstufe [dB(A)]			
Belag	50 - 60 km/h	60 - 80 km/h	80 - 100 km/h	100 - 120 km/h
AB 10	2.8	4.1	3.5	2.8
AB 16	3.1	4.2	3.3	2.6
Beton	2.8	4.7	4.0	2.7
Drain 0/10	2.5	3.3	2.5	
Drain 0/16	2.5	3.3	2.6	1.9
DSB		4.5		
Gussasphalt		4.3	3.0	
HRA	2.7	4.7	3.8	2.0
Mikro	2.8	4.4	3.0	
OB 10	2.8	4.1	3.6	
OB 16	2.5	4.5		

Abb. 12: Pegeldifferenzen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel

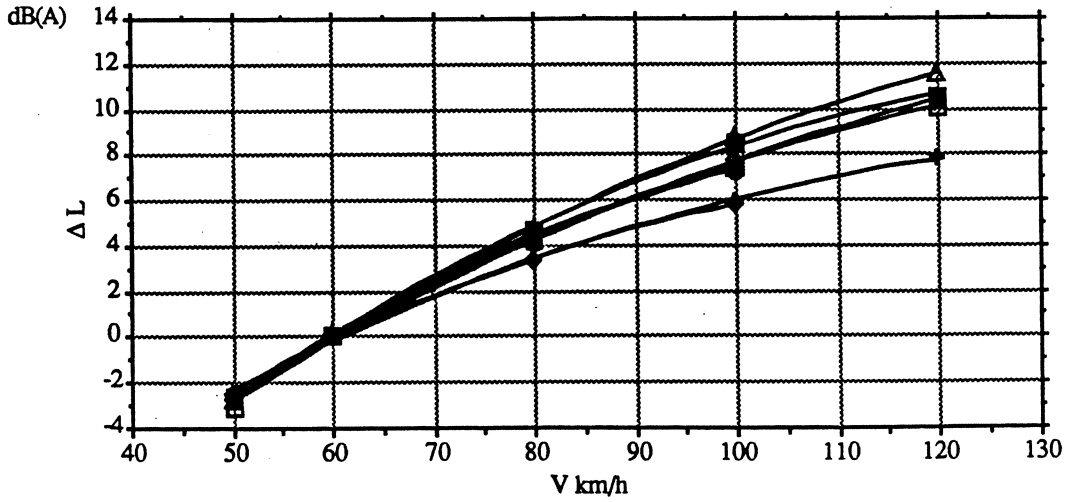


Tabelle 15: Korrelationsgleichungen der Pegeldifferenzen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Hinteres Mikrophon	AB 10	$y = -18.679 + 0.371 \cdot x - 0.001035 \cdot x^2$
	AB 16	$y = -20.059 + 0.406 \cdot x - 0.001240 \cdot x^2$
	Beton	$y = -23.053 + 0.472 \cdot x - 0.001500 \cdot x^2$
	Drain 0/10	$y = -17.858 + 0.376 \cdot x - 0.001328 \cdot x^2$
	Drain 0/16	$y = -15.185 + 0.306 \cdot x - 0.000940 \cdot x^2$
	GA	$y = -15.300 + 0.300 \cdot x - 0.000750 \cdot x^2$
	HRA	$y = -22.027 + 0.463 \cdot x - 0.001573 \cdot x^2$
	Mikro	$y = -21.381 + 0.452 \cdot x - 0.001583 \cdot x^2$
	OB 10	$y = -16.021 + 0.308 \cdot x - 0.000678 \cdot x^2$
	OB 16	$y = -12.800 + 0.193 \cdot x - 0.000333 \cdot x^2$
Seitliches Mikrophon	AB 10	$y = -15.472 + 0.306 \cdot x - 0.000919 \cdot x^2$
	AB 16	$y = -16.686 + 0.351 \cdot x - 0.001275 \cdot x^2$
	Beton	$y = -19.186 + 0.406 \cdot x - 0.001448 \cdot x^2$
	Drain 0/10	$y = -16.256 + 0.343 \cdot x - 0.001251 \cdot x^2$
	Drain 0/16	$y = -16.646 + 0.351 \cdot x - 0.001257 \cdot x^2$
	GA	$y = -29.100 + 0.665 \cdot x - 0.003000 \cdot x^2$
	HRA	$y = -20.627 + 0.429 \cdot x - 0.001435 \cdot x^2$
	Mikro	$y = -13.761 + 0.284 \cdot x - 0.000945 \cdot x^2$
	OB 10	$y = -19.811 + 0.407 \cdot x - 0.001372 \cdot x^2$
	OB 16	$y = -23.800 + 0.537 \cdot x - 0.002333 \cdot x^2$
Massgebender Pegel	AB 10	$y = -18.149 + 0.361 \cdot x - 0.001027 \cdot x^2$
	AB 16	$y = -20.070 + 0.409 \cdot x - 0.001318 \cdot x^2$
	Beton	$y = -20.197 + 0.408 \cdot x - 0.001196 \cdot x^2$
	Drain 0/10	$y = -18.216 + 0.392 \cdot x - 0.001525 \cdot x^2$
	Drain 0/16	$y = -16.353 + 0.337 \cdot x - 0.001131 \cdot x^2$
	GA	$y = -20.700 + 0.443 \cdot x - 0.001625 \cdot x^2$
	HRA	$y = -21.668 + 0.456 \cdot x - 0.001560 \cdot x^2$
	Mikro	$y = -22.079 + 0.477 \cdot x - 0.001822 \cdot x^2$
	OB 10	$y = -18.895 + 0.382 \cdot x - 0.001162 \cdot x^2$
	OB 16	$y = -17.500 + 0.342 \cdot x - 0.000833 \cdot x^2$

5.3 Schlussbemerkungen

Die Untersuchungen haben deutlich gezeigt, dass die LMA - Werte mit zunehmender Geschwindigkeit nicht konstant steigen. Grundsätzlich nehmen die Werte von 60 nach 120 km/h beim hinteren Mikrophon stärker zu als beim seitlichen Mikrophon. Ebenso ist der Unterschied zwischen der kleinsten und grössten Zunahme beim seitlichen Mikrophon in Abhängigkeit der Belagsart geringfügig kleiner als beim hinteren Mikrophon. Im weiteren konnte festgestellt werden, dass die Pegelzunahme bei sämtlichen Belagsarten praktisch unabhängig von Alter des Belages ist. Im Gegensatz dazu ist der Trend feststellbar, dass Strecken mit einem höheren Lärmniveau auch höhere Differenzen aufweisen. Insbesondere ist über sämtliche Beläge gesehen die Streuung im Bereich 60 - 80 km/h eindeutig am grössten. Ausgehend von einem bei gemessenen 60 km/h LMA - Wert können mit Hilfe der oben berechneten Korrelation die mutmasslichen Pegelwerte im Geschwindigkeitsbereich 50 - 120 km/h für gewisse Aufgabenbereiche zufriedenstellend genau berechnet werden.

6. Vergleich der Lärmpegel von verschiedenen Belagsarten

Der Vergleich der Lärmpegel der wichtigsten Belagsarten soll einen Überblick über die bei den einzelnen Belägen zu erwartende Lärmsituation geben. Insofern interessiert natürlich, ob der Drainasphalt den Namen *Flüsterasphalt* mit Recht trägt und ob er wirklich als der leiseste Belag bezeichnet werden kann.

Da bei den meisten Belägen keine Angaben über das Einbaudatum vorhanden waren, wurden für den Vergleich der Niveaus der verschiedenen Belagsarten untereinander sämtliche bisherigen Messungen verwendet. Insbesondere wurden die Messwerte der Beobachtungsreihen der periodischen Erhebungen im Rahmen der Untersuchungen zum Forschungsauftrag Drainasphalt als Einzelwerte behandelt.

Die Resultate wurden auf zwei verschiedene Arten dargestellt. In der ersten Art wurden die Drainbeläge 0/10 und 0/16 einzeln und alle dichten Beläge zusammengefasst betrachtet (Abb. 13 -15), während in der zweiten Art auch die dichten Beläge einzeln ausgewiesen wurden (Abb. 16). Die Wertebereiche für die einzelnen Belagsarten sind in der Beilage 5 dargestellt.

Hinteres Mikrophon

Beim hinteren Mikrophon fällt auf, dass der Drain 0/10 beim Minimum, Maximum und Mittelwert ein niedrigeres Lärmniveau aufweist als der Drain 0/16. Im weiteren kann festgestellt werden, dass speziell im unteren Geschwindigkeitsbereich bei Mikrobelägen niedrigere Lärmpegel gemessen wurden, als bei den beiden Drainbelägen (insbesondere Drain 0/16). Im Bezug auf die anderen dichten Beläge liegen die offenporigen Beläge aber auf einem niedrigeren Lärmpegelniveau als die dichten Beläge. Der Unterschied der Mittelwerte wächst dabei mit zunehmender Geschwindigkeit.

Seitliches Mikrophon

Beim seitlichen Mikrophon liegen die Lärmpegel der Drainbeläge durchwegs im Bereich der dichten Beläge. Im Gegensatz zu den Messwerten des hinteren Mikrophon ist beim seitlichen Mikrophon ein allgemein tieferes Lärmniveau (ausser bei den Drainbelägen) und eine grössere Streuung der Pegelwerte feststellbar.

Abb. 13 Lärmpegel/Belagsart, Hinteres Mikrophon

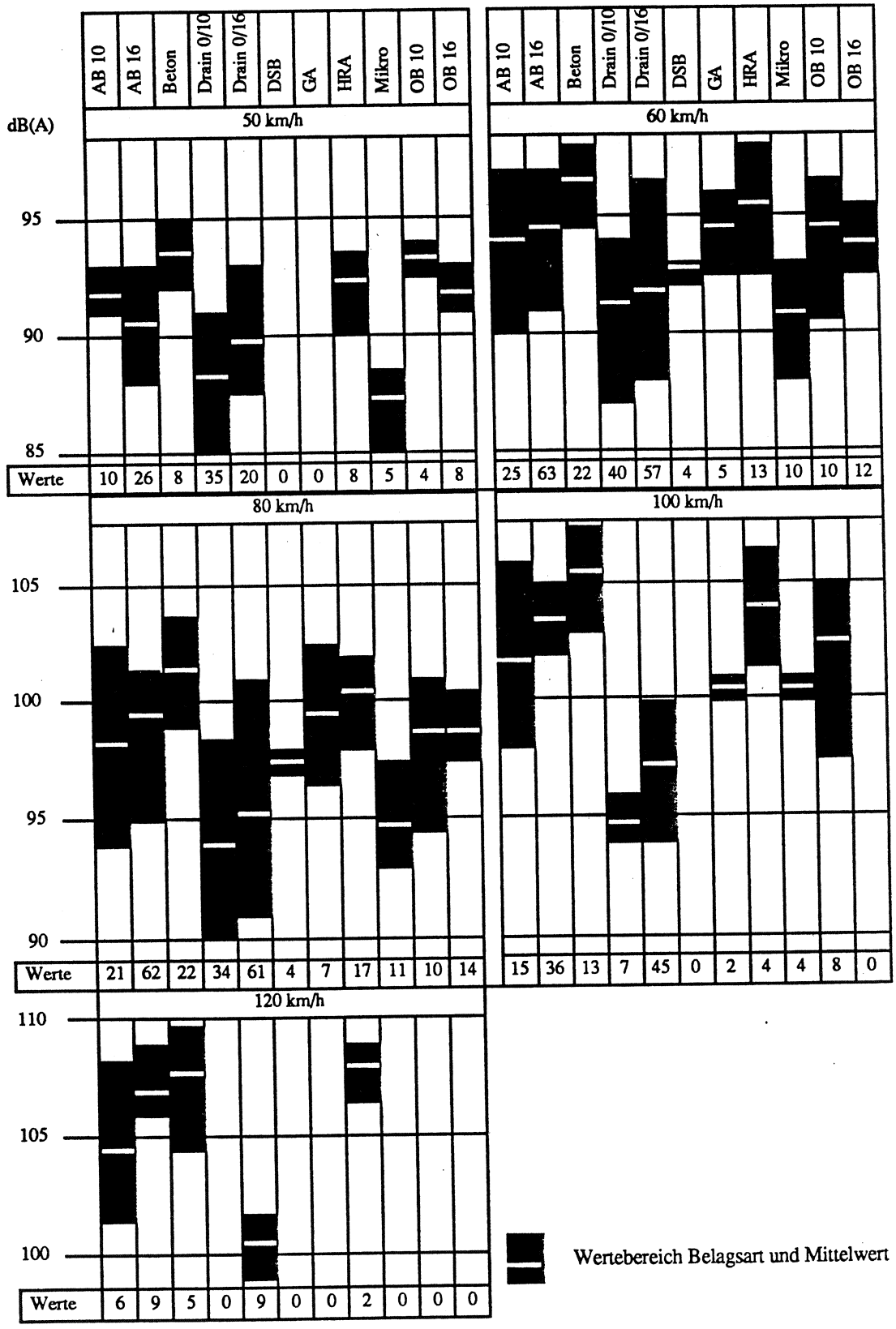


Abb. 14 Lärmpegel/Belagsart, Seitliches Mikrophon

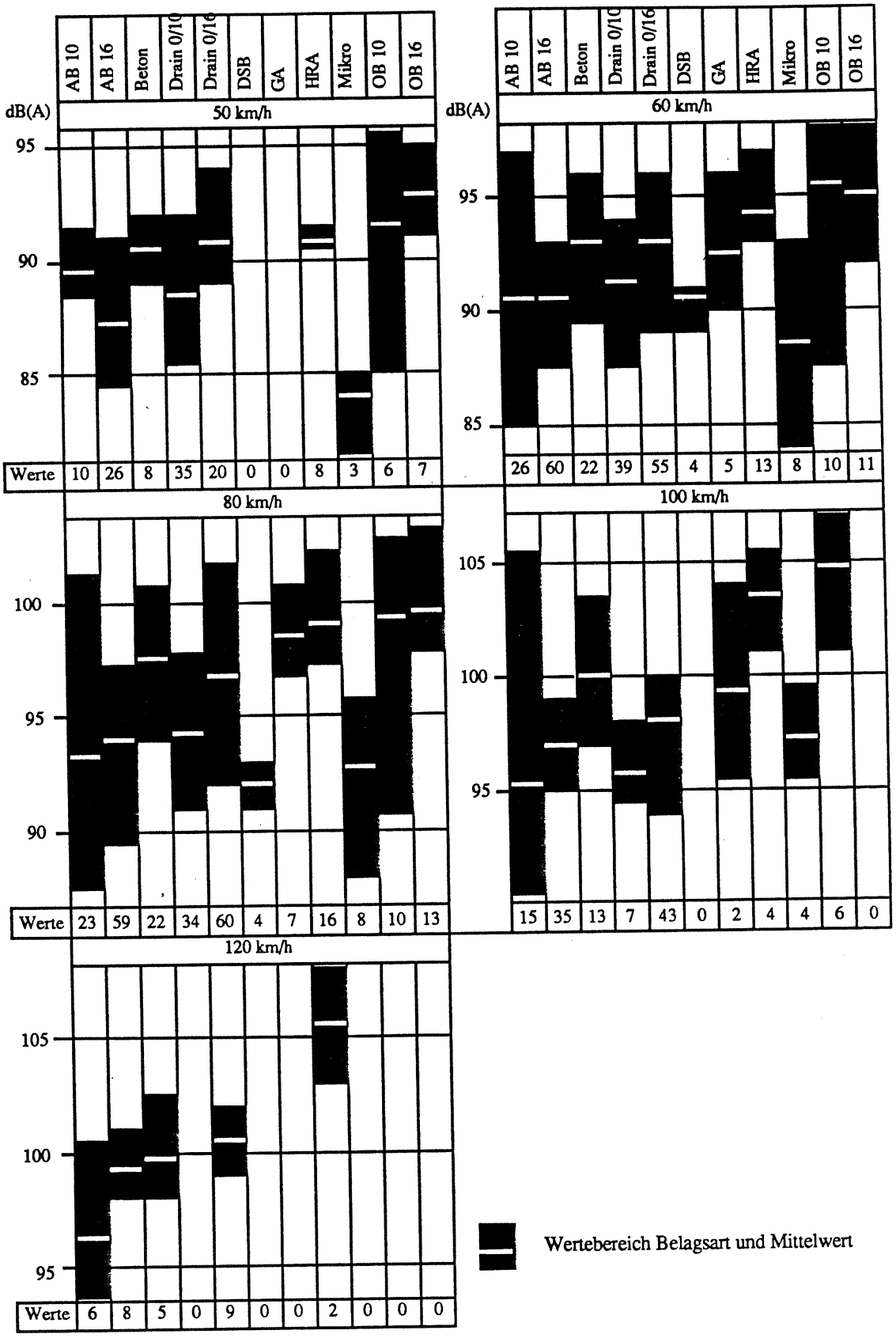


Abb. 15 Lärmpegel/Belagsart, Massgebender Pegel

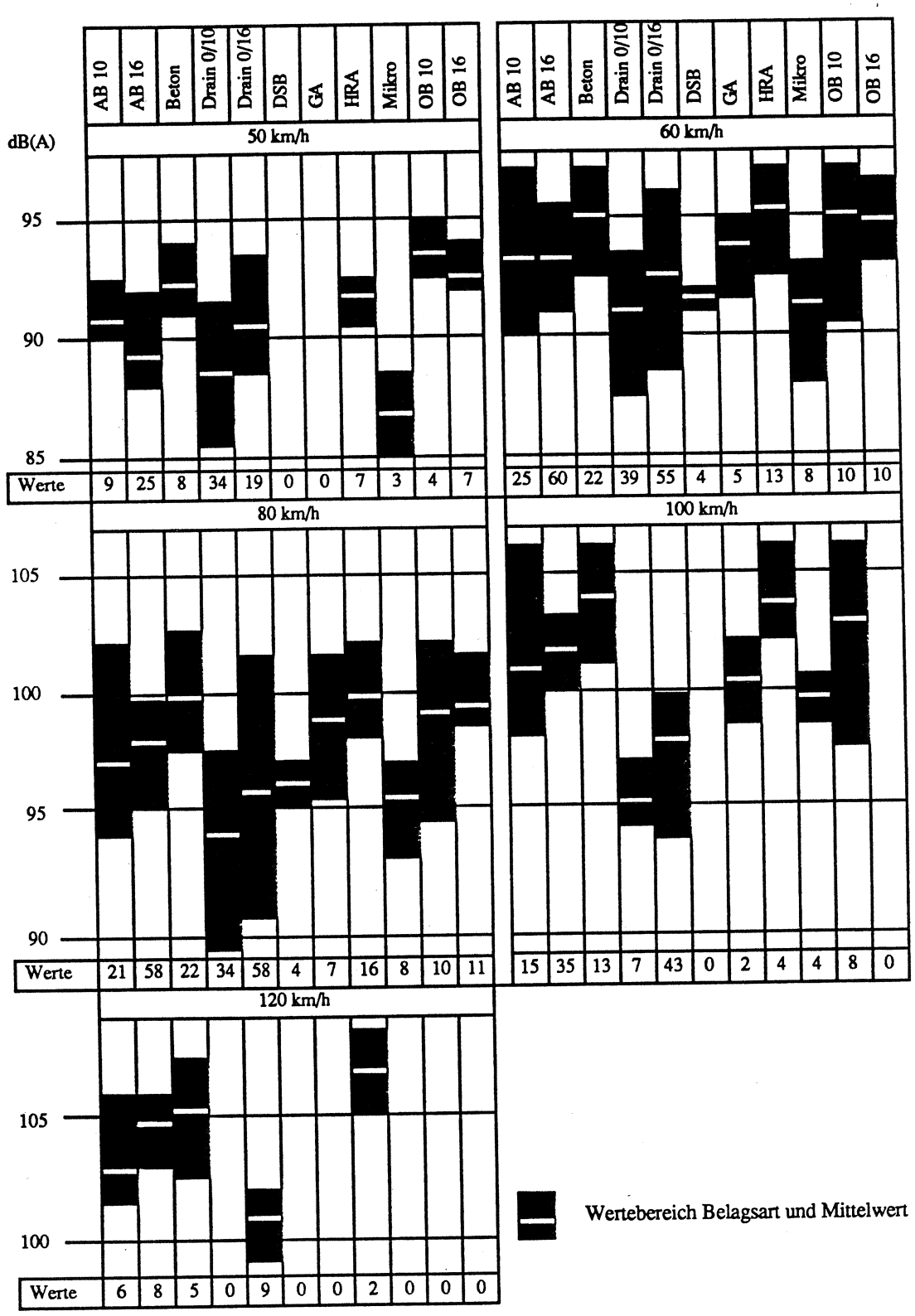


Abb. 16 Wertebereiche der offenporigen und dichten Beläge

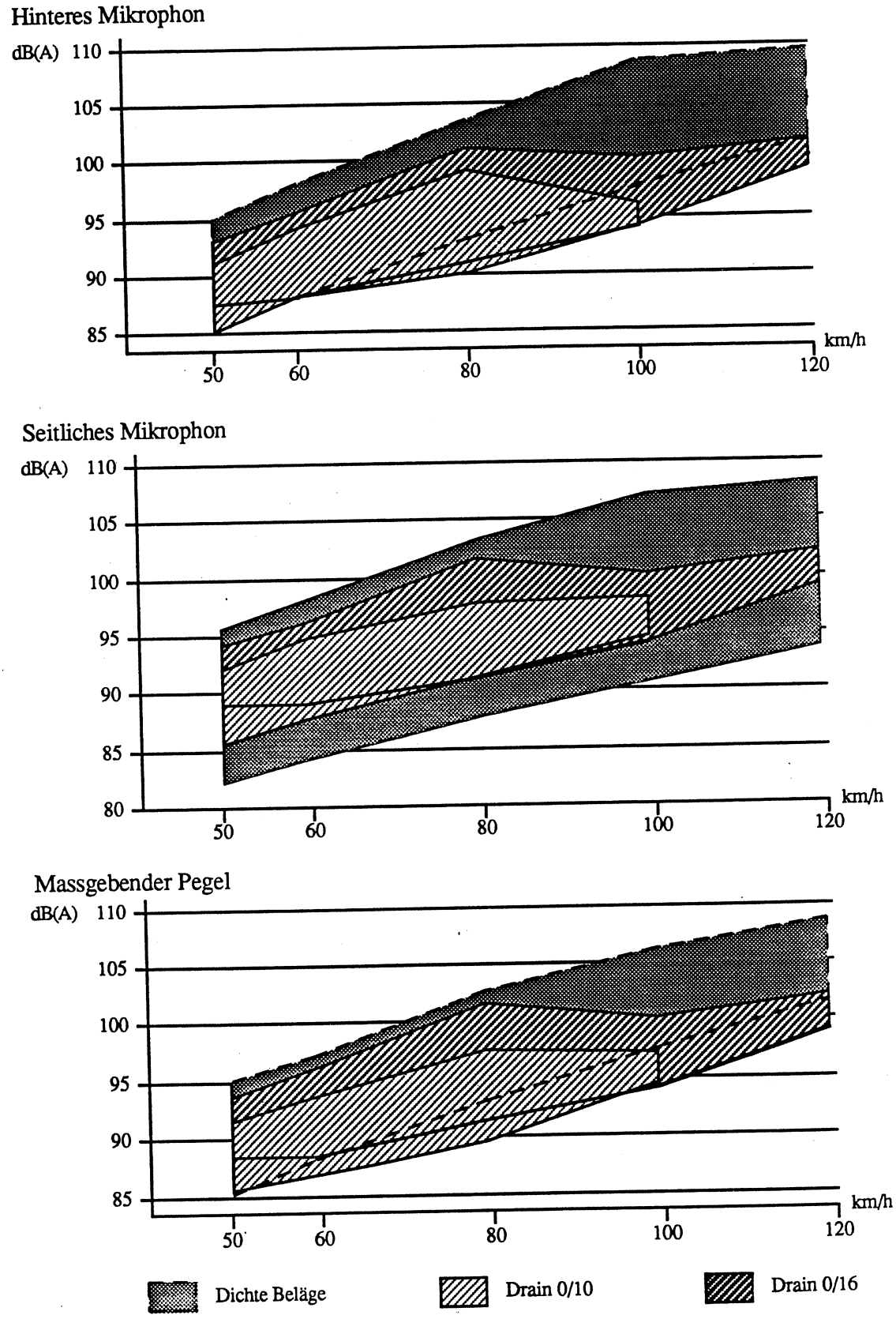


Abb. 17 Frequenzanalyse Drain 0/16 bei V=60 km/h

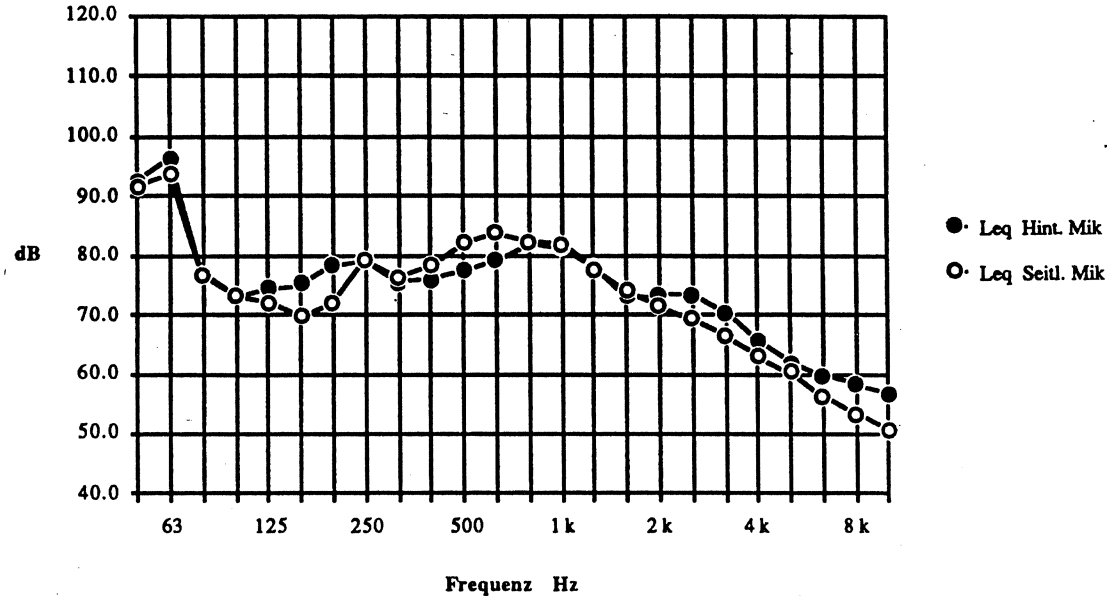
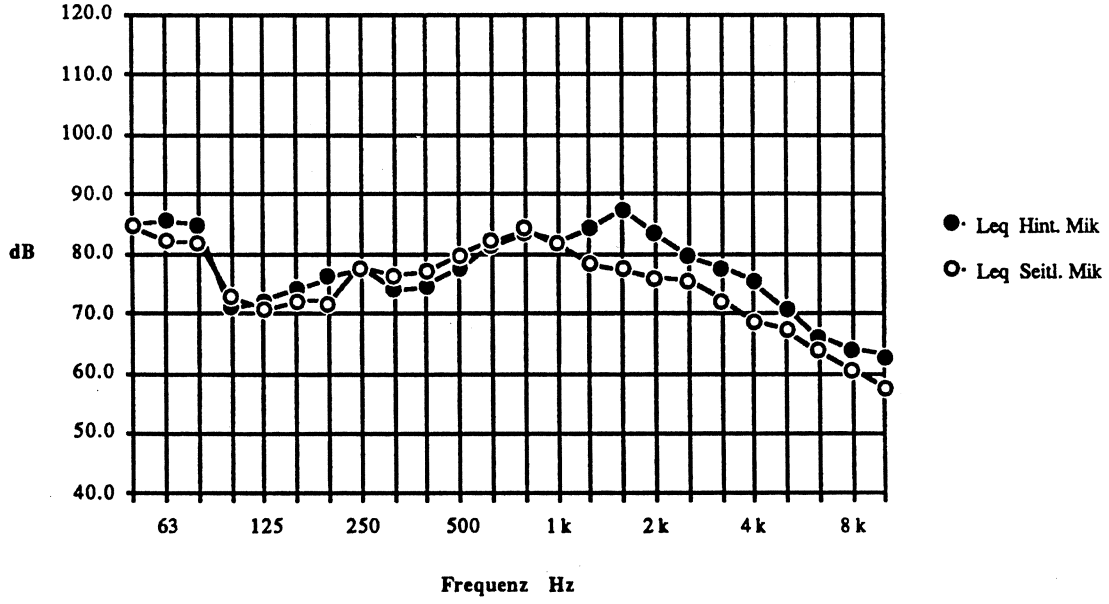


Abb. 18 Freqenzanalyse AB 10 bei V=60 km/h



Betrachtet man den massgebenden Pegel wiederum als den Beurteilungspegel für einen Belag können folgende Feststellungen gezogen werden :

- Die Mittelwerte zwischen den dichten und den offenporigen Belägen liegen bei den niedrigen Geschwindigkeiten (50 und 60 km/h) näher beisammen als im höheren Geschwindigkeitsbereich (100 und 120 km/h).

- Im niedrigeren Geschwindigkeitsbereich ist der Mikrobelag und zum Teil auch der Dünnschichtbelag (DSB) im Mittel leiser als die Drainbeläge. Bei höheren Geschwindigkeiten dagegen sind die offenporigen Beläge leiser.

- Ebenso weisen die feinkörnigeren Beläge einer Belagsart bei höheren Geschwindigkeiten einen niedrigeren Lärmpegel als die Grobkörnigeren auf.

- Da die Wertebereiche der einzelnen Belagsarten zum Teil stark streuen, können einzelne Strecken mit dichten Belägen niedrigere Messwerte aufweisen als gewisse Strecken mit offenporigen Belägen.

Aufgrund dieser Feststellungen kann gesagt werden, dass sich ein Einsatz von Drainbelägen aus der Sicht des Lärmschutzes für Strassenabschnitte mit einem niedrigen Geschwindigkeitsniveau (insbesondere Innerortsstrecken) nicht zwingend aufdrängt, seine Berechtigung aber zum Beispiel auf Autobahnen durchaus hat. Diese Aussage bezieht sich aber nur auf den auf einem Belag gemessenen reinen Lärmpegel und berücksichtigt das unterschiedliche Verhalten bezüglich der Frequenzen nicht. Zieht man nämlich für die Beurteilung des Lärmverhaltens eines Belages die Frequenzanalyse des hinteren Mikrophons bei, kann festgestellt werden, dass auch bei niedrigen Geschwindigkeiten im Frequenzbereich 1.25, 1.6 und 2 kHz bei den dichten Belägen ein lokales Maximum auftritt, welches bei den Drainbelägen nicht feststellbar ist (vgl. Abb. 17 und 18). Für das menschliche Gehör stellt genau dieser Frequenzbereich eine grosse Bedeutung dar, so dass das den Drainbelägen nachgesagte angenehme Tonverhalten wohl auf diesem Umstand beruht.

7. Vergleich der einzelnen Meßstrecken bezüglich Lärmverhalten und den spezifischen Belagsdaten

In diesem Kapitel werden die einzelnen Meßstrecken bezüglich ihrer Durchlässigkeit bzw. den spezifischen Belagsdaten und dem Lärmverhalten verglichen und versucht, allfällige Zusammenhänge aufzuzeigen.

7.1 Zusammenhang zwischen dem Lärmpegel und der Durchlässigkeit bei Drainasphaltbelägen

Grundlage für diese Untersuchungen bilden die periodischen Messungen der Durchlässigkeiten der Drainbeläge im Rahmen des Forschungsauftrages FA 10/82. Das Messverfahren wurde bereits eingehend in Kapitel 2.2.2 beschrieben. Die Messungen fanden jeweils ungefähr zum gleichen Zeitpunkt wie die Lärmmessungen statt, wobei sich aber die Messreihen nicht bei allen Strecken über den gleichen Zeitraum erstrecken. Primär interessieren die Zusammenhänge zwischen der Höhe des Lärmpegels und der Höhe der Durchlässigkeit sowie zwischen der Zunahme des Lärmpegels und der Abnahme der Durchlässigkeit.

Beim Durchfluss wird eine Messung sowohl im Bereich der Radspur wie auch in der Mitte des Fahrstreifens durchgeführt. Bisherige Auswertungen haben ergeben, dass die Durchlässigkeit im Normalfall in der Radspur aufgrund der reinigenden Sogwirkung des Pneus besser ist als in der Fahrstreifenmitte. Für den hier unternommenen Vergleich wurde jeweils der Mittelwert sämtlicher Meßstellen berechnet und nicht zwischen den beiden Lagen in der Fahrbahn unterschieden.

In den Abbildungen 20, 22, 24 bzw. 26, 28 und 30 wurde der mittlere Durchfluss (l/min) in Abhängigkeit des Alters des Belages für die Drainbeläge 0/10 und Drainbeläge 0/16 getrennt dargestellt. Dabei kann festgestellt werden, dass die Durchlässigkeit mit der Alterung abnimmt und dass diese Abnahme nicht linear verläuft. In den ersten zwei Jahren nach Belagseinbau ist die Durchlässigkeit einer deutlich stärkeren Verminderung unterworfen als in den nachfolgenden Jahren. So beträgt beim Drainbelag 0/10 der Durchfluss nach 1-2 Jahren meistens nur noch die Hälfte des Anfangswertes. Beim Drainbelag 0/16 tritt dieser Fall im Mittel nach 2 bis 3 Jahren ein, wobei bei einzelnen Strecken bereits nach einem oder erst nach 4 Jahren der Durchfluss halbiert wird. Da bei den Drainbelägen 0/10 und 0/16 eine ähnliche Bandbreite von Anfangsdurchlässigkeiten gemessen wurden, besteht zwischen den beiden Belagsarten bezüglich Durchfluss nur der Unterschied in der Schnelligkeit der Verstopfung der Poren, die beim Drainbelag 0/10 grösser ist.

Abb. 19 Lärmpegel hinteres Mikrophon Drainbelag 0/10 bei 60 km/h

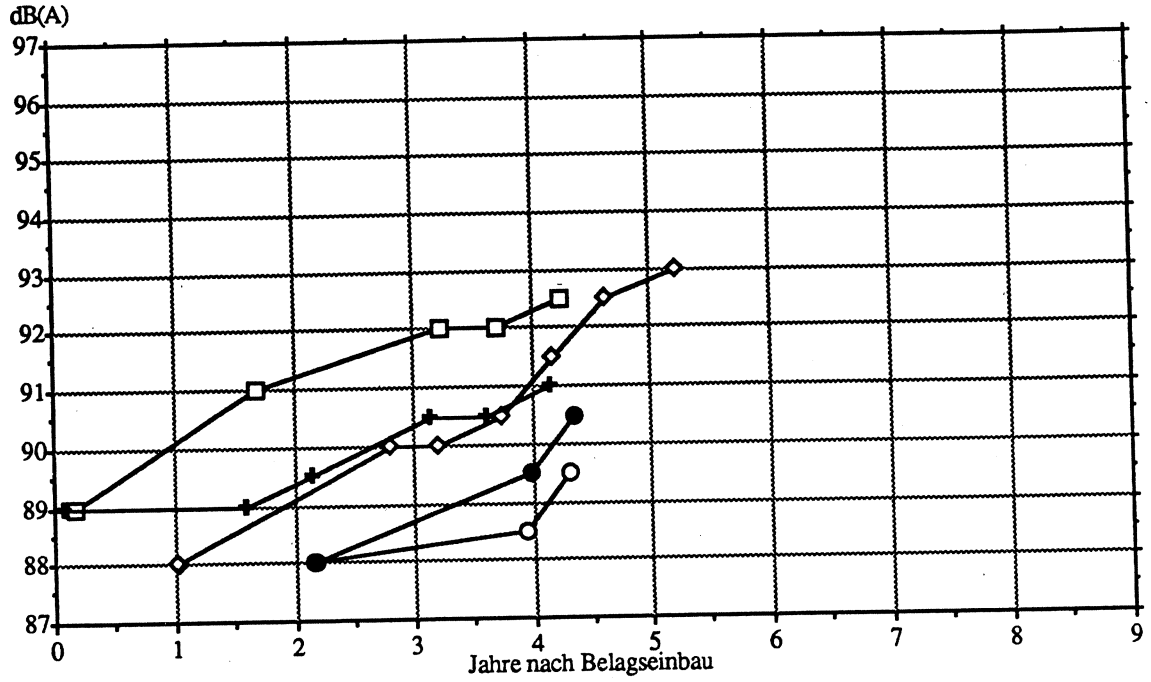


Abb. 20 Durchfluss Drainbelag 0/10

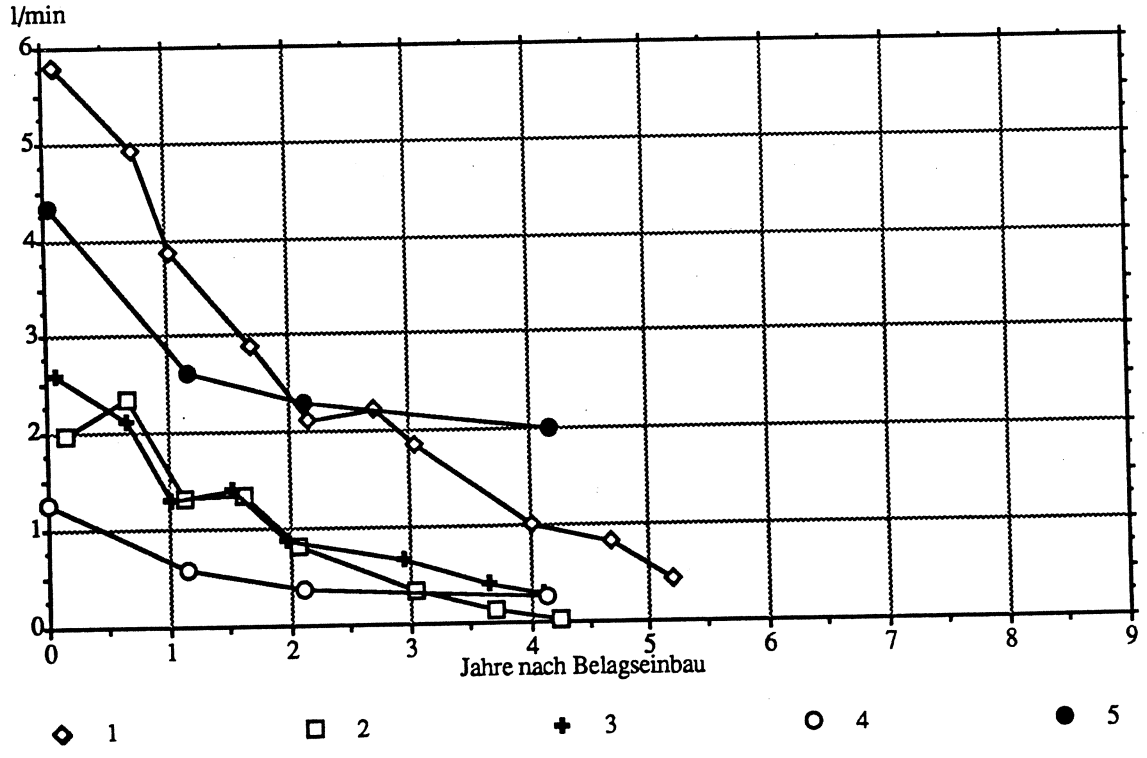


Abb.21 Lärmpegel seitliches Mikrophon Drainbelag 0/10 bei 60 km/h

Abb. 22 Durchfluss Drainbelag 0/10

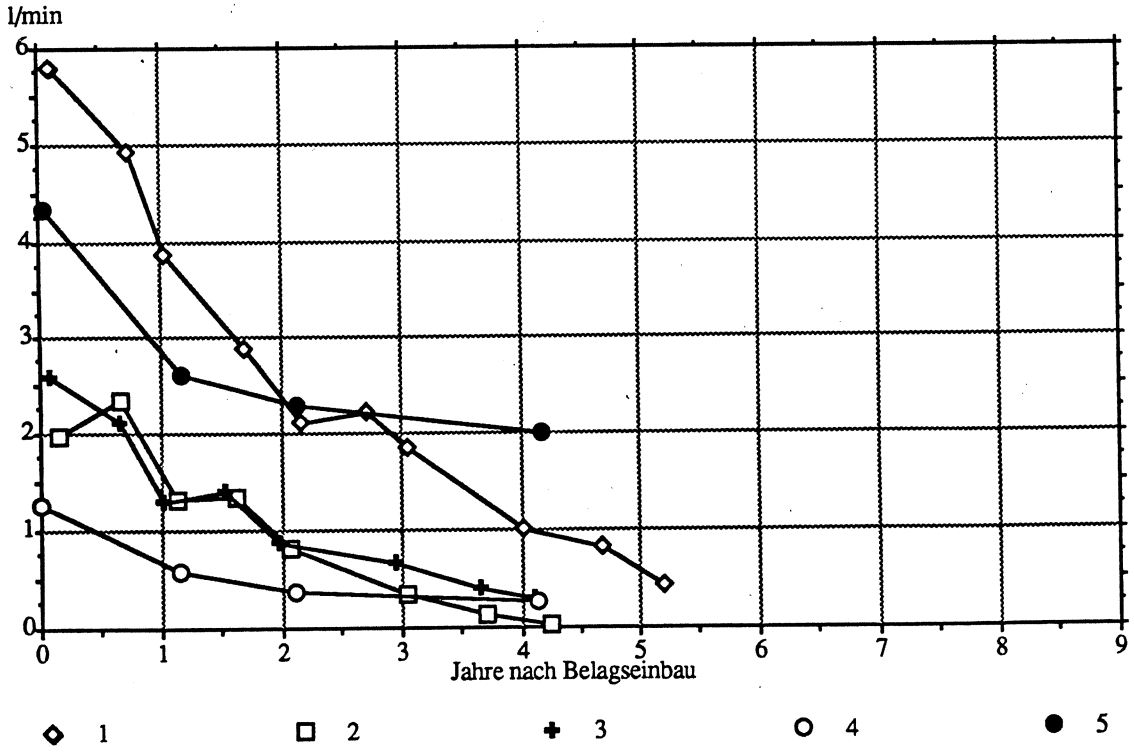


Abb. 23 Lärmpegel massgebender Pegel Drainbelag 0/10 bei 60 km/h

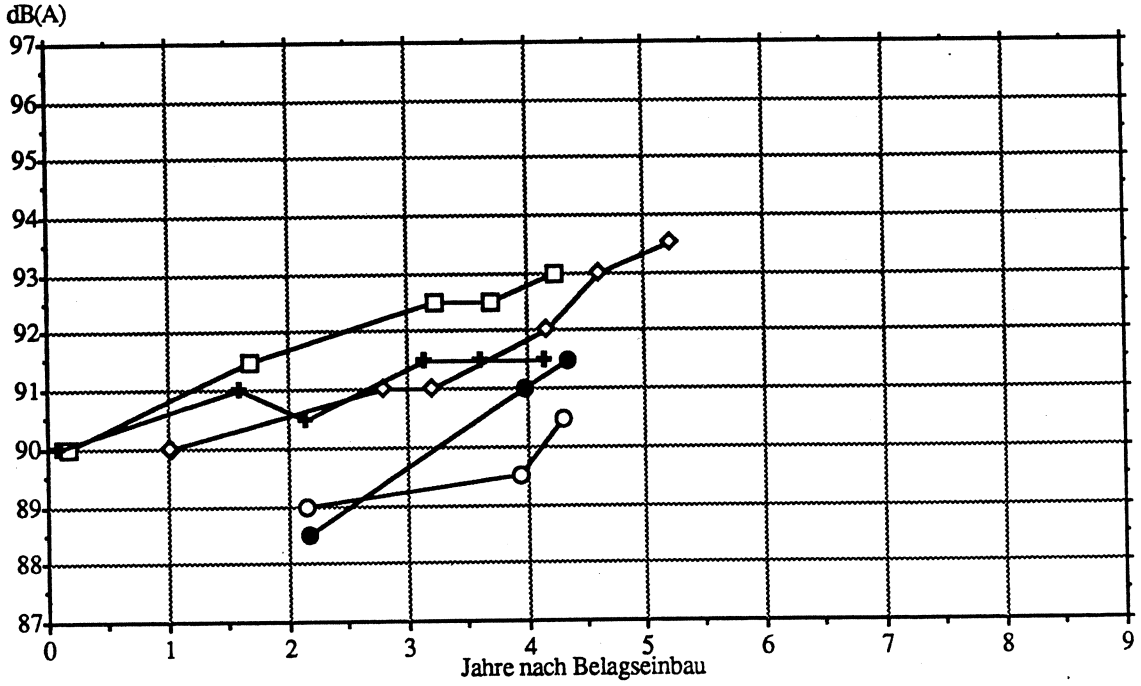


Abb. 24 Durchfluss Drainbelag 0/10

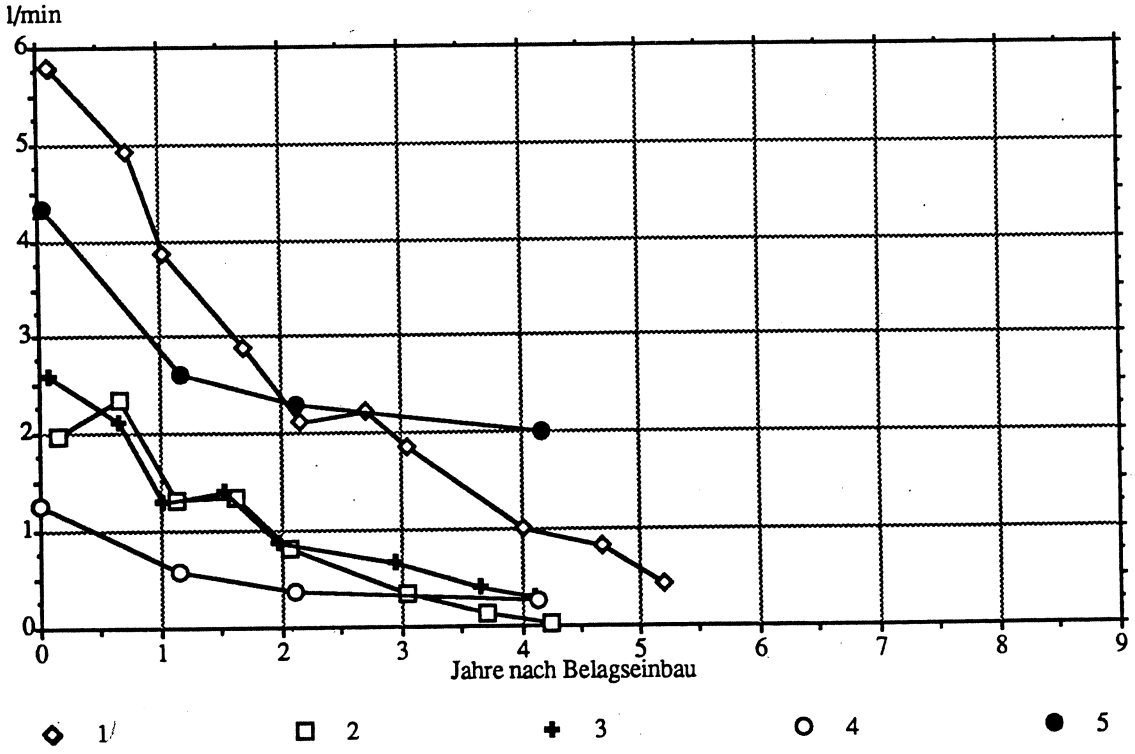


Abb. 25 Lärmpegel hinteres Mikrophon Drainbelag 0/16 bei 60 km/h

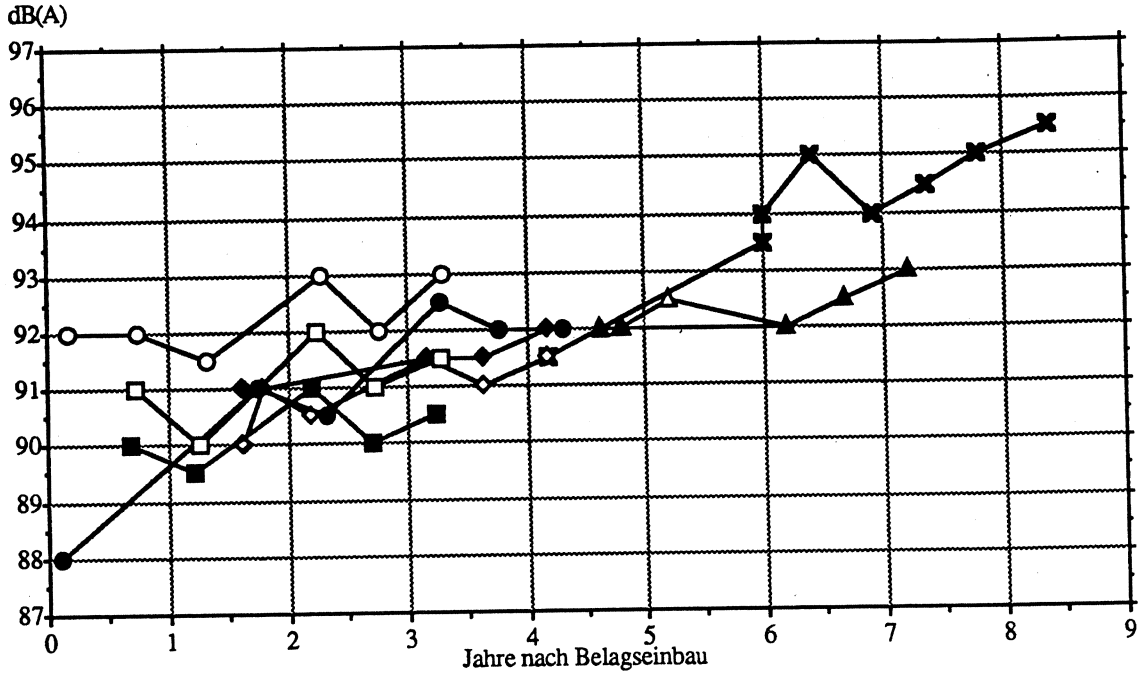


Abb. 26 Durchfluss Drainbelag 0/16

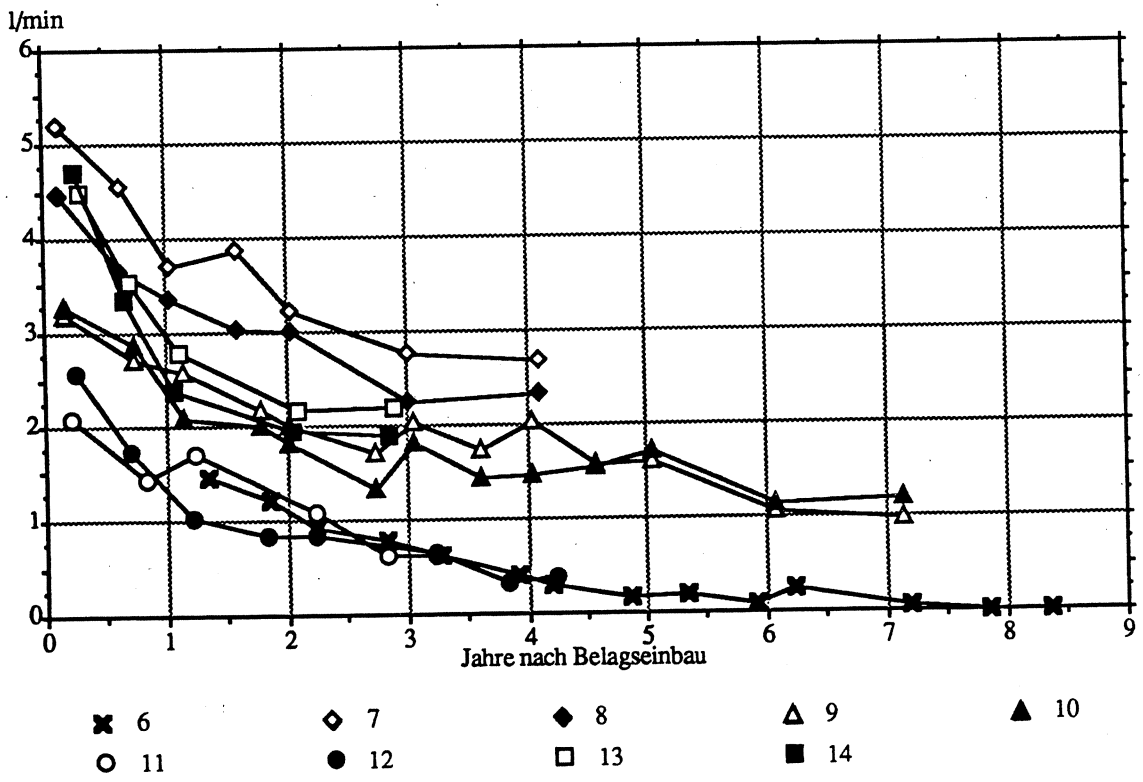


Abb. 27 Lärmpegel seitliches Mikrophon Drainbelag 0/16 bei 60 km/h

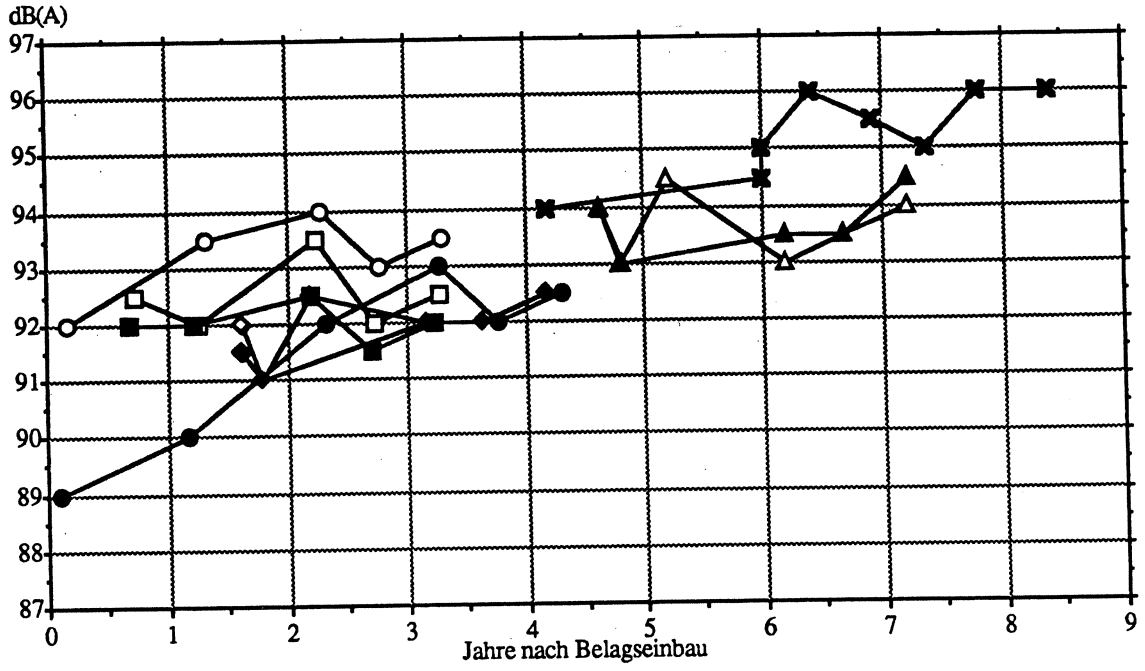


Abb. 28 Durchfluss Drainbelag 0/16

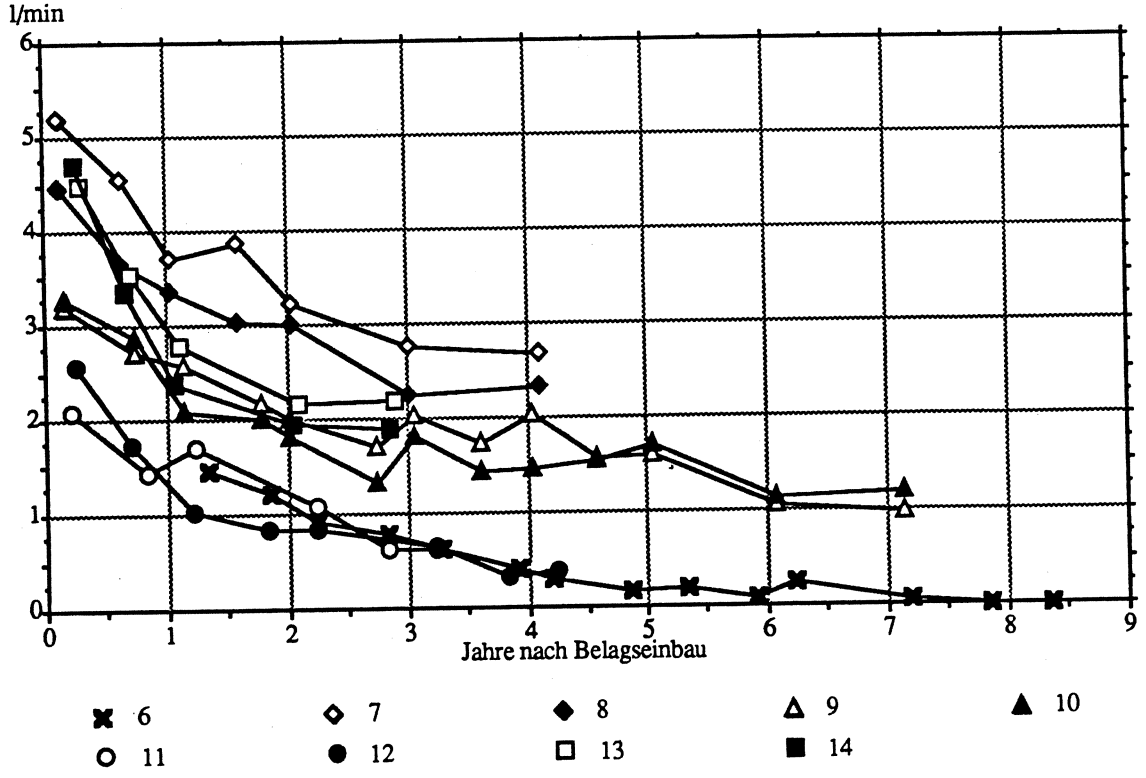


Abb. 29 Lärmpegel massgebender Pegel Drainbelag 0/16 bei 60 km/h

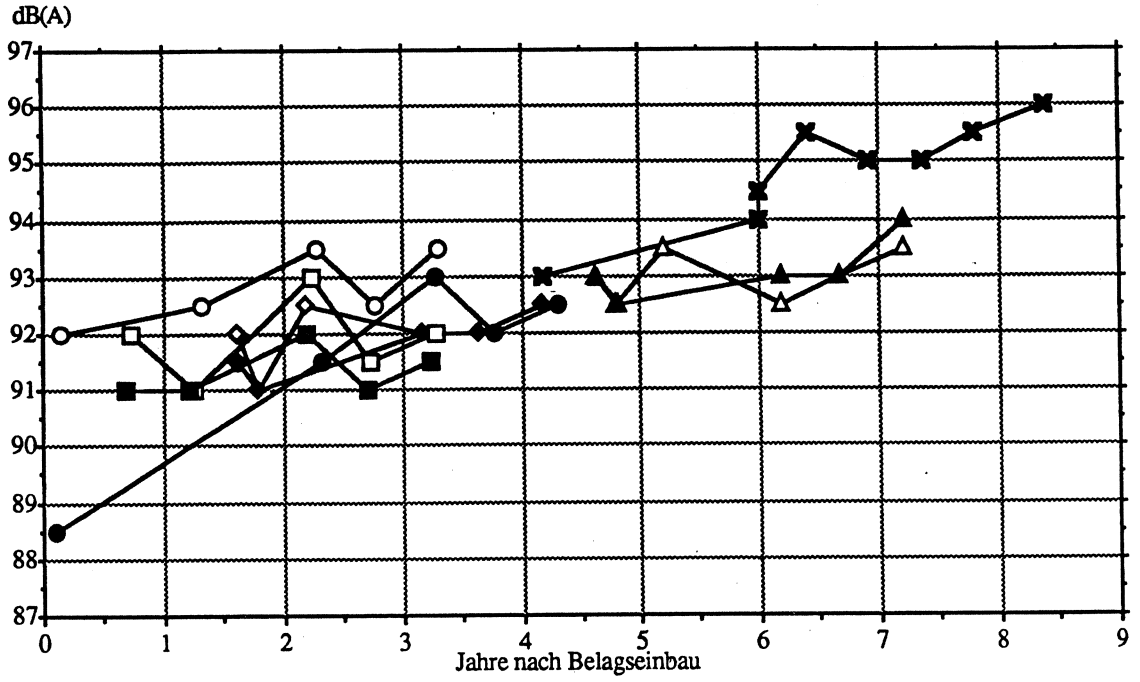
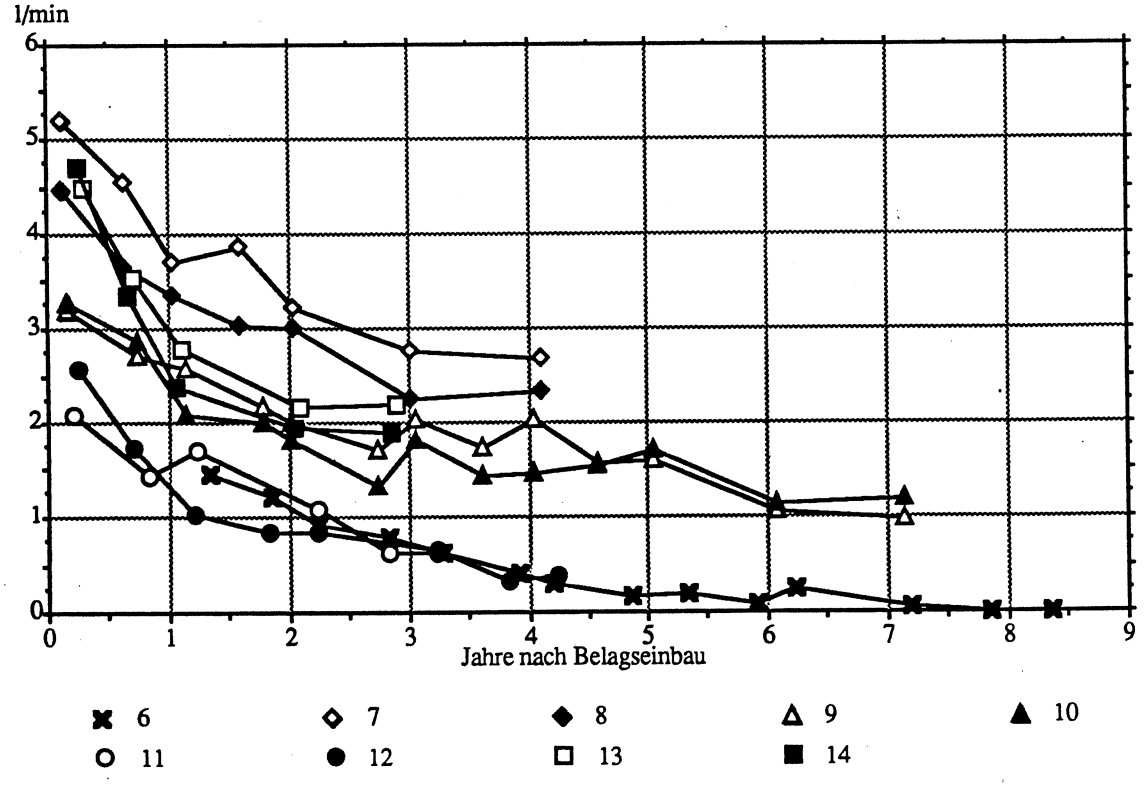


Abb. 30 Durchfluss Drainbelag 0/16



Beim Drainbelag 0/10 konnte kein Zusammenhang zwischen der Höhe des Lärmpegels und der Grösse der Durchlässigkeit festgestellt werden. Im Gegensatz dazu konnte beim Drainbelag 0/16 zwar keine absolute, zumindest aber eine meist übereinstimmende Abhängigkeit gefunden werden. Sie äussert sich darin, dass bei grösserer Durchlässigkeit auch ein niedrigerer Lärmpegel erwartet werden kann.

Aus den Abb. 19, 21, 23 und 25, 27, 29 sowie der in Kapitel 4 berechneten Korrelationen ist ersichtlich, dass die Zunahme des Lärmpegels im Gegensatz zur Abnahme der Durchlässigkeit linear erfolgt. Dies lässt den Schluss zu, dass zwischen diesen beiden Grössen kein direkter Zusammenhang besteht, oder dass eine weitere unbekannte Grösse vorhanden sein muss, die ebenfalls einen nicht linearen Einfluss hat. Dieser Einfluss könnte zum Beispiel von der Oberflächenbeschaffenheit des Belages, die in diesem Bericht jedoch nicht untersucht wird, her stammen.

7.2 Zusammenhang zwischen dem Lärmpegel und den spezifischen Belagsgrössen der einzelnen Meßstrecken

Ein weiterer Vergleich bestand darin, die spezifischen Belagsgrössen der einzelnen Meßstrecken mit dem Lärmpegelniveau und der Zunahme des Lärmpegels zu vergleichen. Bei diesen Belagsgrössen handelt es sich um Einbaudatum, Belagsdicke, Bindemittelart, Bindemittelgehalt, Hohlraumgehalt des Bohrkernes, verfügbares Volumen (Produkt aus Hohlraumgehalt und Schichtdicke). Beim Lärmpegelniveau wurde als Vergleichsgrösse der Mittelwert sämtlicher Meßwerte einer Meßstrecke und bei der Lärmpegelzunahme das Steigungsmass jeweils bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h verwendet. Dabei konnten folgende Abhängigkeiten festgestellt werden :

- Beim Drainbelag 0/10 weist der Belag mit dem Bindemittel Elastoren einen niedrigeren Lärmpegel sowohl beim hinteren als auch beim seitlichen Mikrophon auf. Beim Drain 0/16 konnten keine Abhängigkeiten von der Bindemittelart erkannt werden.

- Beim Drainbelag 0/10 weisen Meßstrecken mit einem grossen verfügbaren Volumen erstaunlicherweise ein hohes Lärmpegelniveau sowohl beim hinteren wie auch beim seitlichen Mikrophon auf. Im Gegensatz dazu kann dieser Zusammenhang beim Drainbelag 0/16 nur beim hinteren Mikrophon festgestellt werden und zudem bewirkt ein grosses verfügbares Volumen auch einen tieferen Lärmpegel.

Weitere Zusammenhänge insbesondere zwischen der Lärmpegelzunahme und den verschiedenen Belagsgrössen konnten nicht erkannt werden. Als Nebenprodukt dieser Untersuchungen fiel der Umstand auf, dass bei einem grossen verfügbaren Volumen in etwa auch eine hohe Durchlässigkeit erreicht wird.

8. Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen der in Kapitel 1.2 beschriebenen Zielsetzungen lassen folgende Schlussfolgerungen zu :

Bei den Drainbelägen wurde die Zunahme des Lärmpegels bei zunehmendem Alter bestätigt. Zudem konnte bei einigen dichten Belägen eine Zunahme und bei einigen Anderen dagegen eine Abnahme festgestellt werden. Die Zunahmen bzw. Abnahmen erfolgen jeweils im Rahmen des Beobachtungszeitraumes praktisch linear. Vor allem im höheren Geschwindigkeitsbereich verlieren die Drainbeläge die gute Eigenschaft des günstigen Lärmverhaltens.

Die Abhängigkeit des Lärmpegels von der Geschwindigkeit kann mit einer quadratischen Funktion sehr gut beschrieben werden. Die Zunahme des LMA - Wertes beträgt dabei von 60 nach 80 km/h in etwa gleich viel, wie von 80 nach 120 km/h. Mit den ermittelten Funktionen kann für verschiedene Belagsarten ein geschwindigkeitsabhängiger LMA-Wert zufriedenstellend genau berechnet werden.

Bei höheren Geschwindigkeiten weisen die offenporigen Beläge gegenüber den dichten Belägen ein eindeutig niedrigeres Lärmpegelniveau auf. Dieser Unterschied kommt dagegen im unteren Geschwindigkeitsbereich nicht mehr zum Tragen. Feinkörnigere Beläge einer Belagsart haben zudem bei höheren Geschwindigkeiten einen niedrigeren Lärmpegel als die Grobkörnigeren. Vorteile bieten die Drainbeläge auch bezüglich dem günstigen Lärmverhalten im Frequenzbereich 1.25, 1.6 und 2 kHz.

Zwischen dem Grad der Abnahme der Durchlässigkeit und der Zunahme des Lärmpegels bei zunehmendem Alter kristallisierten sich keine klaren Abhängigkeiten heraus. Einzig zwischen der Höhe des Durchflusswertes und des Lärmpegelniveaus besteht zumindest beim Drainbelag 0/16 der Zusammenhang, dass grössere Durchlässigkeiten auch niedrigere LMA - Werte ergeben.

Zum Teil konträre Resultate ergab der Vergleich des Lärmpegels mit belagsspezifischen Grössen der einzelnen Meßstrecken. So bewirkt ein grosses verfügbares Volumen beim Drainbelag 0/16 auch einen tieferen LMA -Wert, während beim Drainbelag 0/10 genau das Gegenteil der Fall ist.

Beim Vergleich der Niveaus der Lärmpegel der einzelnen Belagsarten konnte festgestellt werden, dass jeweils in den einzelnen Belagsarten selber sehr grosse Schwankungen auftreten können. Im weiteren muss beachtet werden, dass die Lärmbereiche nicht grundsätzlich auf einem hohen oder niedrigen Niveau liegen, sondern dass hier der Aspekt der Geschwindigkeit eine sehr wichtige Rolle spielt. Ganzheitlich betrachtet gehören die beiden Drainbeläge zusammen mit dem Mikrobelag zur Gruppe den leisen Beläge.

Die hier vorliegenden Erkenntnisse lassen den Schluss zu, dass aus Gründen des Lärmschutzes sich der Einbau von Drainbelägen bei Strecken mit einem niedrigen Geschwindigkeitsniveau nicht unbedingt sinnvoll ist und durchwegs Alternativen mit anderen Belagsarten bestehen. Die lärmmindernde Wirkung der Drainbeläge kommt dagegen bei Strecken mit einem hohen Geschwindigkeitsniveau zum Tragen. Ein Einsatz kann aber nur unter Berücksichtigung aller für Drainasphaltbeläge wirksamen und bedeutenden Faktoren wie Durchlässigkeit, Griffigkeit, Winterverhalten, Unterhalt usw. erfolgen.

Die Abhängigkeit des Lärmpegel von der Oberflächenstruktur der einzelnen Beläge und Meßstrecken wurde wie bereits erwähnt an dieser Stelle nicht untersucht und wäre deshalb in einem nächsten Schritt zu prüfen. Daneben müsste im Weiteren auch überprüft werden, ob und in welchem Rahmen sich das Frequenzverhalten im Laufe der Zeit ändert. Gegenstand eines weiteren Berichtes könnte auch die Untersuchung eines allfällig bestehenden Zusammenhanges zwischen Belagstemperatur und Lärmpegel sein. Der Einfluss der Belagstemperatur ist zum heutigen Zeitpunkt noch unbekannt und könnte erst nach der Durchführung gezielter Messungen ermittelt werden.

Literaturverzeichnis

[1] Hofmann R. : **Lärmbekämpfung I.** EMPA Abt. Akustik/Lärmbekämpfung, 1987

[2] Köster H. : **Drainasphalt.** Schriftenreihe des IVT Nr. 85, Januar 1990

[3] Dietrich K., Essers H., Huschek S., Köster H., Pohle G., Prickartz R., Springborn M., Schwarz R. : **Zur Bewertung des Einflusses der Fahrbahnen auf das Fahrgeräusch.** Strasse und Autobahn 9/1988, S. 355

[4] Steven H. : **Beurteilungskriterien für Fahrbahnschichtdicken im Hinblick auf die Geräusche des Strassenverkehrslärms.** Strasse und Autobahn 8/1989, S. 312

[5] Dames J., Sulten P. : **Optimierung der Oberfläche von Betonfahrbahnen hinsichtlich Griffigkeit und Rollgeräusch.** Strasse und Autobahn 2/1989, S.50

[6] Steven H. : **Minderung der Strassenverkehrsgeräusche durch offenporige Fahrbahndeckschichten.** Bitumen 3/1989, S. 111

[7] Köster H. : **Drainasphalt - Beobachtung des Verhaltens unter Verkehr.** Zwischenbericht zu Forschungsauftrag 10/82 des EDI, Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau ETH Zürich, Februar 1985

[8] Amt f. Luftverkehr : **Untersuchungsbericht über Drainbelagsmessungen.** Amt für Luftverkehr, Abteilung Lärmbekämpfung, Zürich, November 1986

[9] Köster H.: **Der Durchflussmesser IVT - Ein Vorschlag zur Messung der Durchlässigkeit von Drainbelägen.** Strasse und Verkehr, 8/1987

Inhaltsverzeichnis Beilagen

Beilage 1 Lärmpegelwerte des hinteren und seitlichen Mikrophons und des massgebenden Pegels sowie die Durchflusswerte der einzelnen Meßstrecken der Drainasphalte 0/10

Beilage 2 Lärmpegelwerte des hinteren und seitlichen Mikrophons und des massgebenden Pegels sowie die Durchflusswerte der einzelnen Meßstrecken der Drainasphalte 0/16

Beilage 3 Lärmpegelwerte des hinteren und seitlichen Mikrophons und des massgebenden Pegels der einzelnen Meßstrecken der dichten Beläge

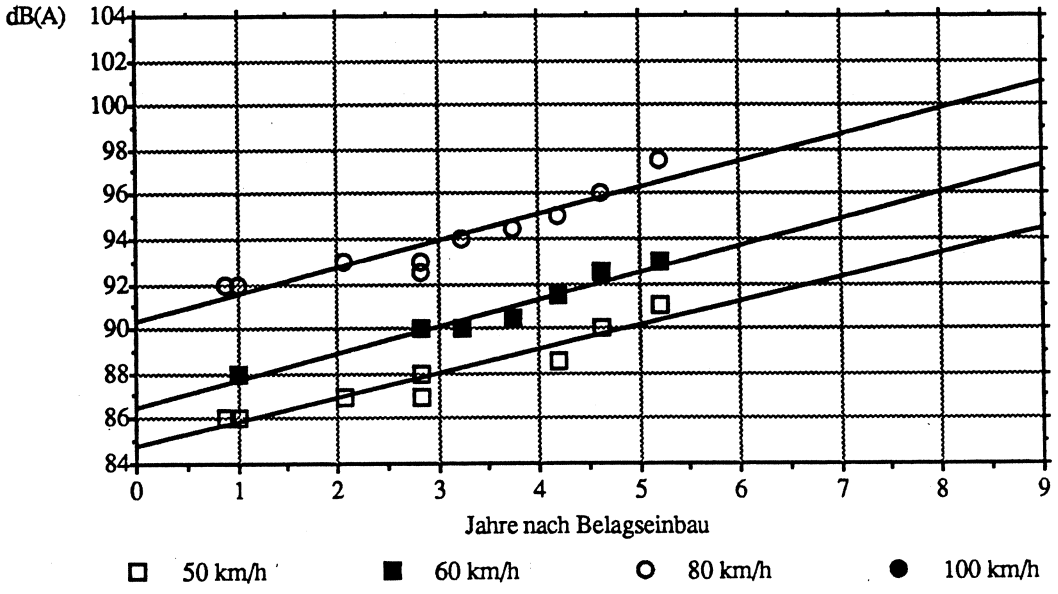
Beilage 4 Pegelzunahmen der einzelnen Belagsarten in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Beilage 5 Wertebereiche der einzelnen Belagsarten

Beilage 1

Lärmpegelwerte des hinteren und seitlichen Mikrophons und des massgebenden Pegels sowie die Durchflusswerte der einzelnen Meßstrecken der Drainasphalte 0/10

Abb. 1 : Strecke 1 Hinteres Mikrophon



Strecke 1 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

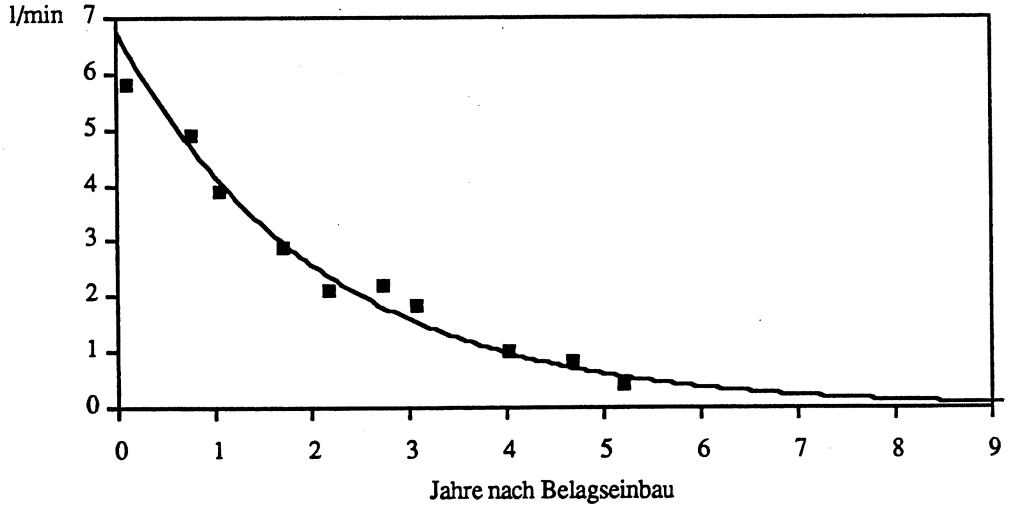
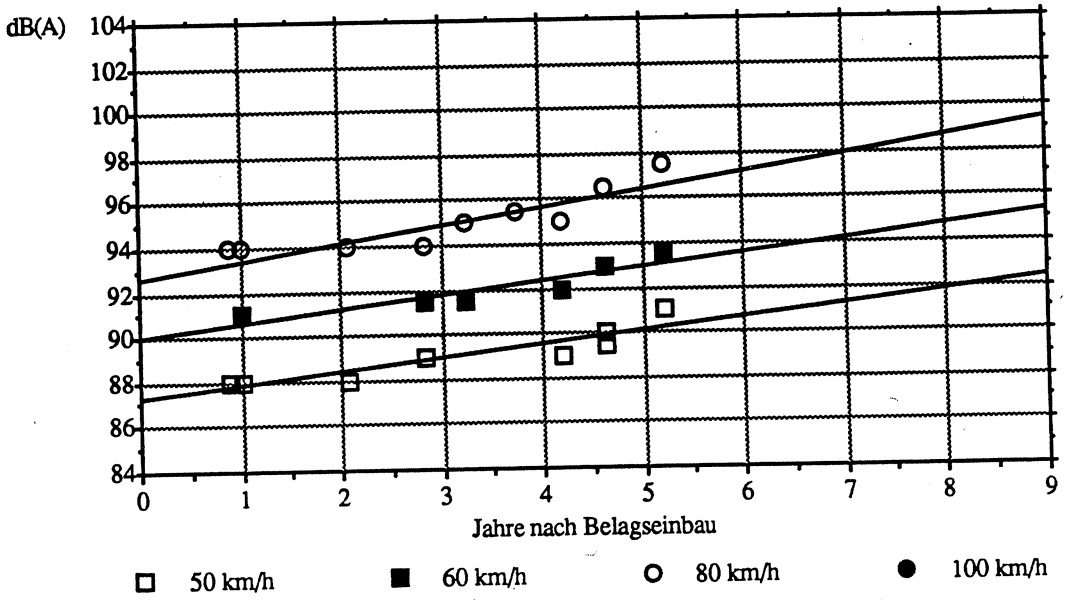


Abb. 2 : Strecke 1 Seitliches Mikrophon



Strecke 1 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

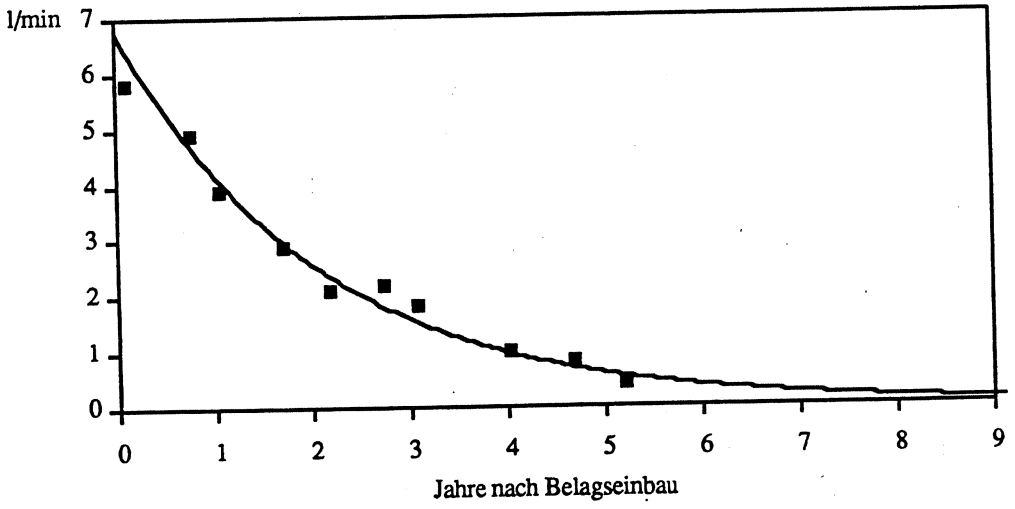
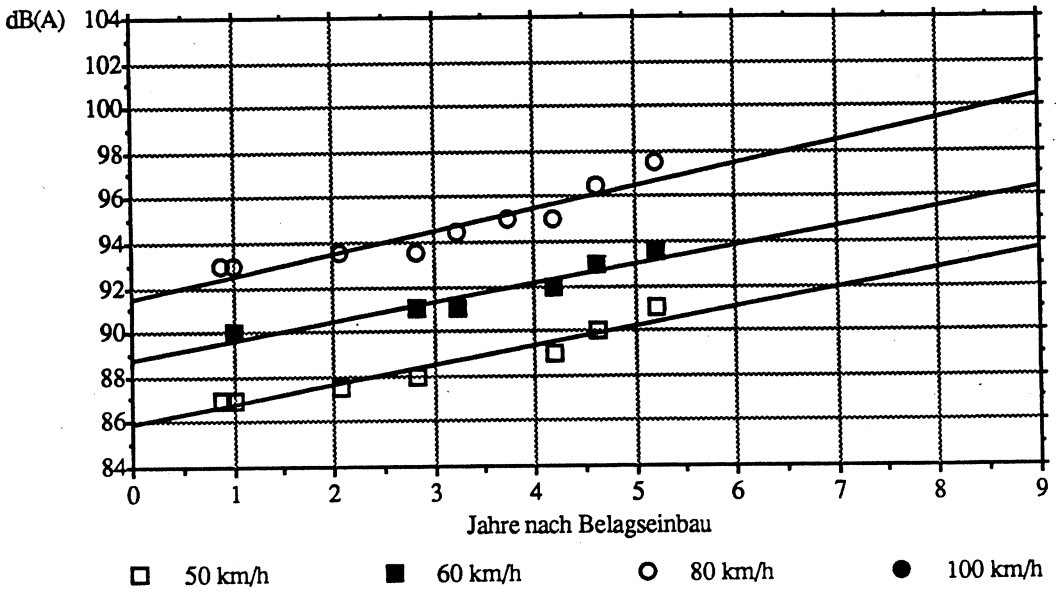


Abb. 3 : Strecke 1 Massgebender Pegel



Strecke 1 Massgebender Pegel, Durchflusswerte

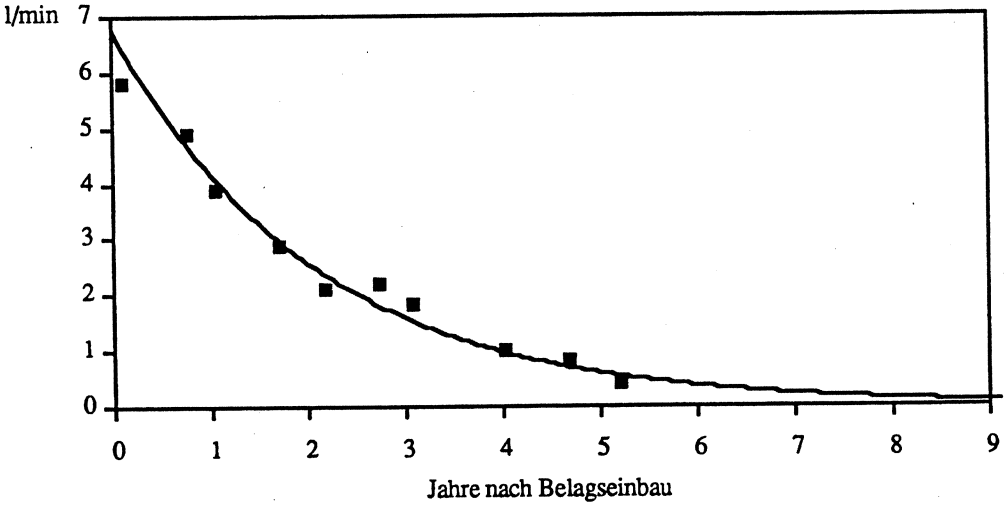
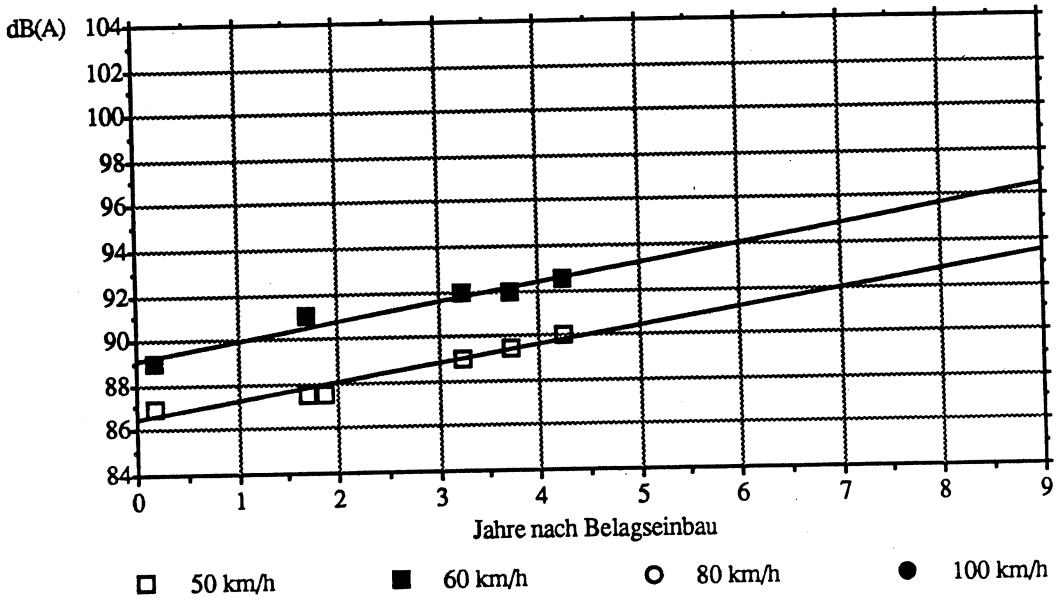


Abb. 4 : Strecke 2 Hinteres Mikrophon



Strecke 2 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

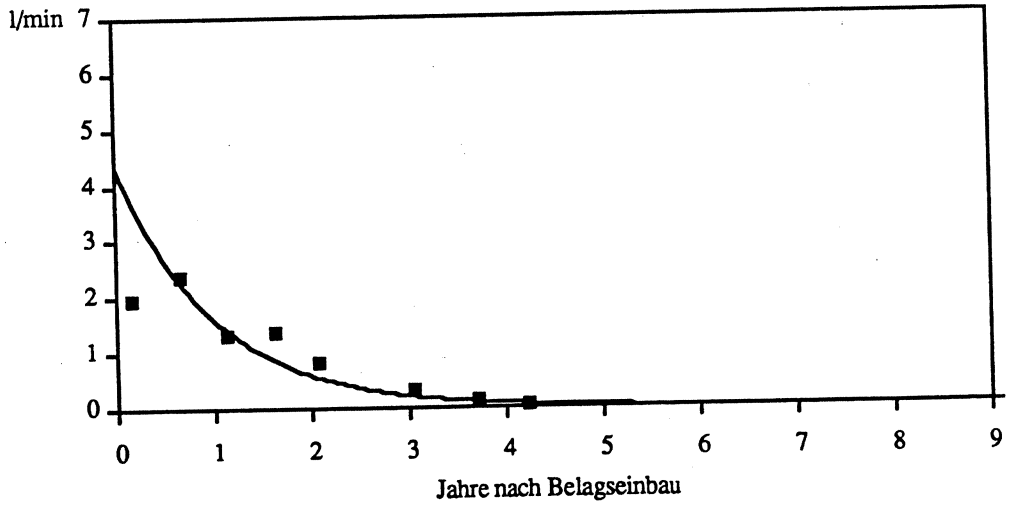
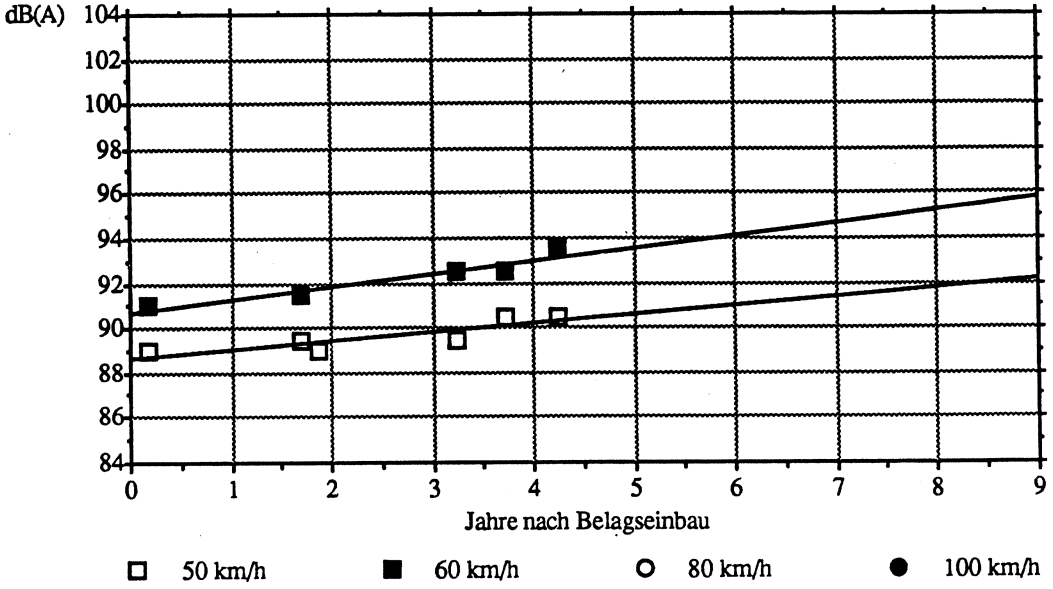


Abb. 5 : Strecke 2 Seitliches Mikrophon



Strecke 2 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

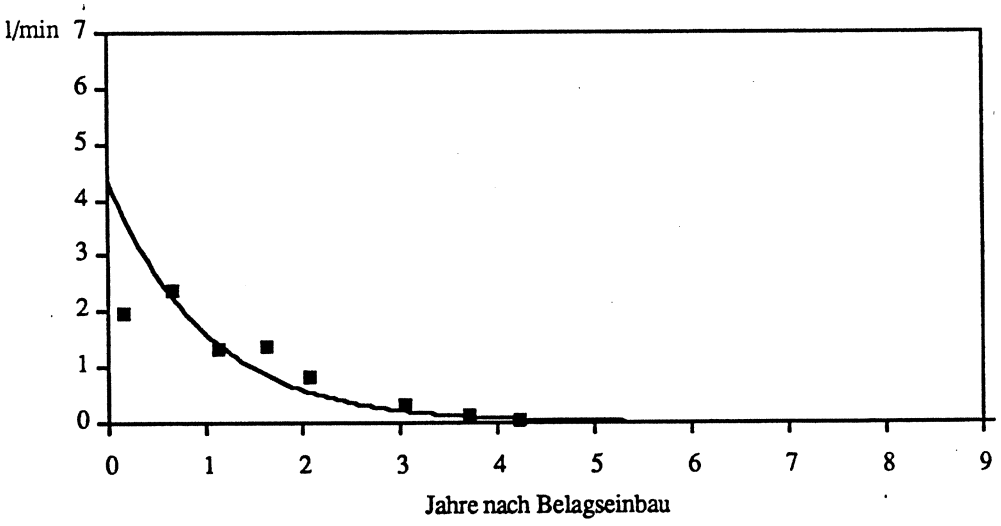
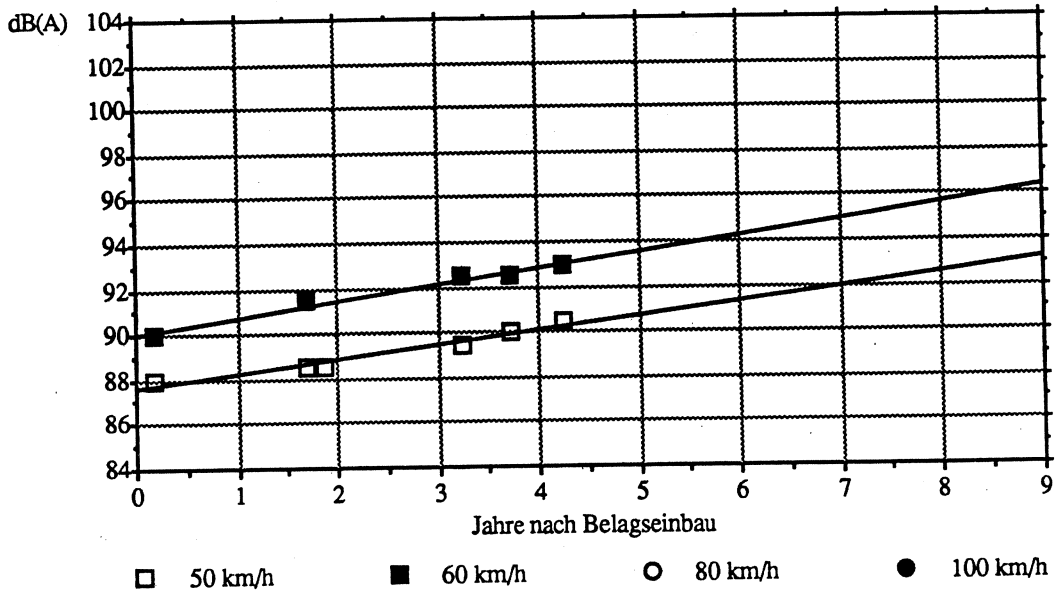


Abb. 6 : Strecke 2 Massgebender Pegel



Strecke 2 Massgebender Pegel, Durchflusswerte

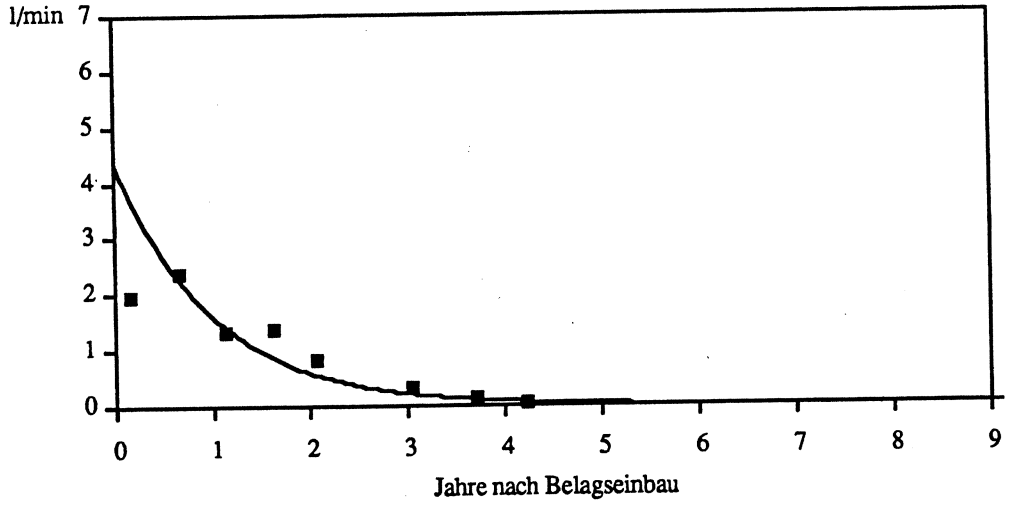
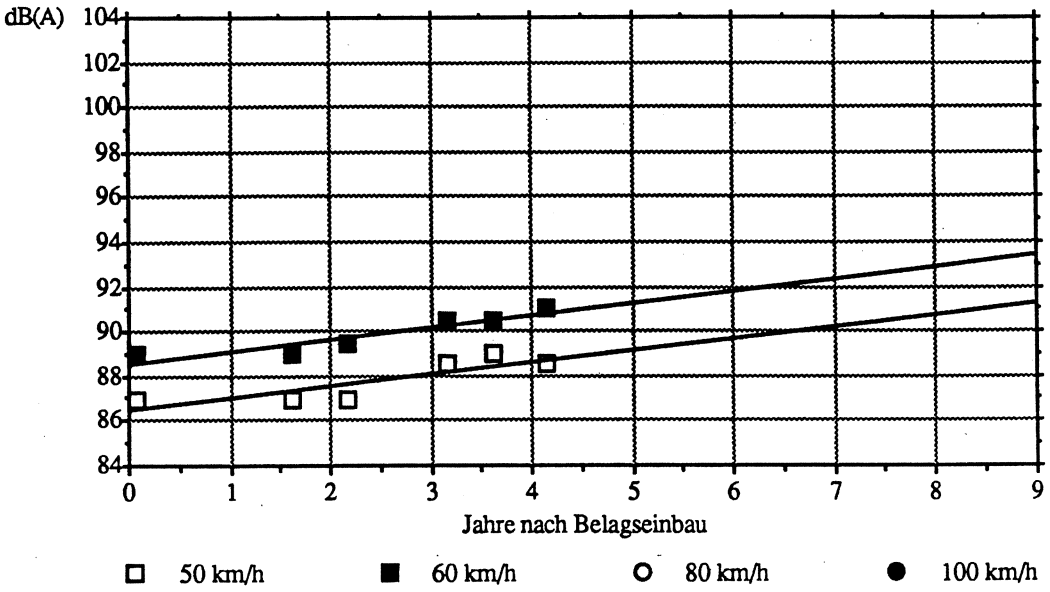


Abb. 7 : Strecke 3 Hinteres Mikrophon



Strecke 3 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

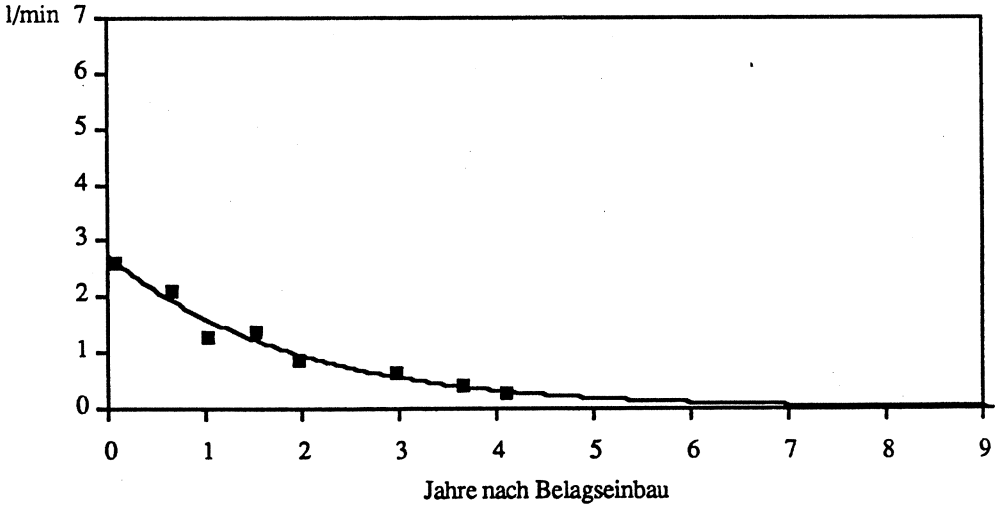
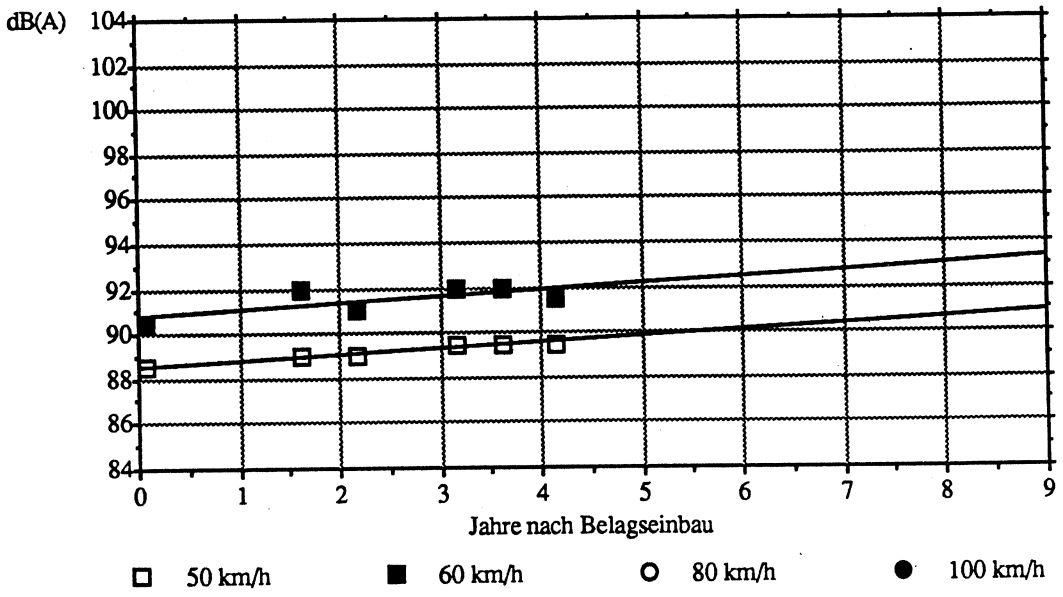


Abb. 8 : Strecke 3 Seitliches Mikrophon



Strecke 3 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

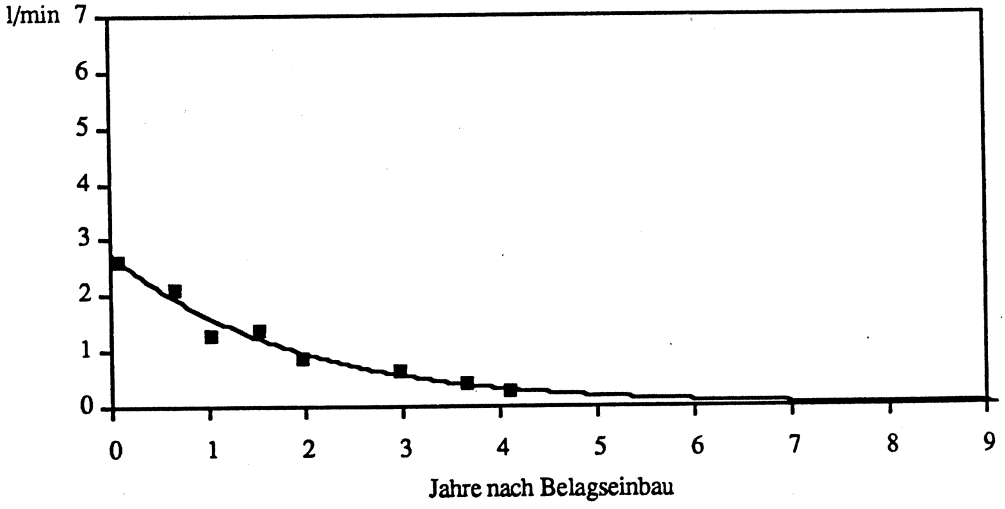
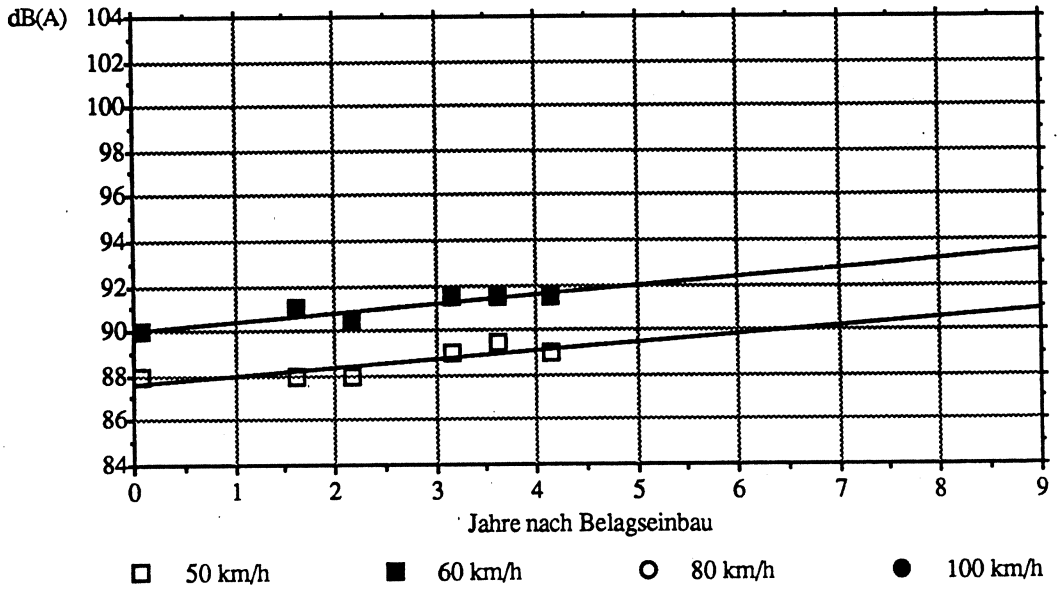


Abb. 9 : Strecke 3 Massgebender Pegel



Strecke 3 Massgebender Pegel, Durchlusswerte

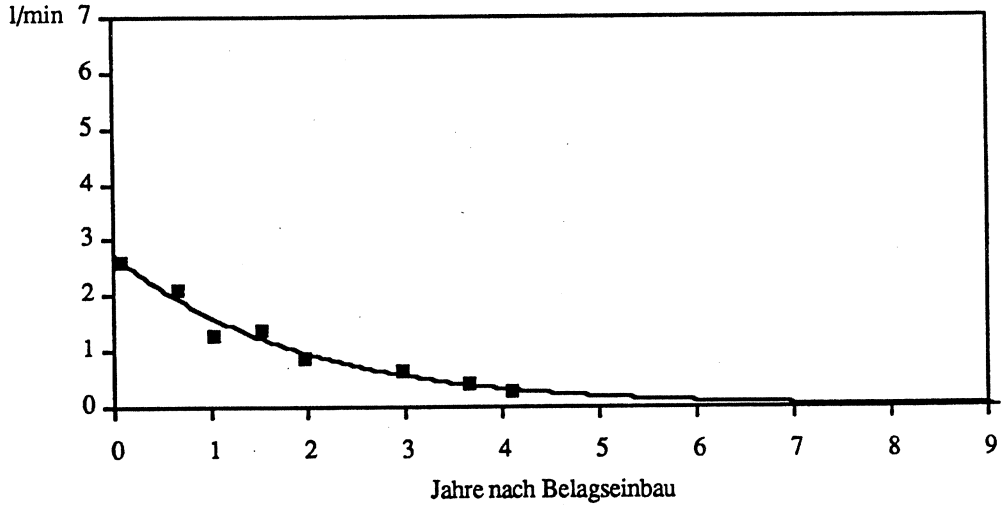
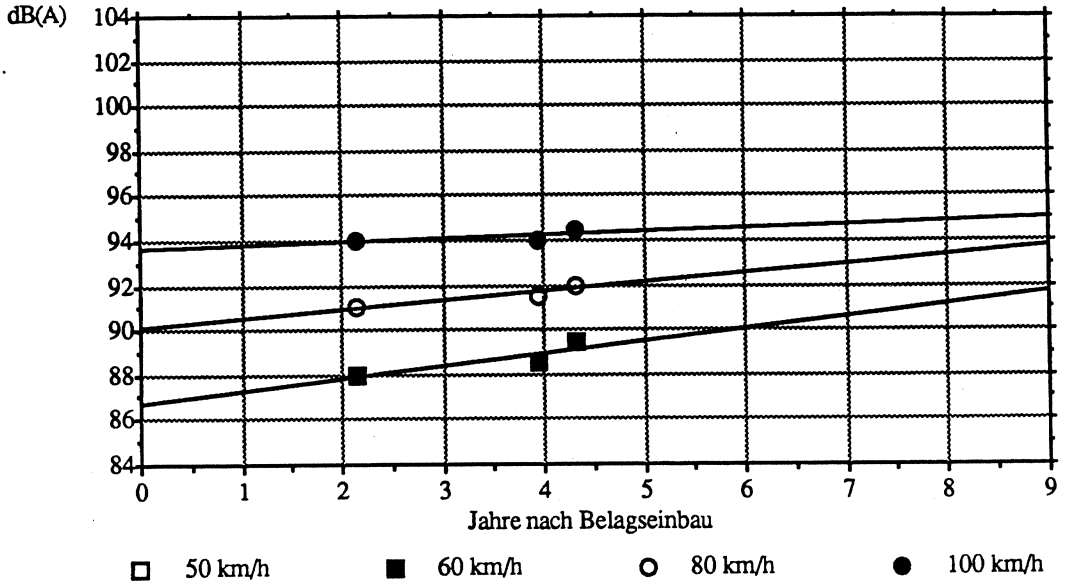


Abb. 10 : Strecke 4 Hinteres Mikrophon



Strecke 4 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

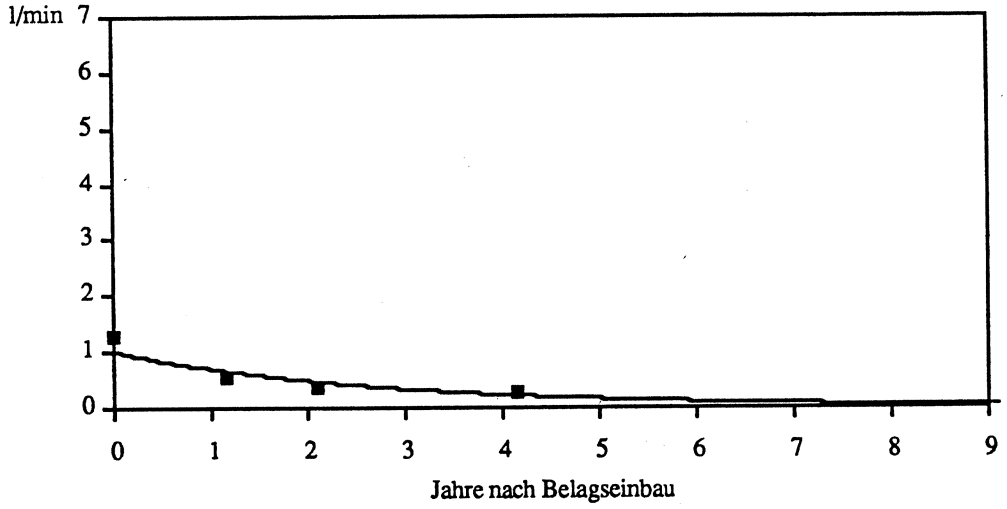
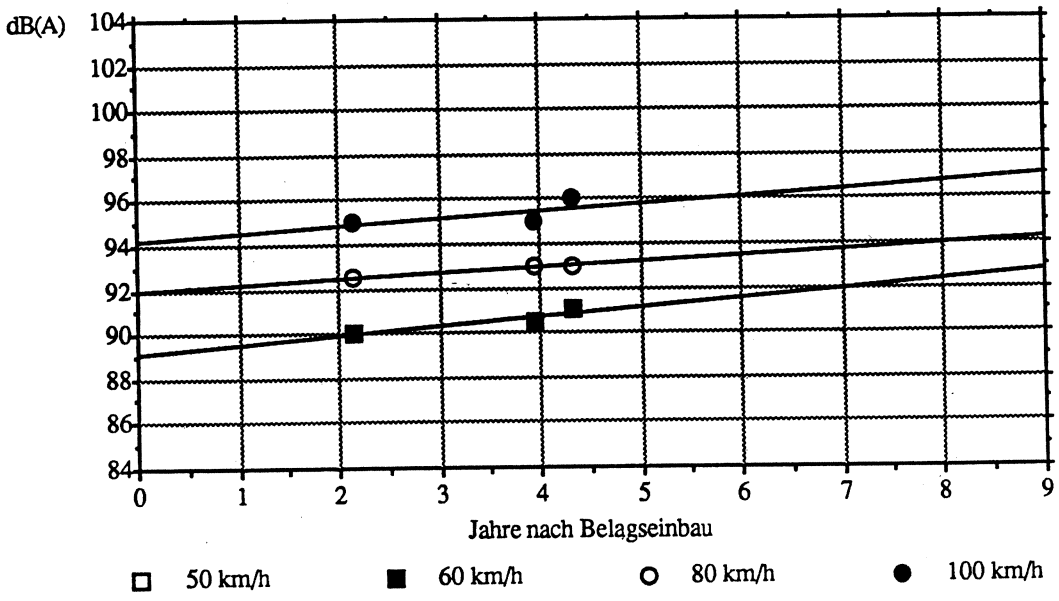


Abb. 11 : Strecke 4 Seitliches Mikrophon



Strecke 4 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

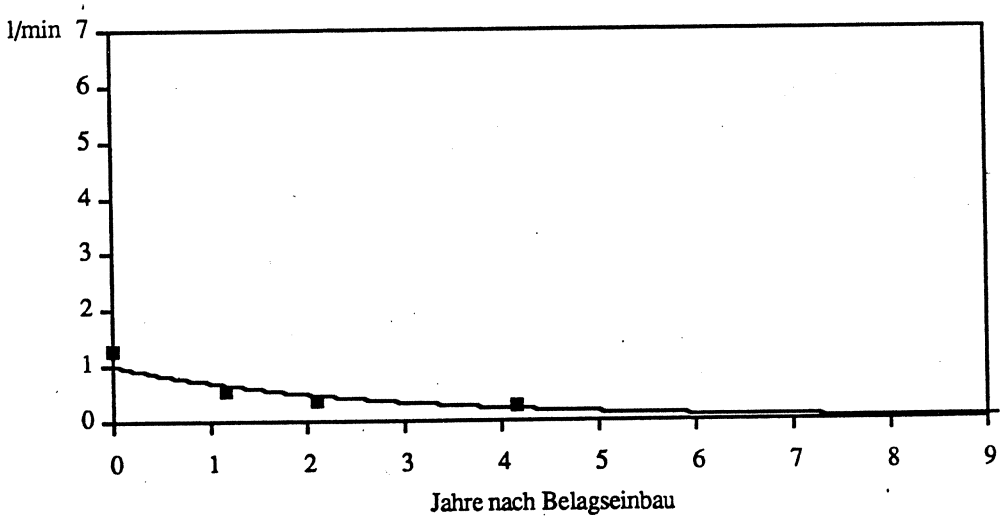
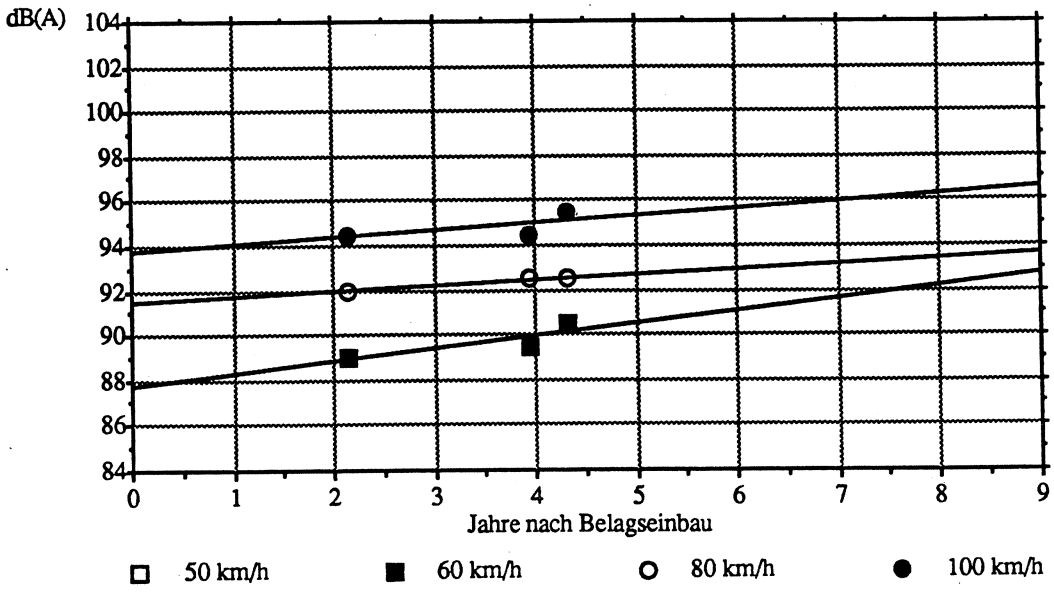


Abb. 12 : Strecke 4 Massgebender Pegel



Strecke 4 Massgebender Pegel, Durchflusswerte

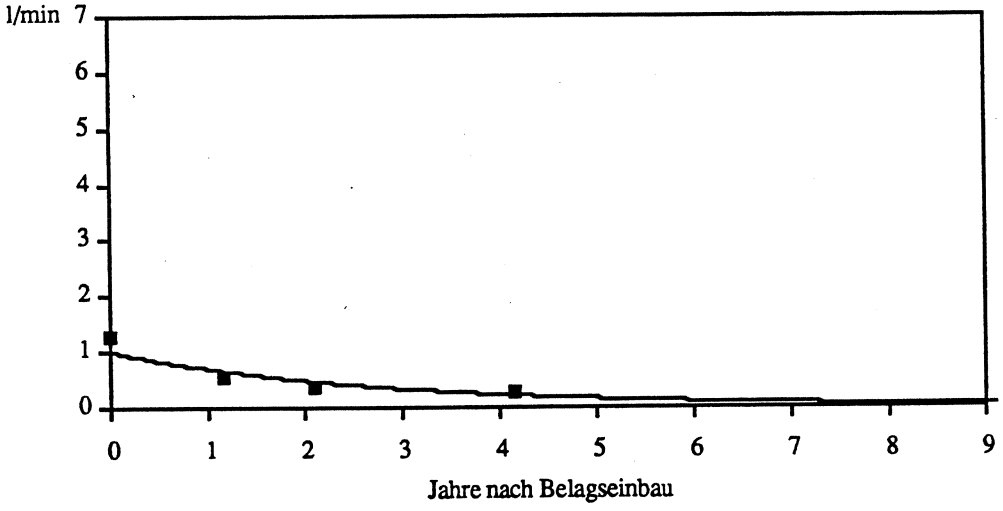
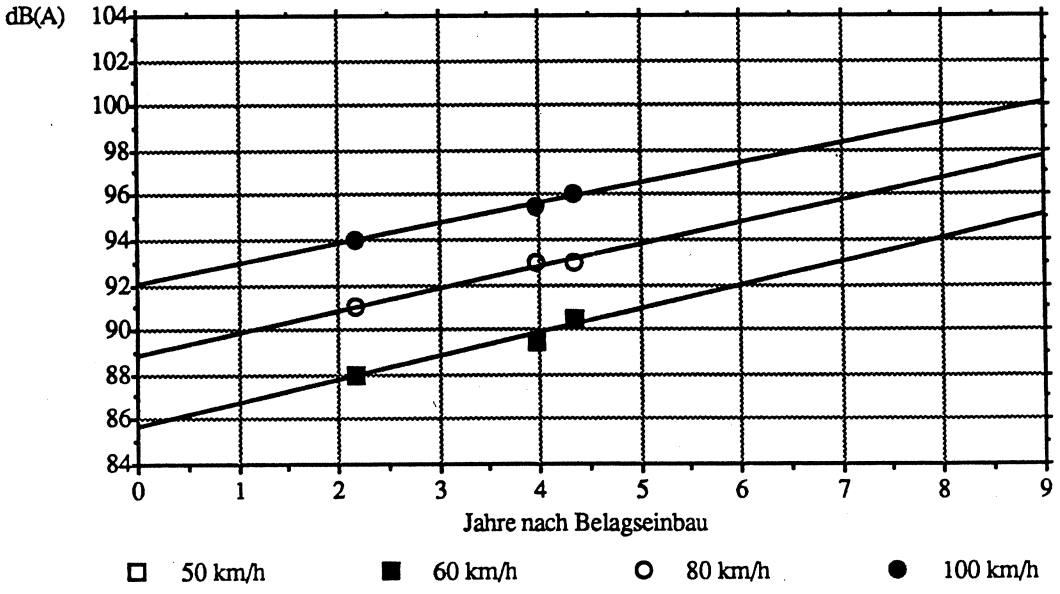


Abb. 13 : Strecke 5 Hinteres Mikrophon



Strecke 5 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

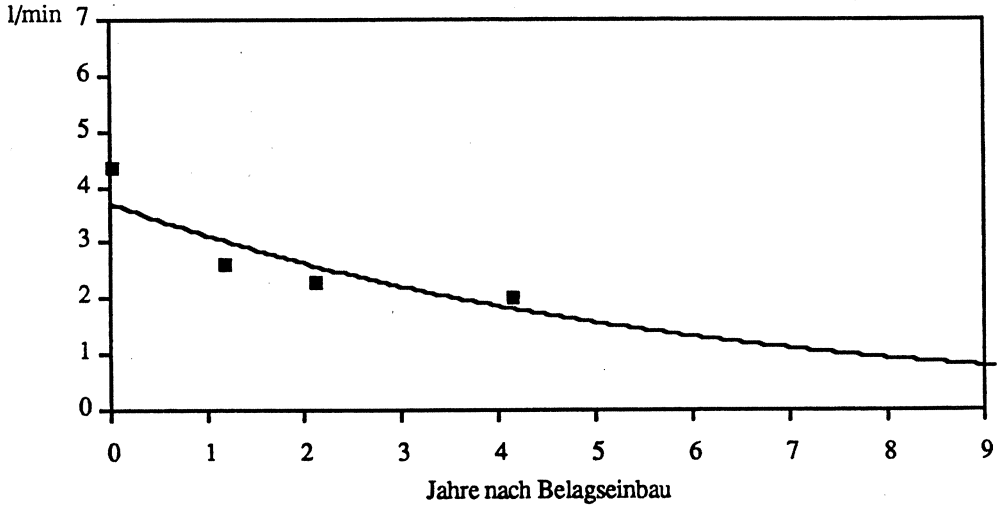
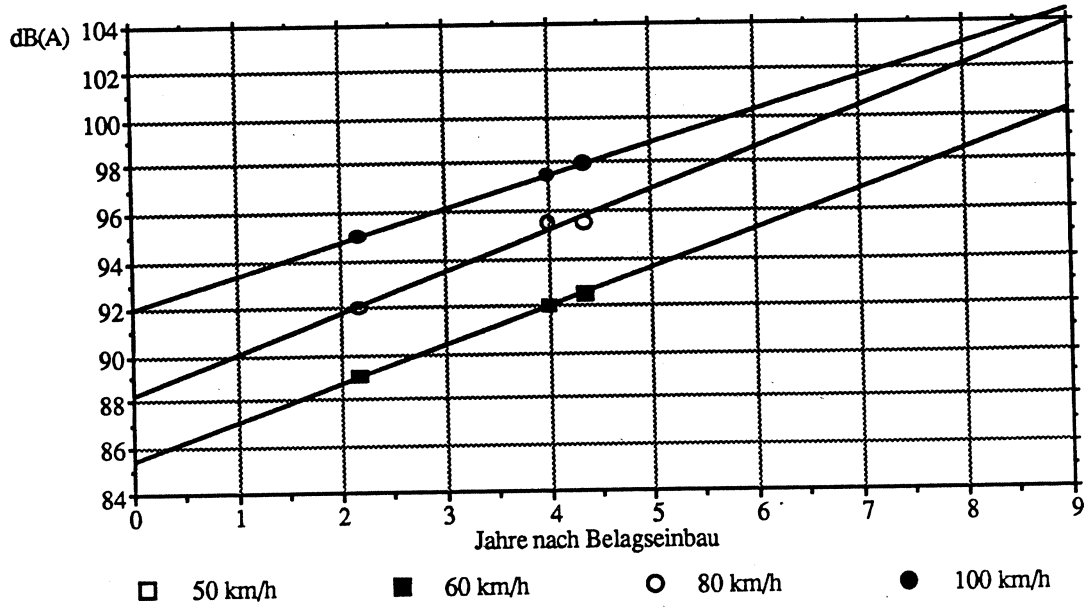


Abb. 14 : Strecke 5 Seitliches Mikrophon



Strecke 5 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

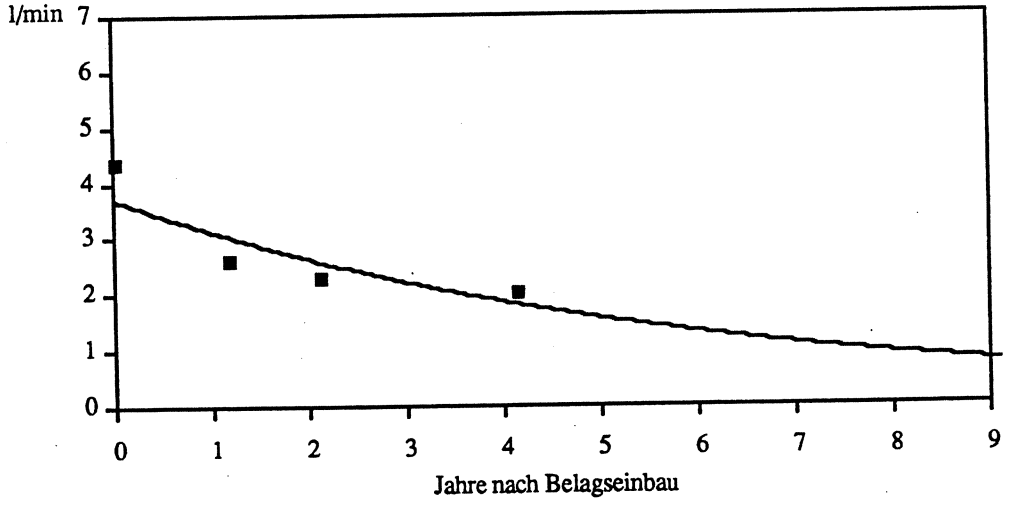
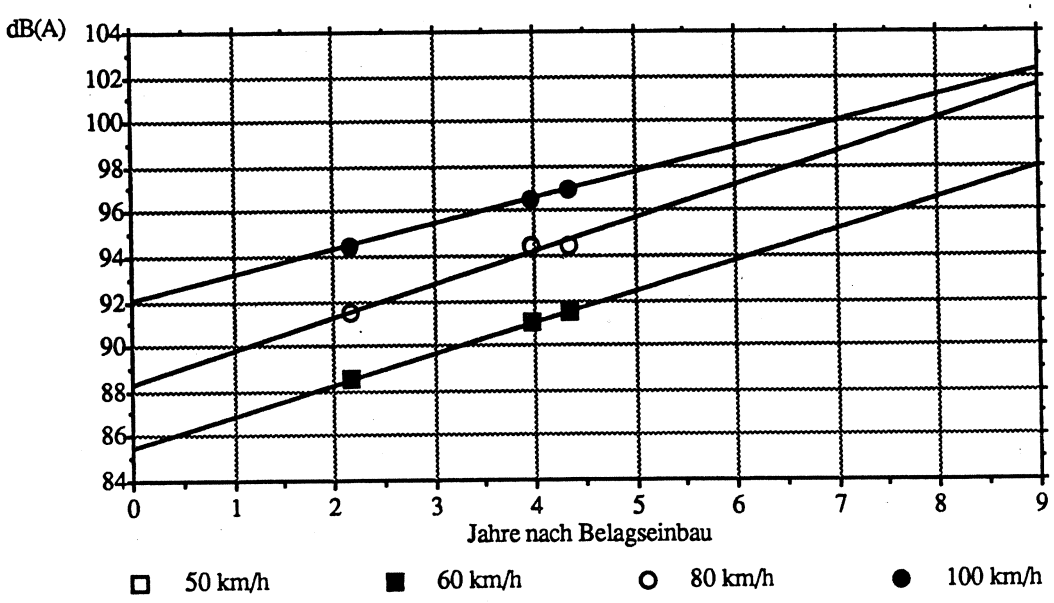
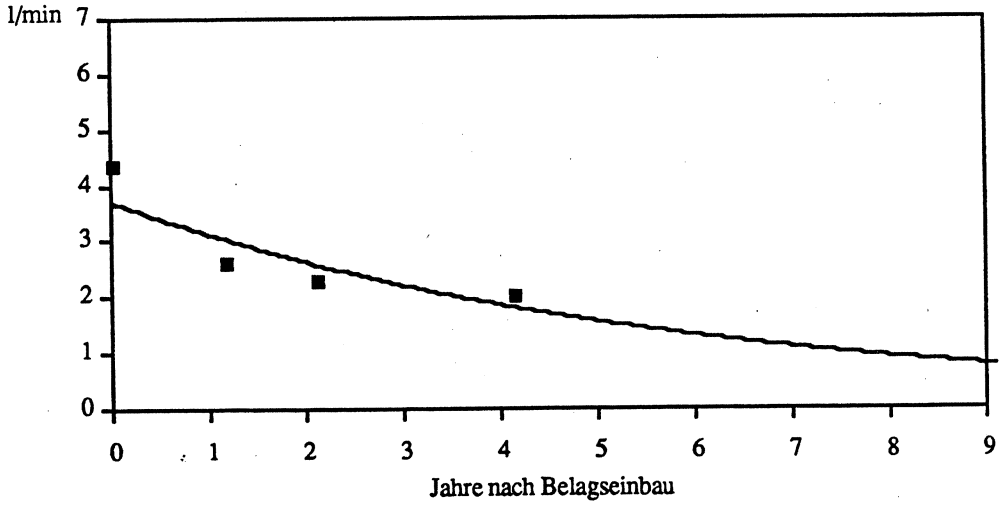


Abb. 15 : Strecke 5 Massgebender Pegel



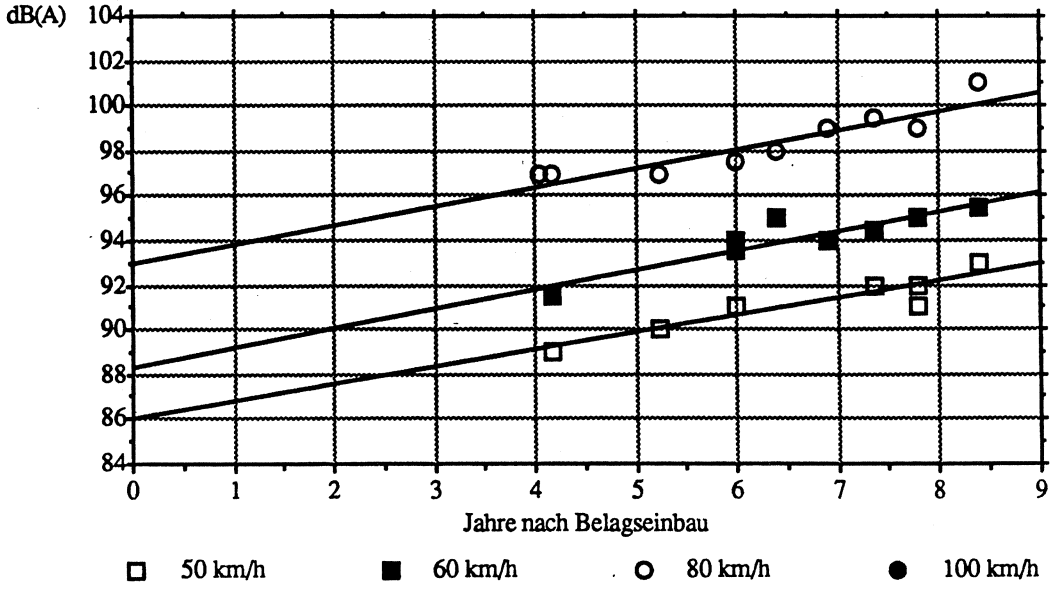
Strecke 5 Massgebender Pegel, Durchflusswerte



Beilage 2

Lärmpegelwerte des hinteren und seitlichen Mikrophons und des massgebenden Pegels sowie die Durchflusswerte der einzelnen Meßstrecken der Drainasphalte 0/16

Abb. 1 : Strecke 6 Hinteres Mikrophon



Strecke 6 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

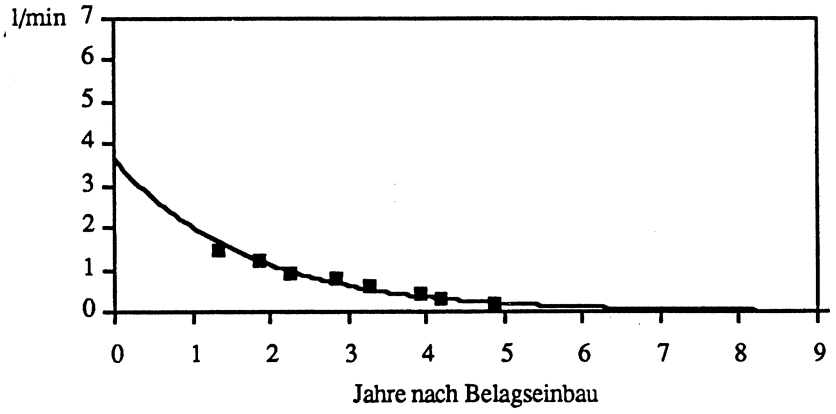
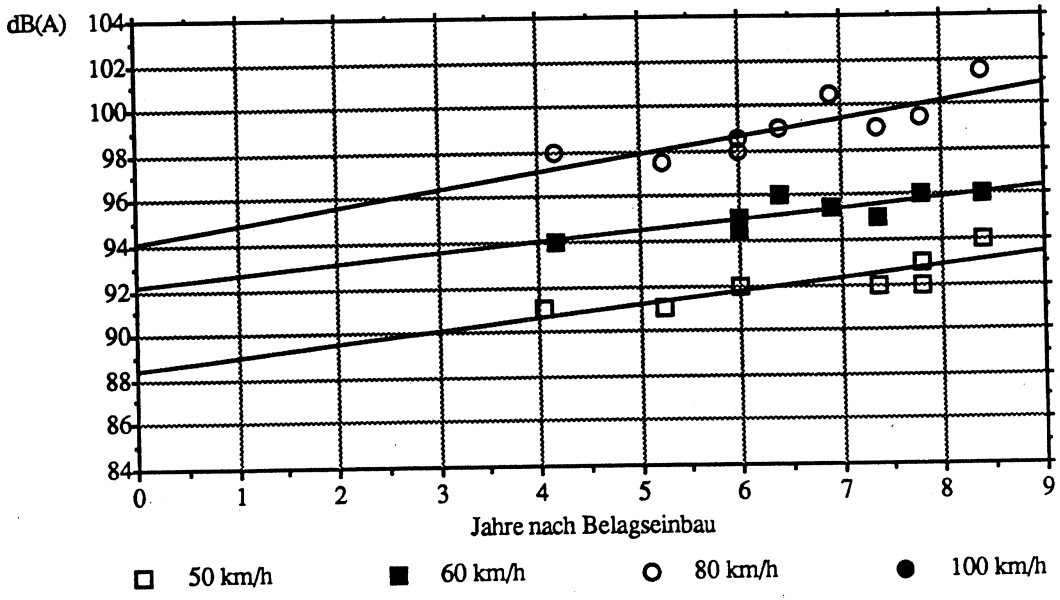


Abb. 2 : Strecke 6 Seitliches Mikrophon



Strecke 6 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

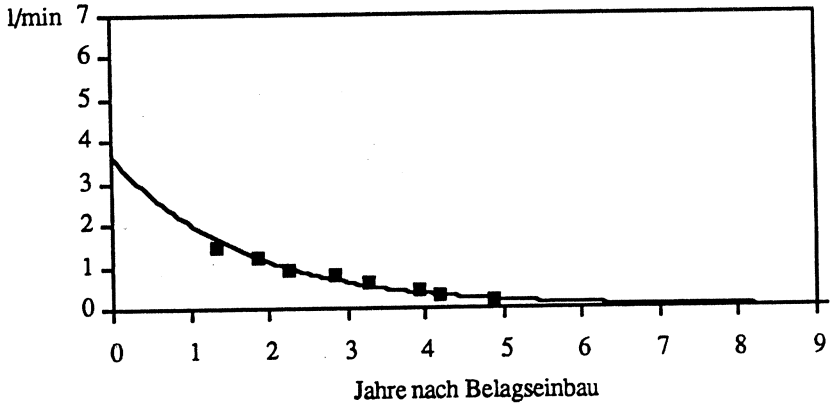
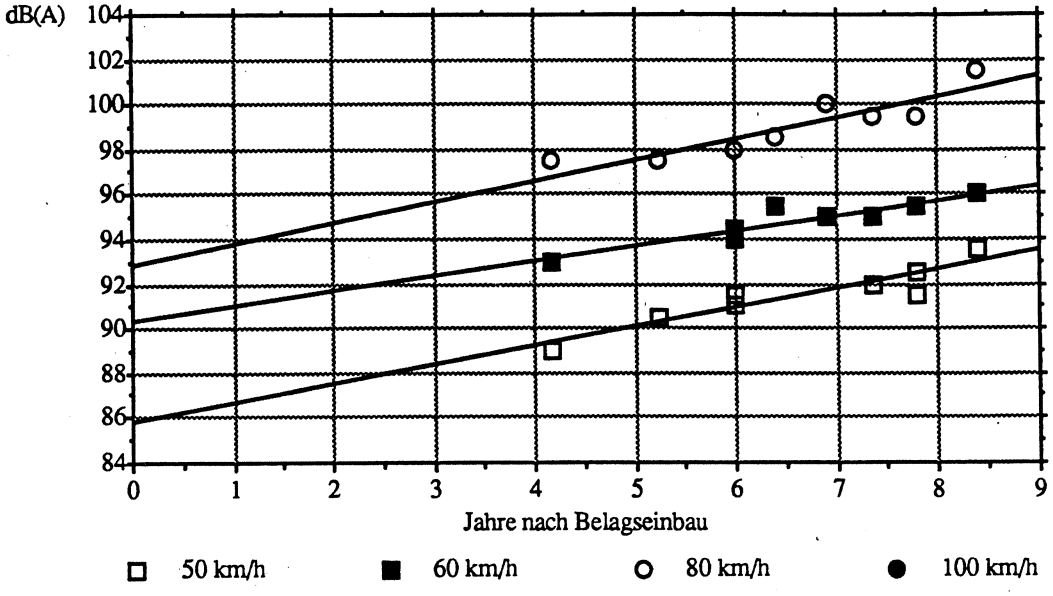


Abb. 3 : Strecke 6 Massgebender Pegel



Strecke 6 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

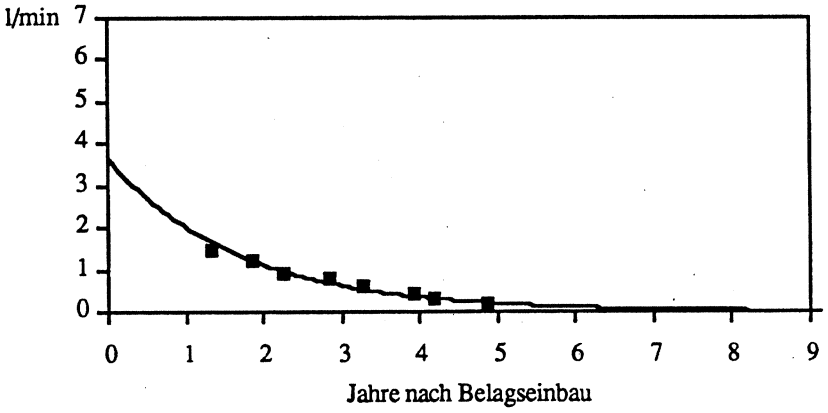
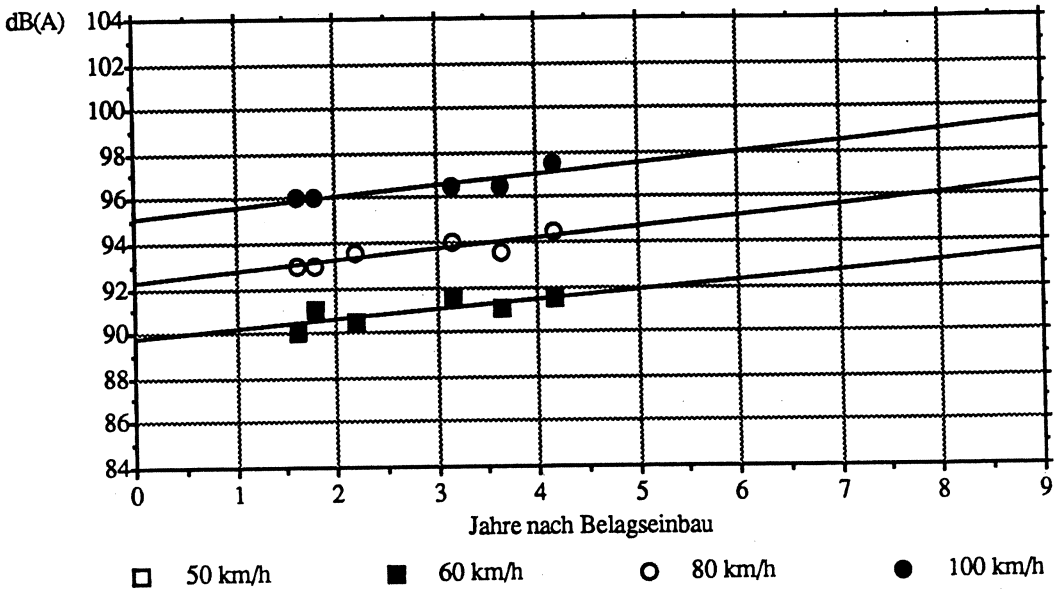


Abb. 4 : Strecke 7 Hinteres Mikrophon



Strecke 7 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

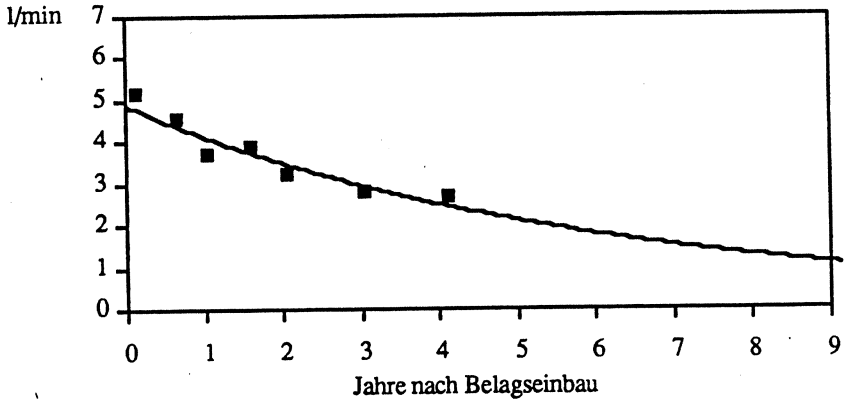
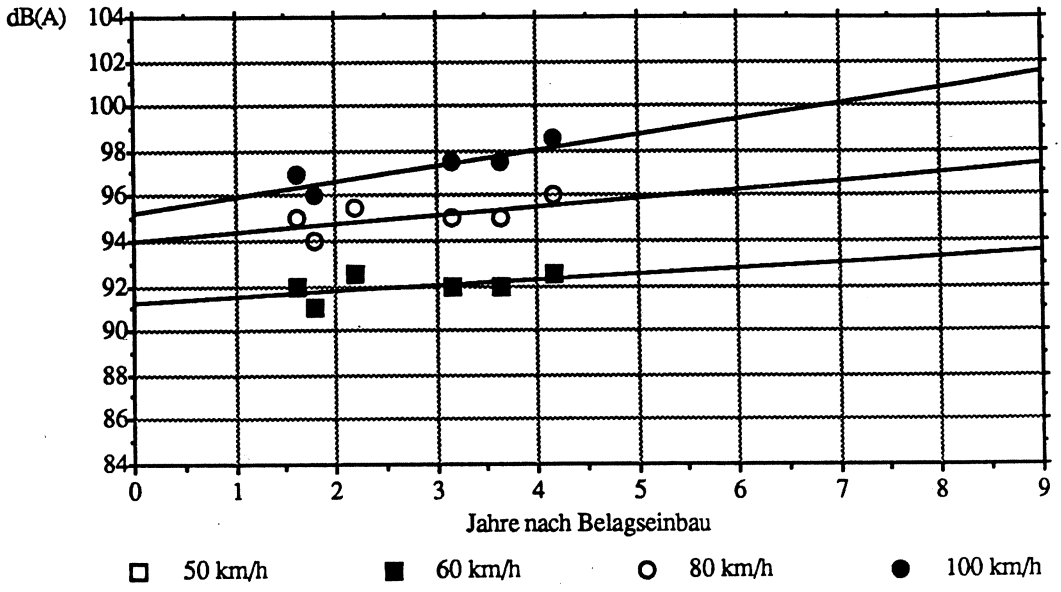


Abb. 5 : Strecke 7 Seitliches Mikrophon



Strecke 7 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

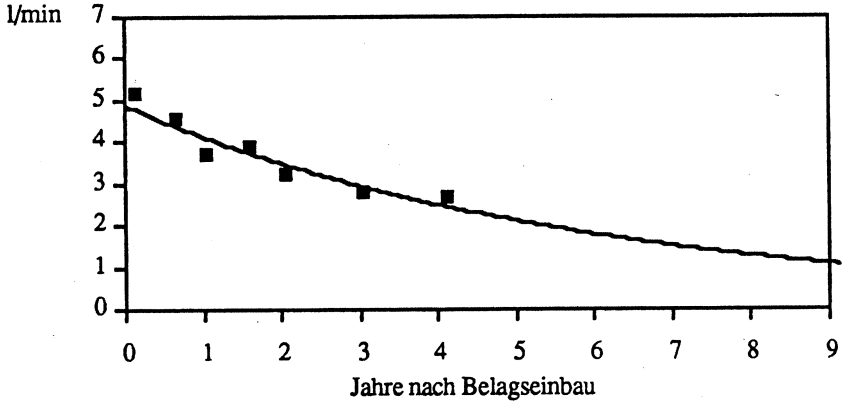
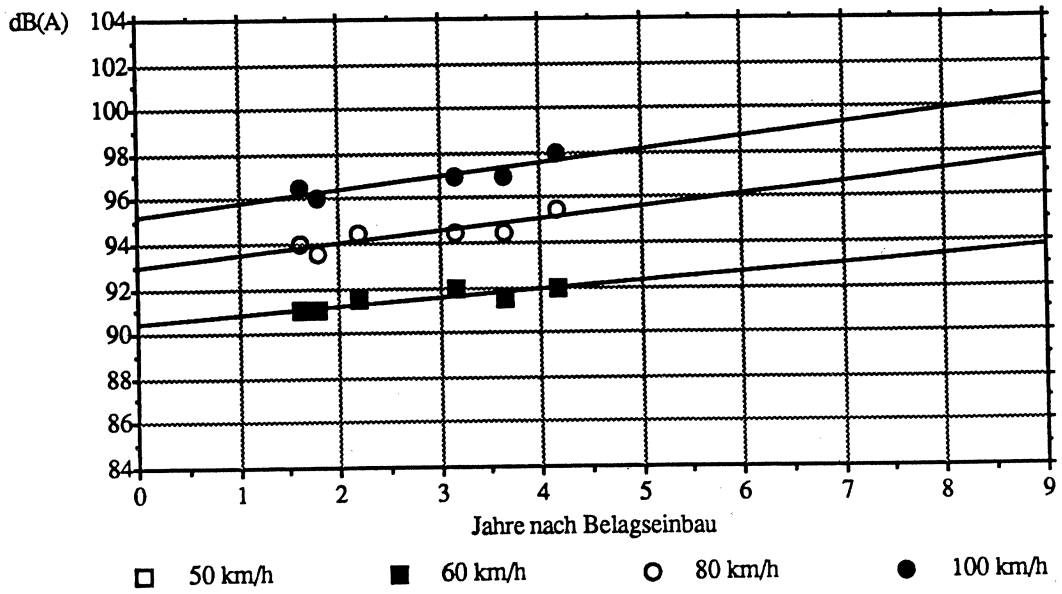


Abb. 6 : Strecke 7 Massgebender Pegel



Strecke 7 Massgebender Pegel, Durchflusswerte

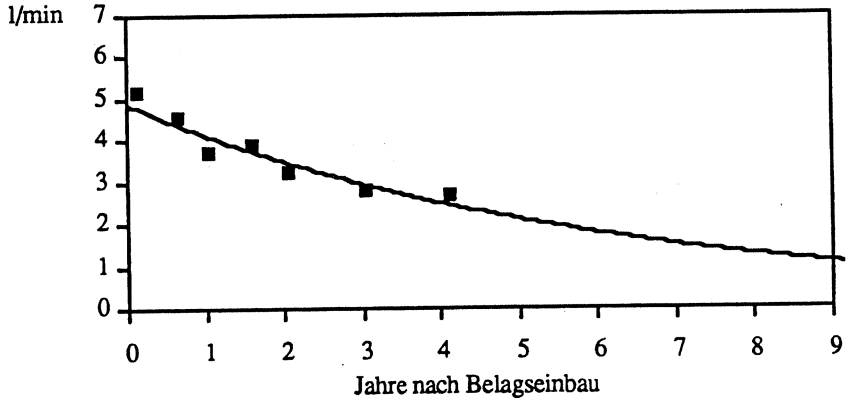
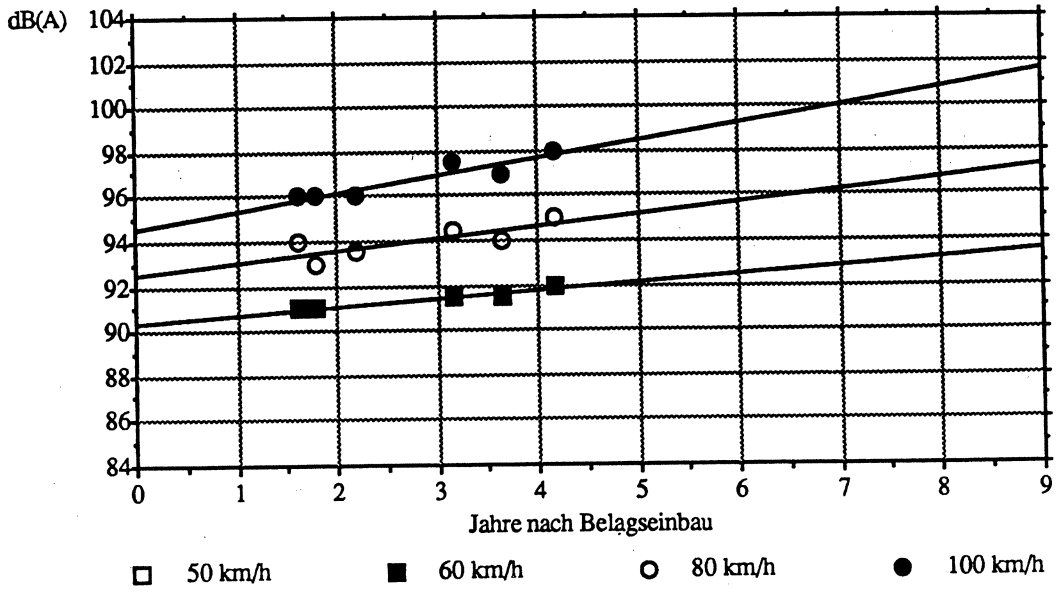


Abb. 7 : Strecke 8 Hinteres Mikrophon



Strecke 8 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

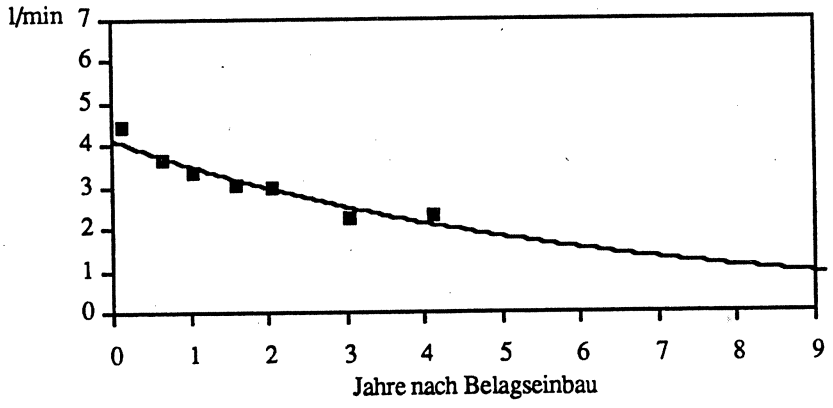
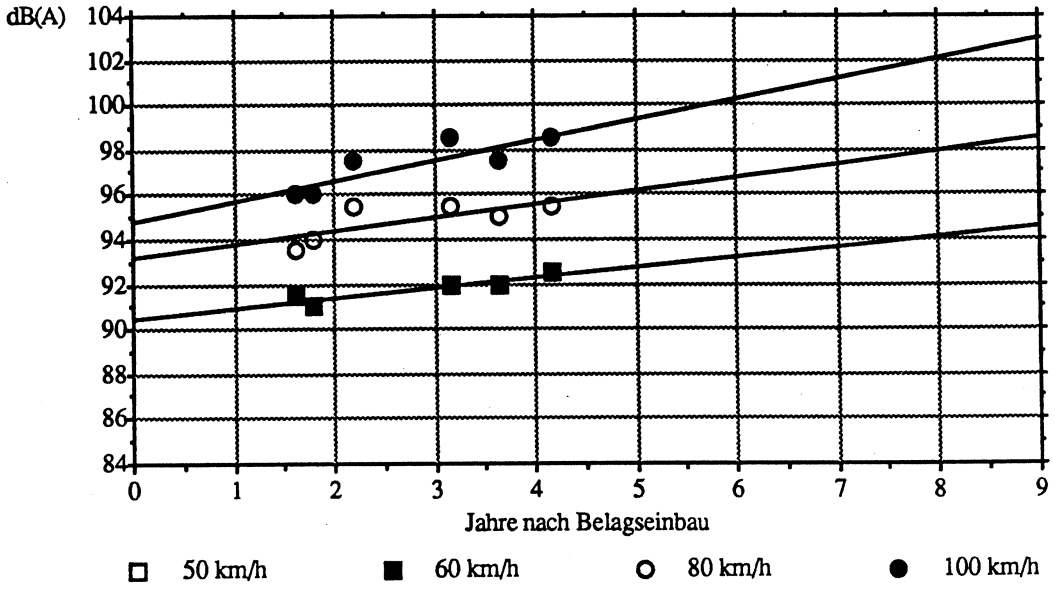


Abb. 8 : Strecke 8 Seitliches Mikrophon



Strecke 8 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

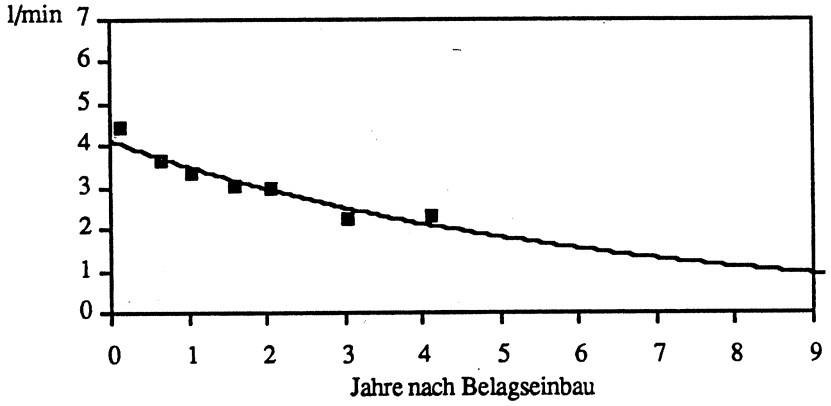
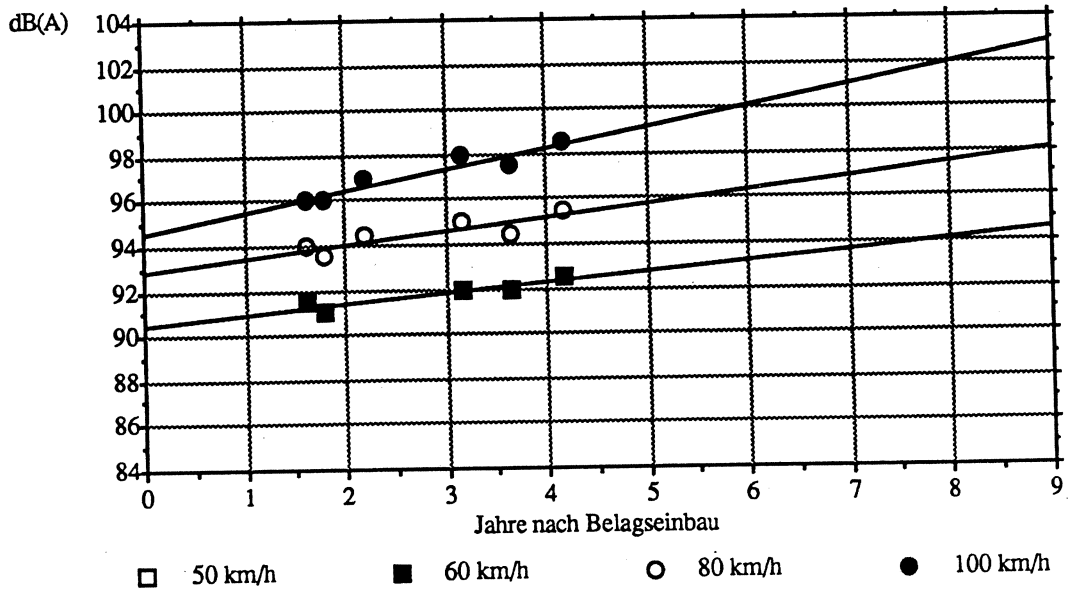


Abb. 9 : Strecke 8 Massgebender Pegel



Strecke 8 Massgebender Pegel, Durchflusswerte

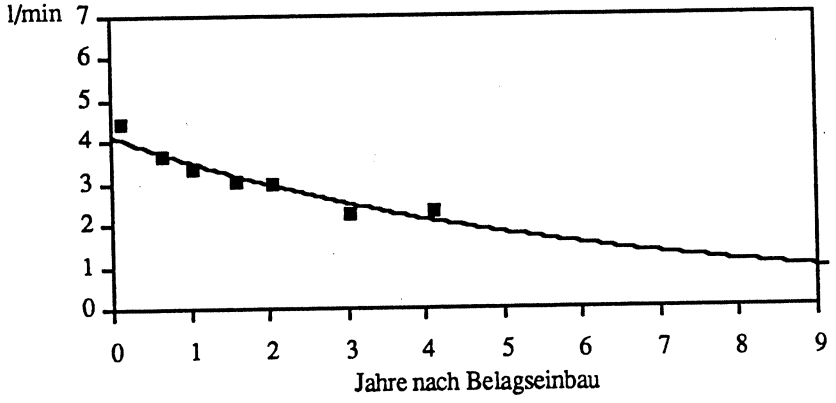
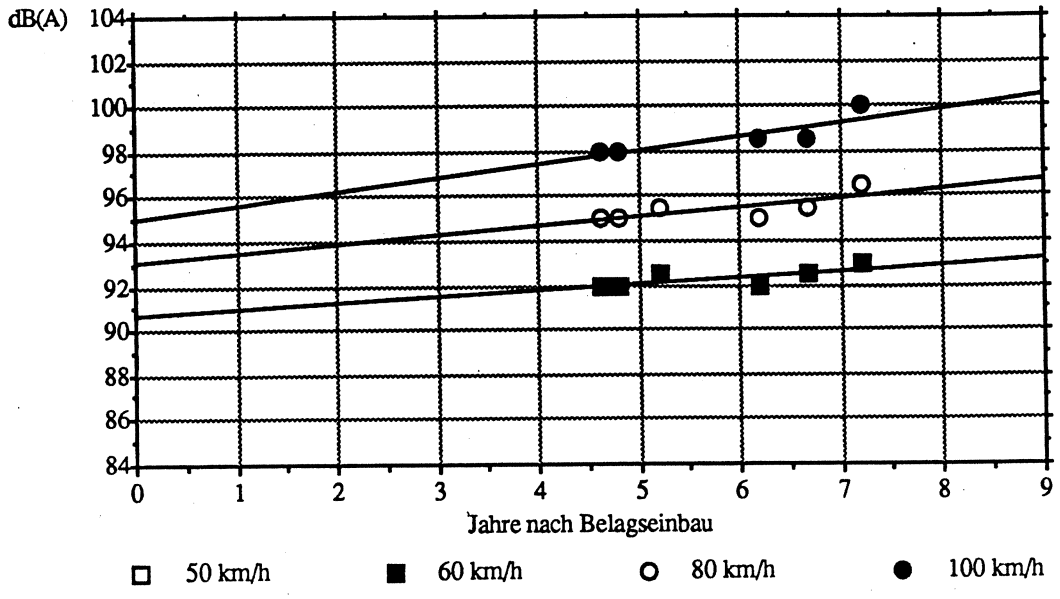


Abb. 10 : Strecke 9 Hinteres Mikrophon



Strecke 9 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

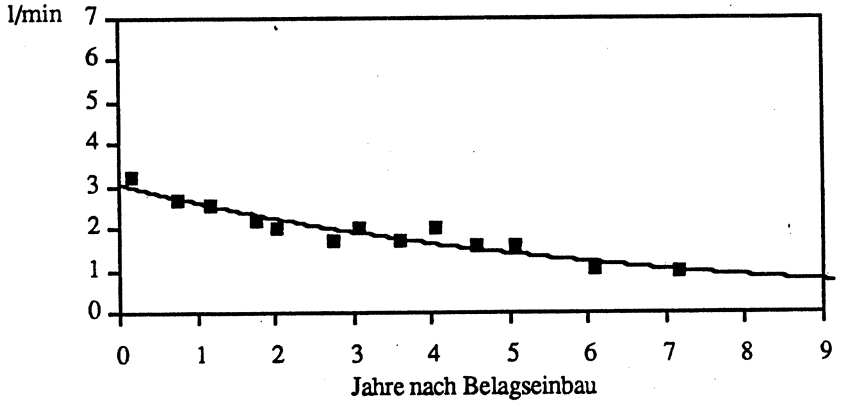
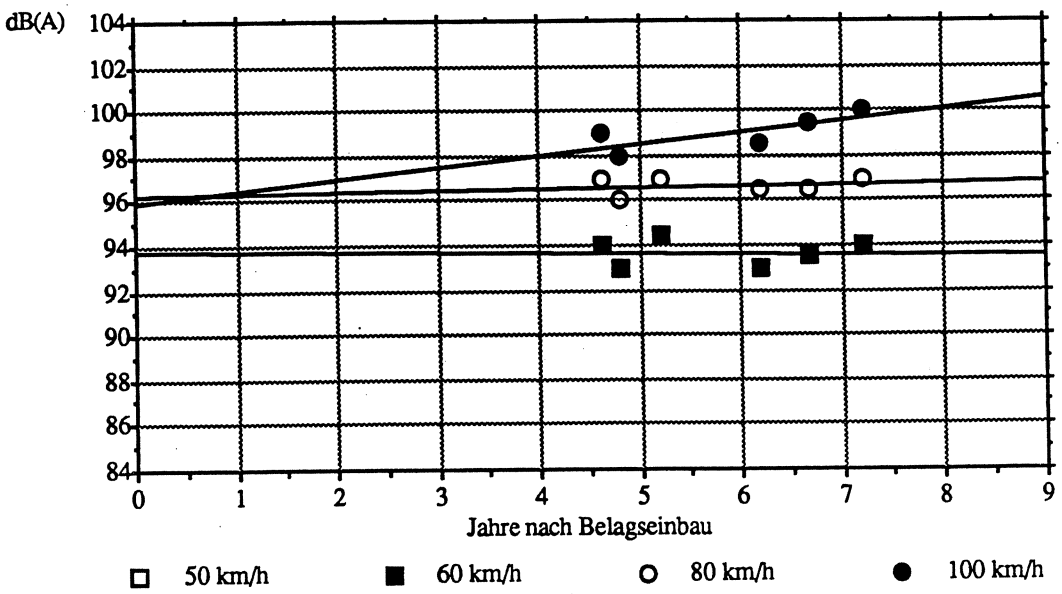


Abb. 11 : Strecke 9 Seitliches Mikrophon



Strecke 9 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

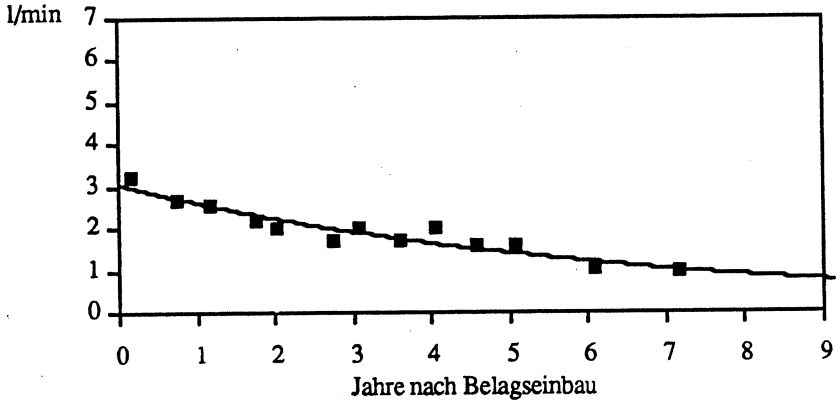
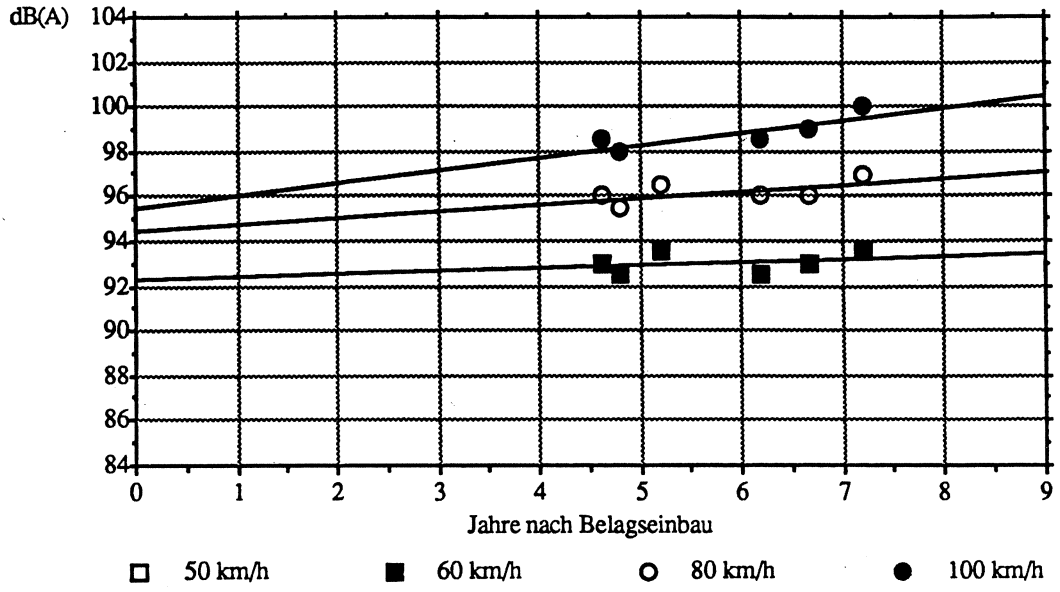


Abb. 12 : Strecke 9 Massgebender Pegel



Strecke 9 Massgebender Pegel, Durchflusswerte

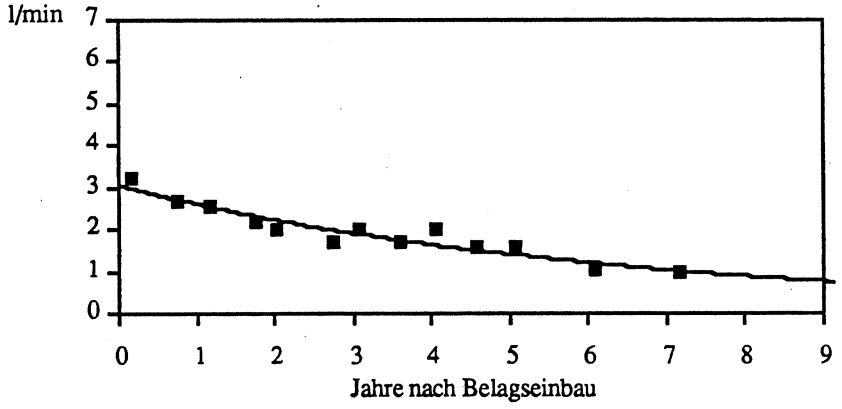
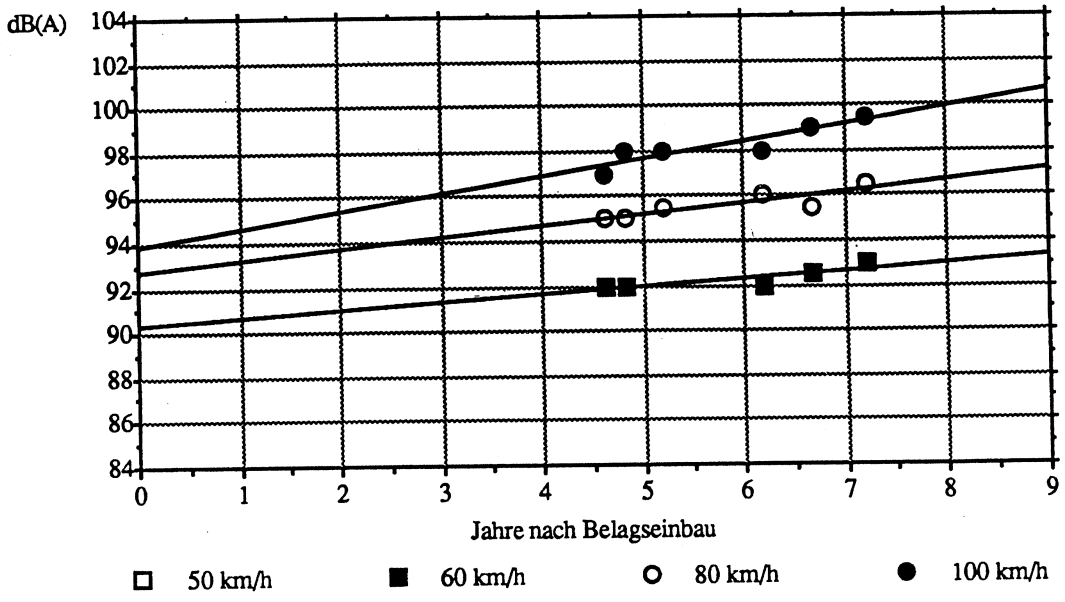


Abb. 13 : Strecke 10 Hinteres Mikrophon



Strecke 10 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

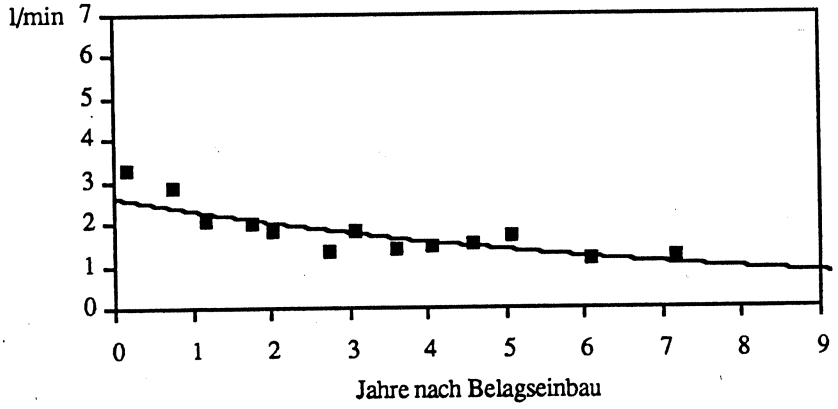
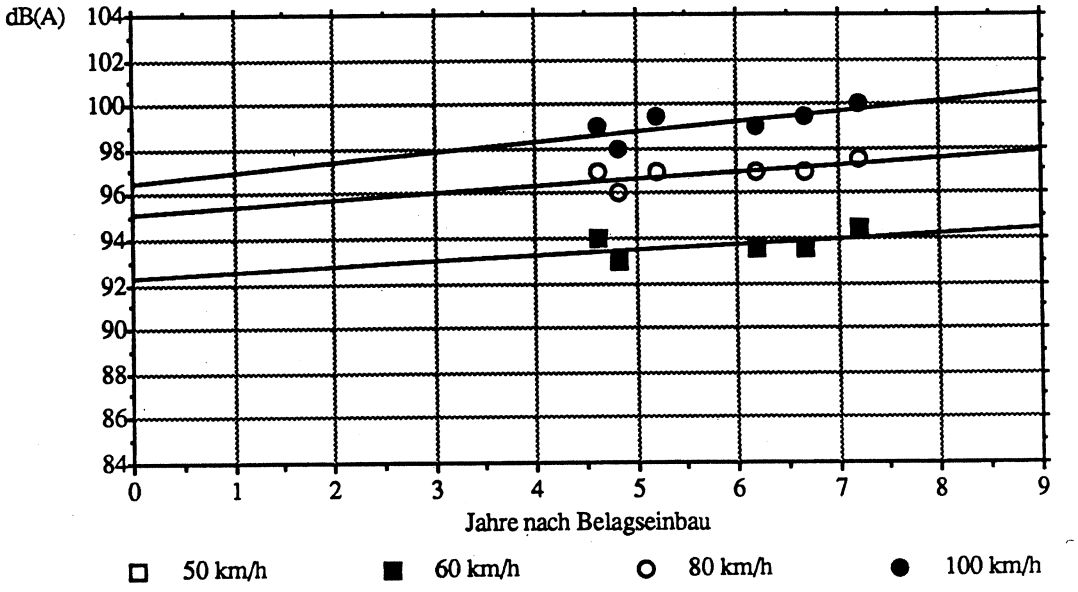


Abb. 14 : Strecke 10 Seitliches Mikrophon



Strecke 10 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

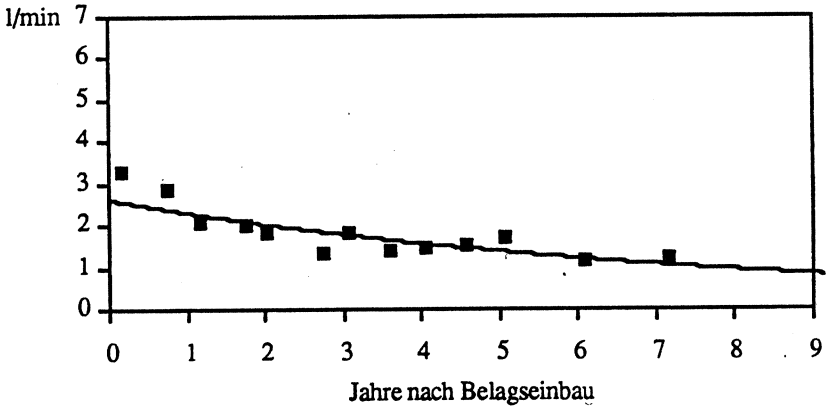
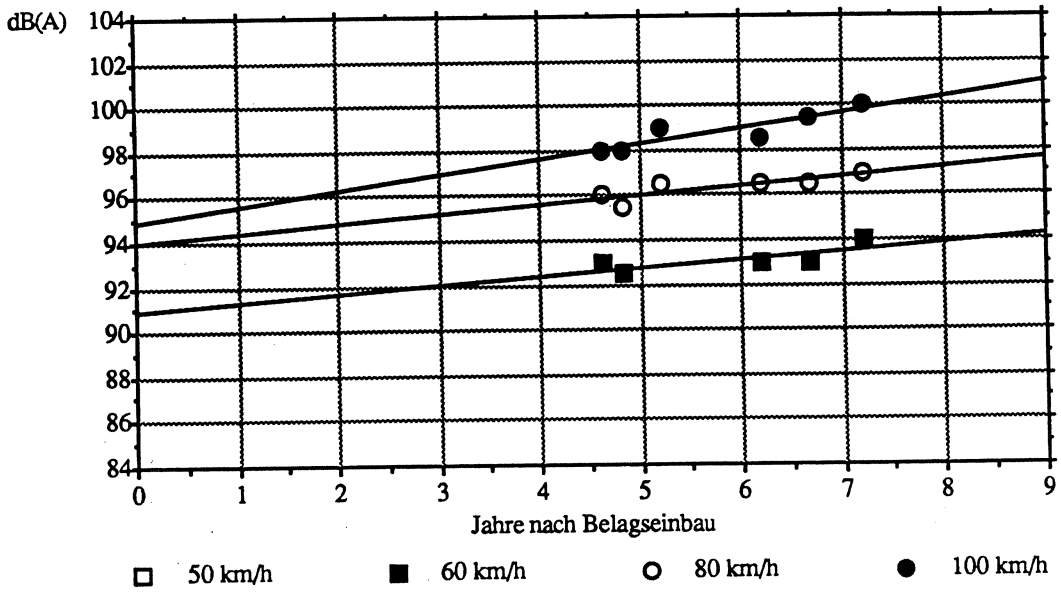


Abb. 15 : Strecke 10 Massgebender Pegel



Strecke 10 Massgebender Pegel, Durchflusswerte

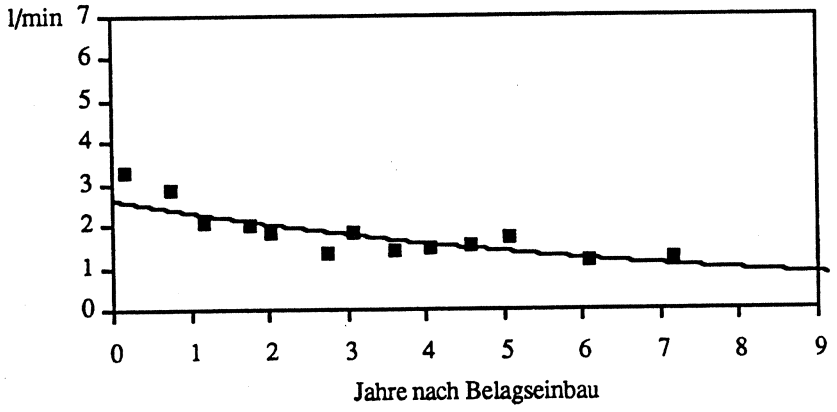
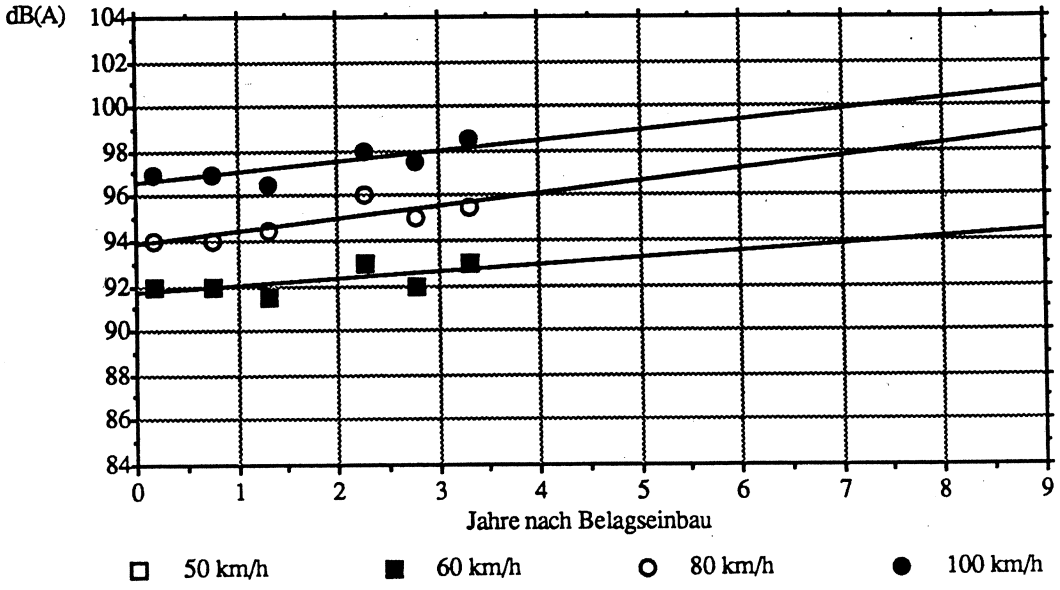


Abb. 16 : Strecke 11 Hinteres Mikrophon



Strecke 11 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

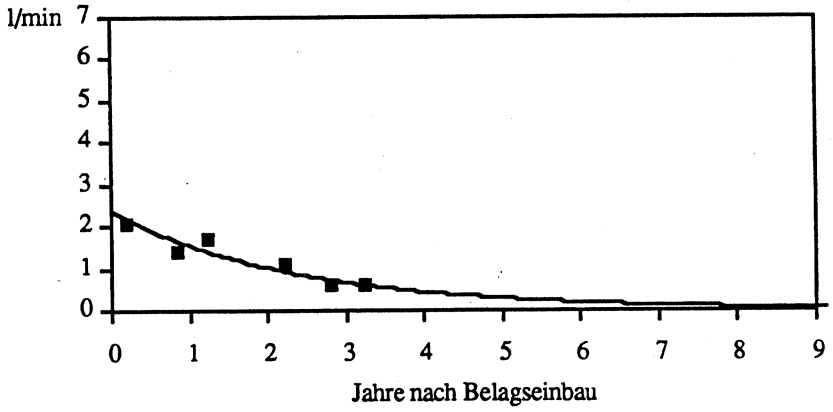
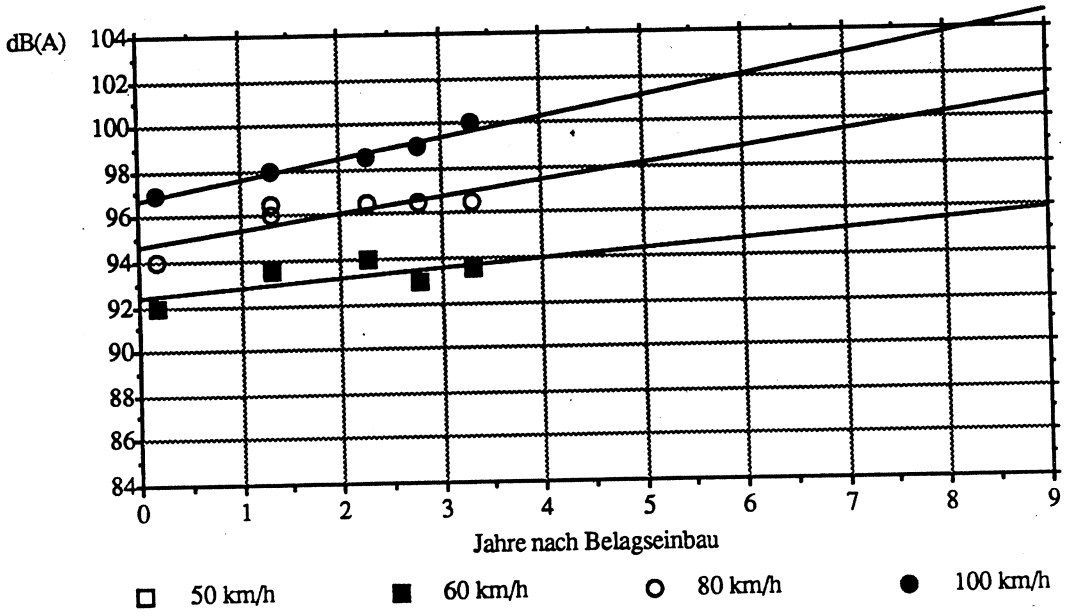


Abb. 17 : Strecke 11 Seitliches Mikrophon



Strecke 11 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

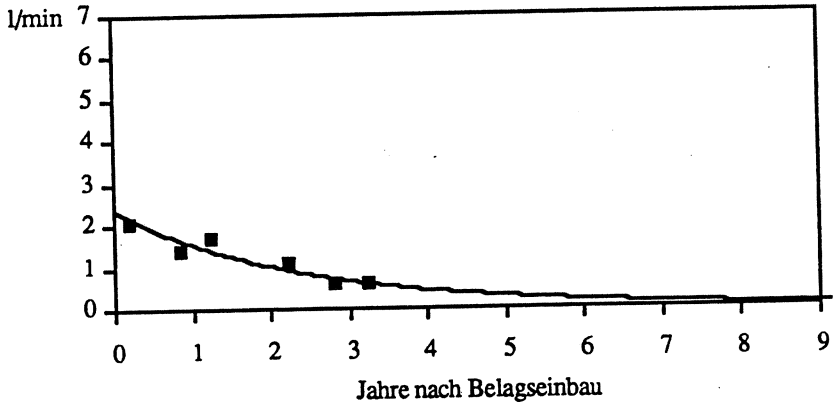
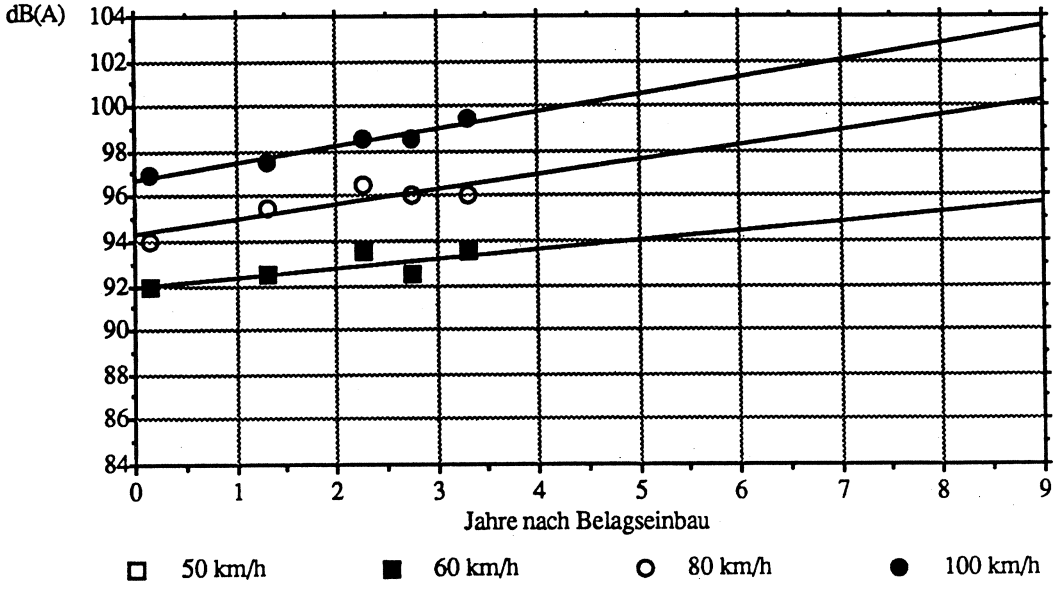


Abb. 18 : Strecke 11 Massgebender Pegel



Strecke 11 Massgebender Pegel, Durchflusswerte

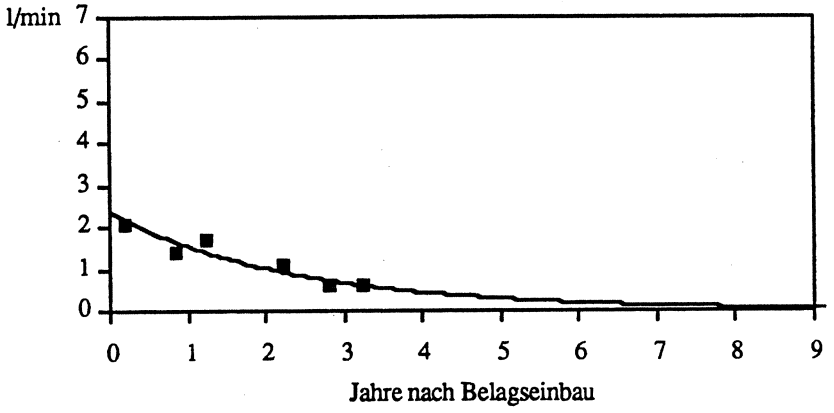
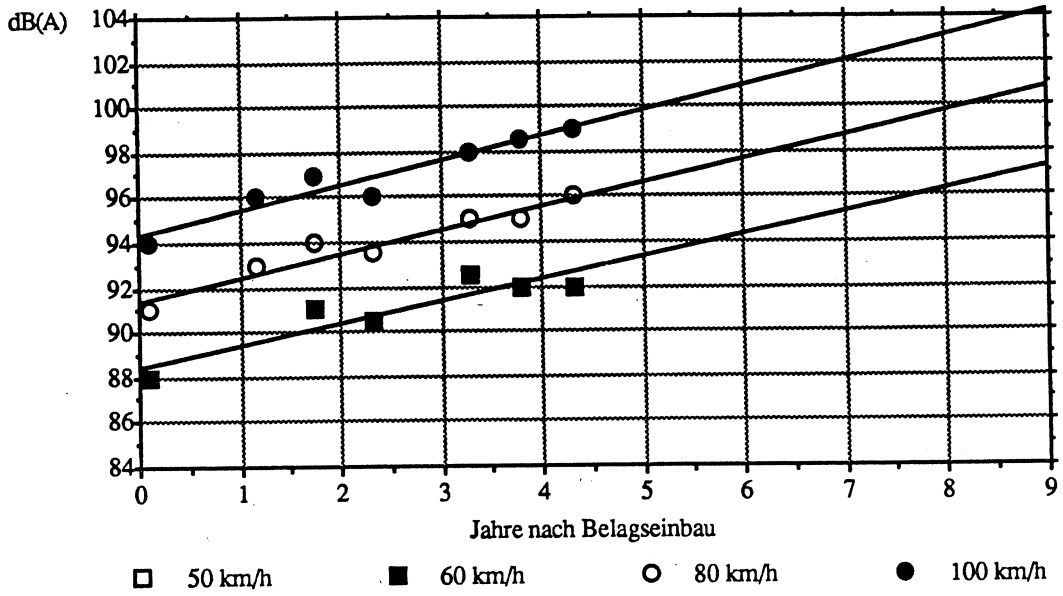


Abb. 19 : Strecke 12 Hinteres Mikrophon



Strecke 12 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

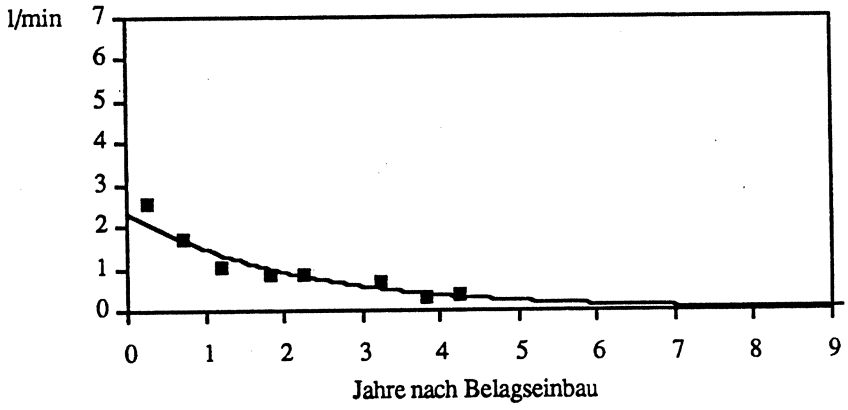
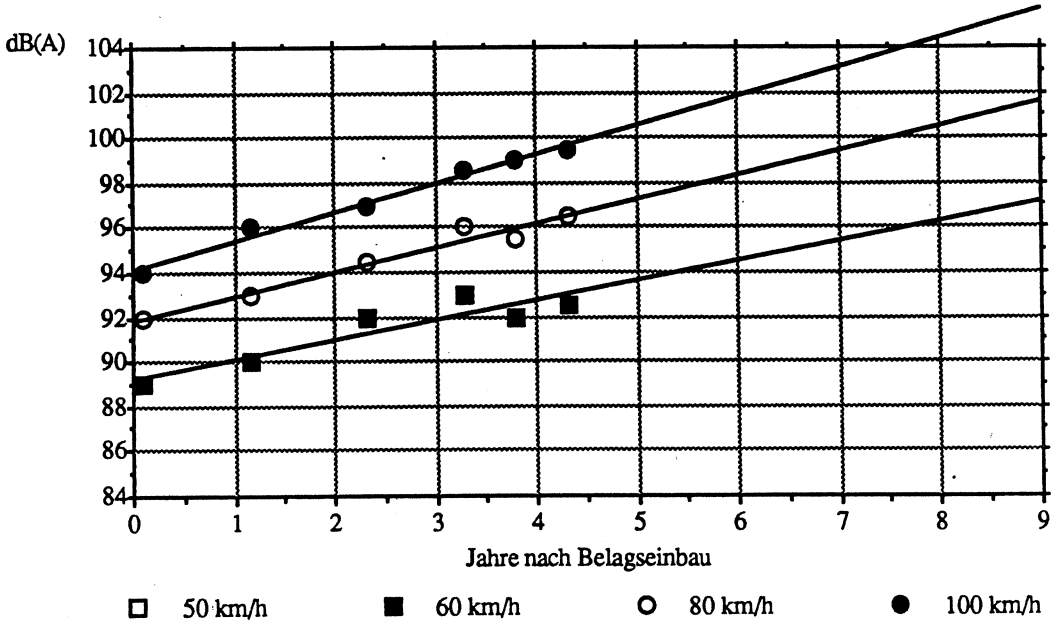


Abb. 20 : Strecke 12 Seitliches Mikrophon



Strecke 12 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

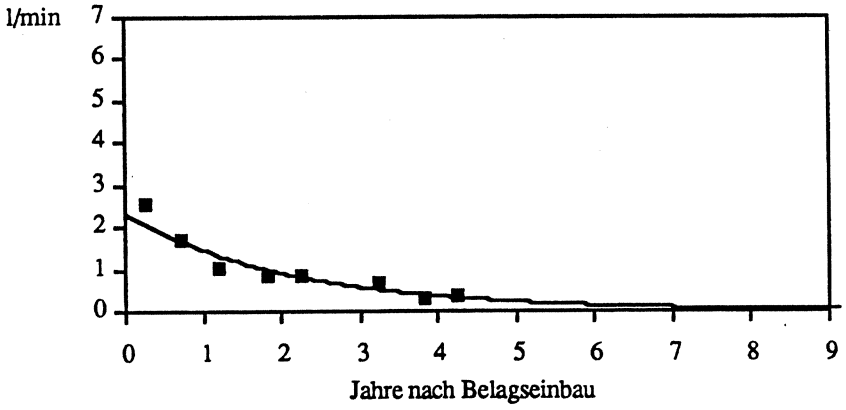
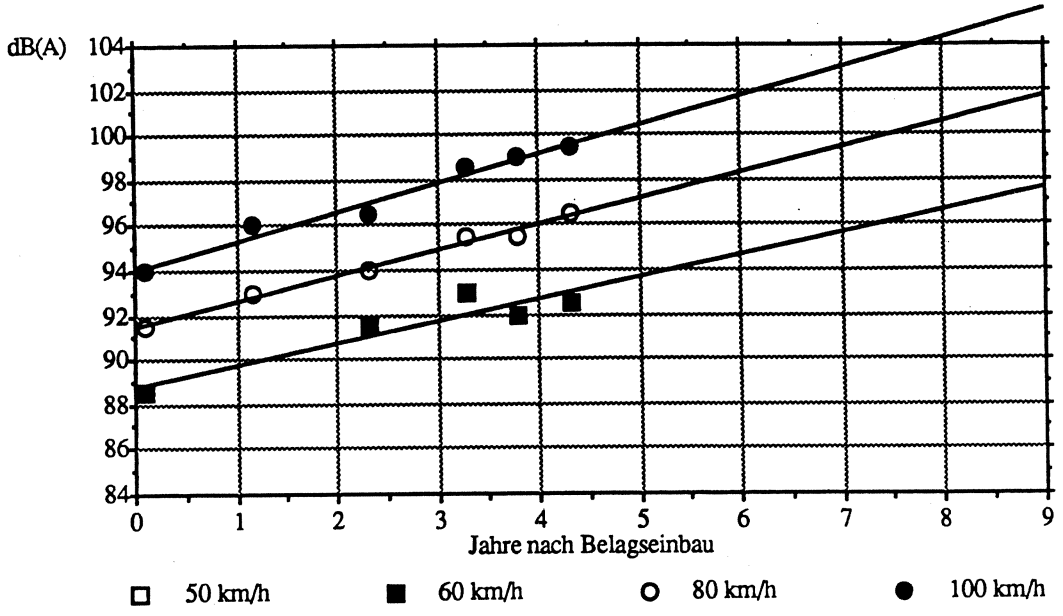


Abb. 21 : Strecke 12 Massgebender Pegel



Strecke 12 Massgebender Pegel, Durchflusswerte

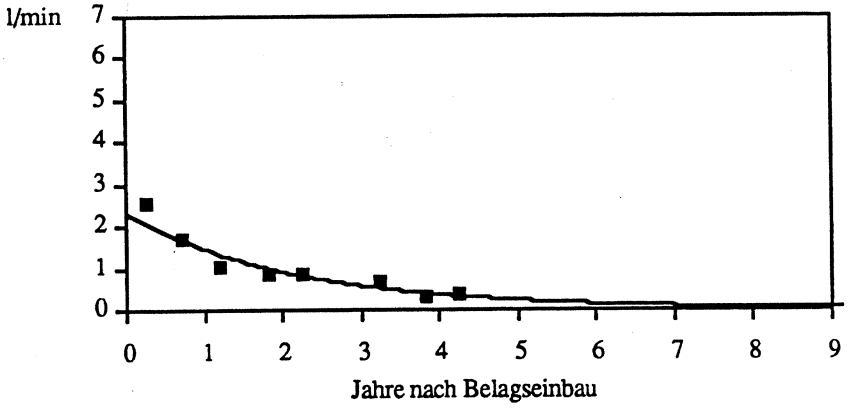
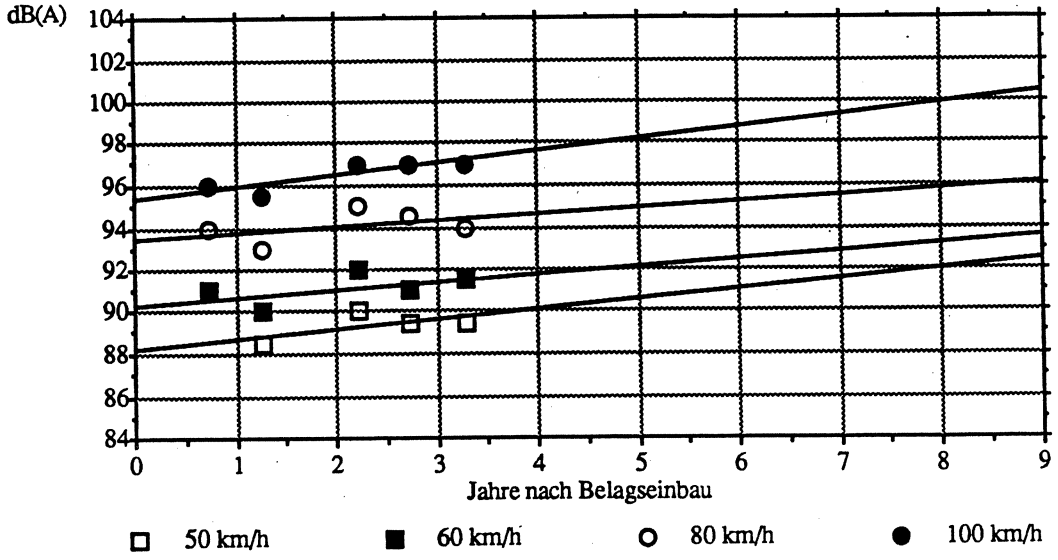


Abb. 22 : Strecke 13 Hinteres Mikrophon



Strecke 13 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

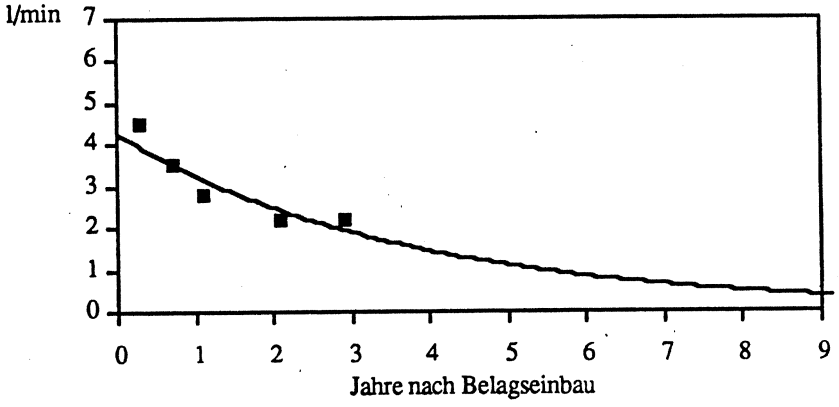
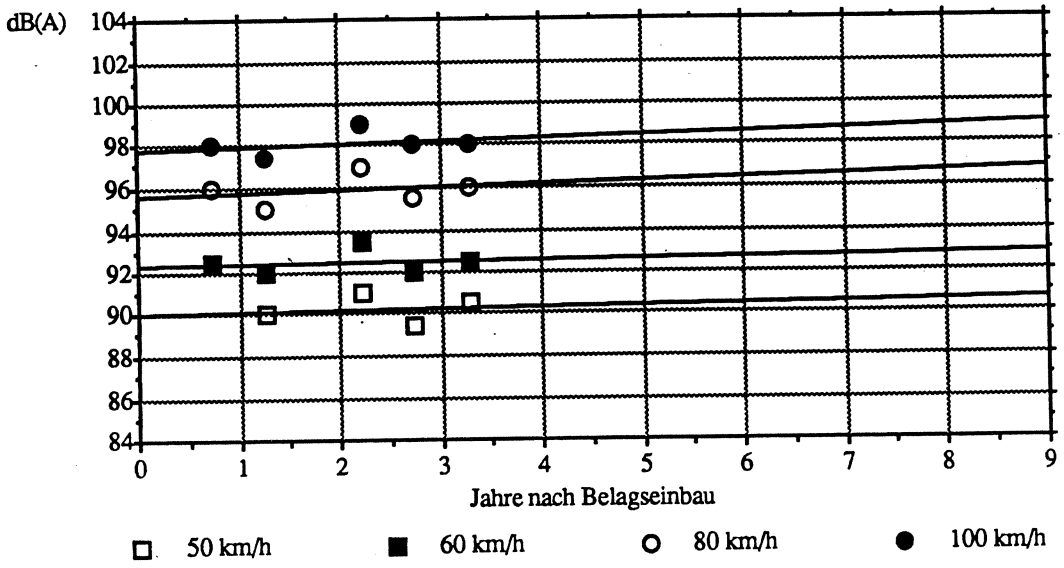


Abb. 23 : Strecke 13 Seitliches Mikrophon



Strecke 13 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

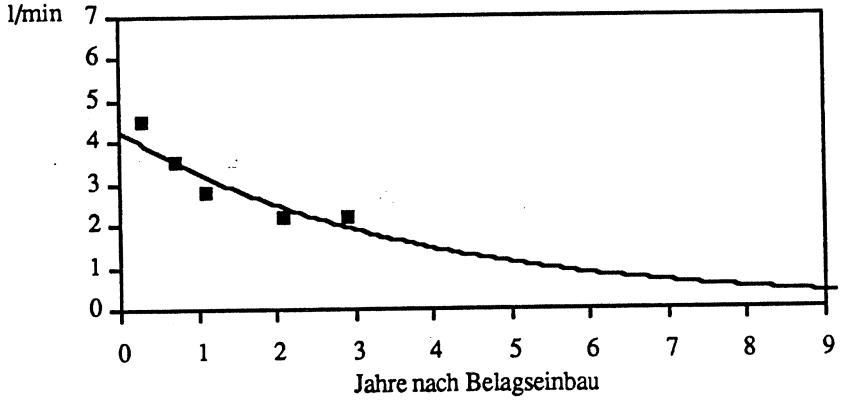
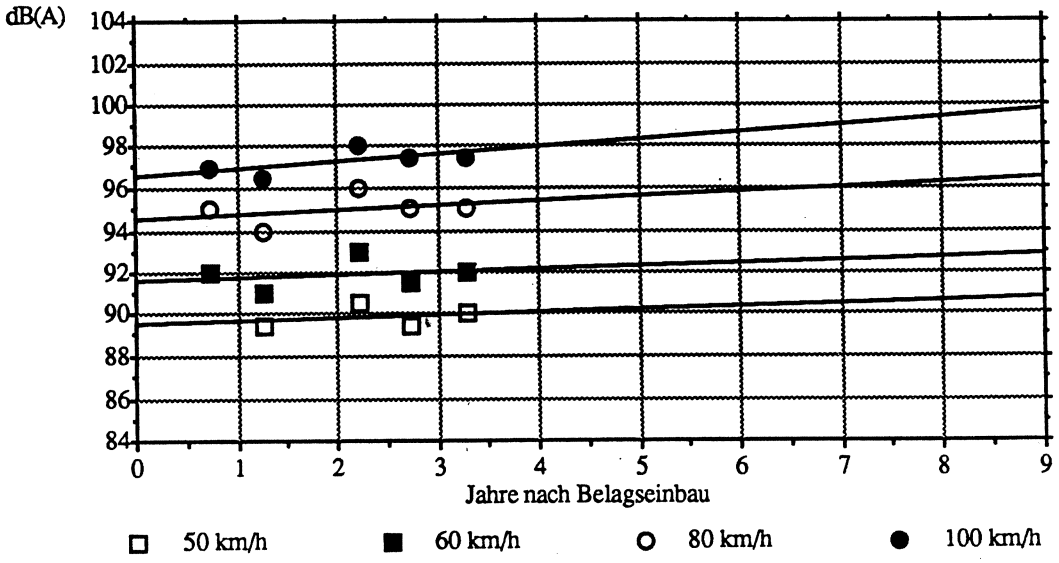


Abb. 24 : Strecke 13 Massgebender Pegel



Strecke 13 Massgebender Pegel, Durchflusswerte

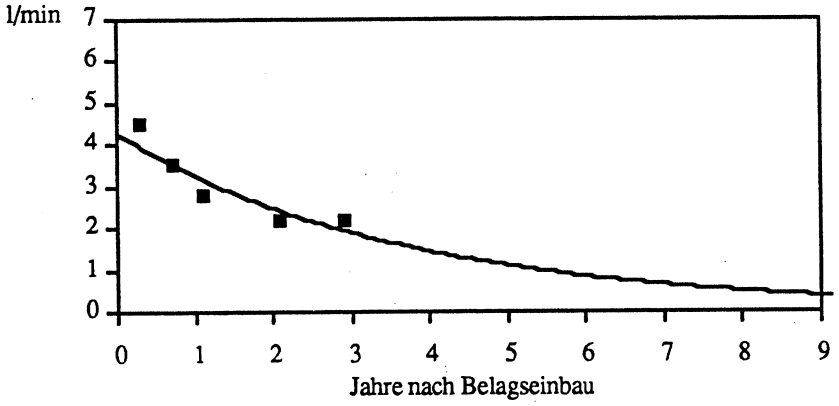
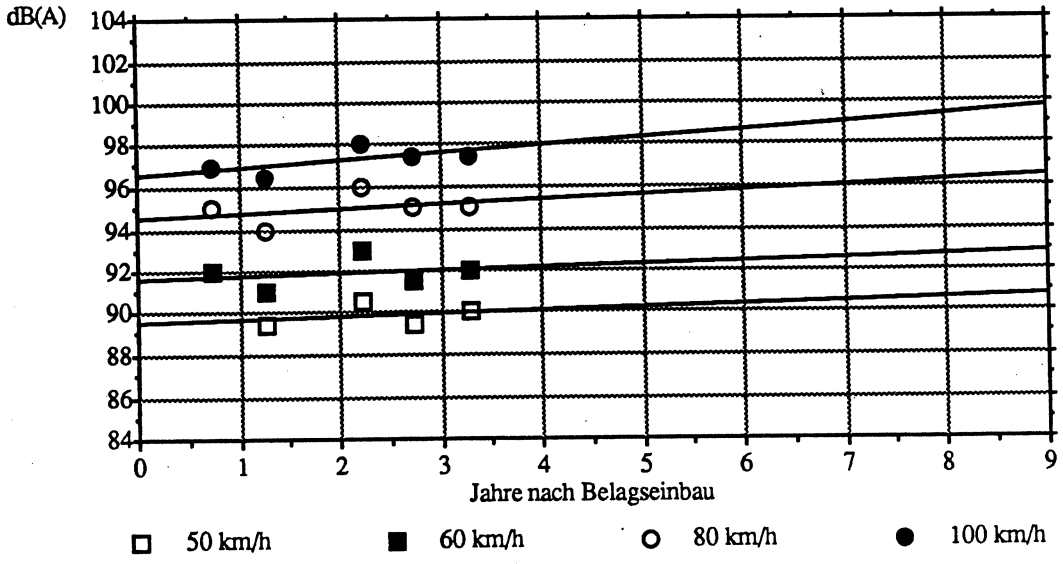


Abb. 25 : Strecke 14 Hinteres Mikrophon



Strecke 14 Hinteres Mikrophon, Durchflusswerte

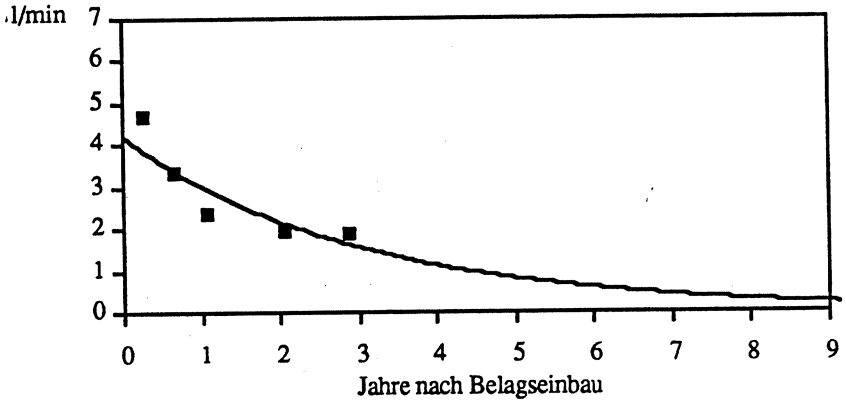
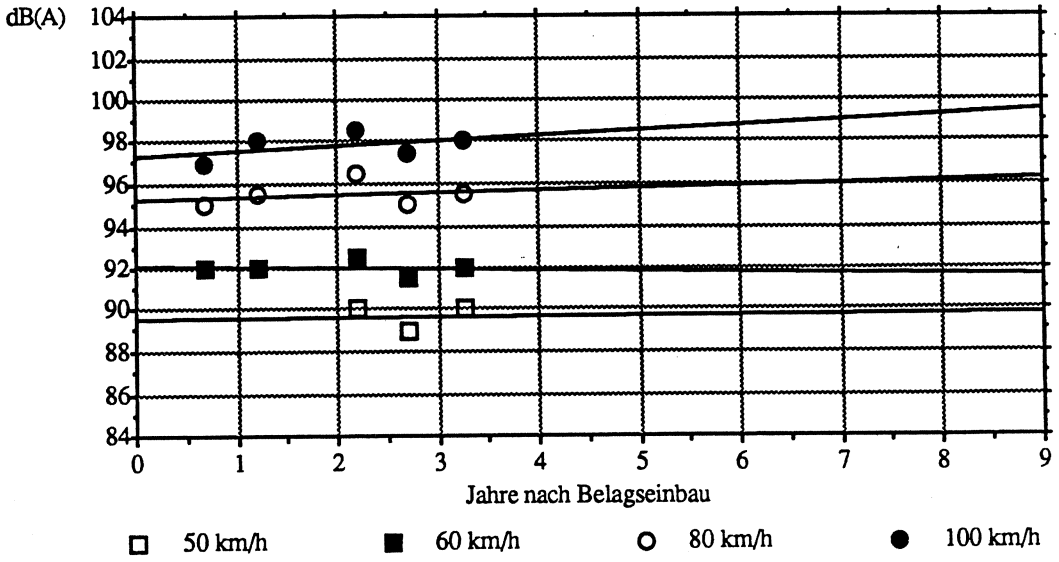


Abb. 26 : Strecke 14 Seitliches Mikrophon



Strecke 14 Seitliches Mikrophon, Durchflusswerte

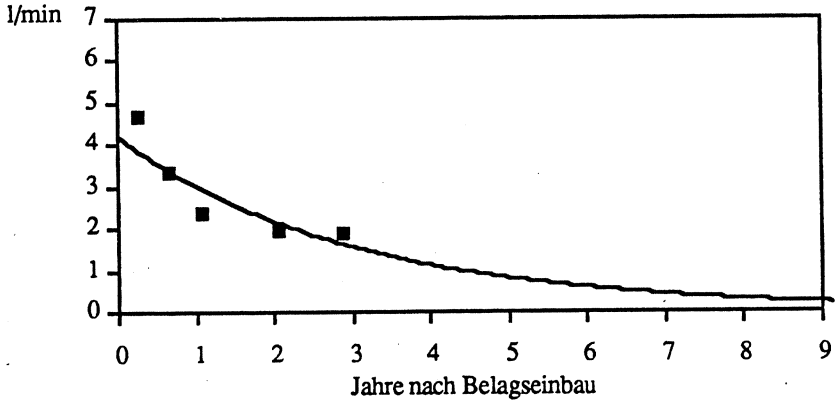
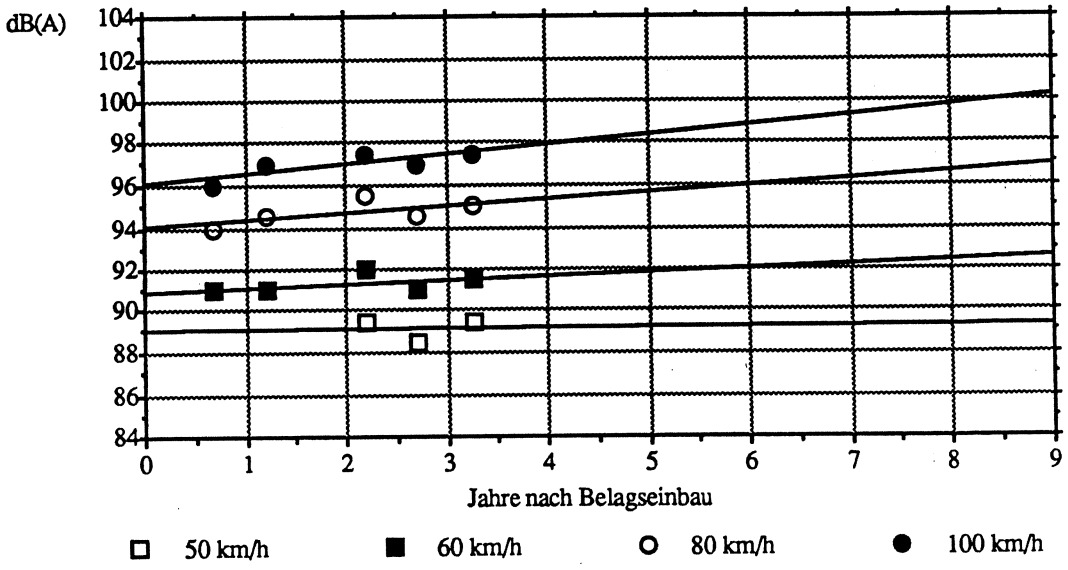
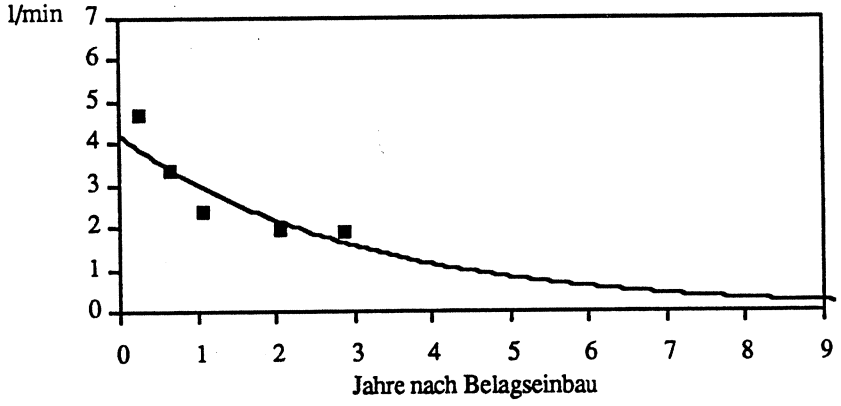


Abb. 27 : Strecke 14 Massgebender Pegel



Strecke 14 Massgebender Pegel, Durchflusswerte



Beilage 3

Lärmpegelwerte des hinteren und seitlichen Mikrophons und des massgebenden Pegels der dichten Beläge

Abb. 1 : Strecke 15 Hinteres Mikrophon

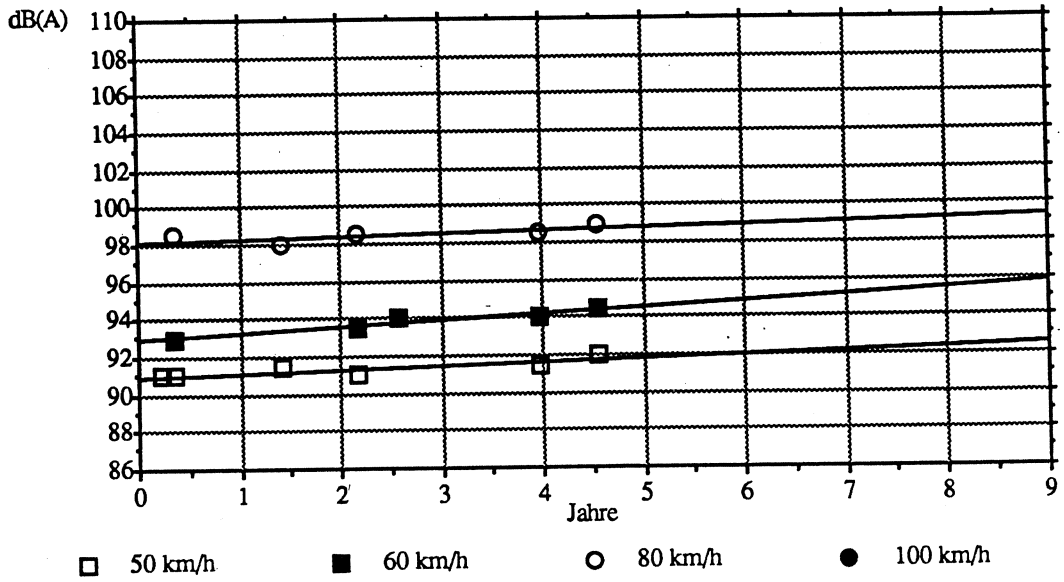


Abb. 2 : Strecke 15 Seitliches Mikrophon

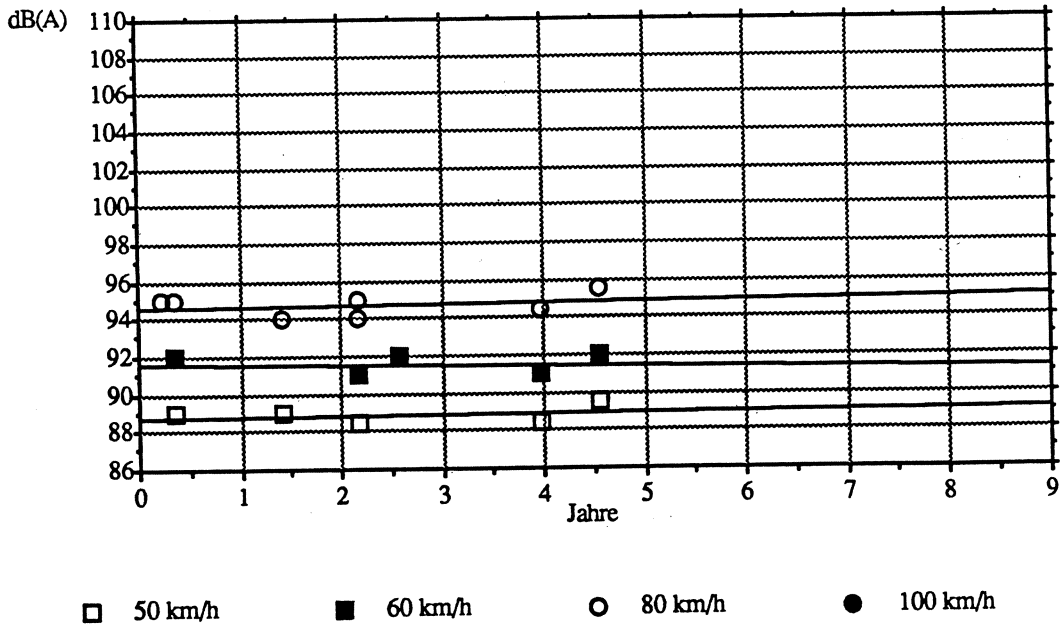


Abb. 3 : Strecke 15 Massgebender Pegel

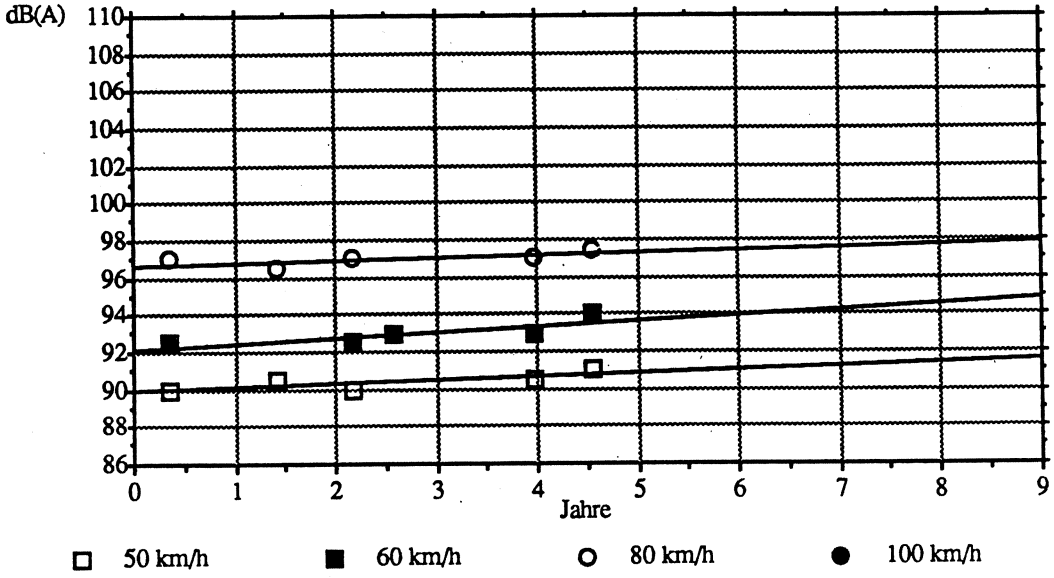


Abb. 4 : Strecke 16 Hinteres Mikrophon

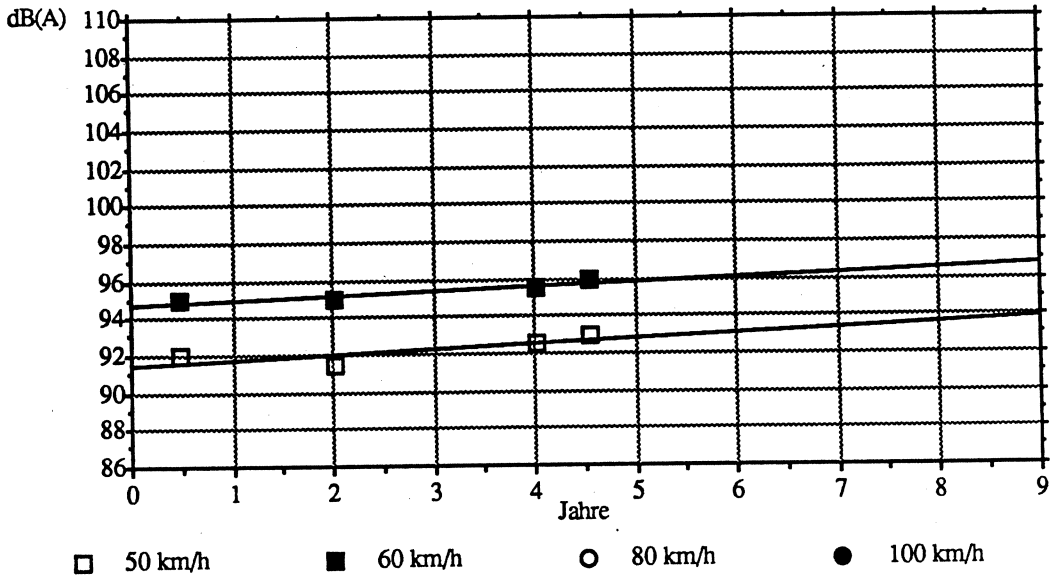


Abb. 5 : Strecke 16 Seitliches Mikrophon

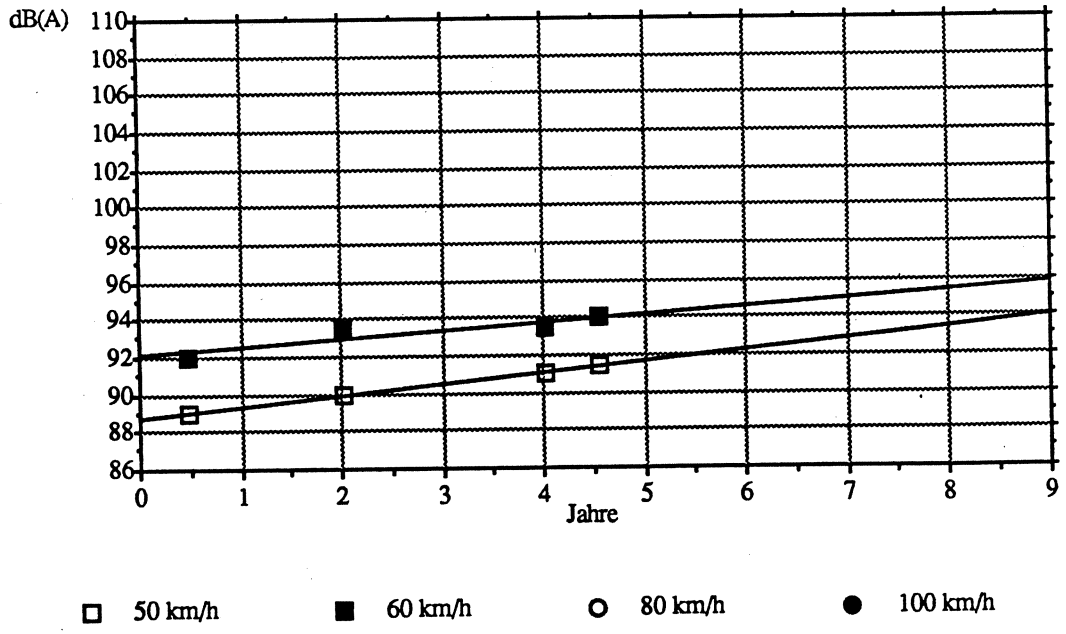


Abb. 6 : Strecke 16 Massgebender Pegel

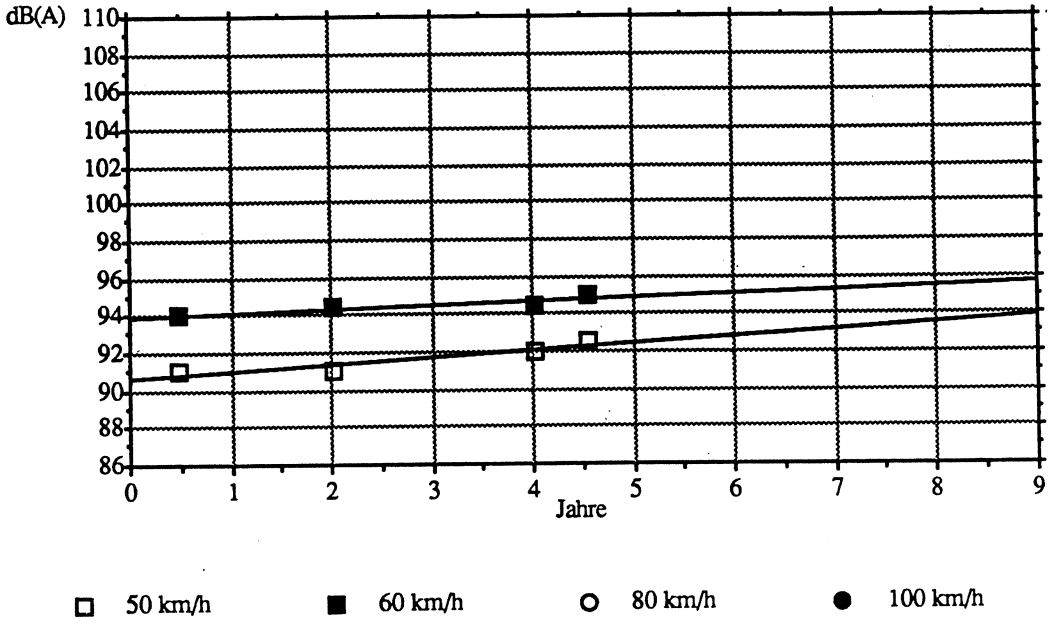


Abb. 7 : Strecke 17 Hinteres Mikrophon

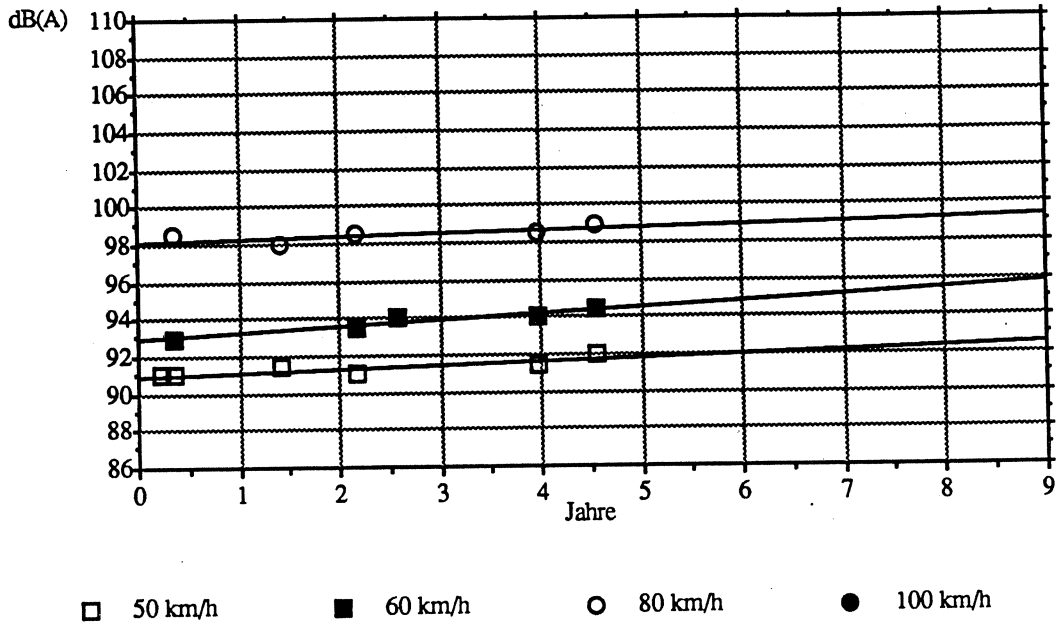


Abb. 8 : Strecke 17 Seitliches Mikrophon

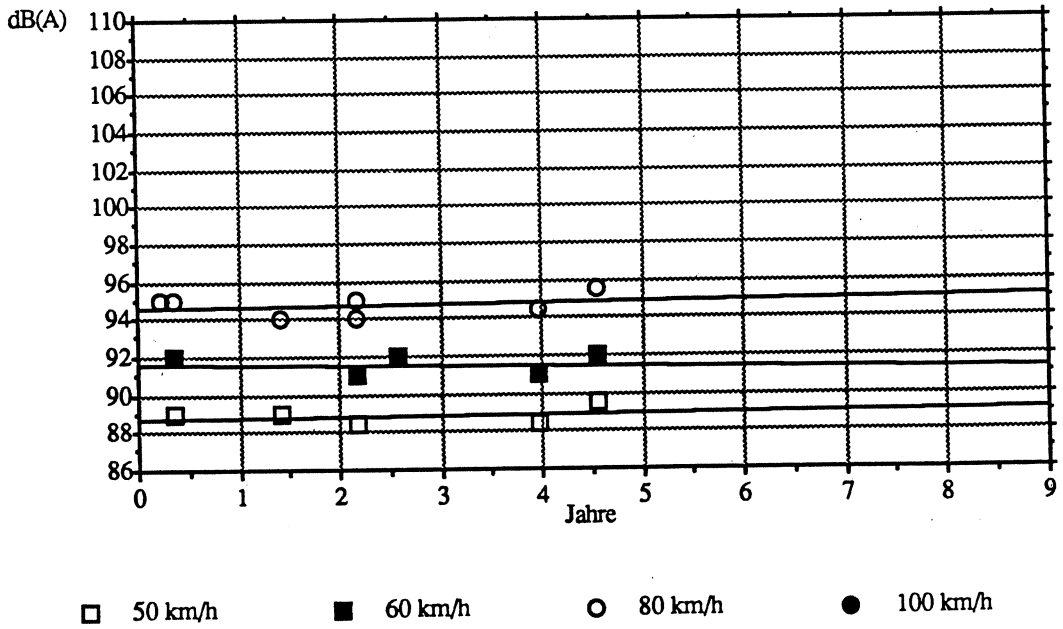


Abb. 9 : Strecke 17 Massgebender Pegel

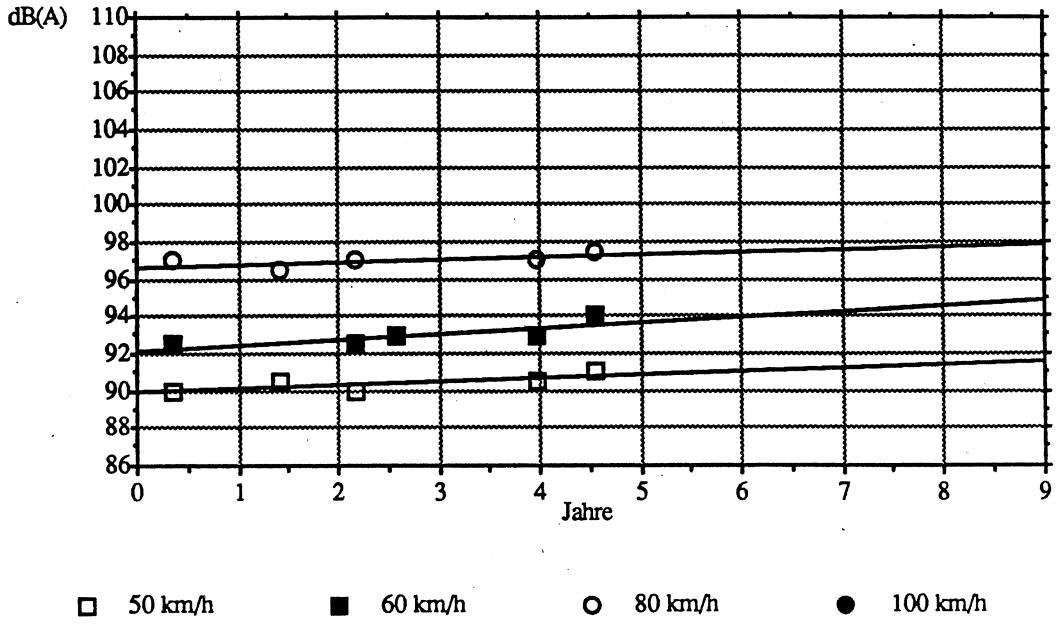


Abb. 10 : Strecke 18 Hinteres Mikrophon

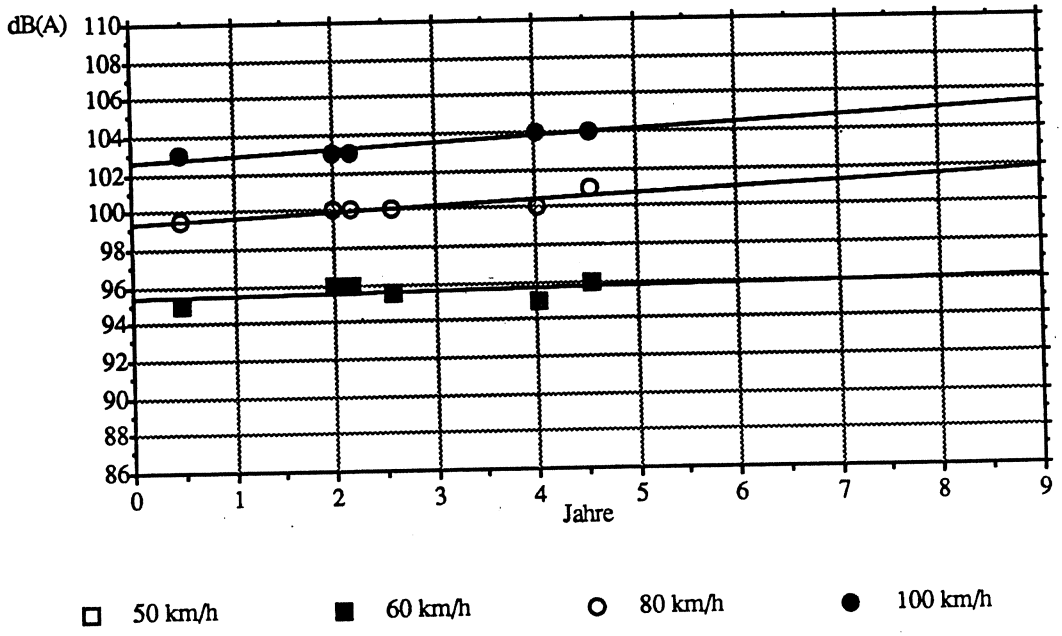


Abb. 11 : Strecke 18 Seitliches Mikrophon

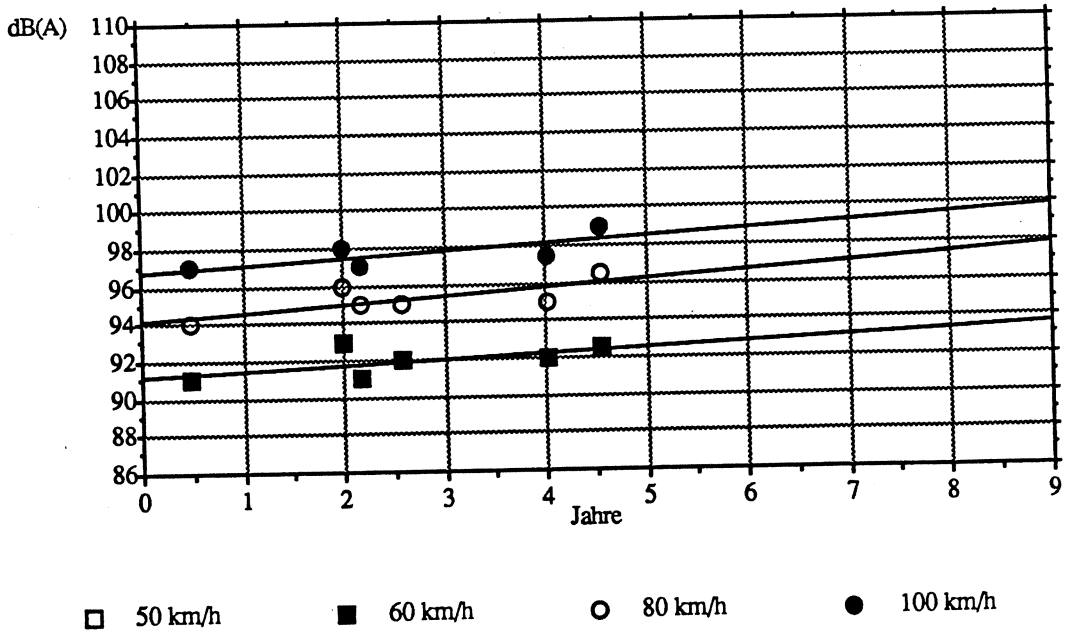


Abb. 12 : Strecke 18 Massgebender Pegel

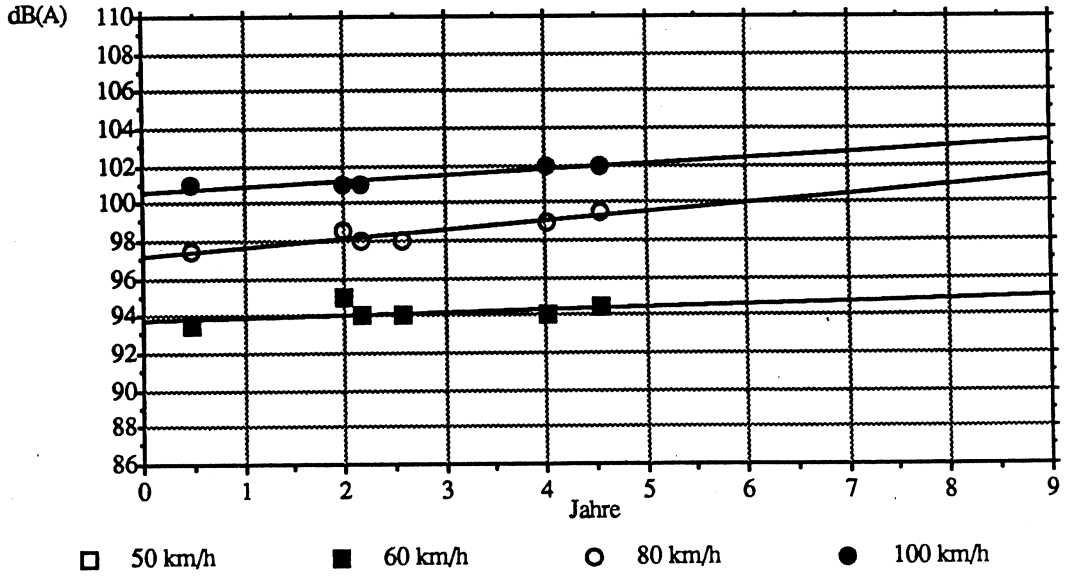


Abb. 13 : Strecke 19 Hinteres Mikrophon

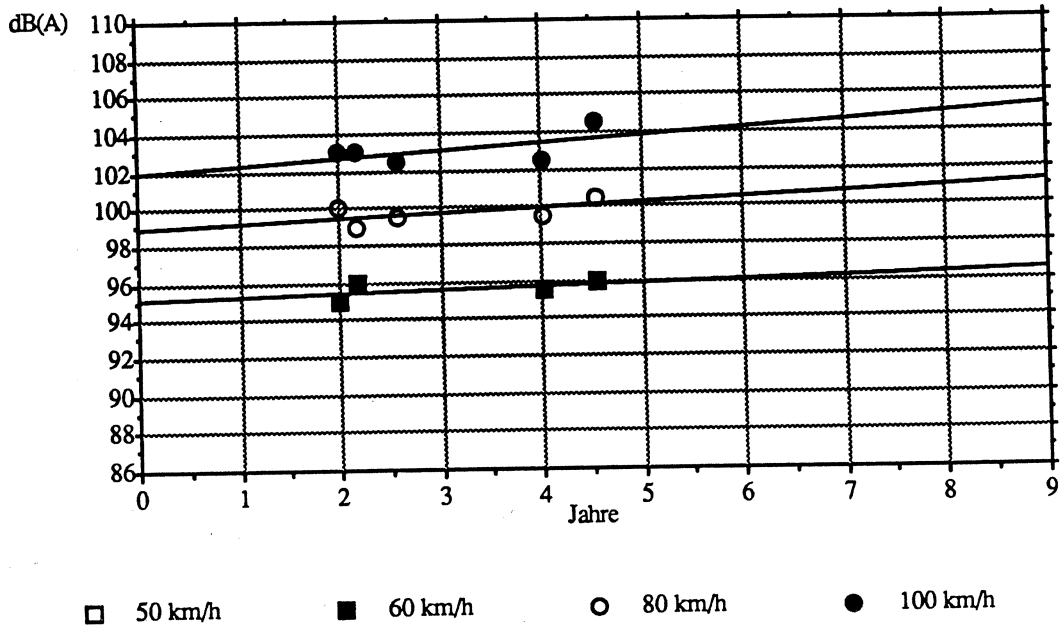


Abb. 14 : Strecke 19 Seitliches Mikrophon

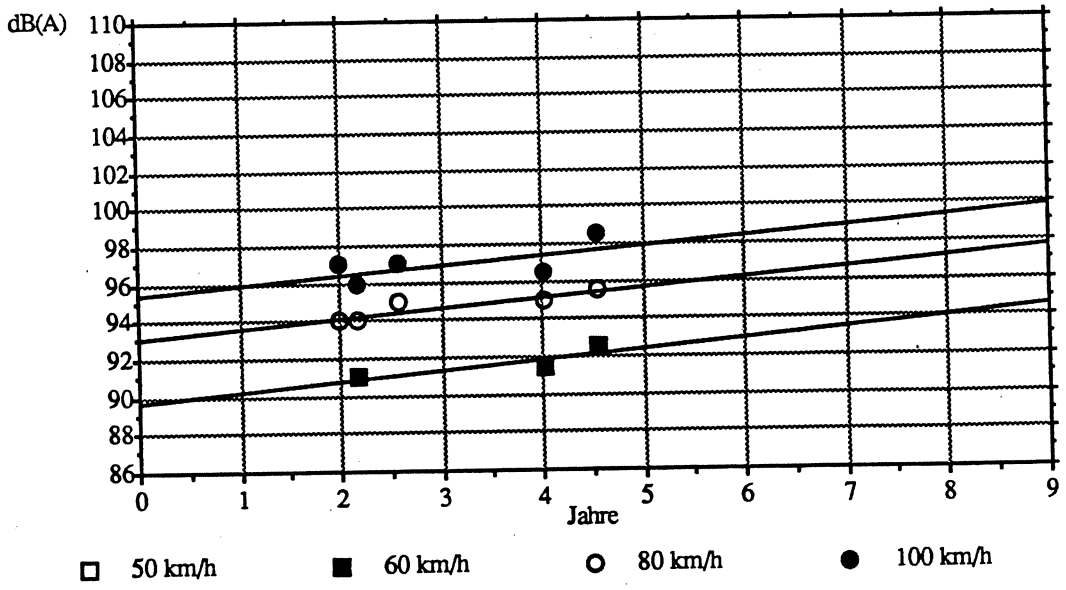


Abb. 15 : Strecke 19 Massgebender Pegel

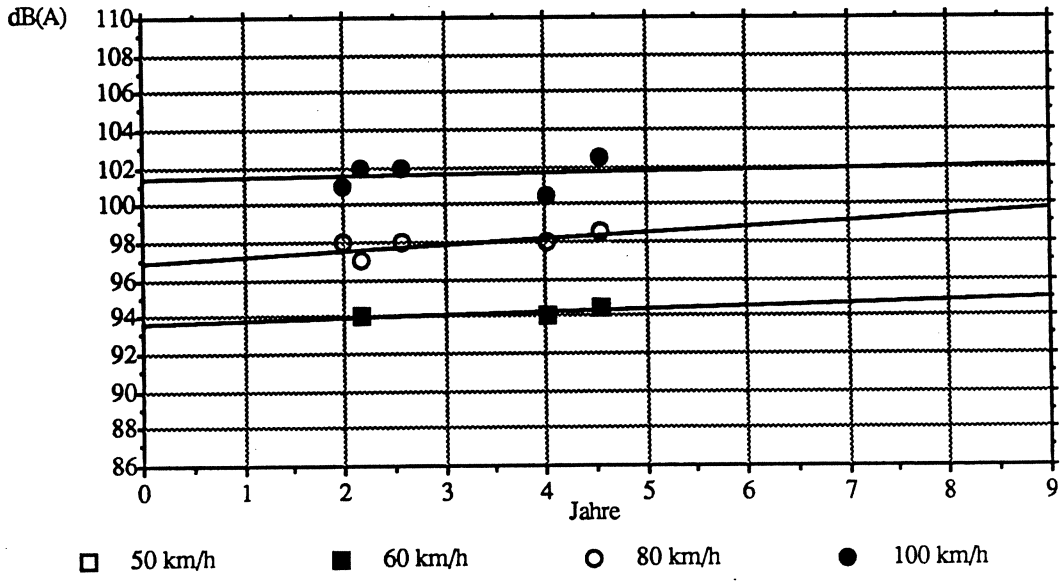


Abb. 16 : Strecke 20 Hinteres Mikrophon

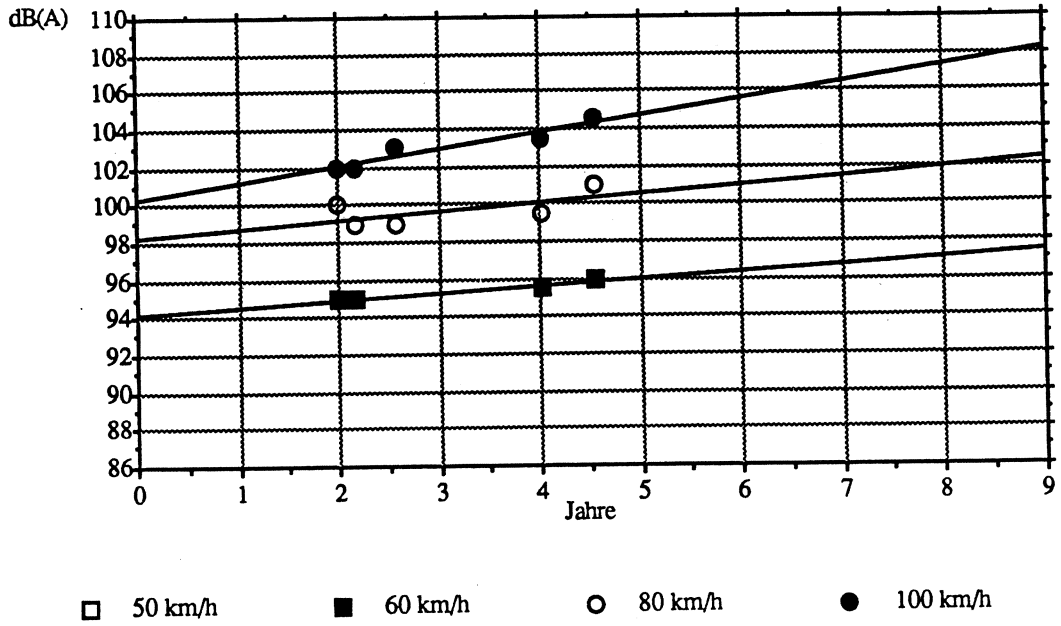


Abb. 17 : Strecke 20 Seitliches Mikrophon

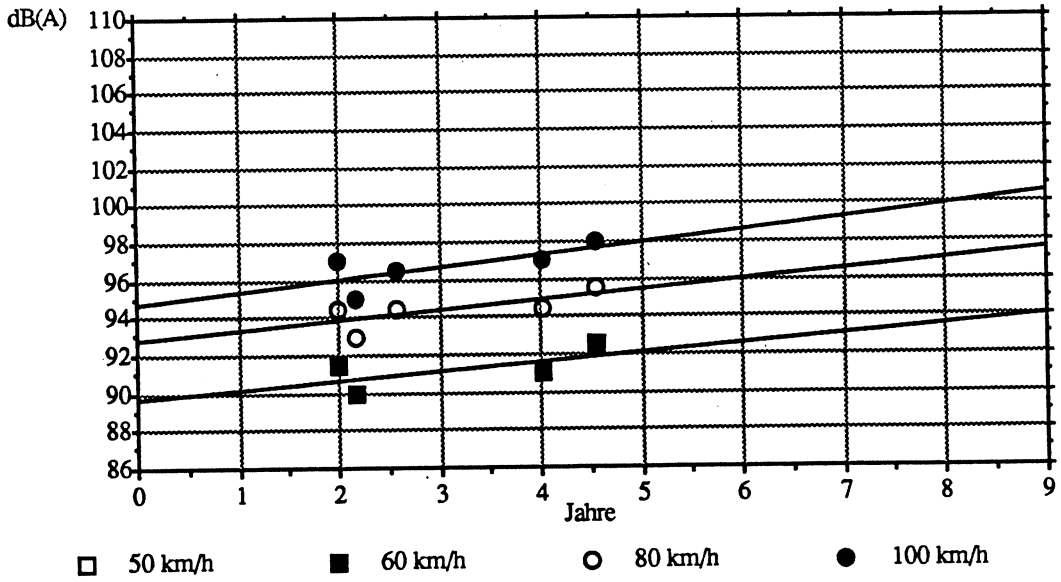


Abb. 18 : Strecke 20 Massgebender Pegel

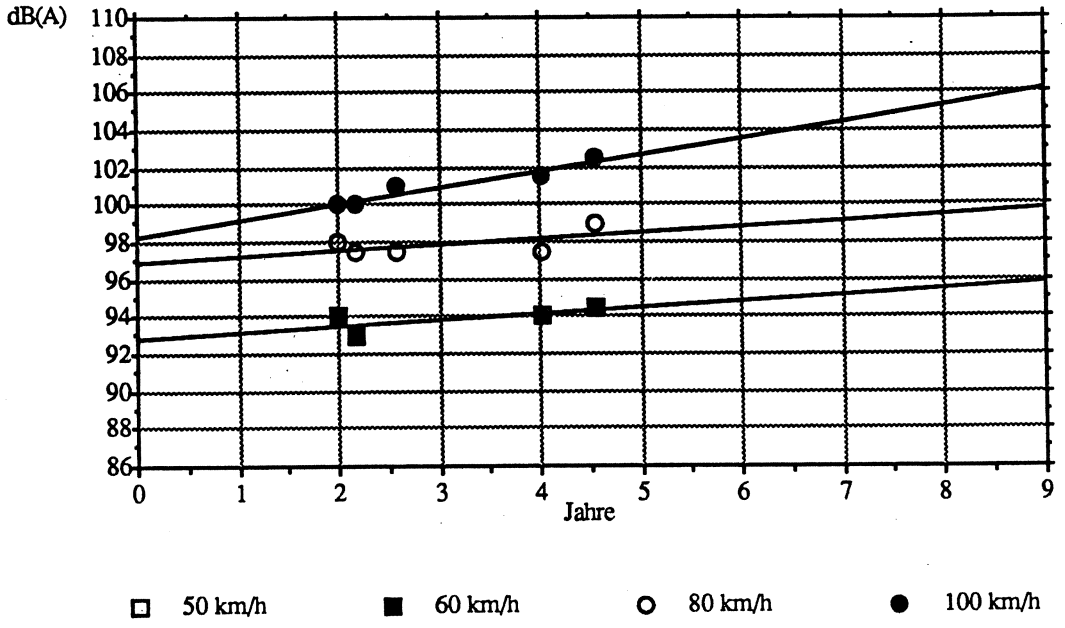


Abb. 19 : Strecke 21 Hinteres Mikrophon

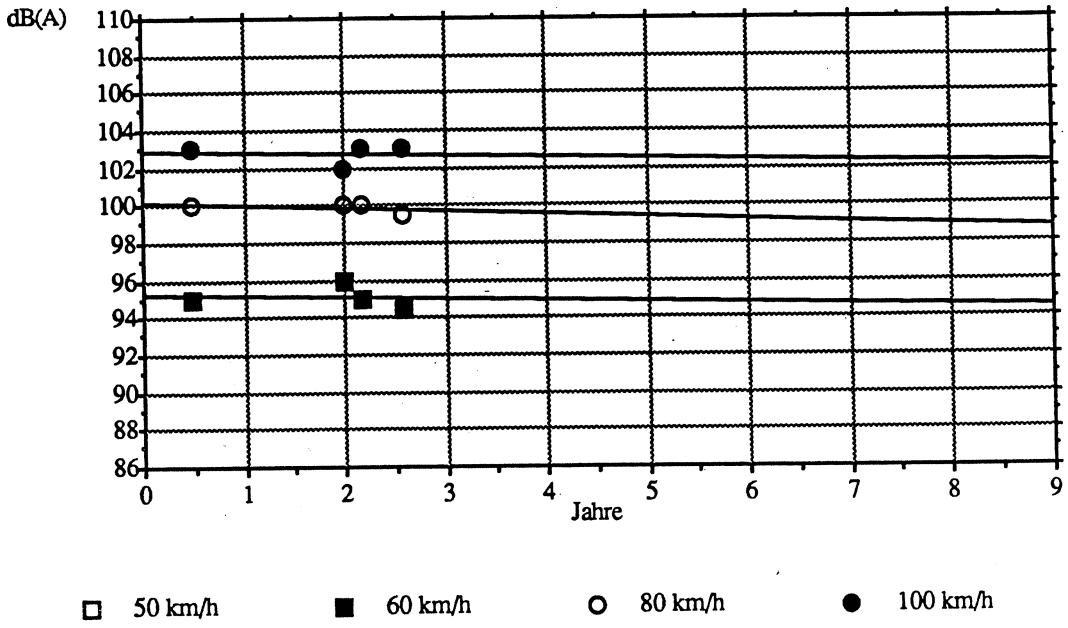


Abb. 20 : Strecke 21 Seitliches Mikrophon

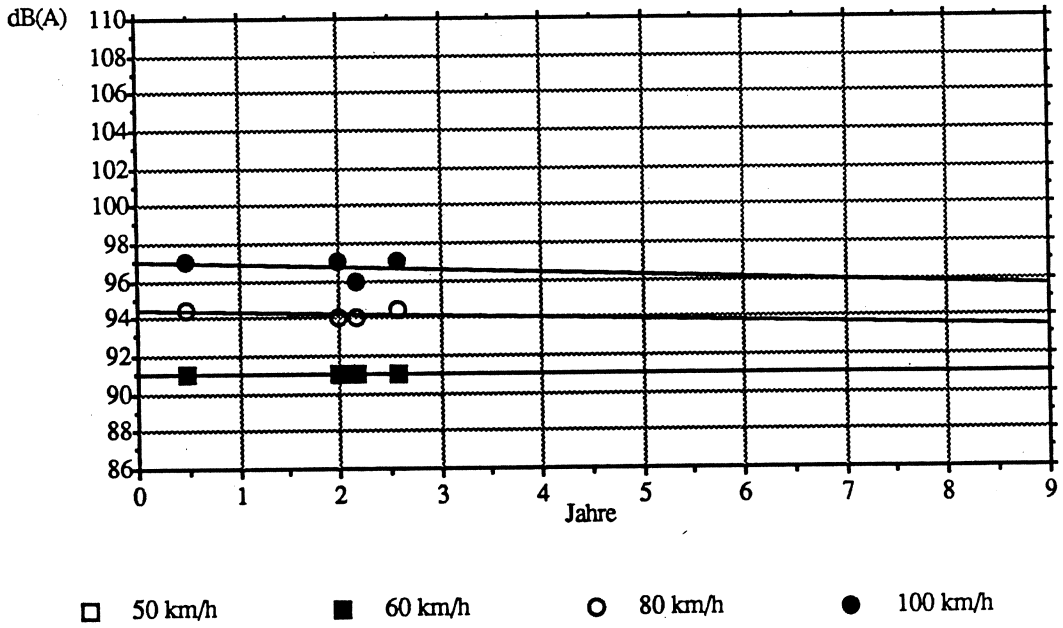


Abb. 21 : Strecke 21 Massgebender Pegel

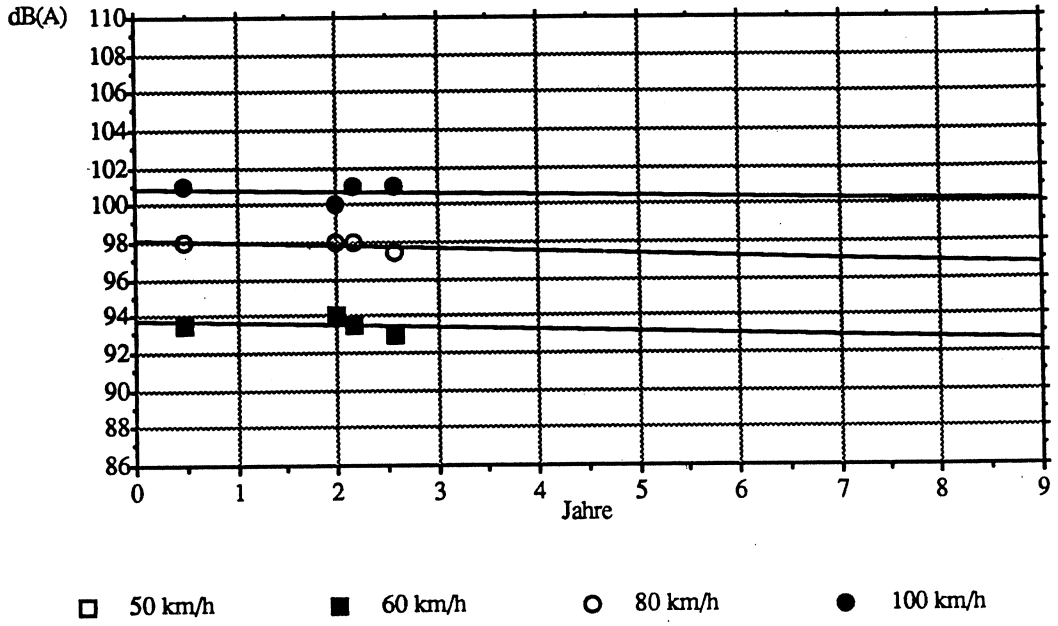


Abb. 22 : Strecke 22 Hinteres Mikrophon

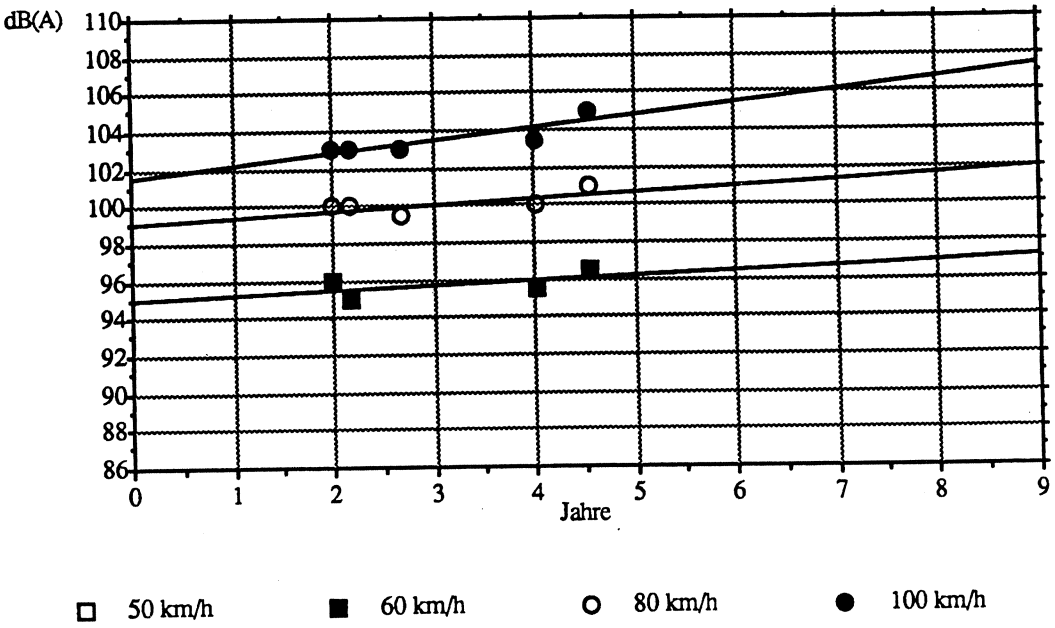


Abb. 23 : Strecke 22 Seitliches Mikrophon

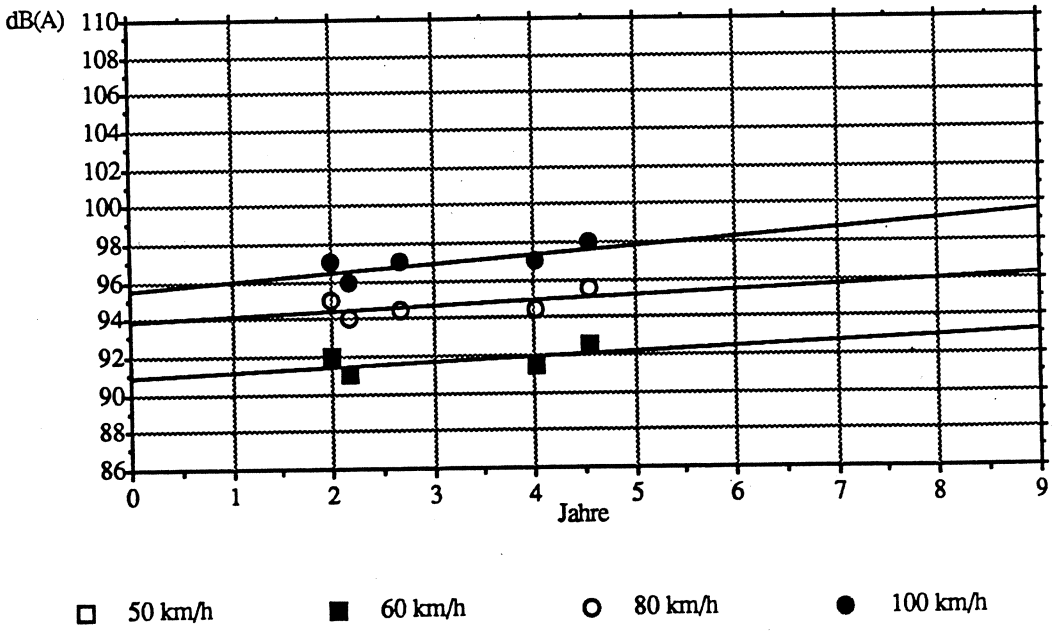


Abb. 24 : Strecke 22 Massgebender Pegel

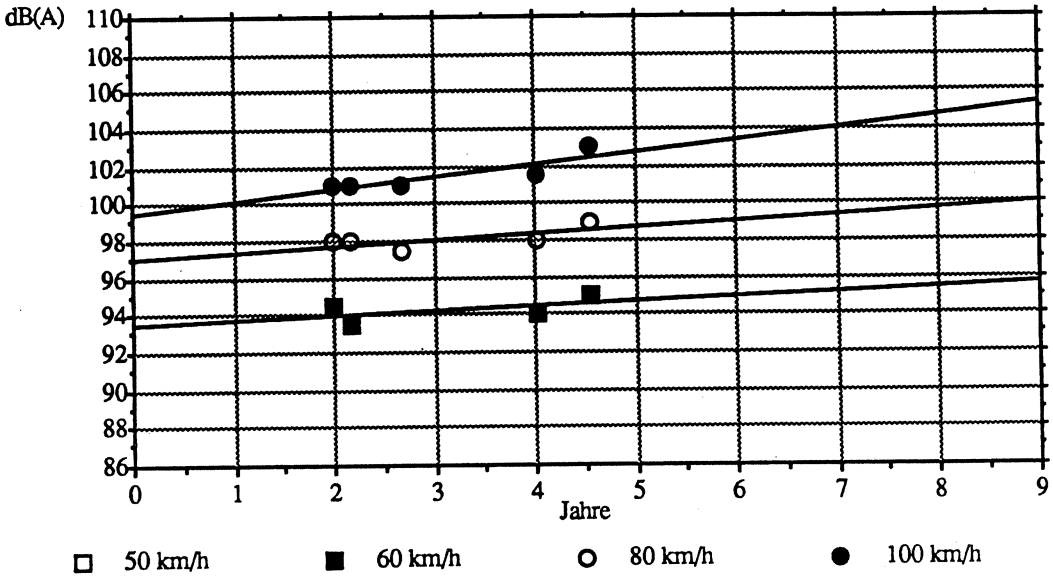


Abb. 25 : Strecke 23 Hinteres Mikrophon

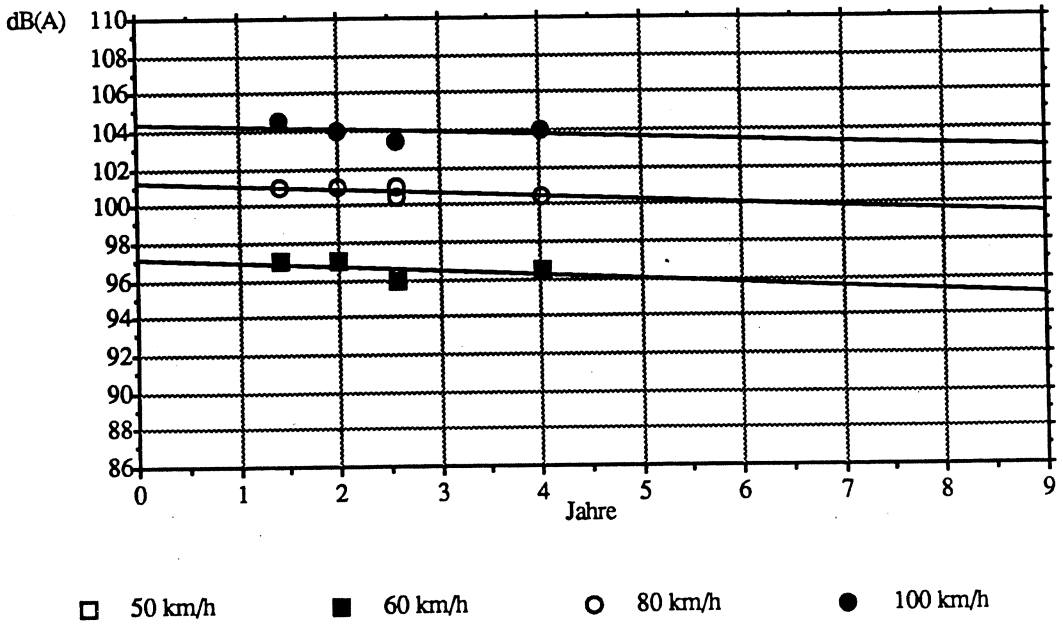


Abb. 26 : Strecke 23 Seitliches Mikrophon

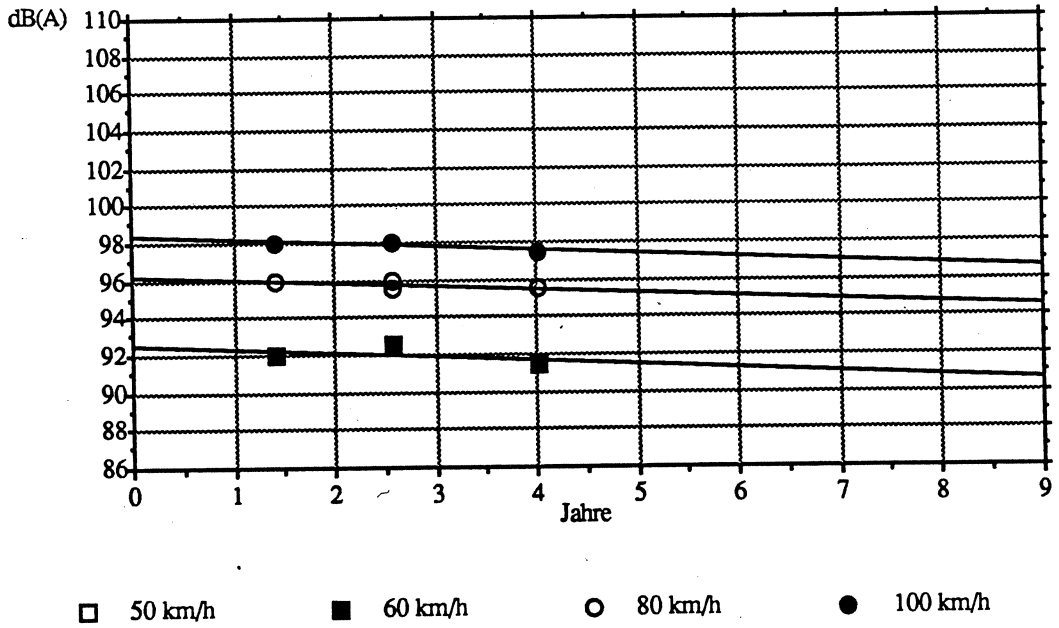


Abb. 27 : Strecke 23 Massgebender Pegel

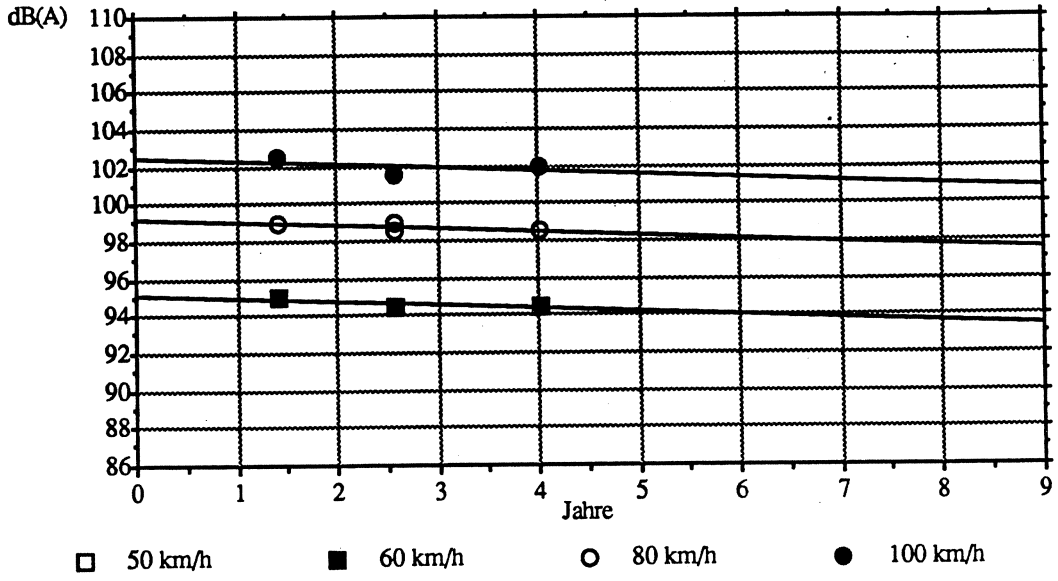


Abb. 28 : Strecke 24 Hinteres Mikrophon

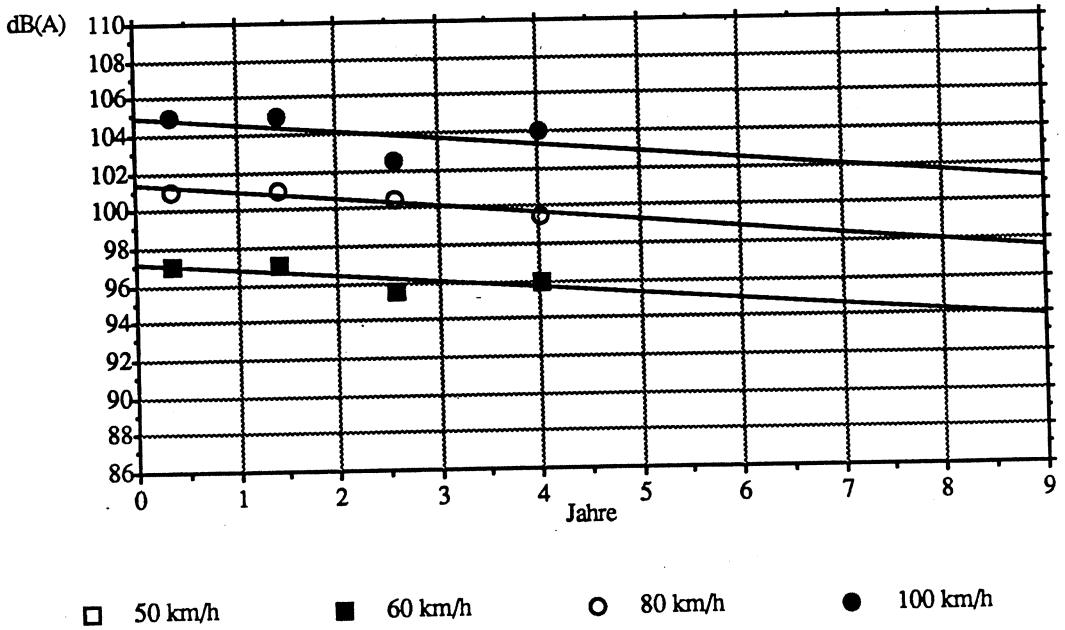


Abb. 29 : Strecke 24 Seitliches Mikrophon

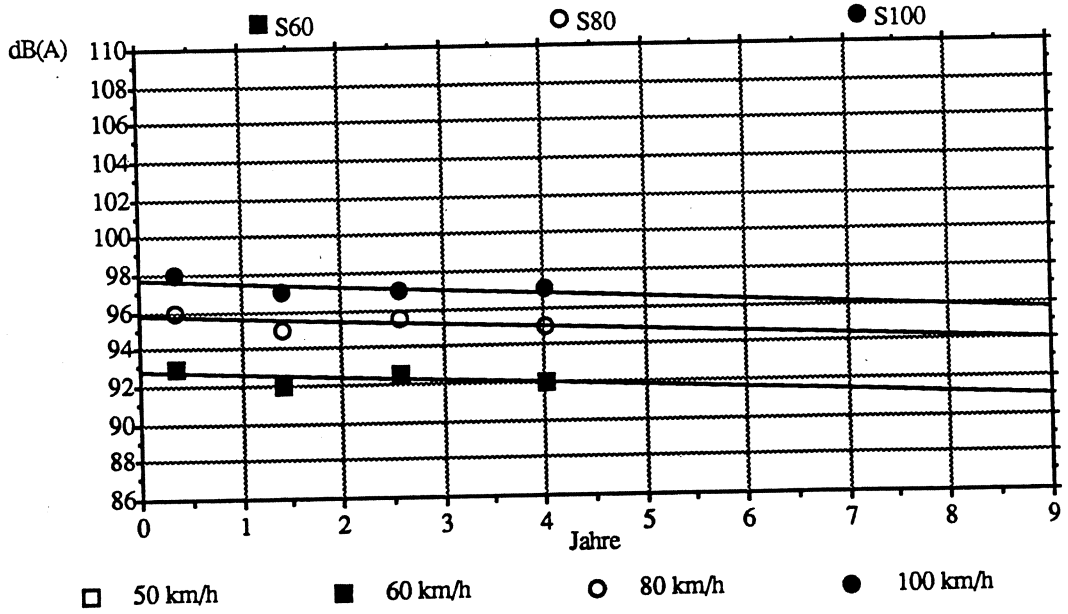


Abb. 30 : Strecke 24 Massgebender Pegel

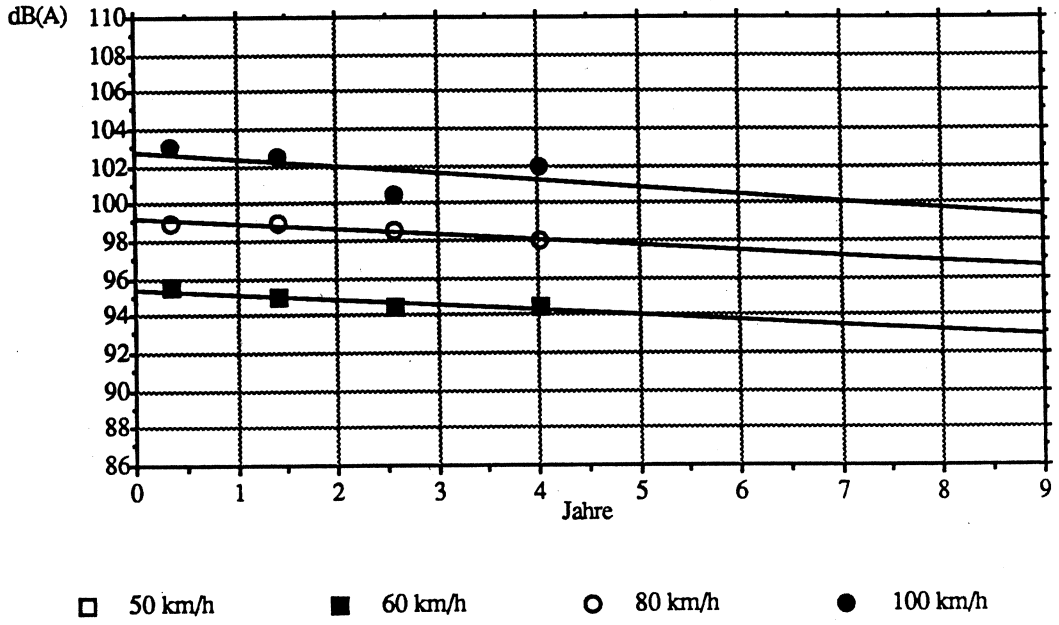


Abb. 31 : Strecke 25 Hinteres Mikrophon

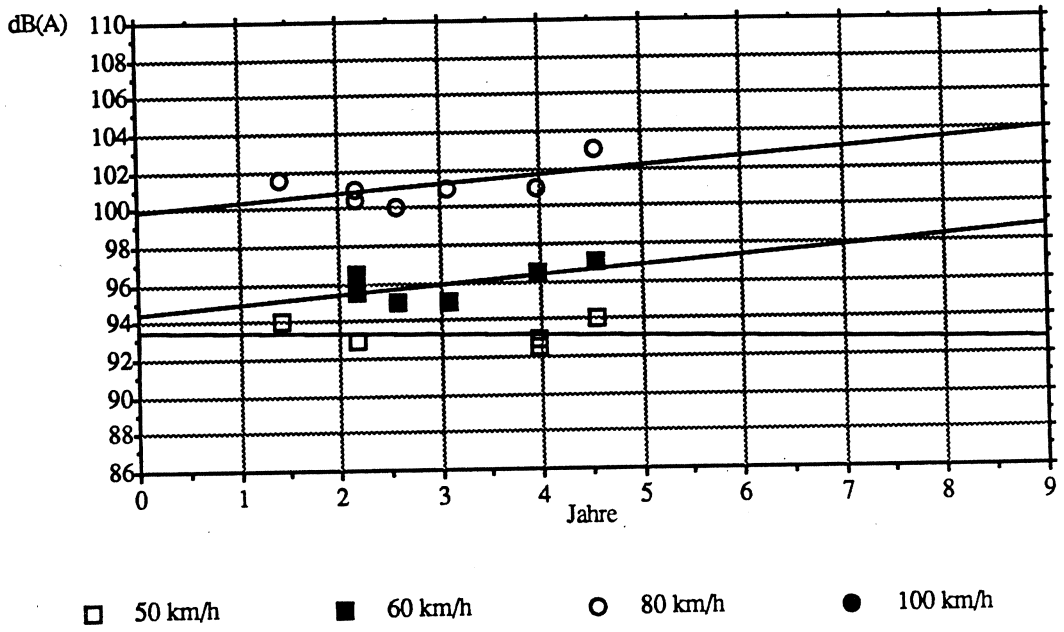


Abb. 32 : Strecke 25 Seitliches Mikrophon

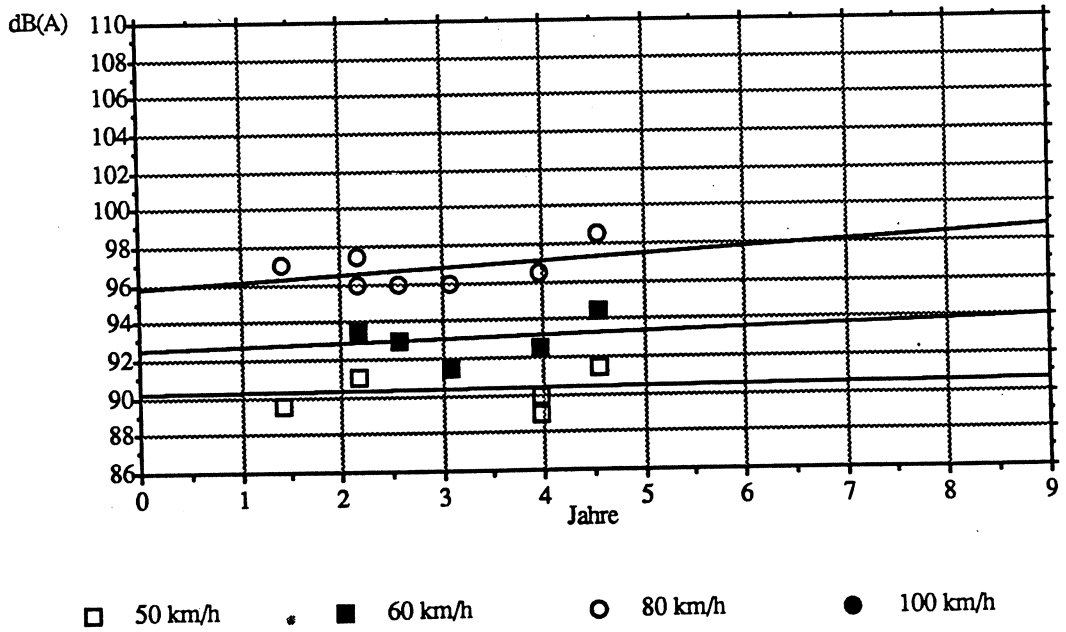


Abb. 33 : Strecke 25 Massgebender Pegel

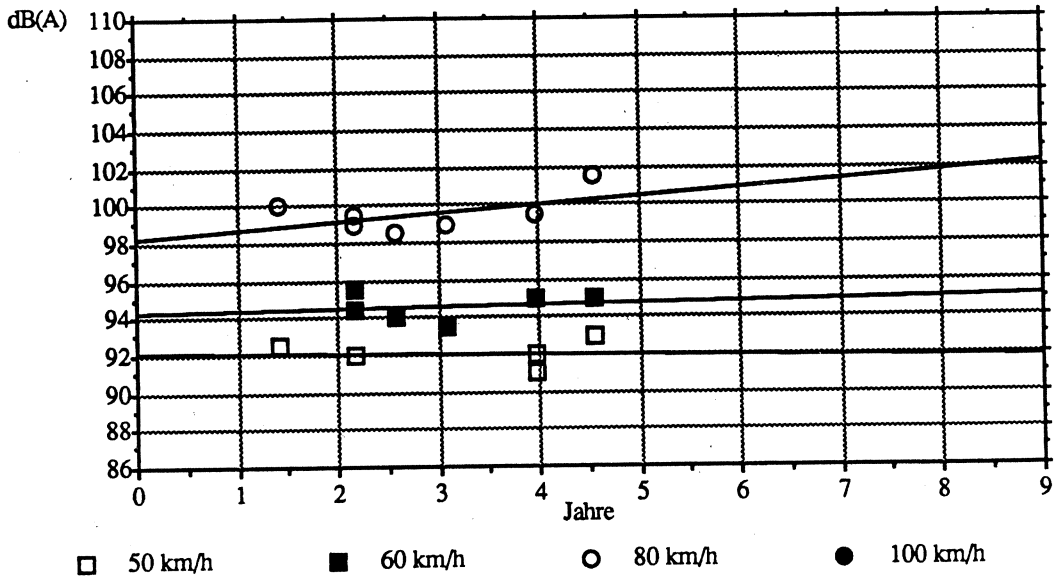


Abb. 34 : Strecke 26 Hinteres Mikrophon

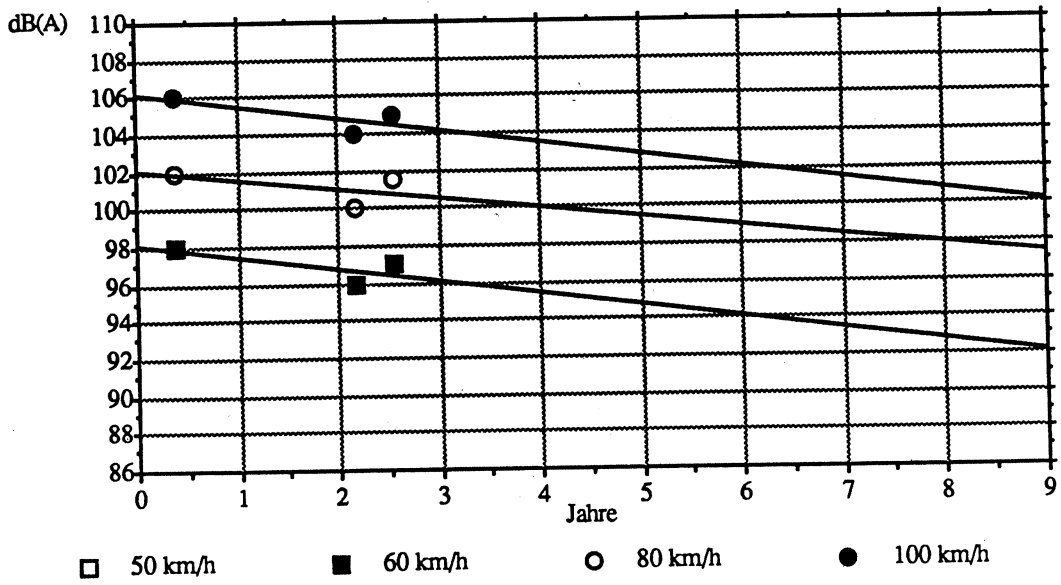


Abb. 35 : Strecke 26 Seitliches Mikrophon

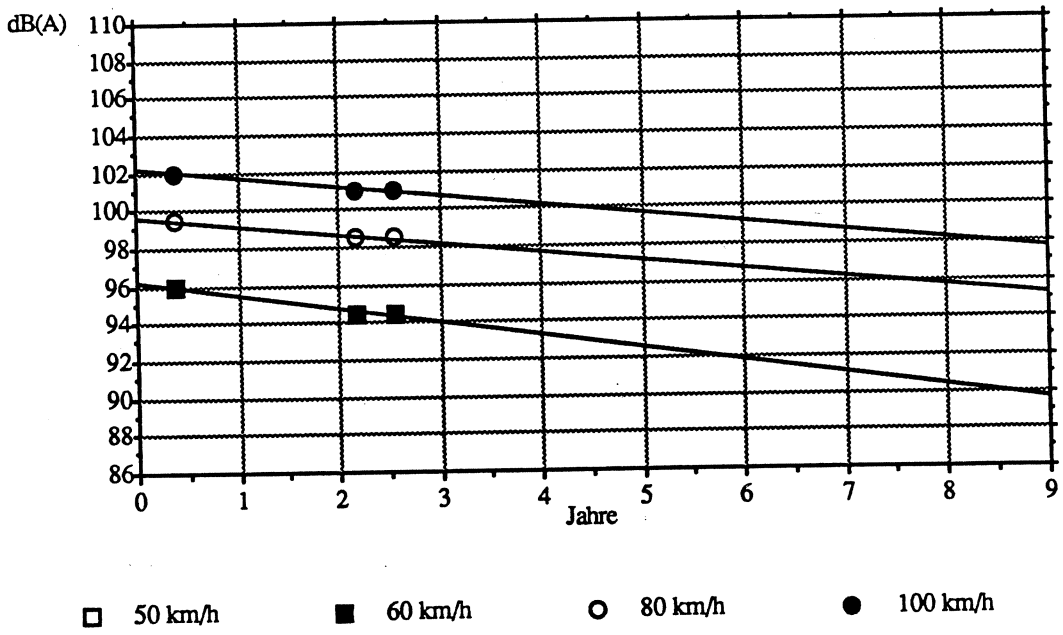


Abb. 36 : Strecke 26 Massgebender Pegel

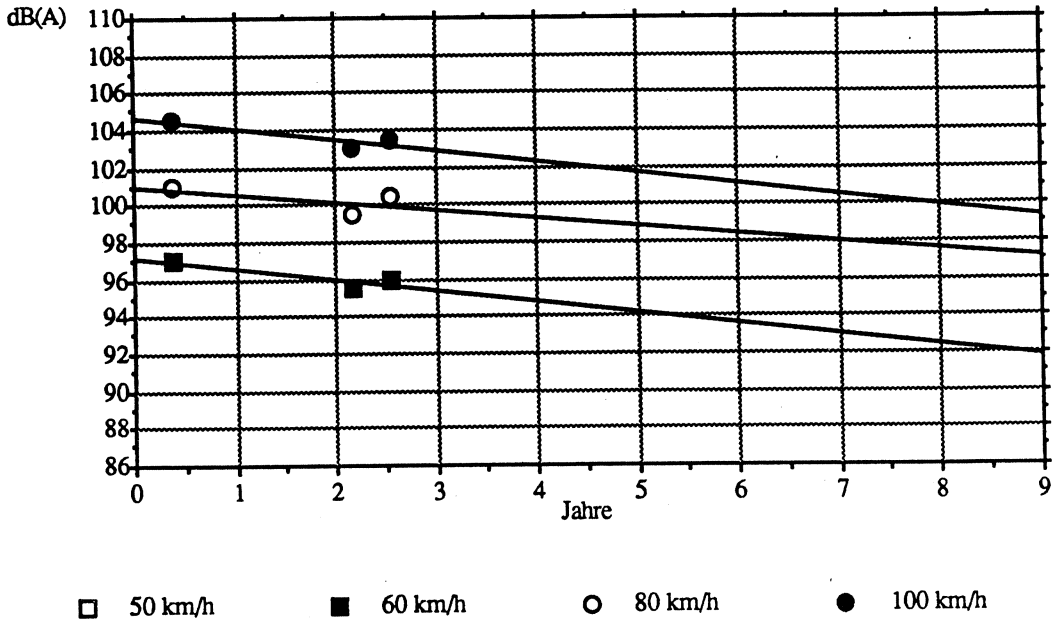


Abb. 37 : Strecke 27 Hinteres Mikrophon

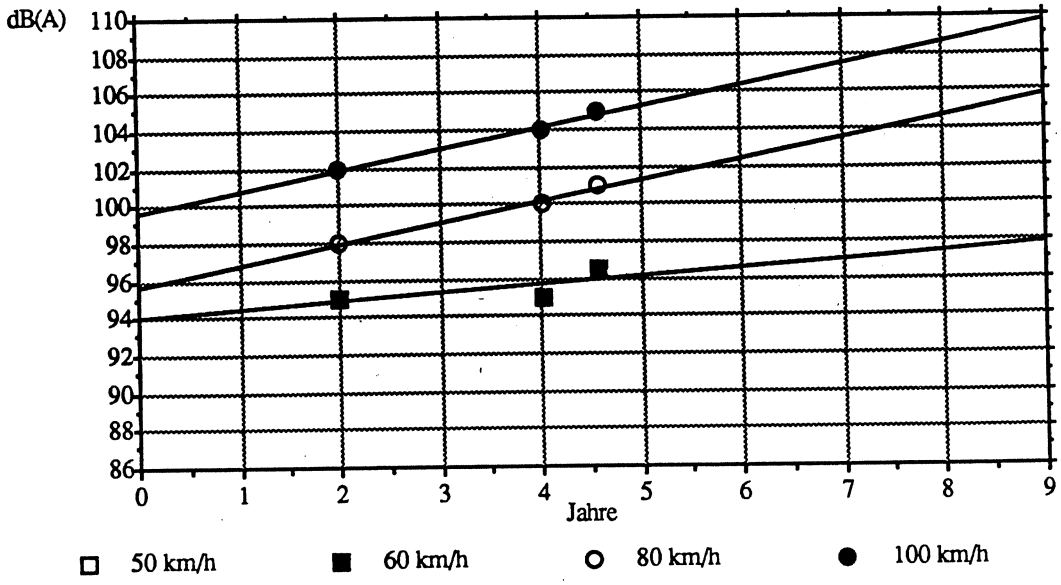


Abb. 38 : Strecke 27 Seitliches Mikrophon

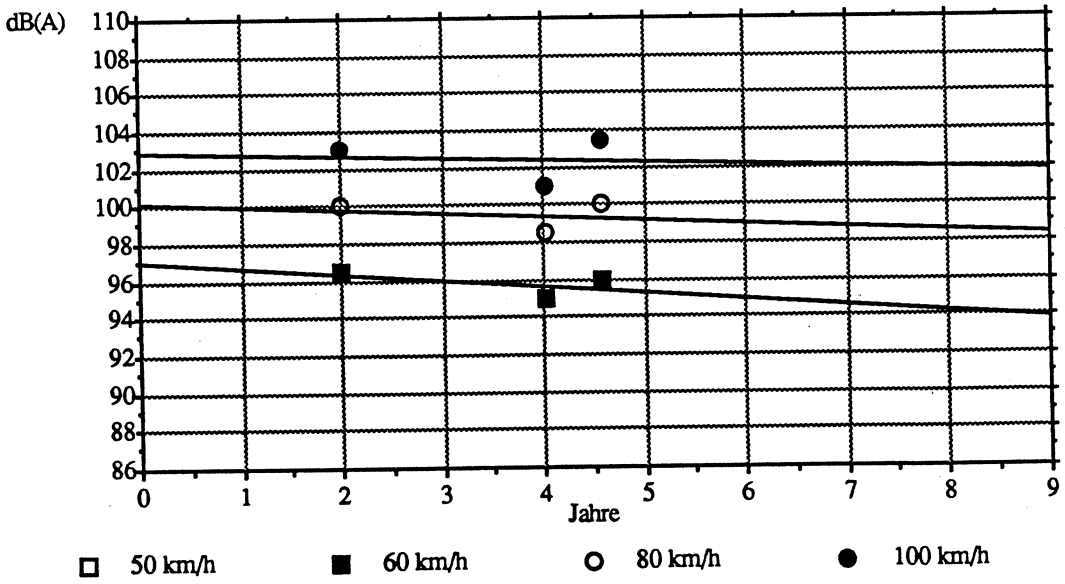


Abb. 39 : Strecke 27 Massgebender Pegel

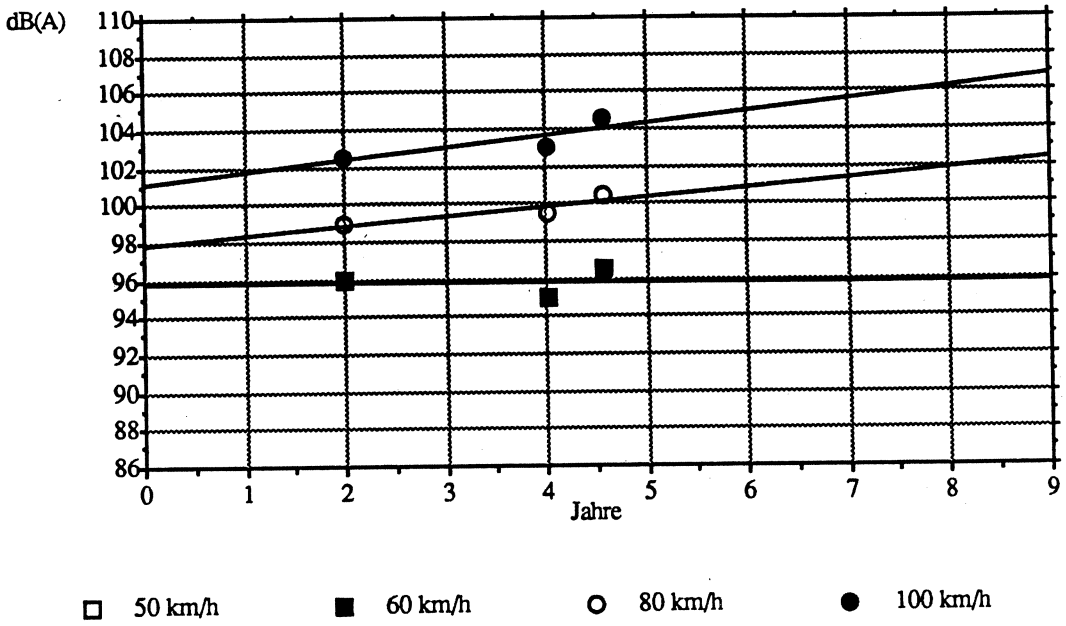


Abb. 40 : Strecke 28 Hinteres Mikrophon

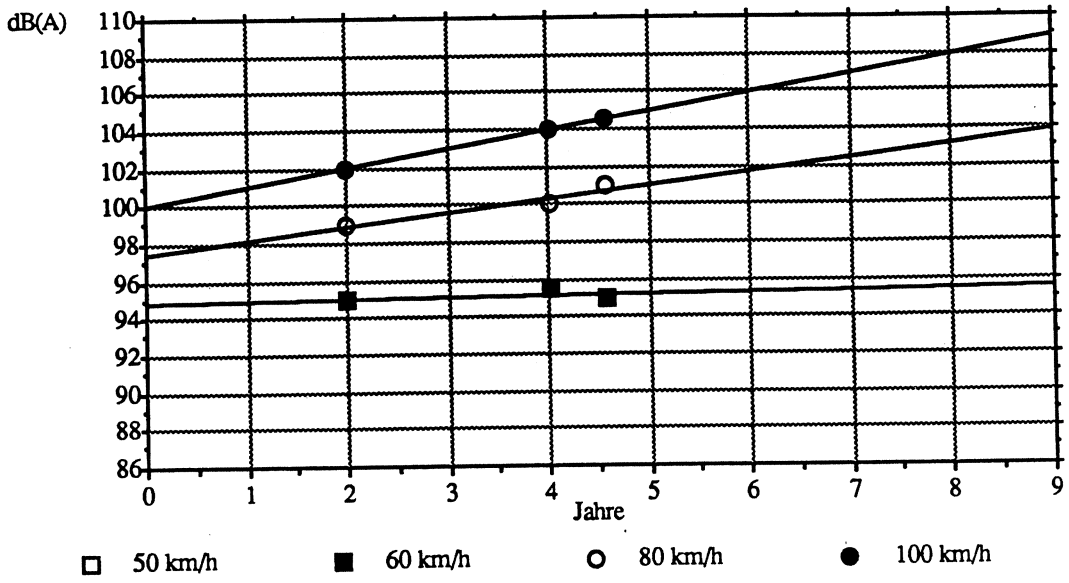


Abb. 41 : Strecke 28 Seitliches Mikrophon

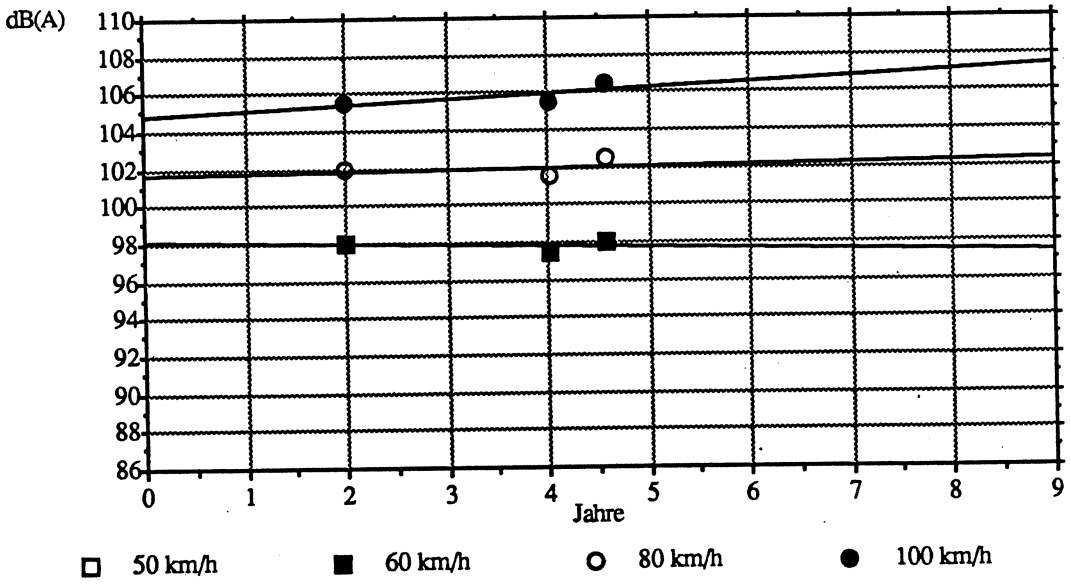


Abb. 42 : Strecke 28 Massgebender Pegel

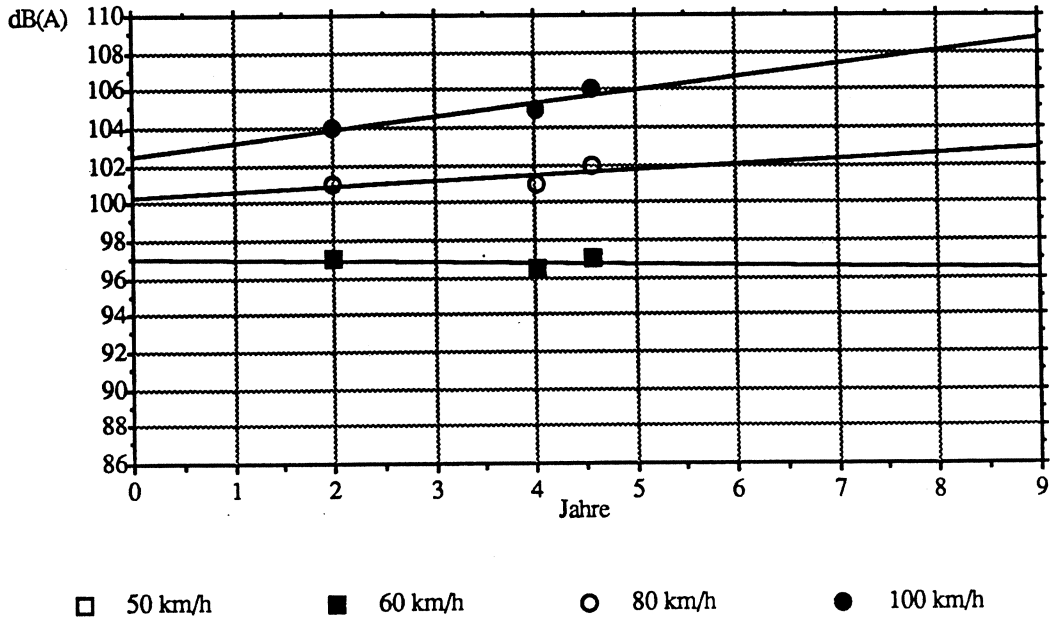


Abb. 43 : Strecke 29 Hinteres Mikrophon

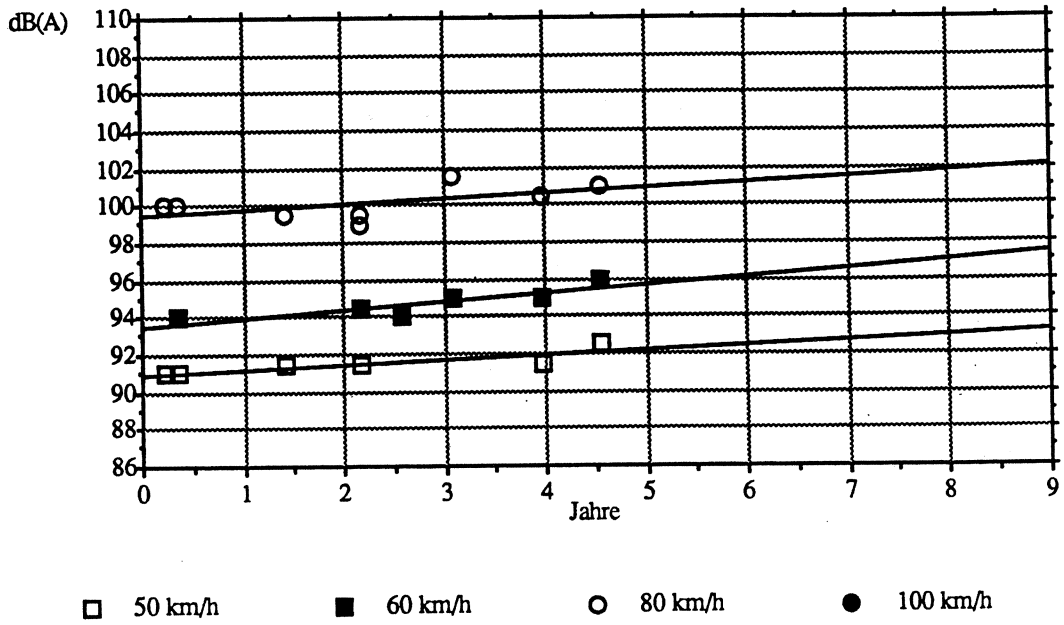


Abb. 44 : Strecke 29 Seitliches Mikrophon

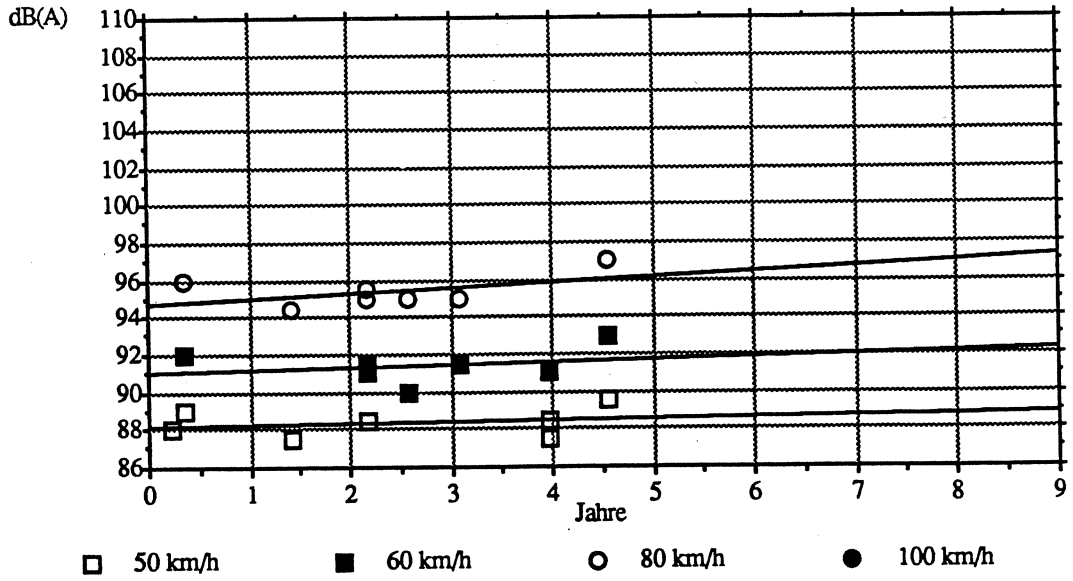


Abb. 45 : Strecke 29 Massgebender Pegel

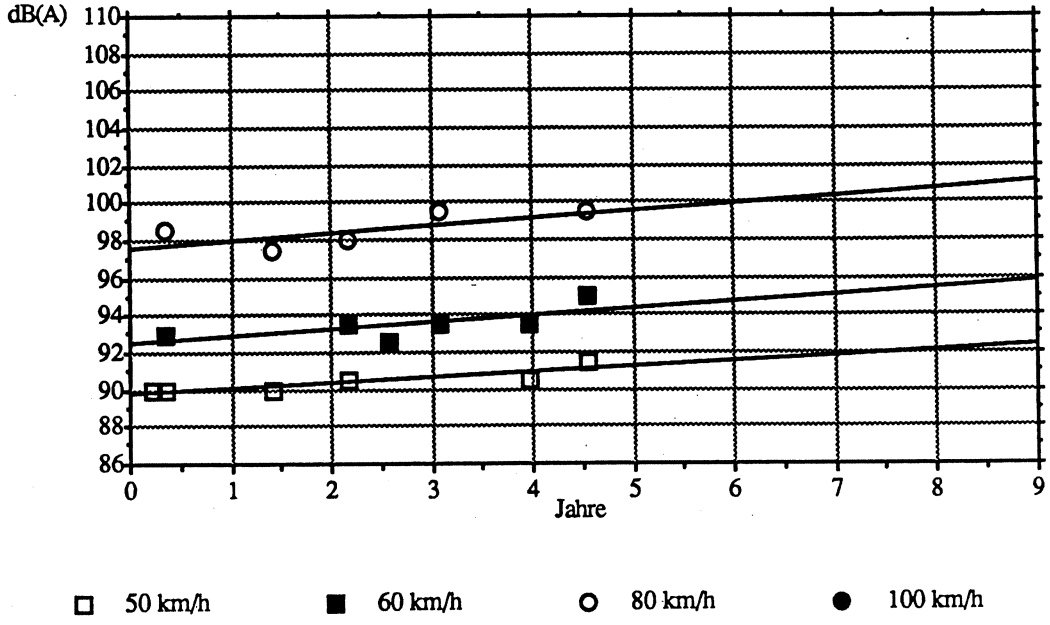


Abb. 46 : Strecke 30 Hinteres Mikrophon

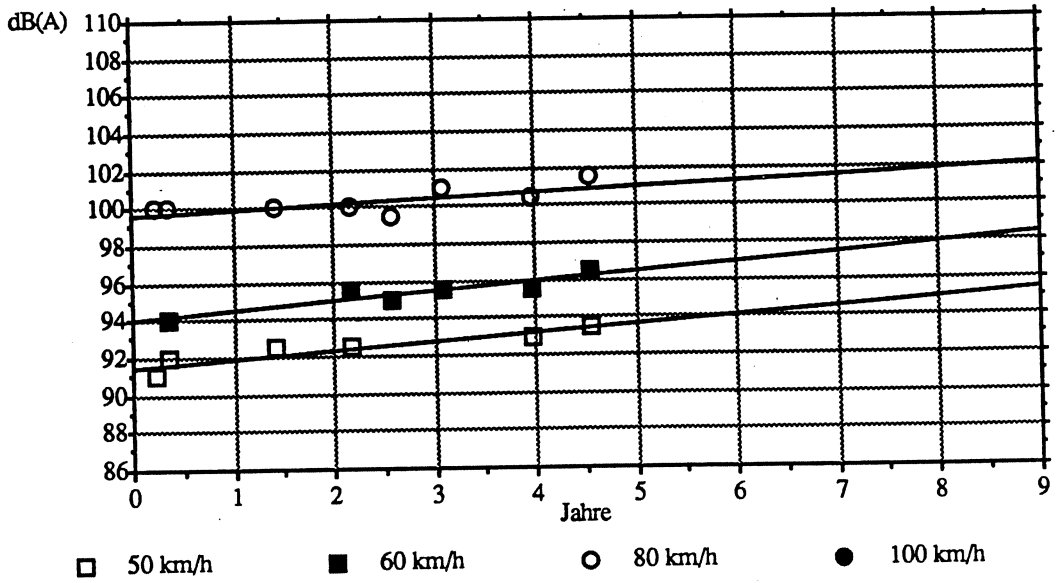


Abb. 47 : Strecke 30 Seitliches Mikrophon

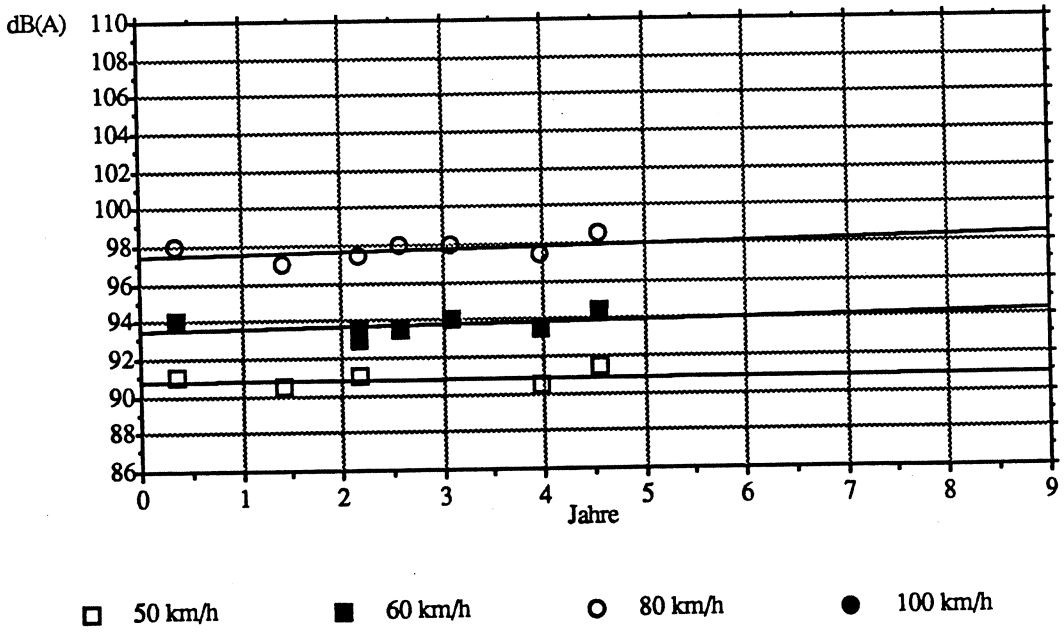
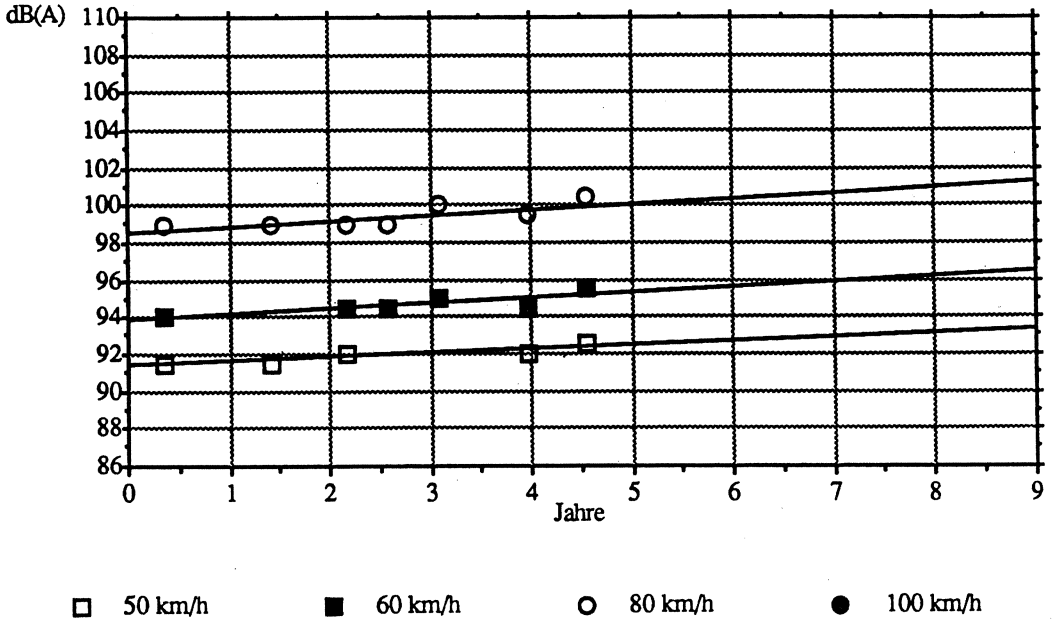


Abb. 48 : Strecke 30 Massgebender Pegel



Beilage 4

Pegelzunahmen der einzelnen Belagsarten in Abhängigkeit der Geschwindigkeit.

Abb. 1 : AB 10 Hinteres Mikrophon

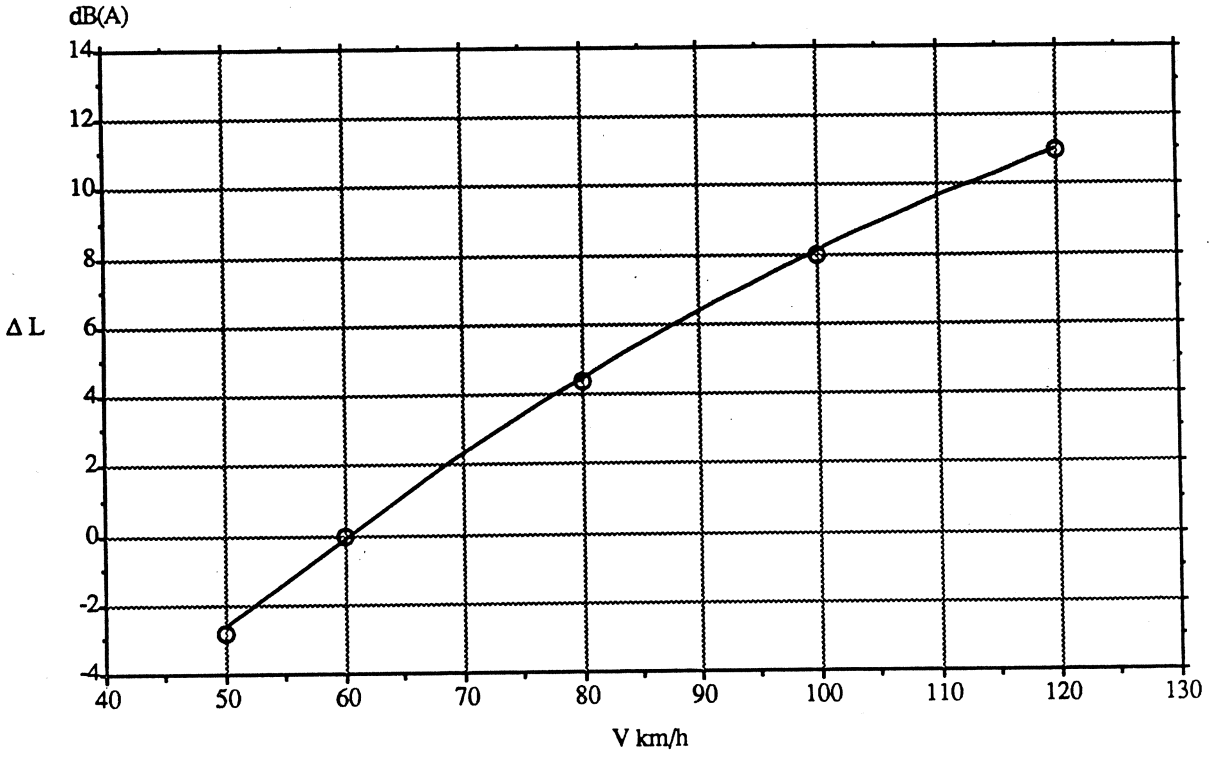


Abb. 2 : AB 10 Seitliches Mikrophon

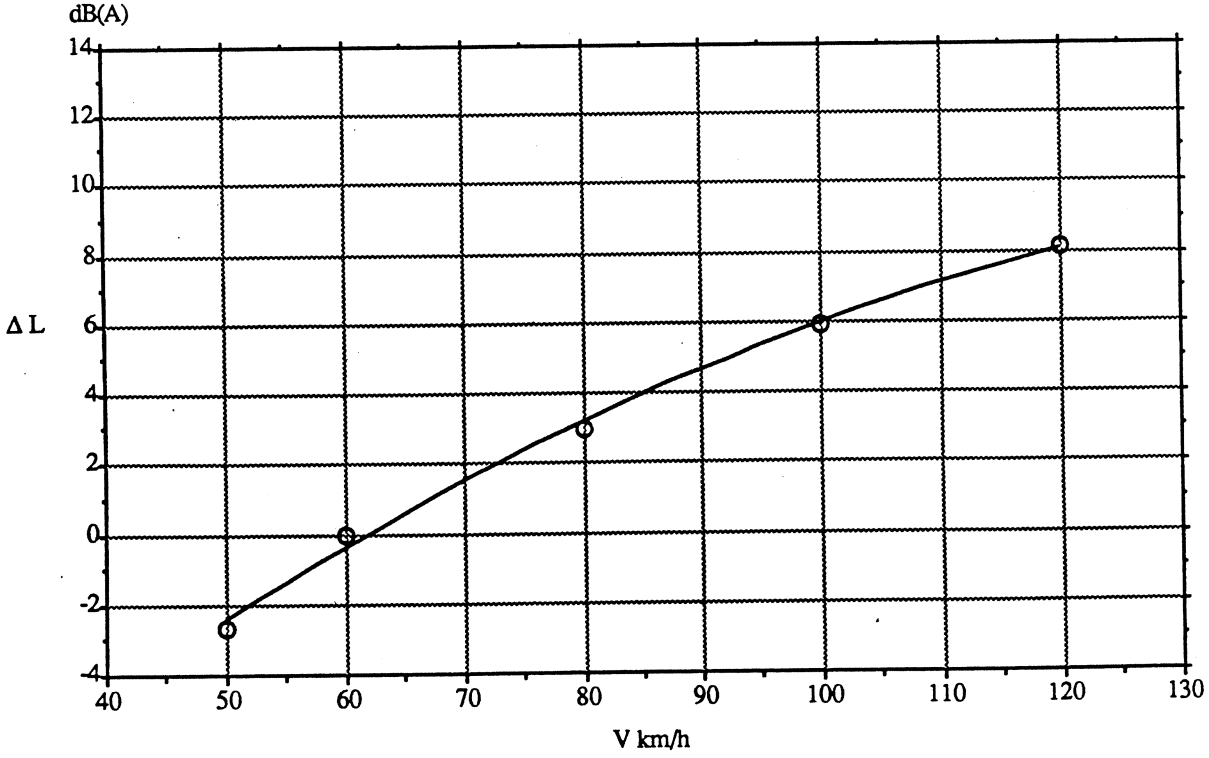


Abb. 3 : AB 10 Massgebender Pegel

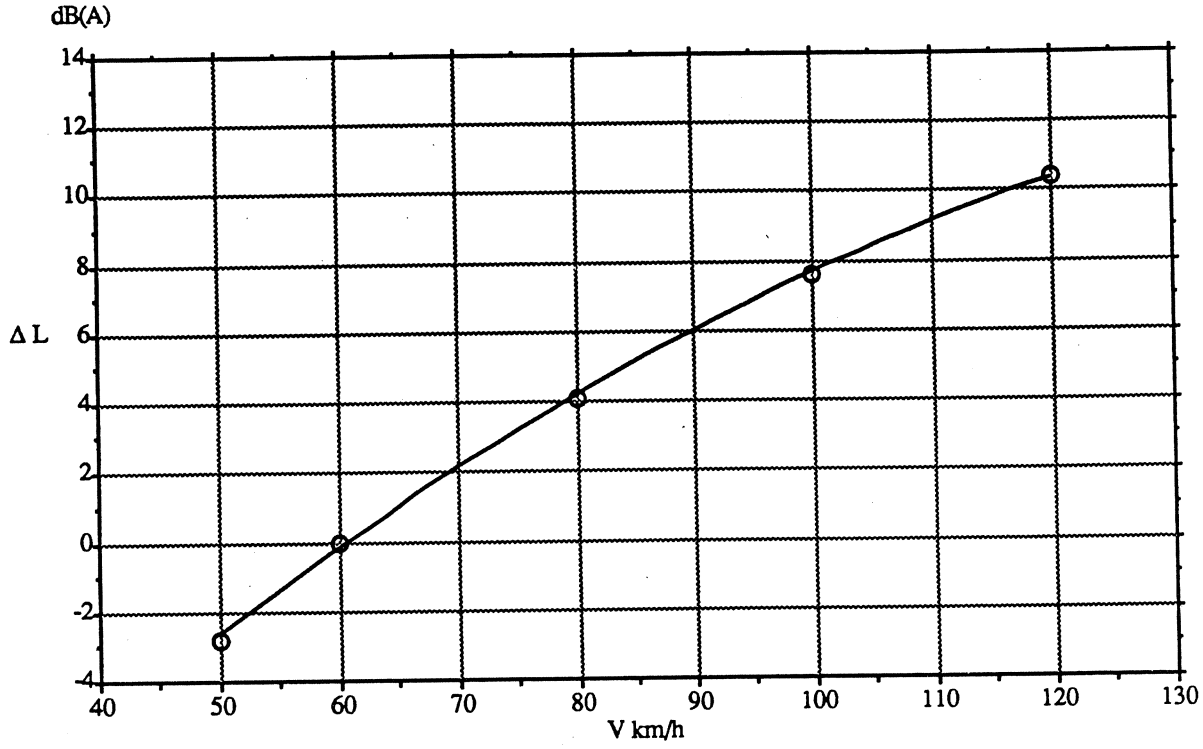


Abb. 4 : AB 16 Hinteres Mikrophon

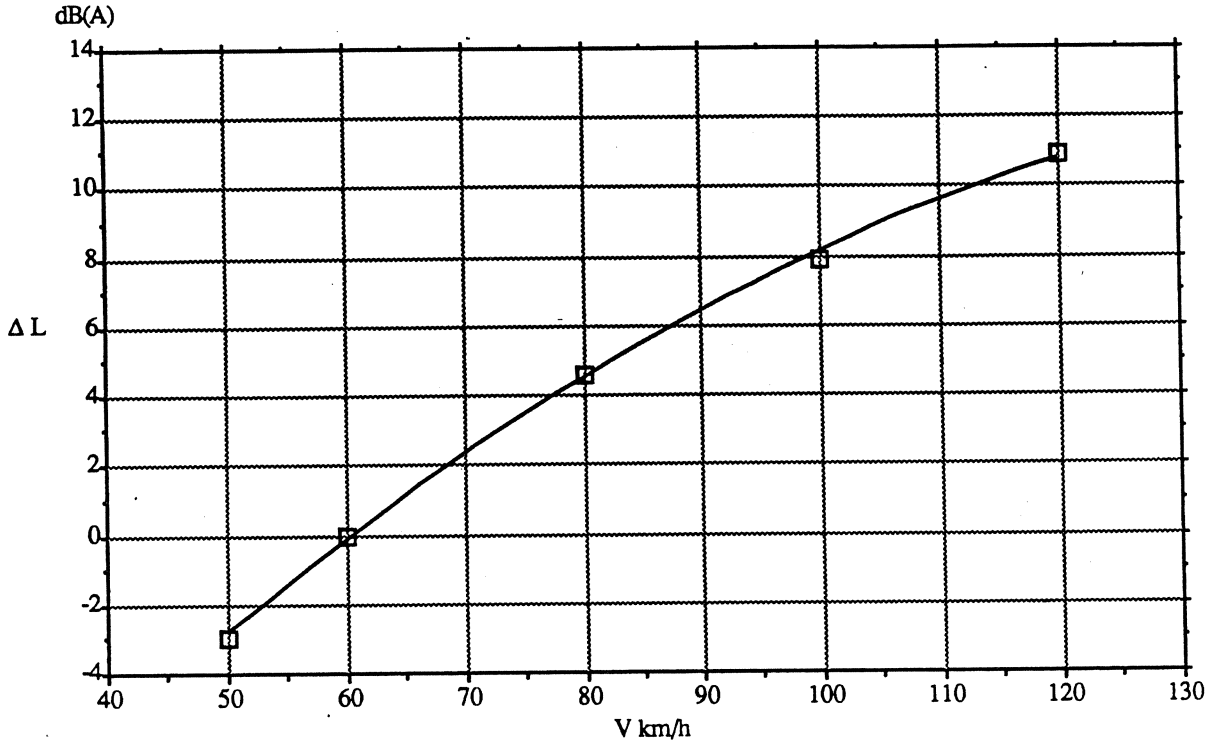


Abb. 5 : AB 16 Seitliches Mikrophon

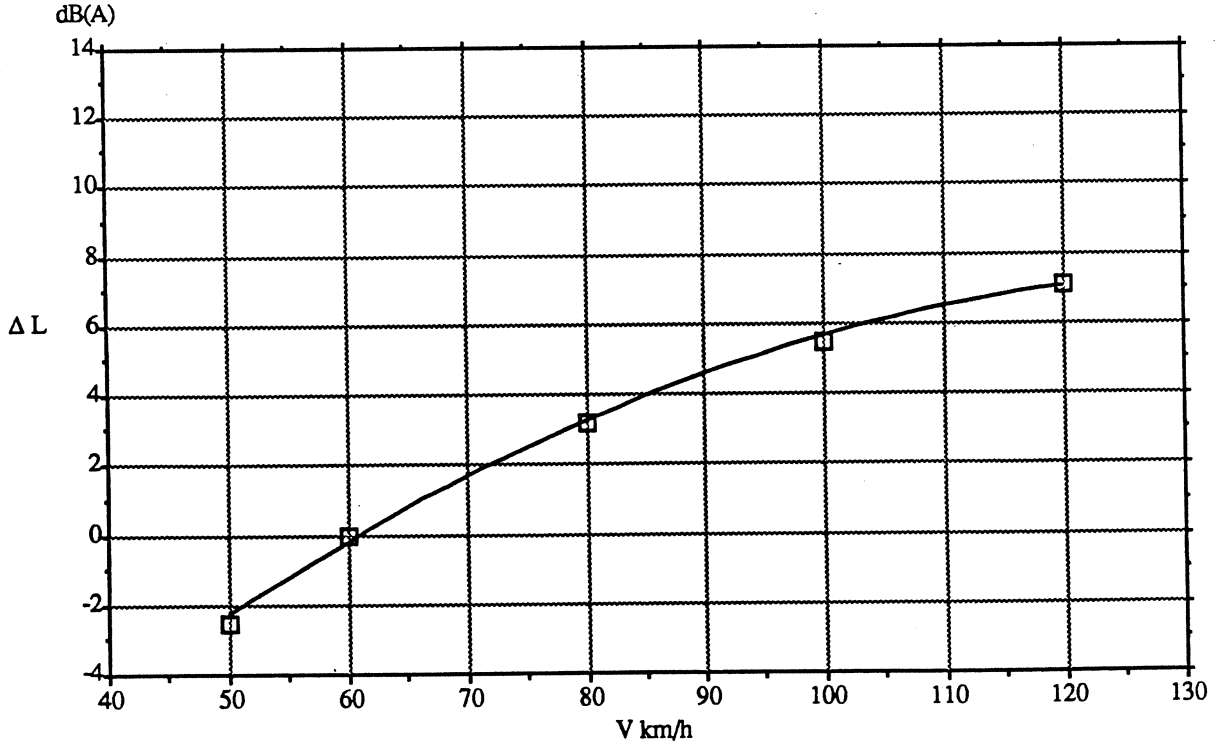


Abb. 6 : AB 16 Massgebender Pegel

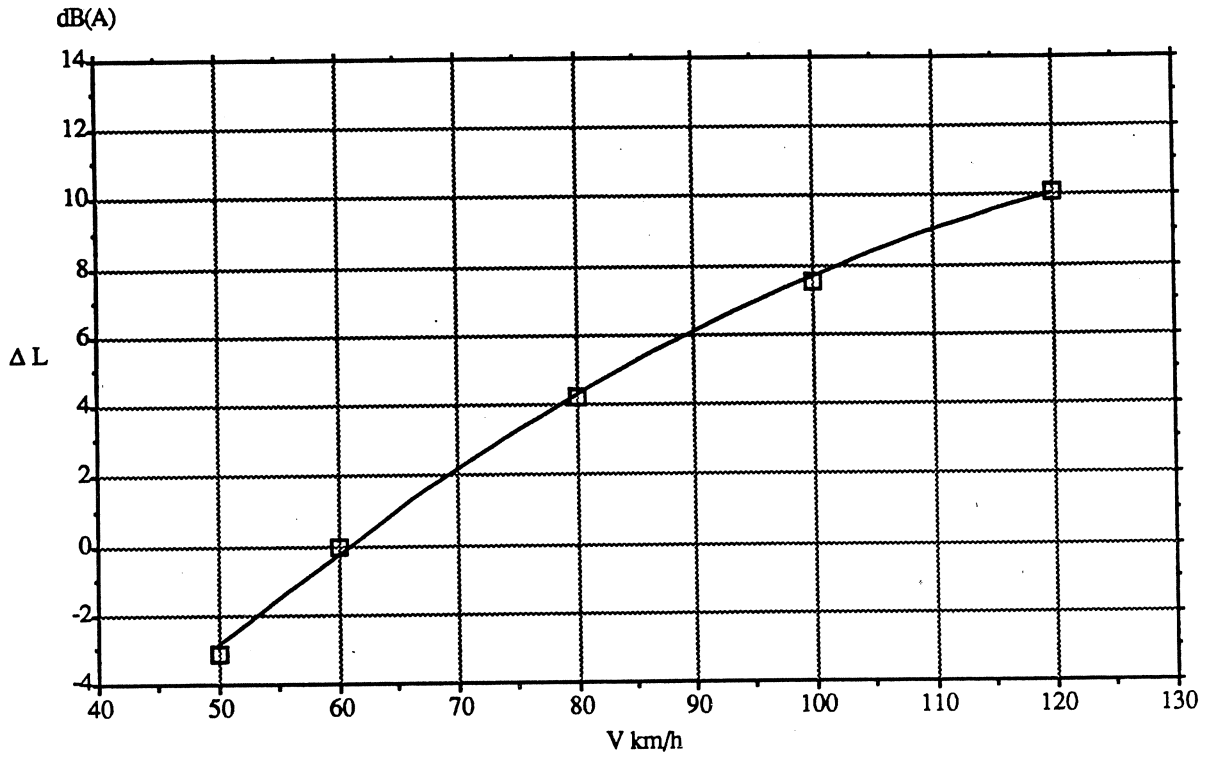


Abb. 7 : Beton Hinteres Mikrophon

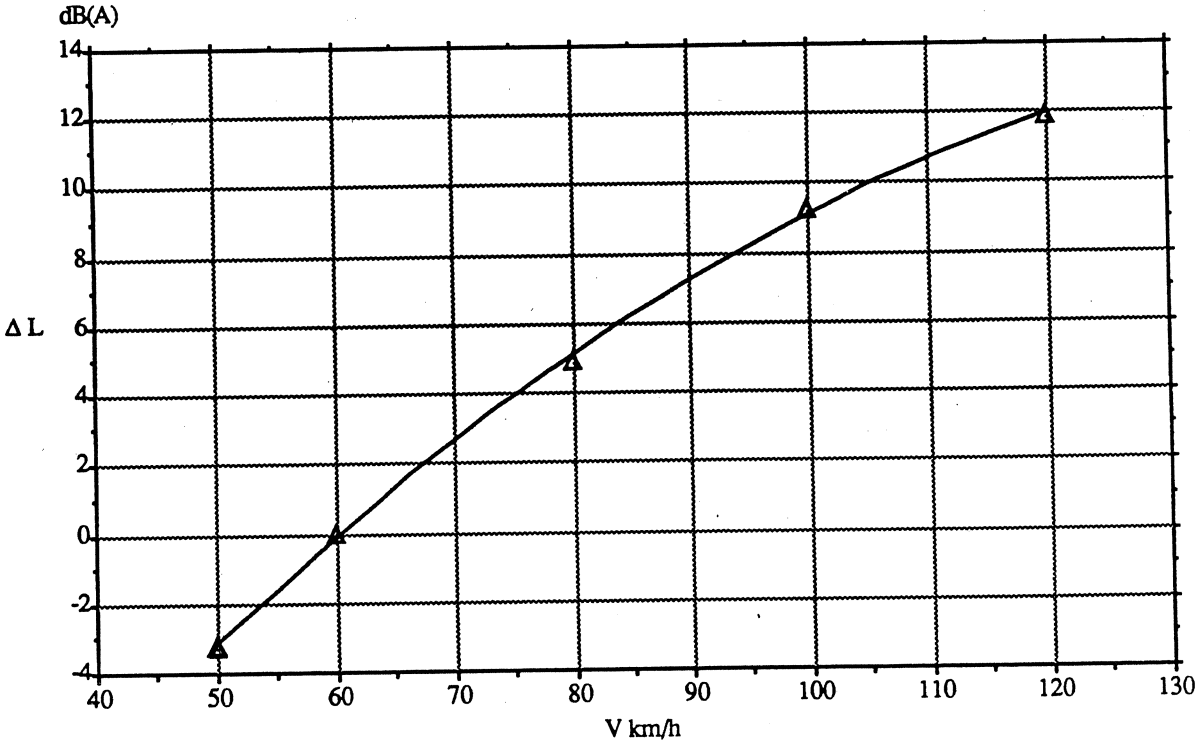


Abb. 8 : Beton Seitliches Mikrophon

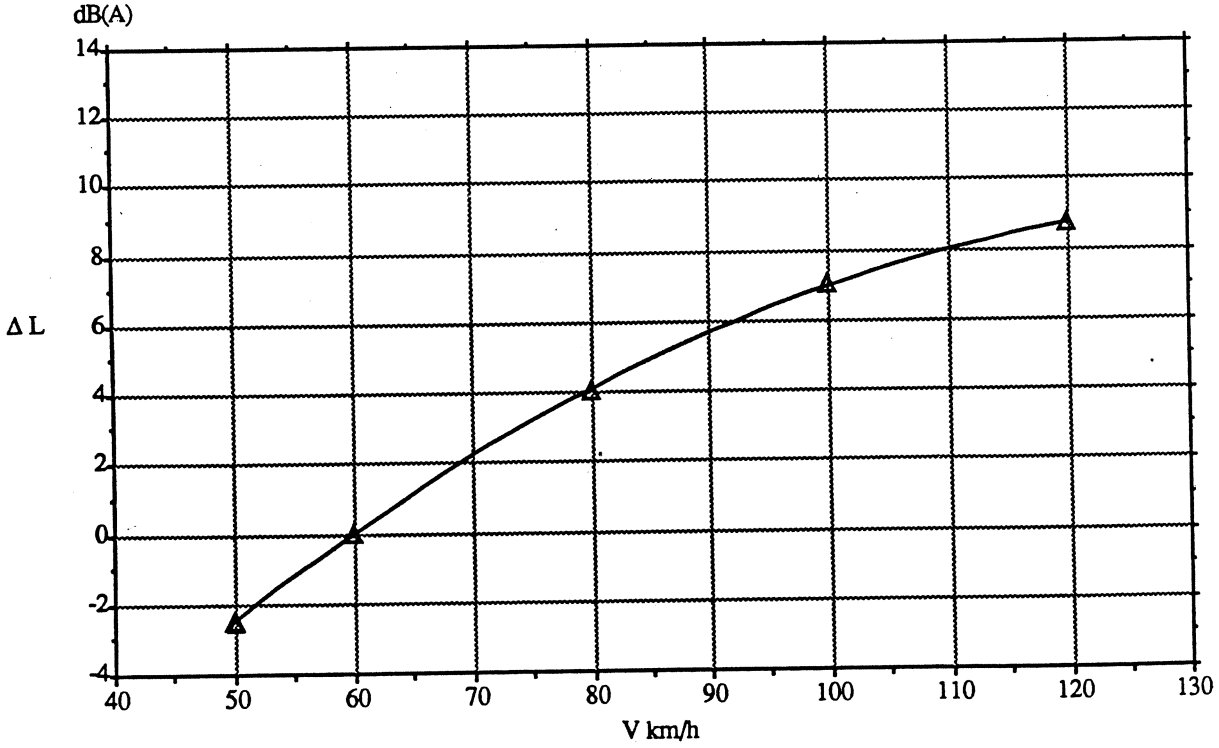


Abb. 9 : Beton Massgebender Pegel

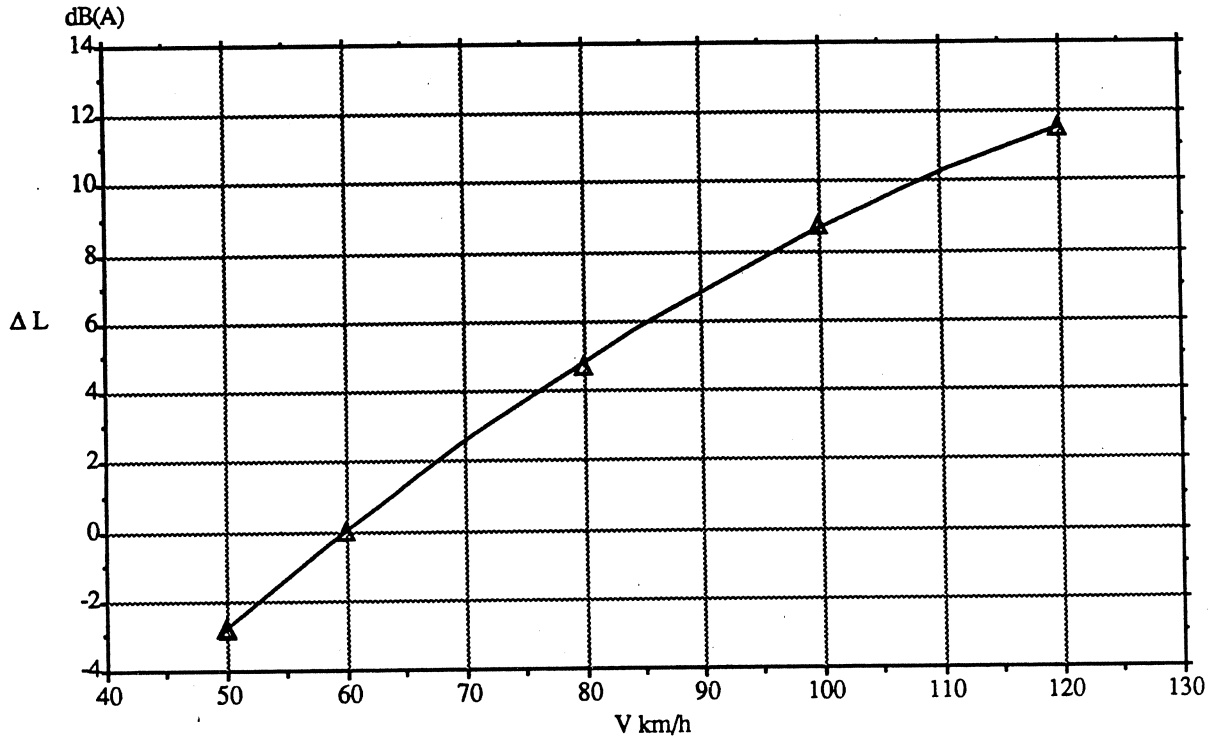


Abb. 10 : Drain 0/10 Hinteres Mikrophon

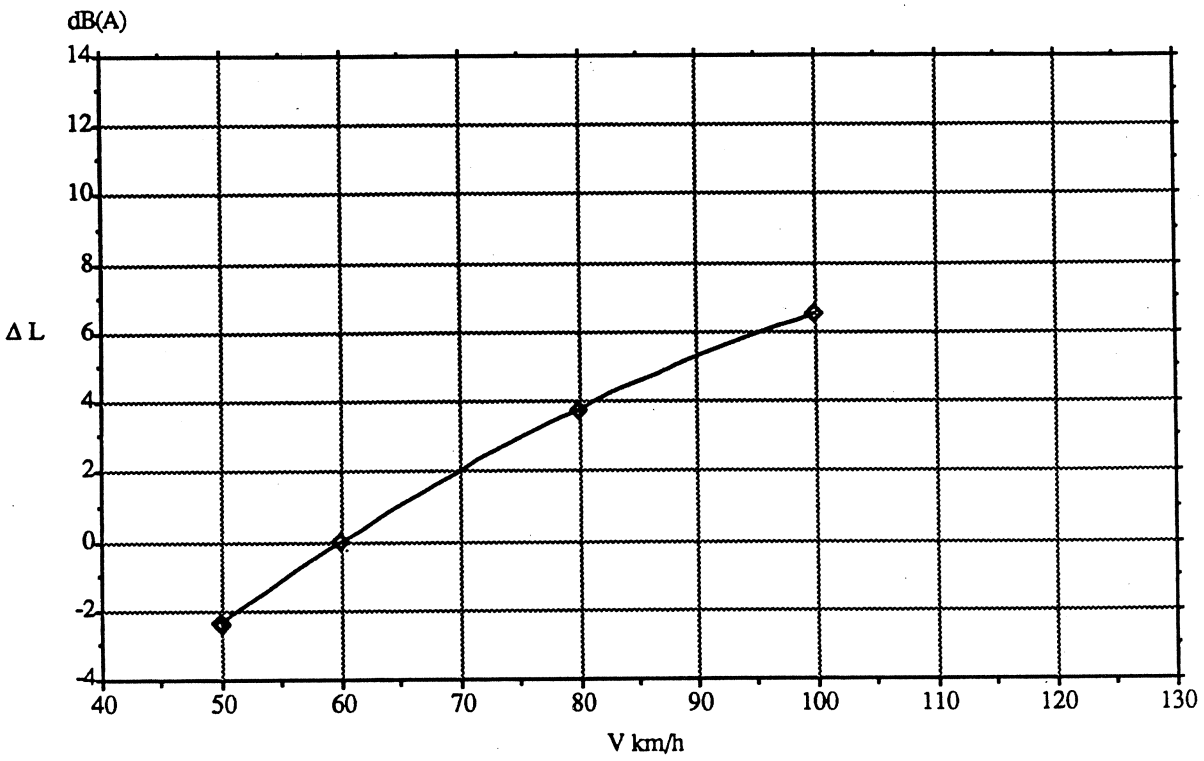


Abb. 11 : Drain 0/10 Seitliches Mikrophon

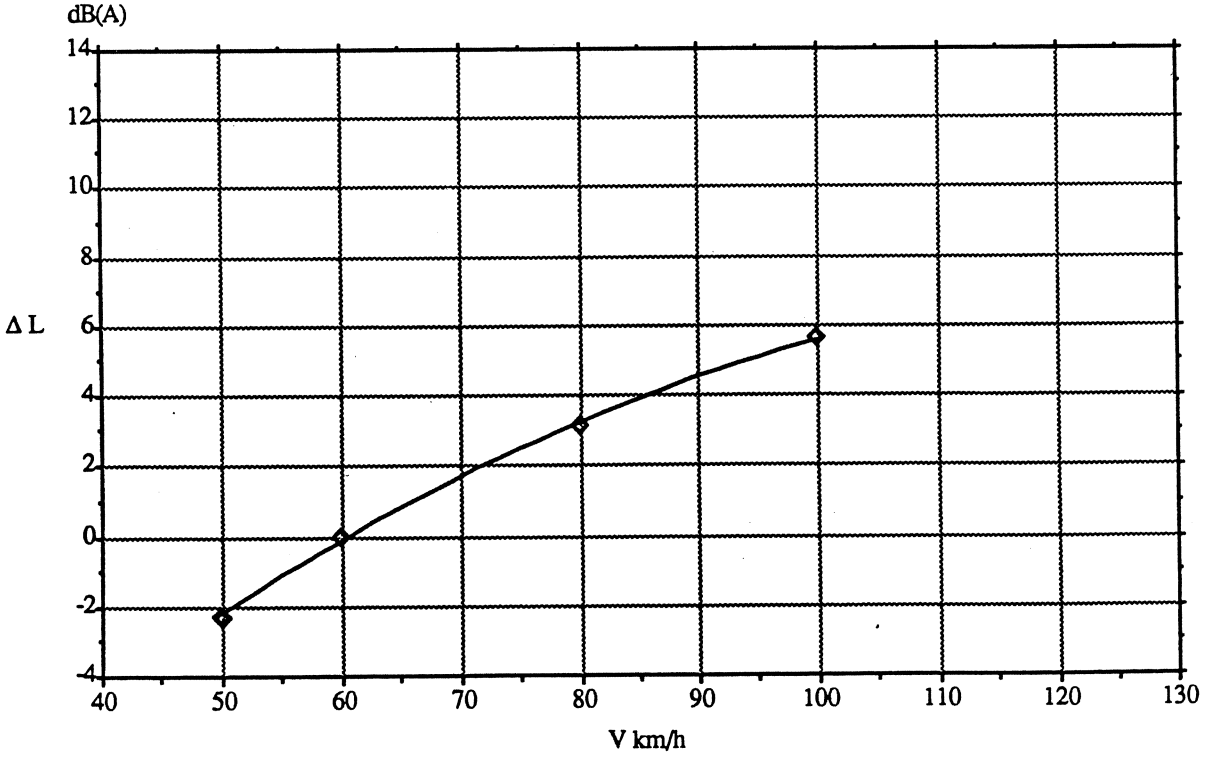


Abb. 12 : Drain 0/10 Massgebender Pegel

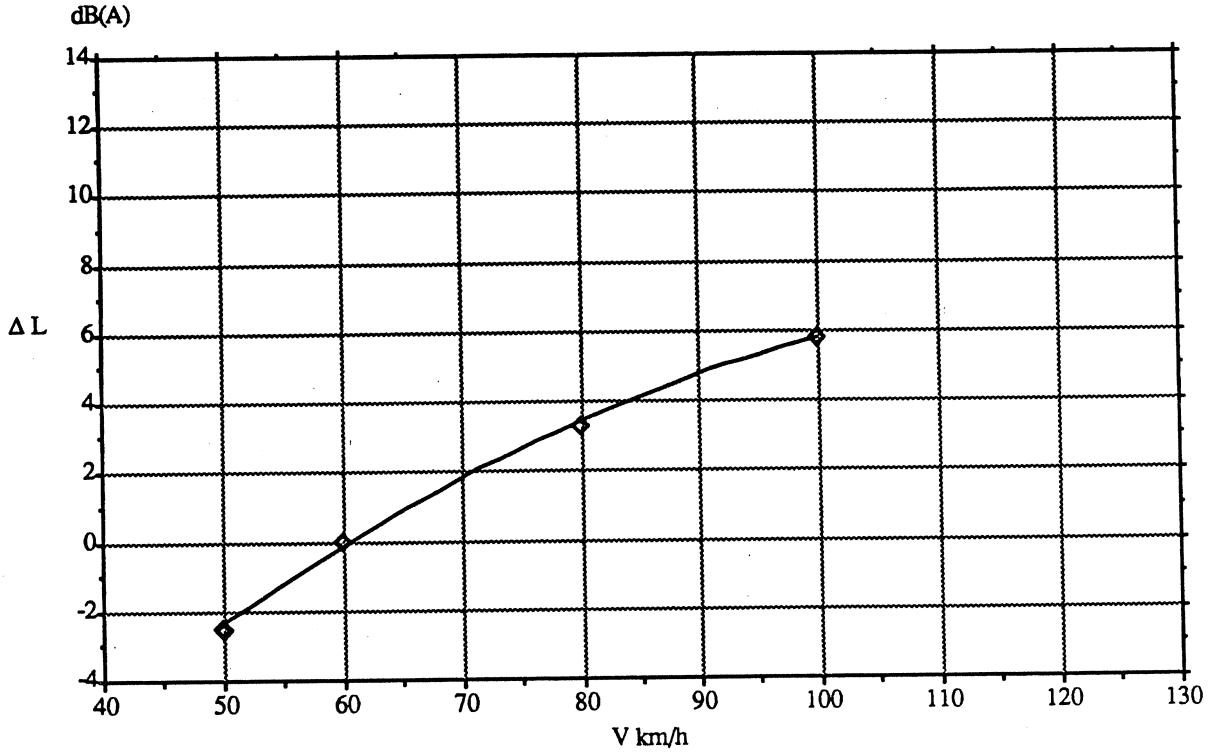


Abb. 13 : Drain 0/16 Hinteres Mikrophon

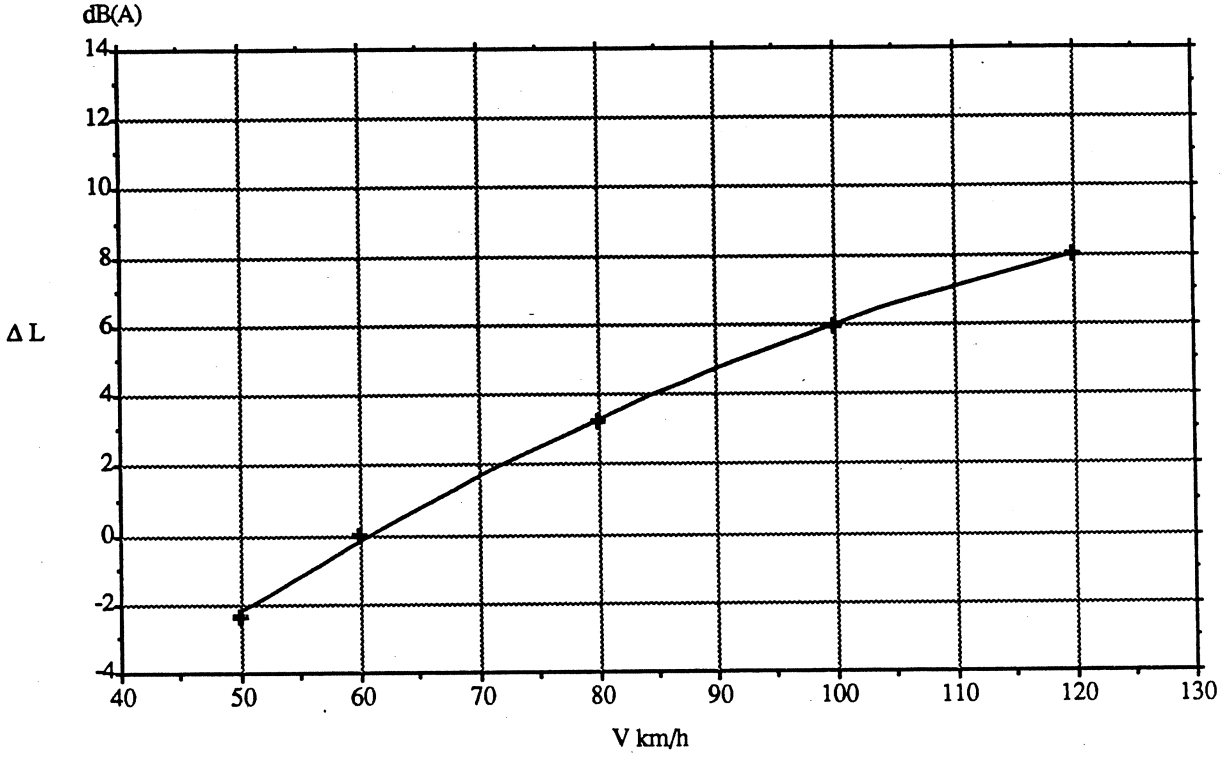


Abb. 14 : Drain 0/16 Seitliches Mikrophon

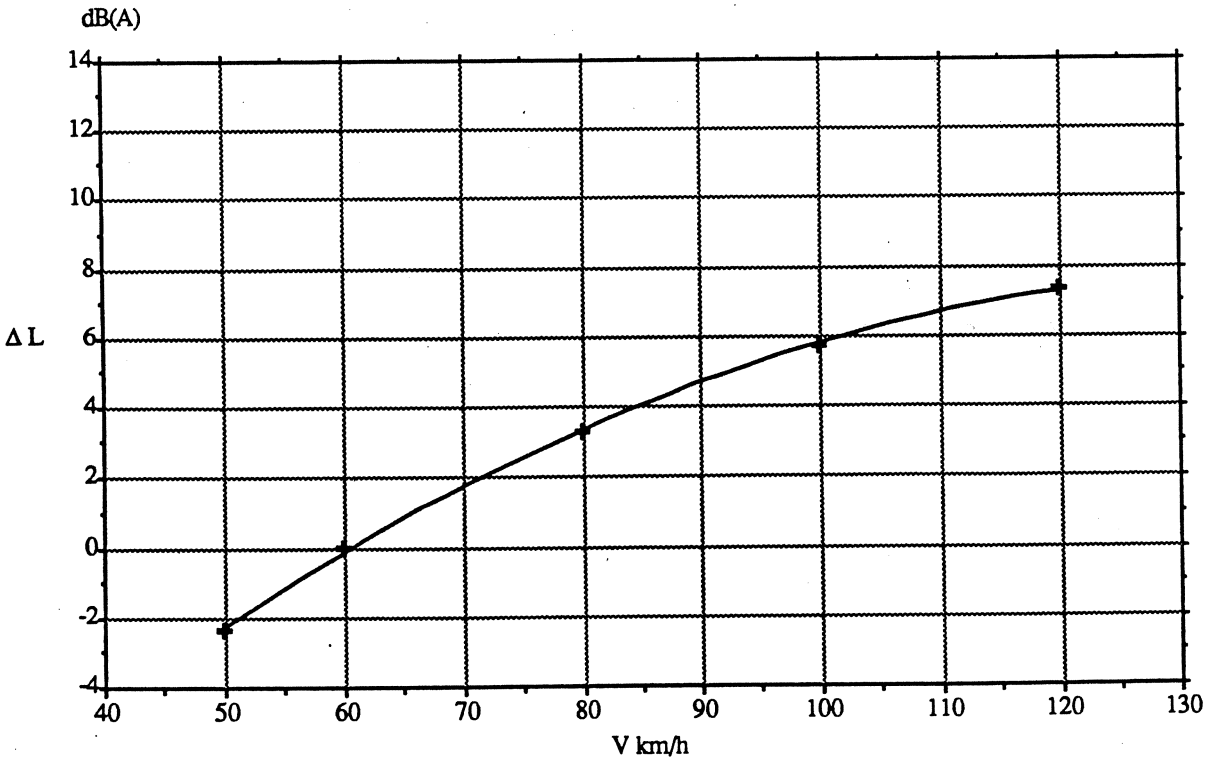


Abb. 15 : Drain 0/16 Massgebender Pegel

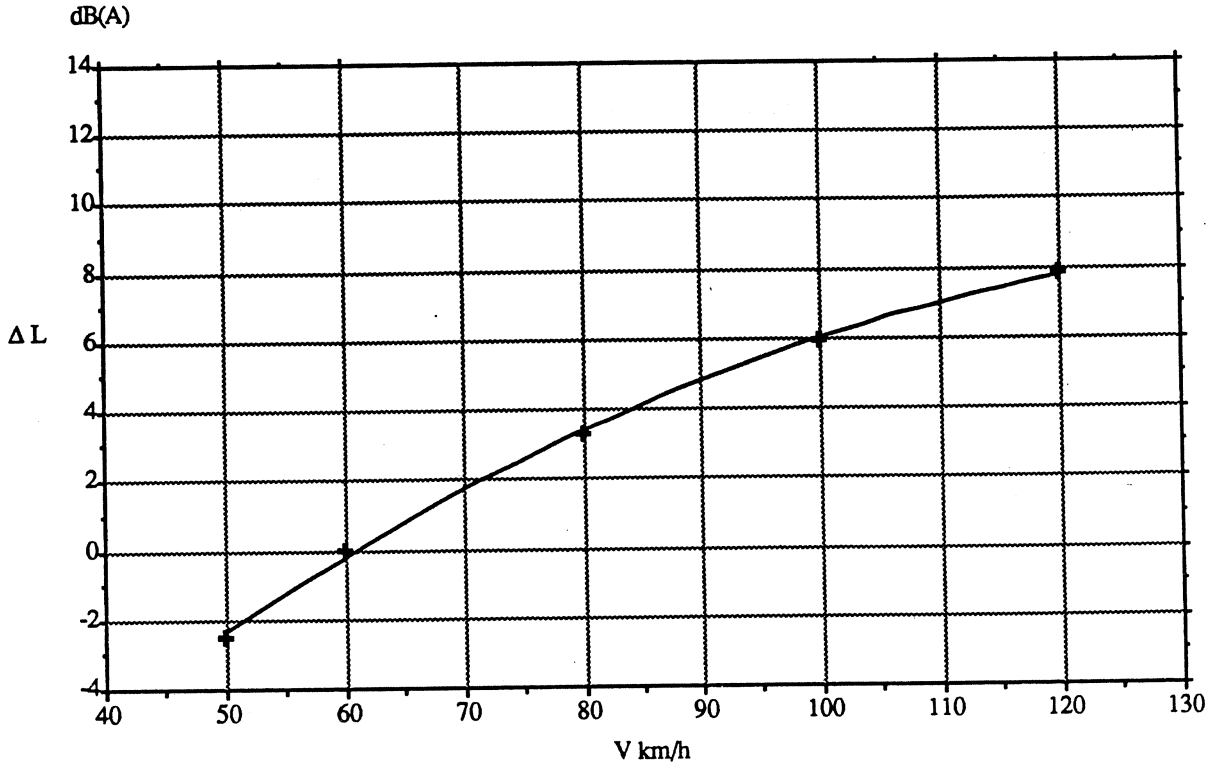


Abb. 16 : Gussasphalt Hinteres Mikrophon

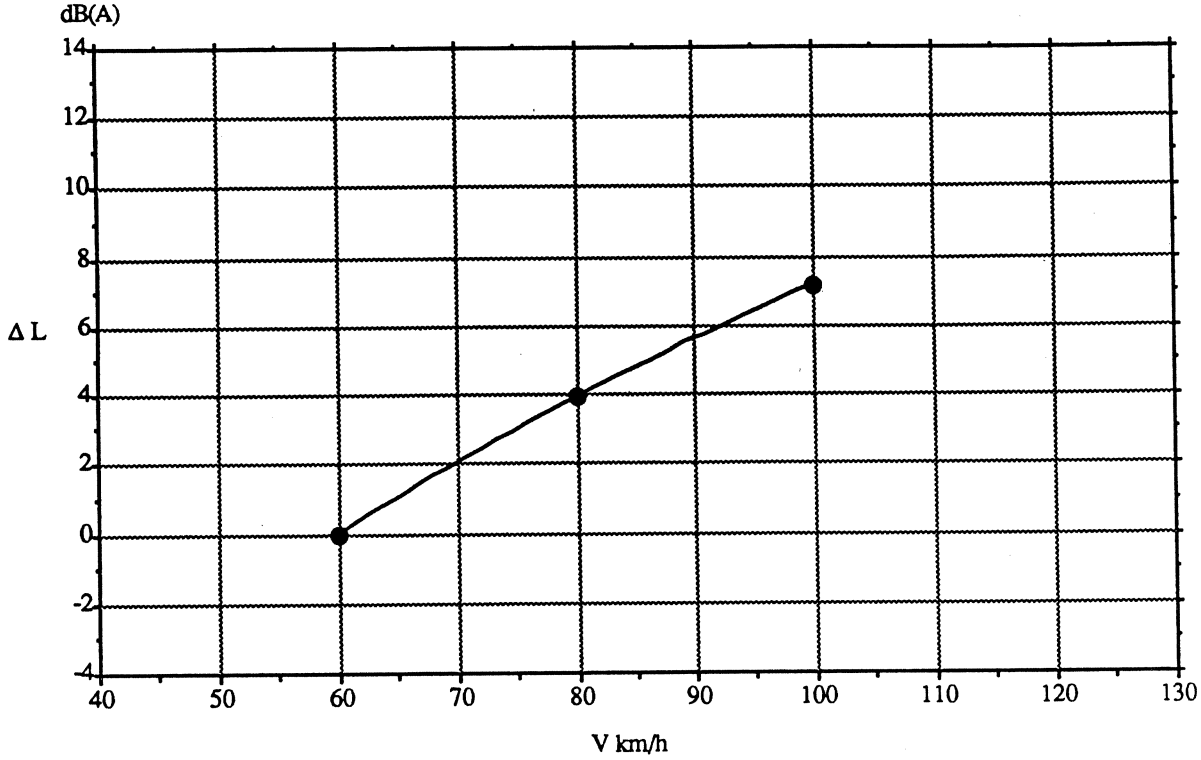


Abb. 17 : Gussasphalt Seitliches Mikrophon

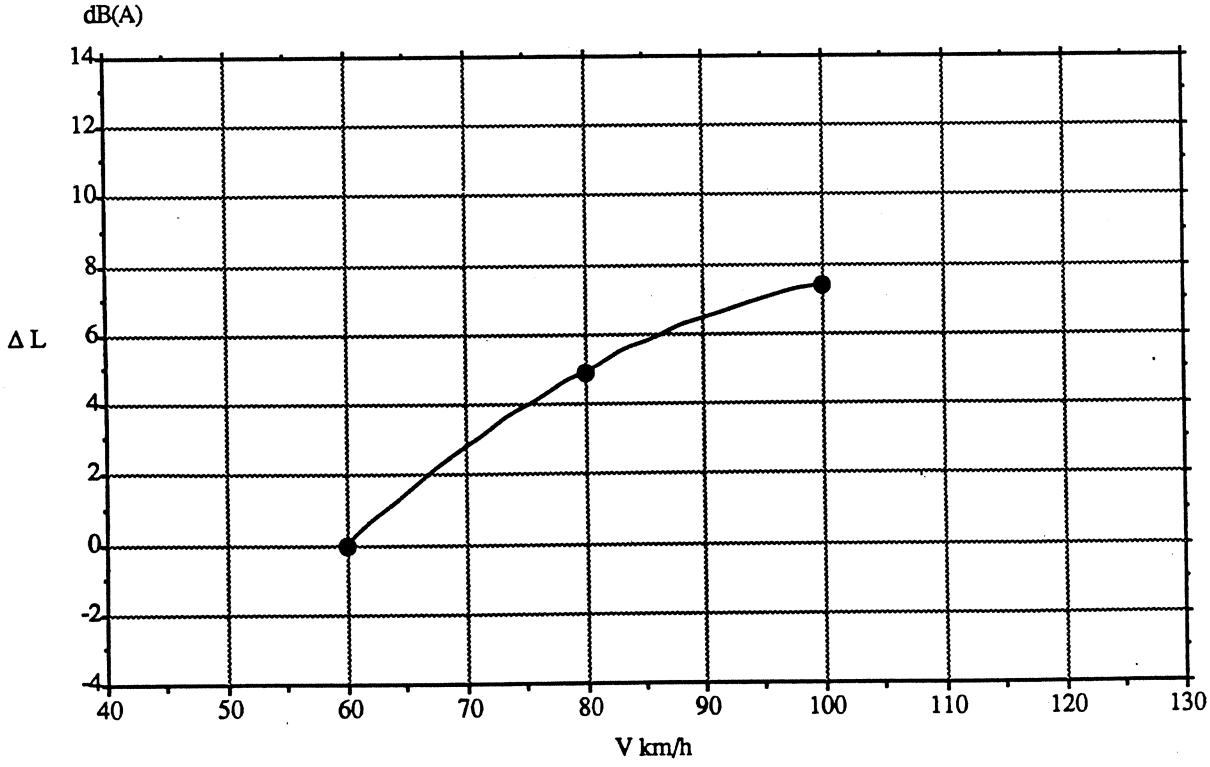


Abb. 18 : Gussasphalt Massgebender Pegel

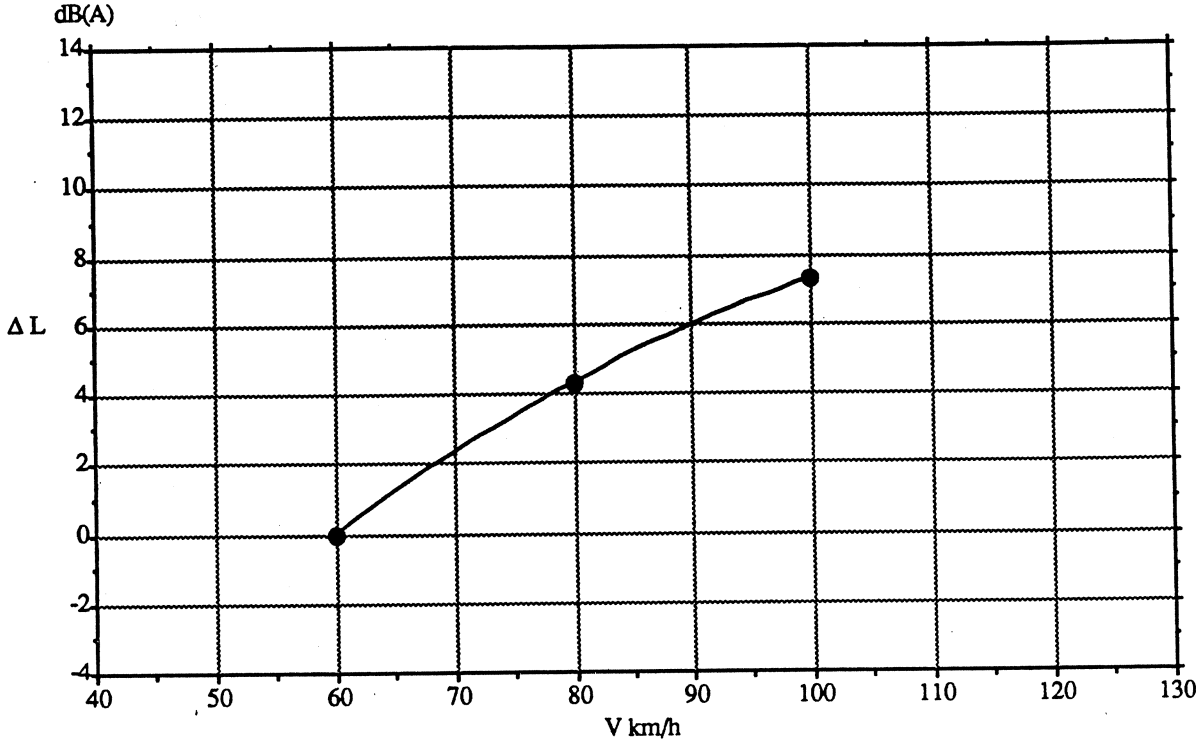


Abb. 19 : Hot Rolled Asphalt Hinteres Mikrophon

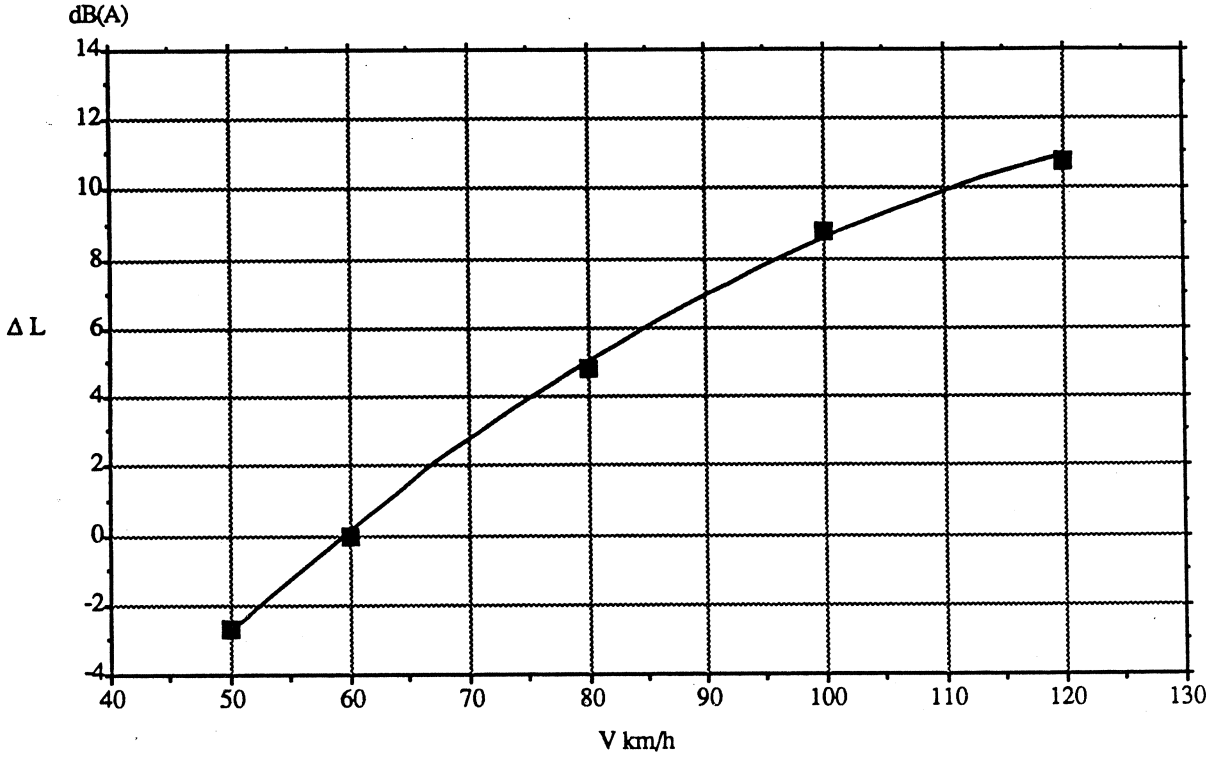


Abb. 20 : Hot Rolled Asphalt Seitliches Mikrophon

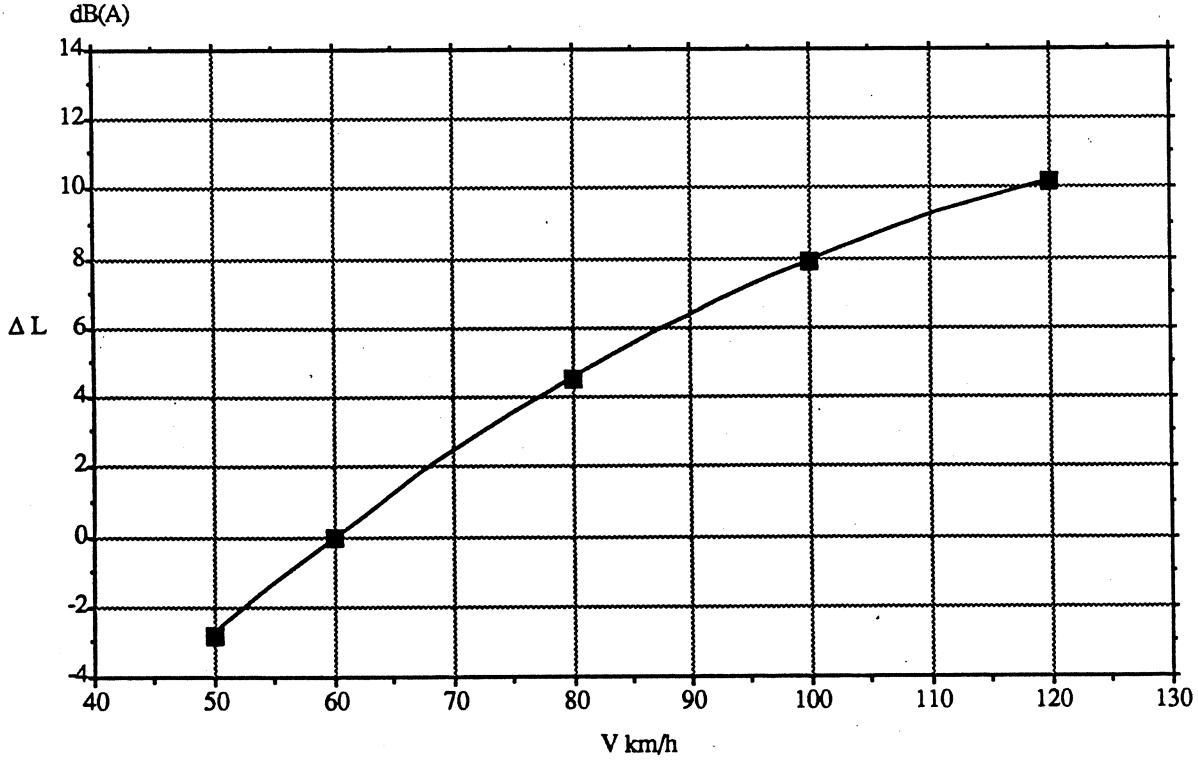


Abb. 21 : Hot Rolled Asphalt Massgebender Pegel

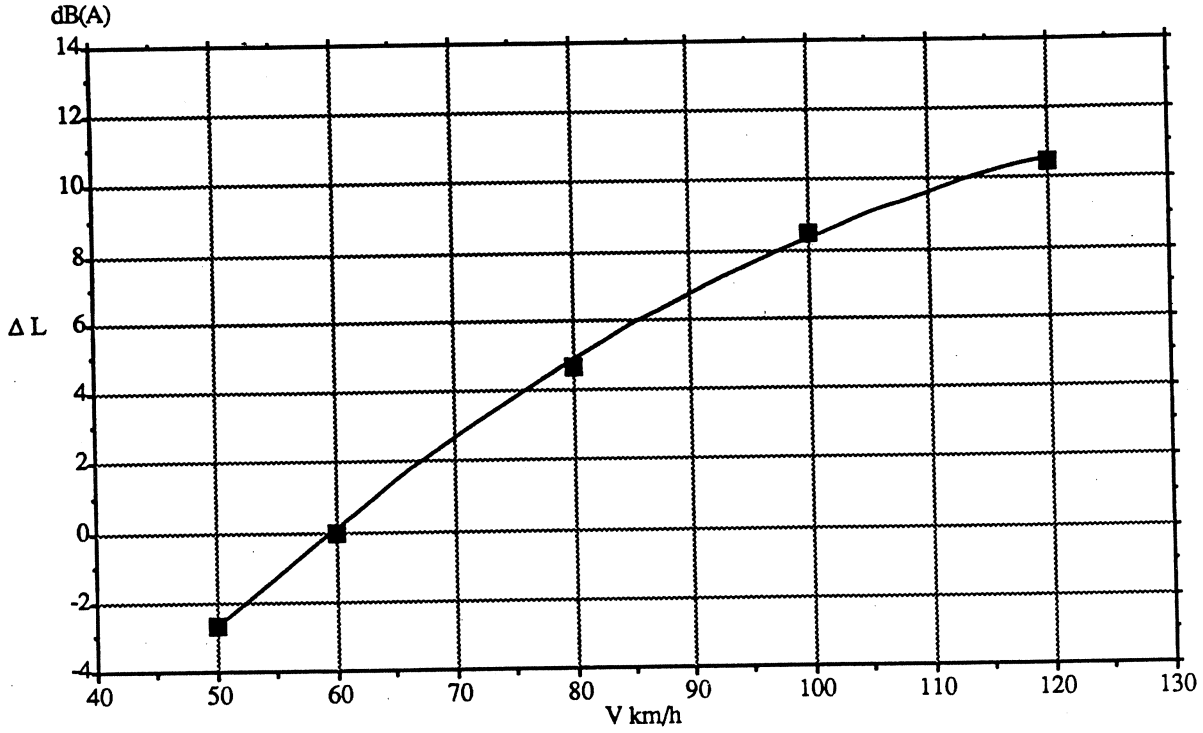


Abb. 22 : Mikro Hinteres Mikrophon

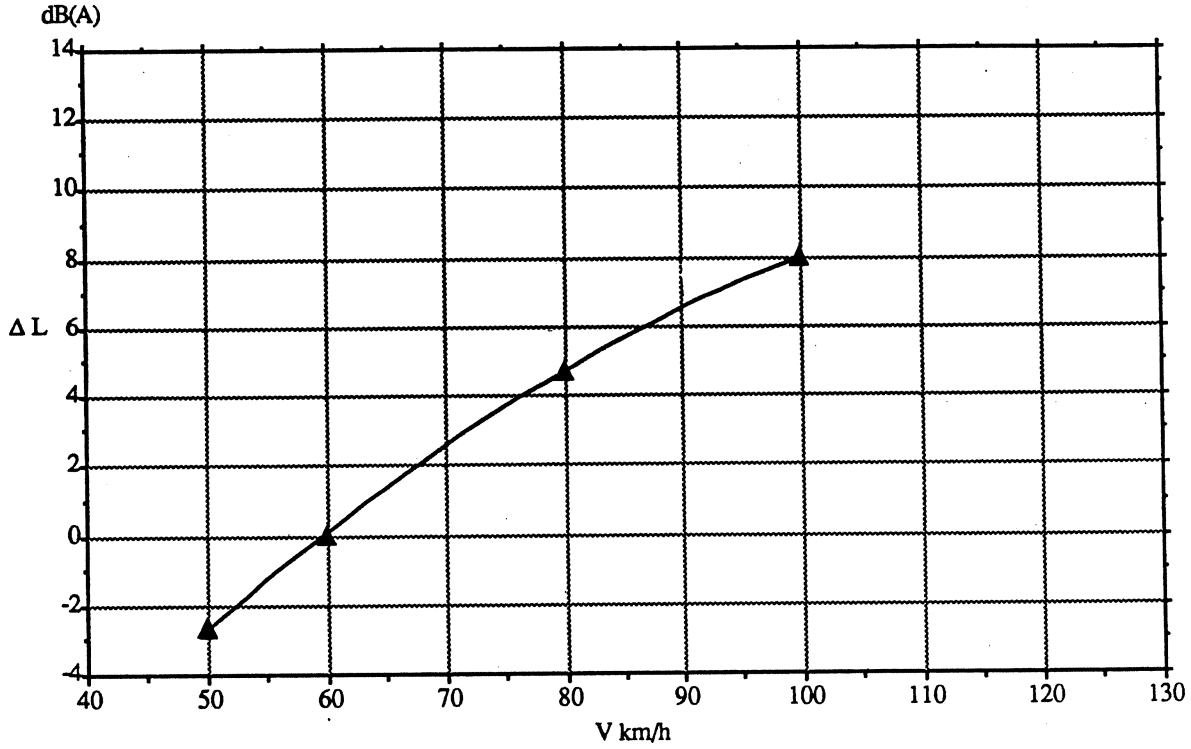


Abb. 23 : Mikro Seitliches Mikrophon

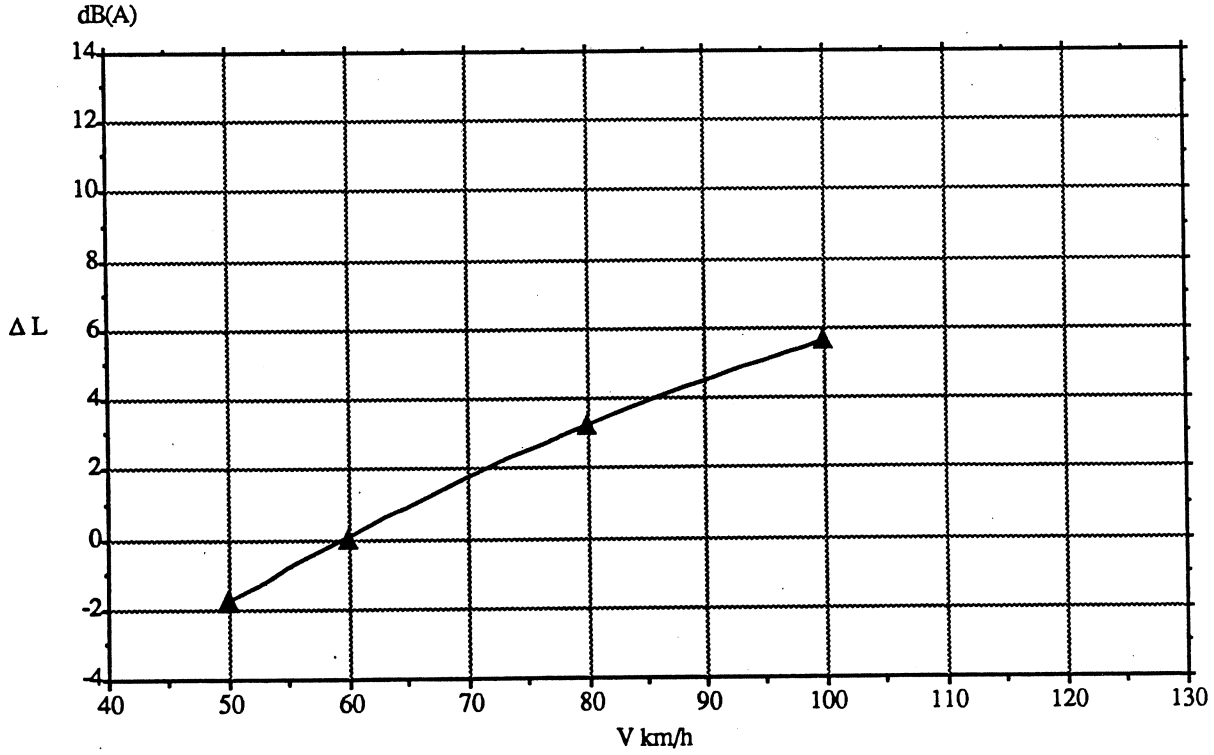


Abb. 24 : Mikro Massgebender Pegel

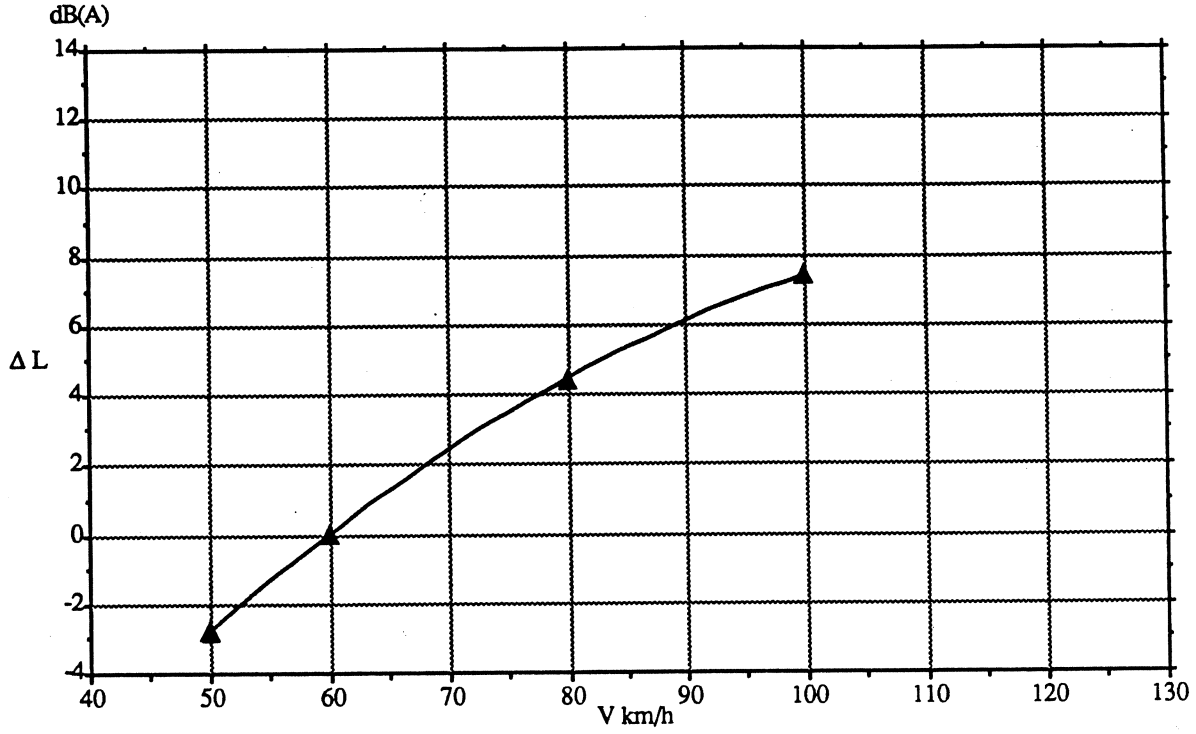


Abb. 25 : OB 10 Hinteres Mikrophon

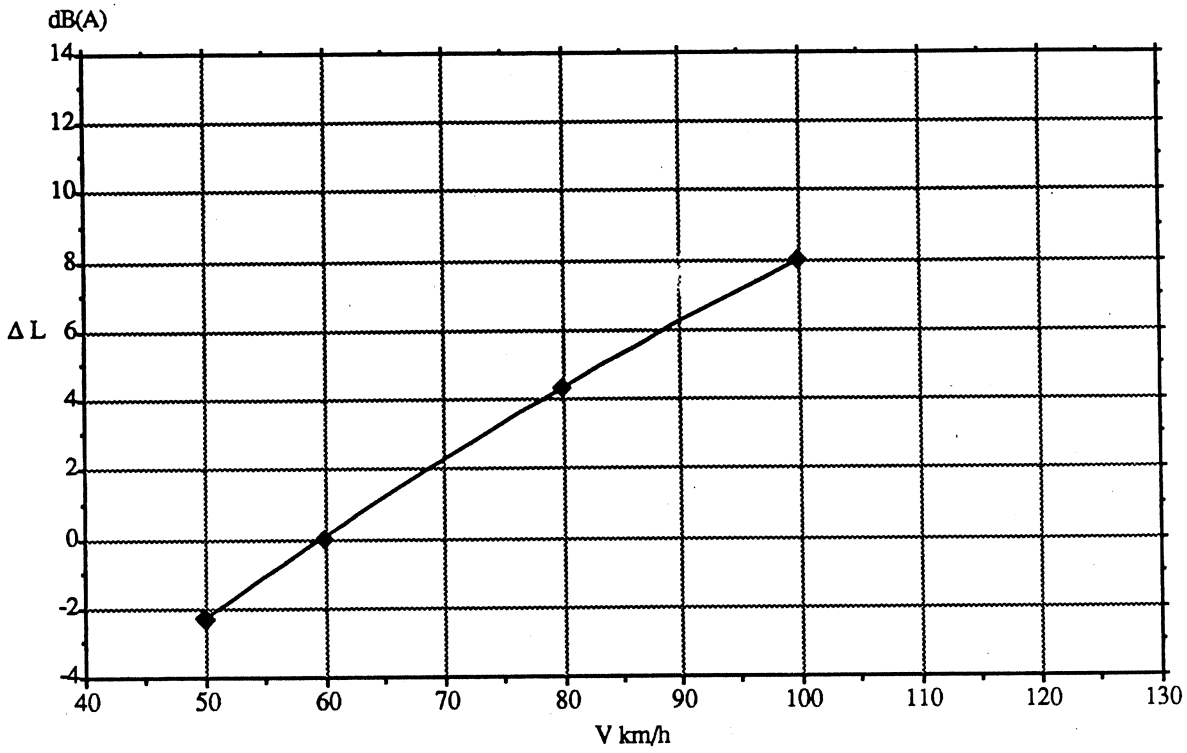


Abb. 26 : OB 10 Seitliches Mikrophon

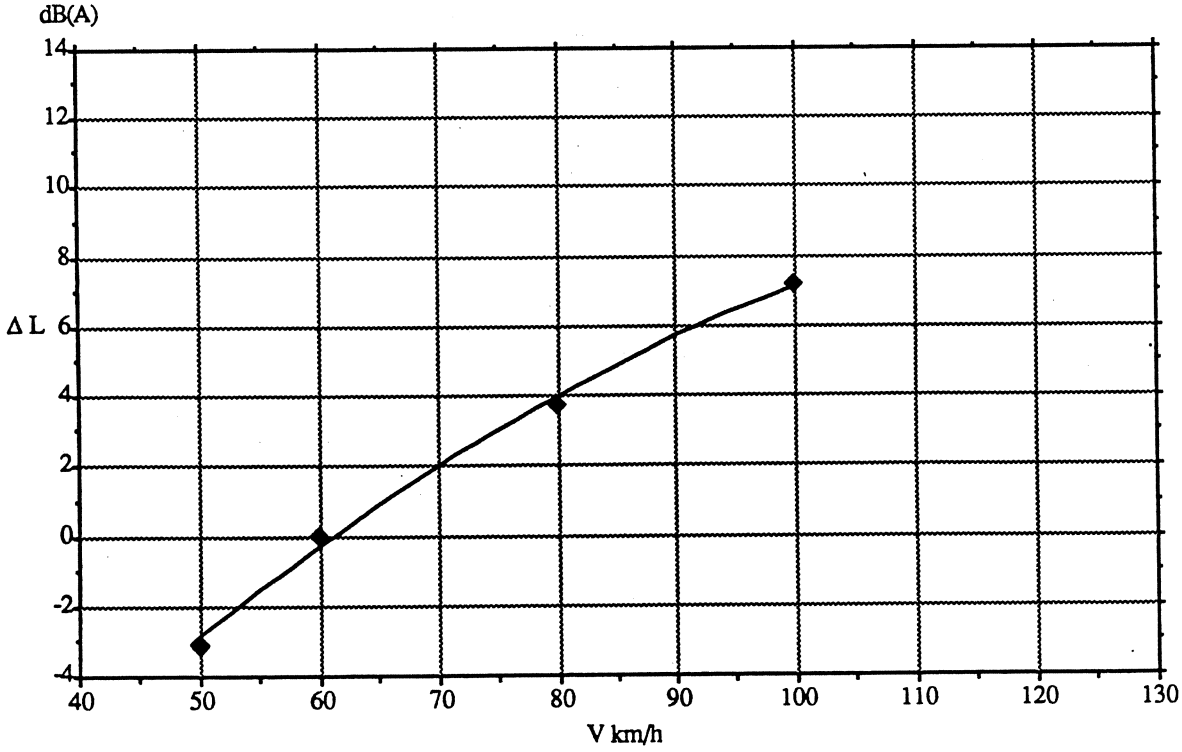


Abb. 27 : OB 10 Massgebender Pegel

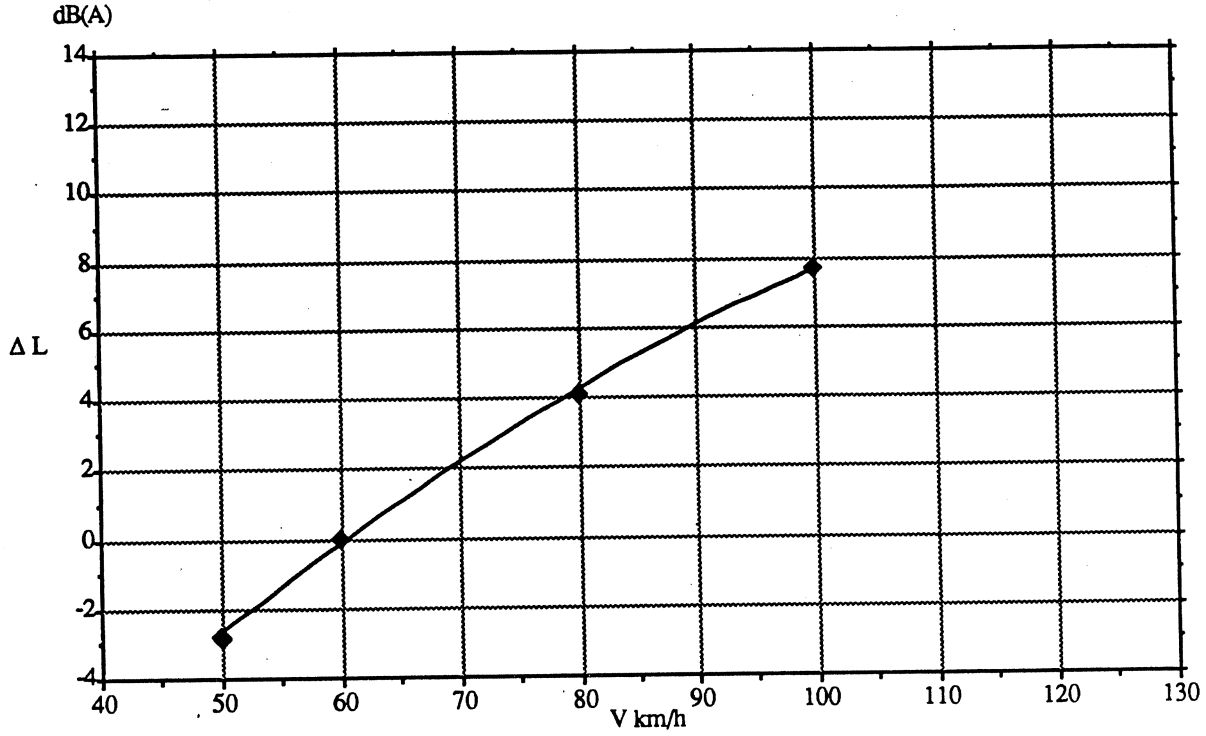


Abb. 28 : OB 16 Hinteres Mikrophon

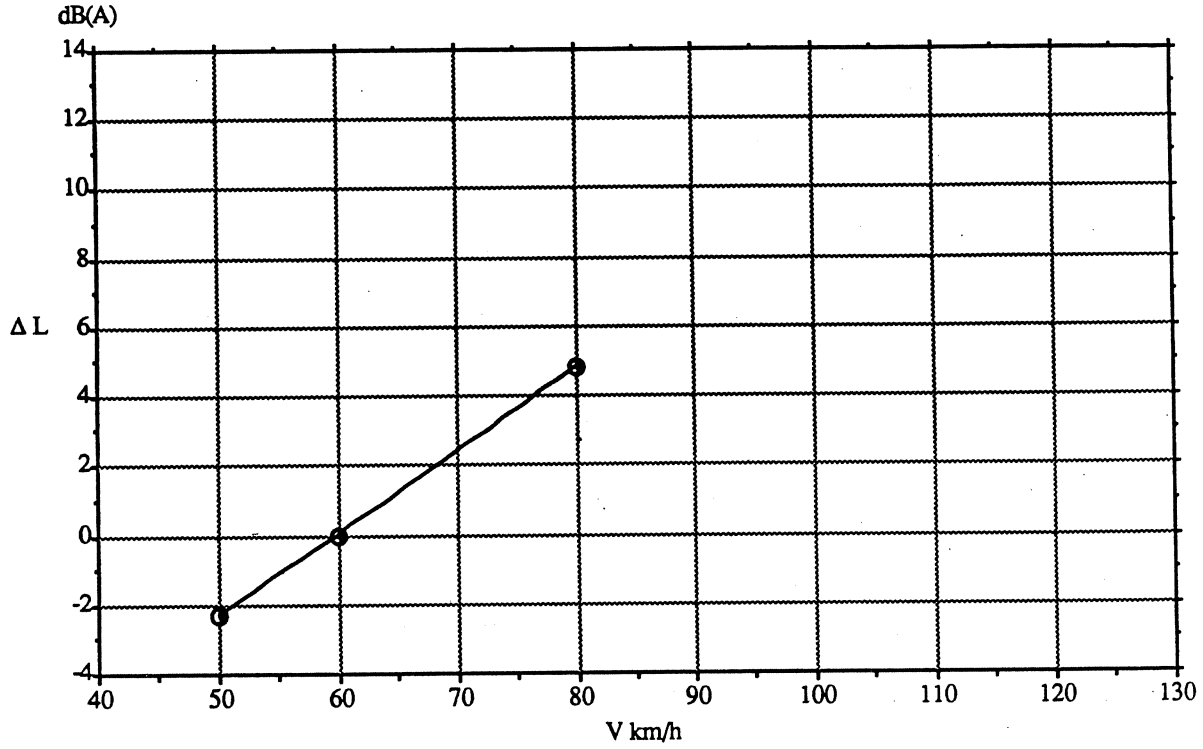


Abb. 29 : OB 16 Seitliches Mikrophon

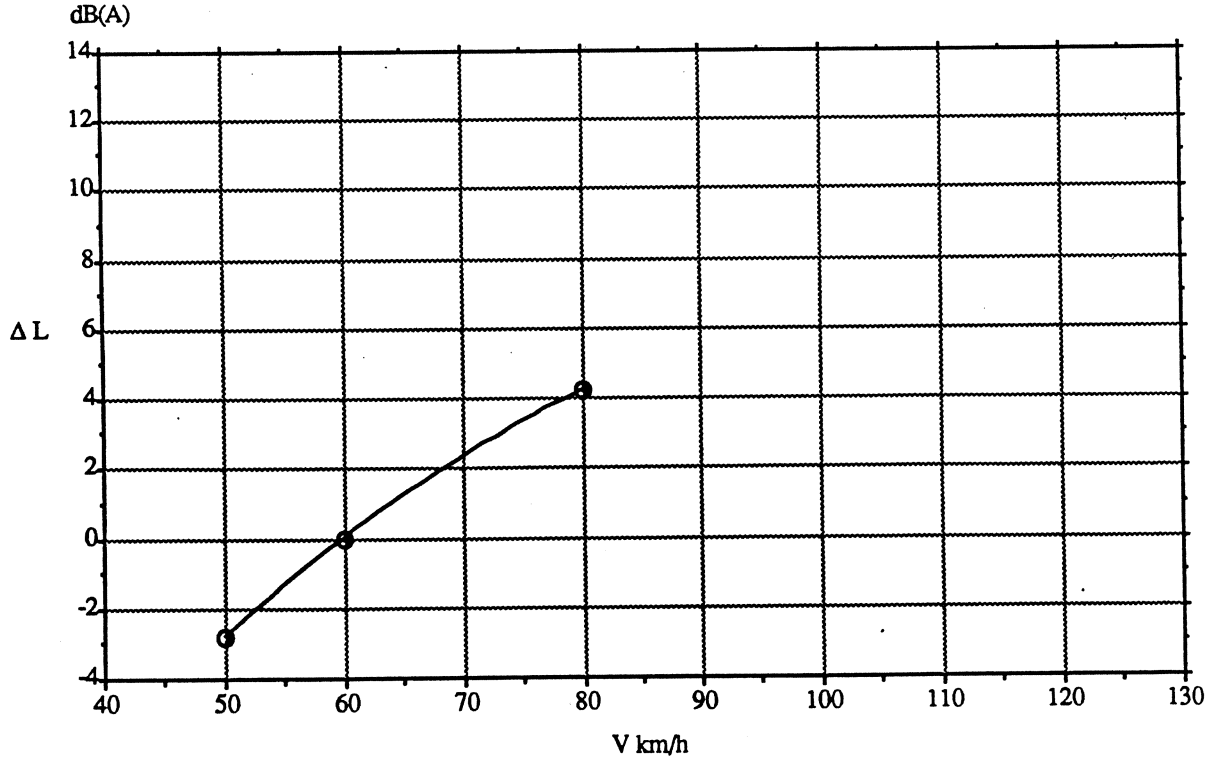
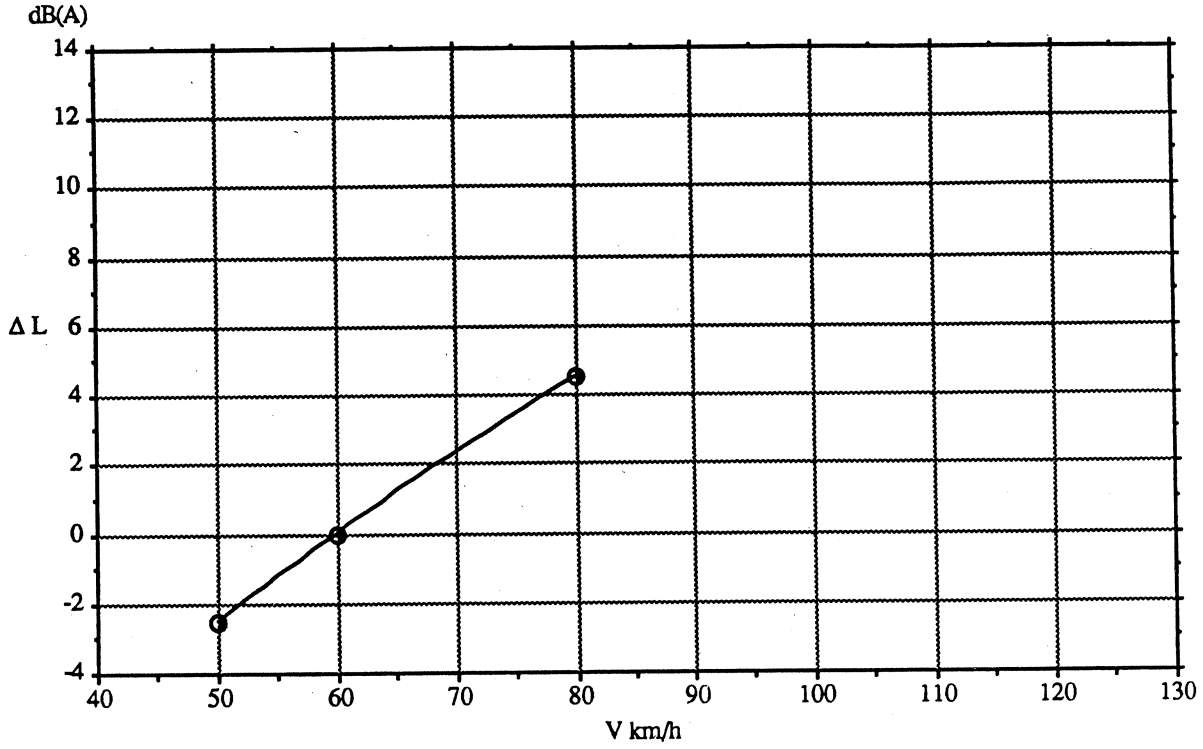


Abb. 30 : OB 16 Massgebender Pegel

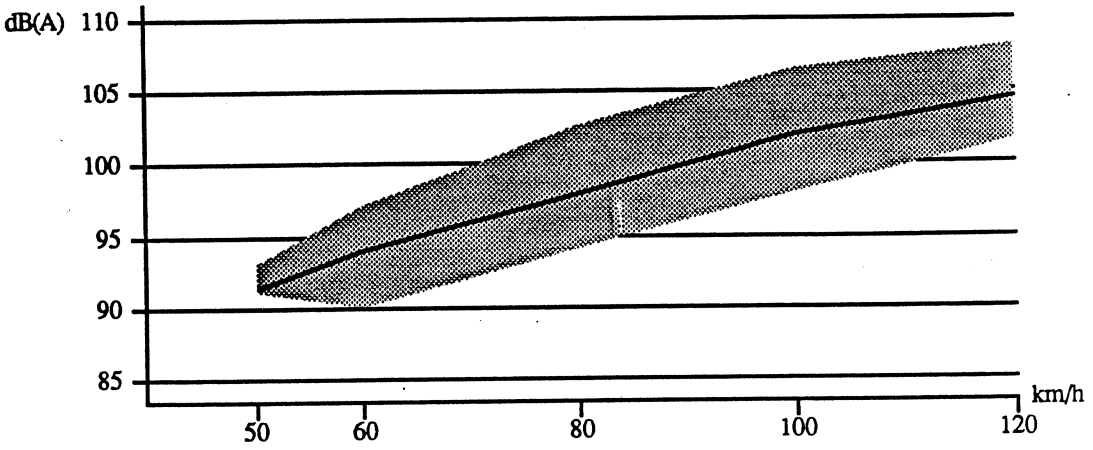


Beilage 5

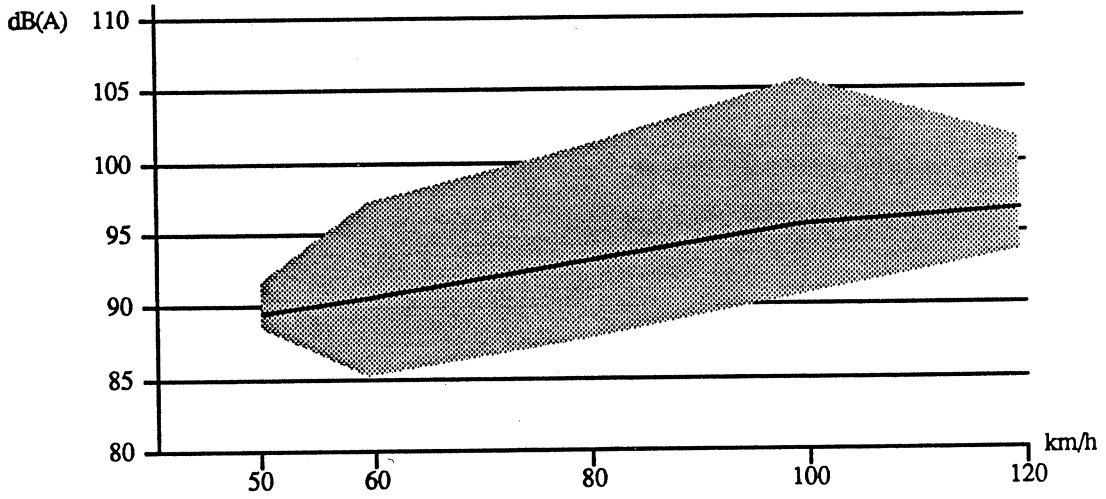
Wertebereiche der einzelnen Belagsarten

Abb. 1 : Wertebereich AB 10 mit Mittelwert

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel

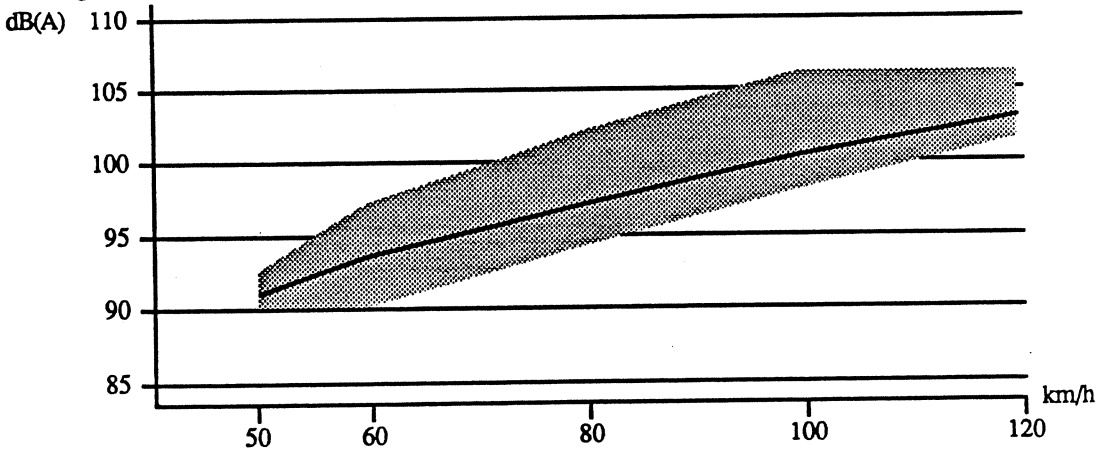
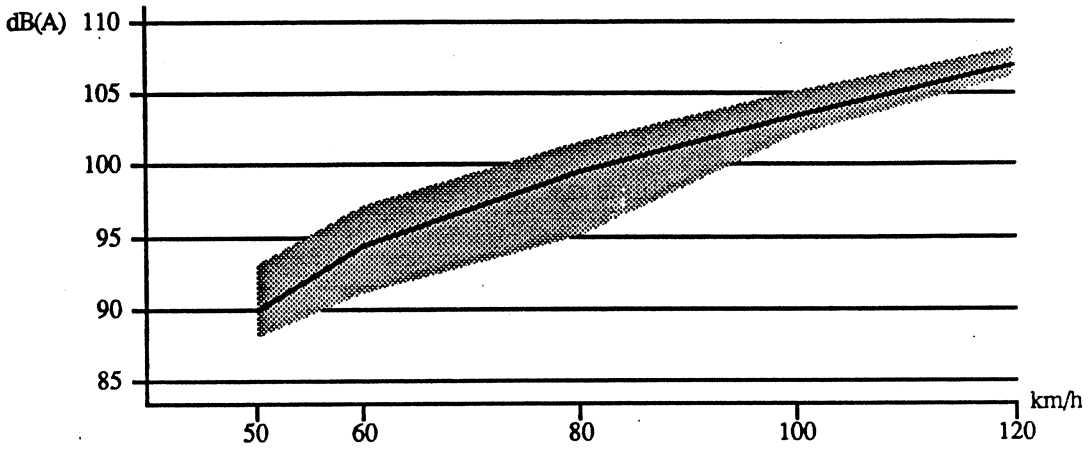
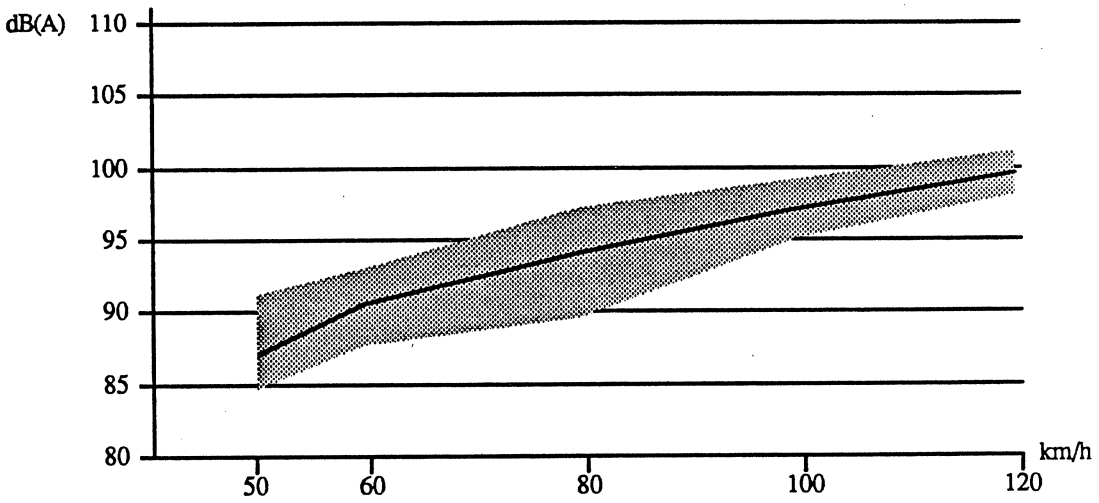


Abb. 2 : Wertebereich AB 16 mit Mittelwert

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel

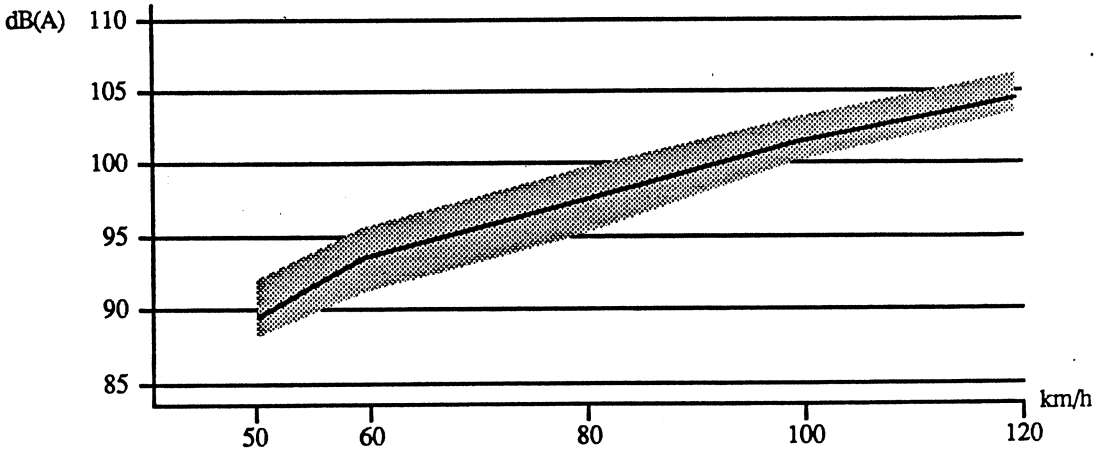
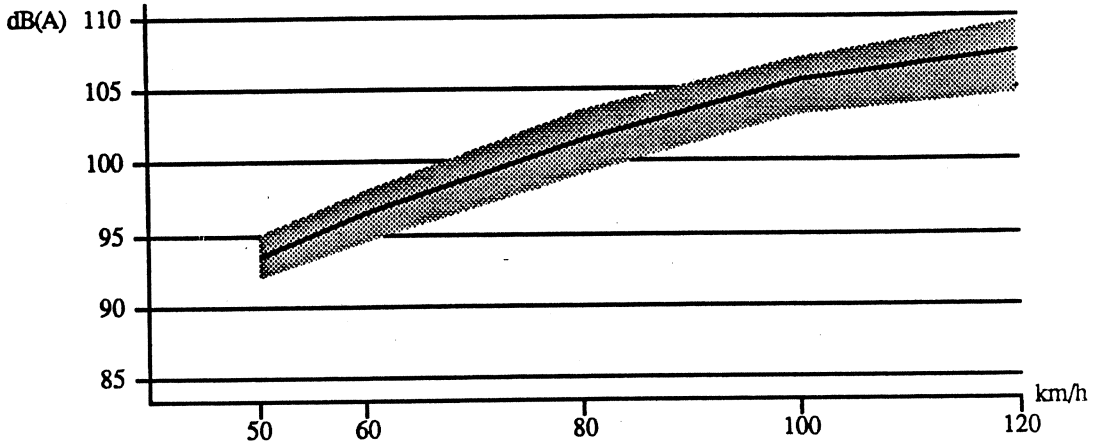
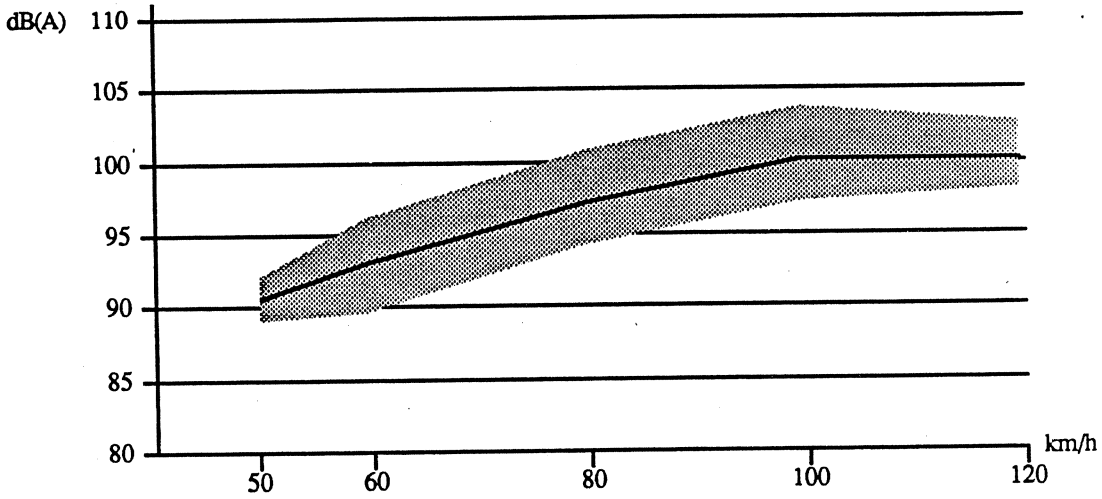


Abb. 3 : Wertebereich Beton mit Mittelwert

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel

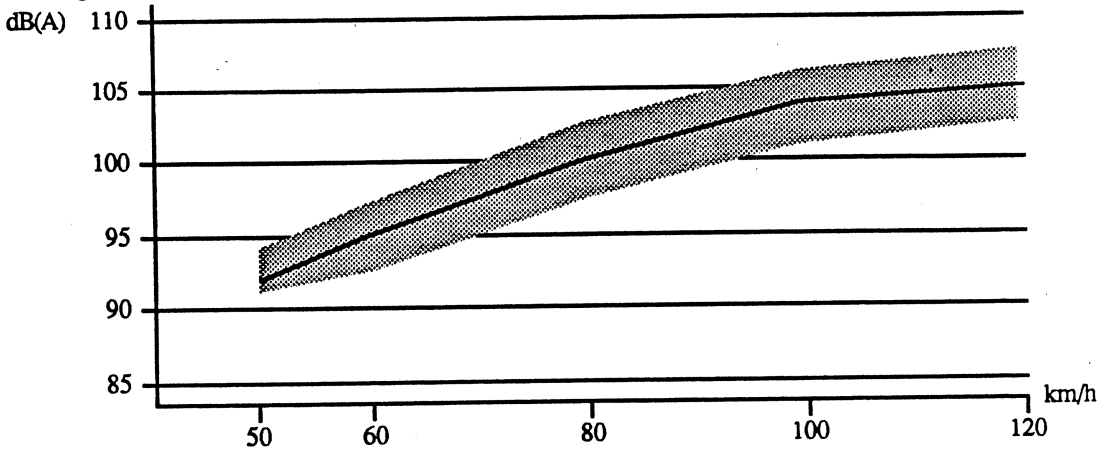
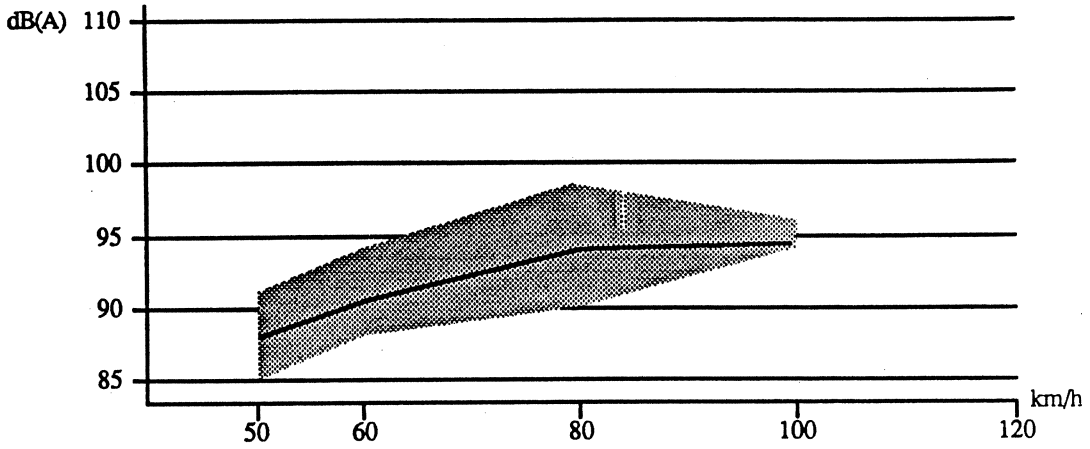
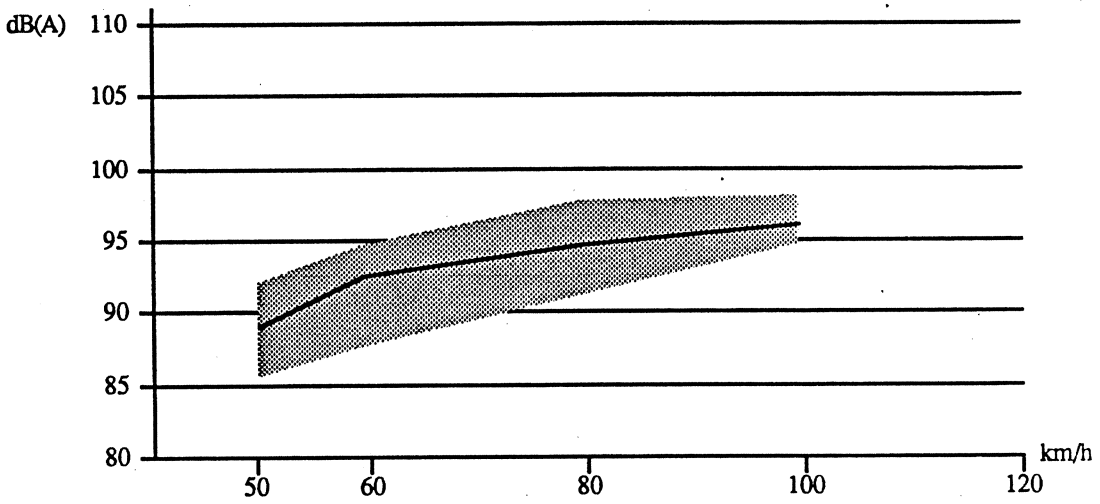


Abb. 4 : Wertebereich Drainbeläge 0/10 mit Mittelwert

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel

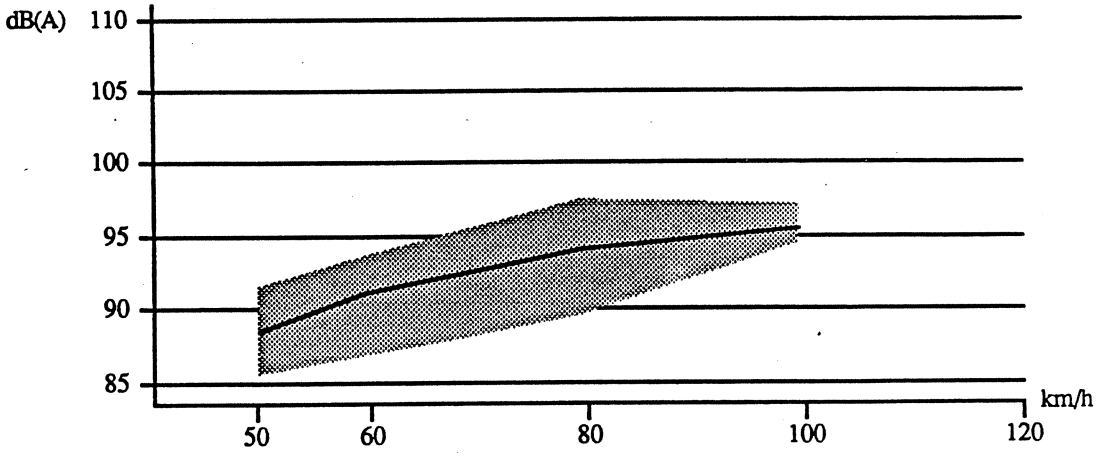
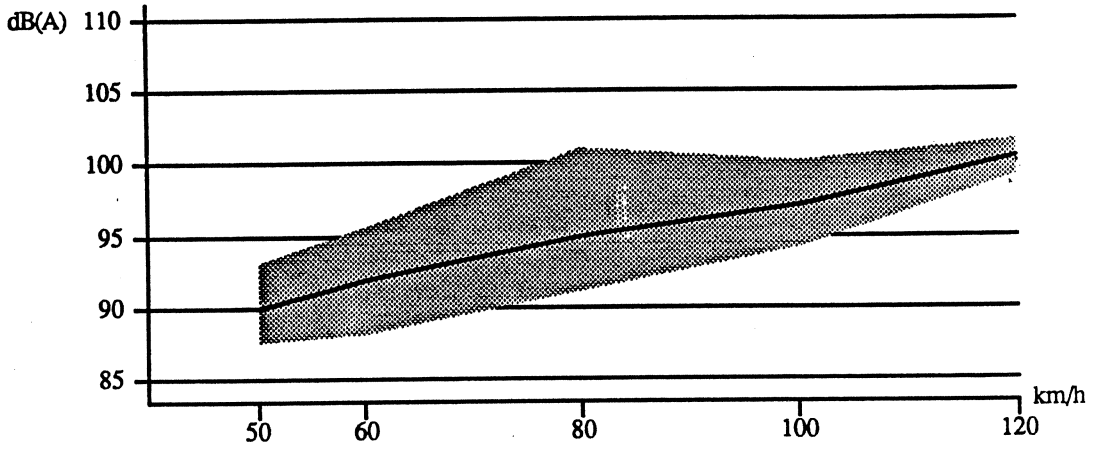
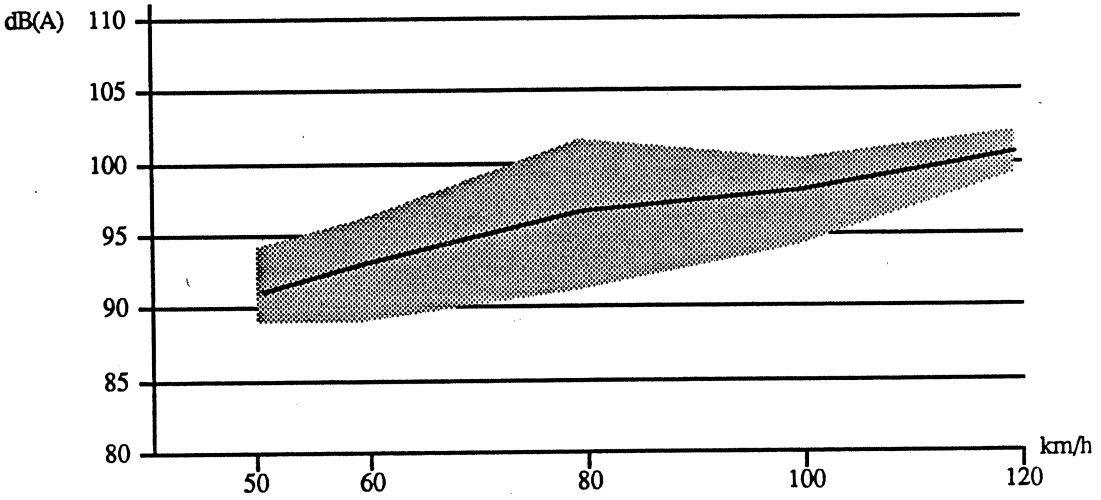


Abb. 5 : Wertebereich Drainbeläge 0/16 mit Mittelwert

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel

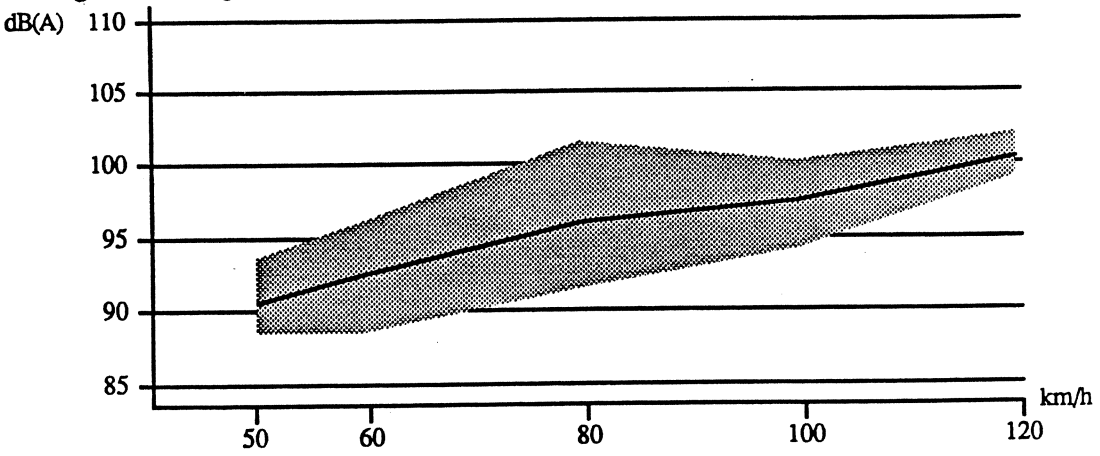
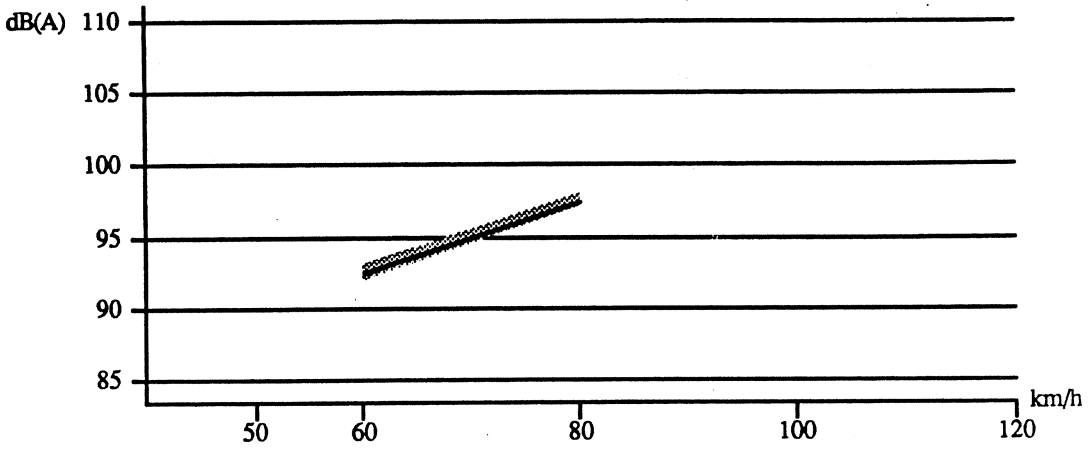
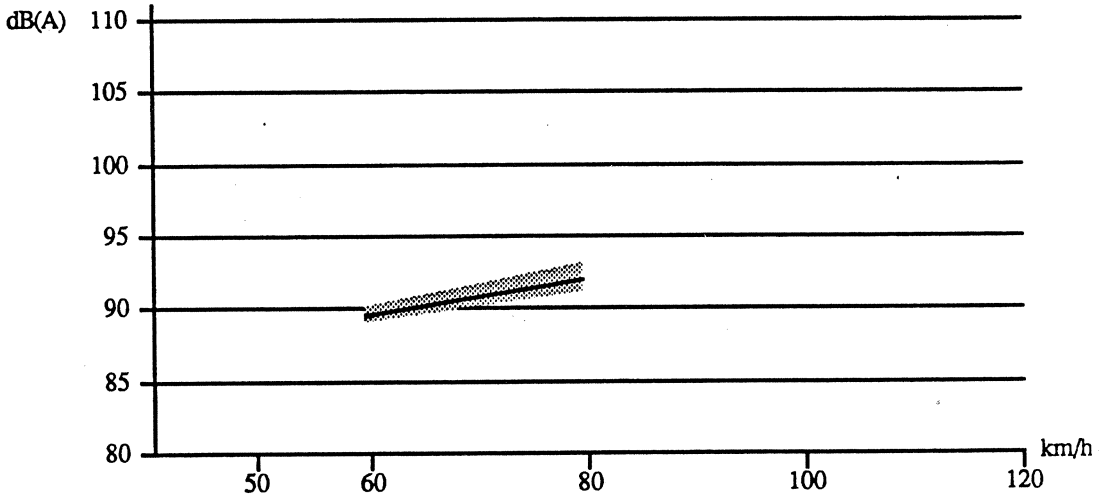


Abb. 6 : Wertebereich Dünnschichtbeläge mit Mittelwert

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel

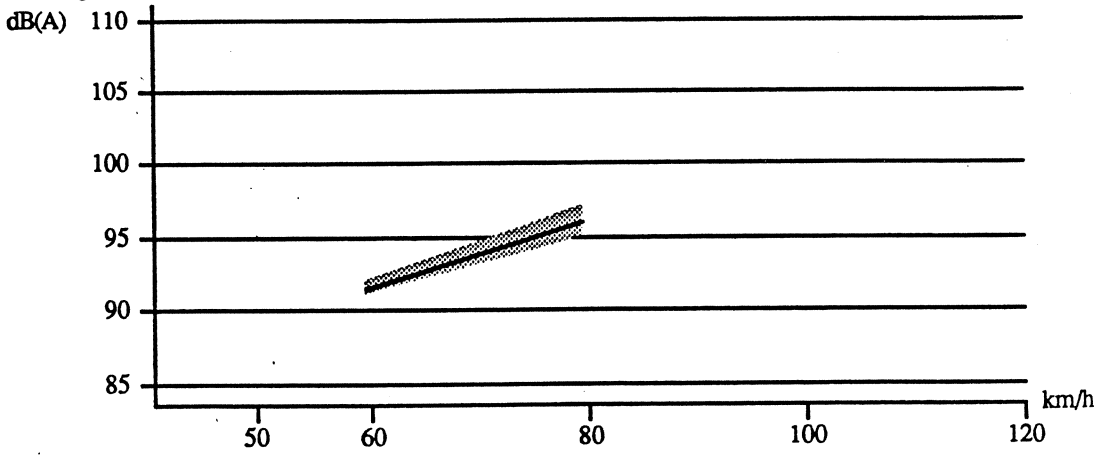
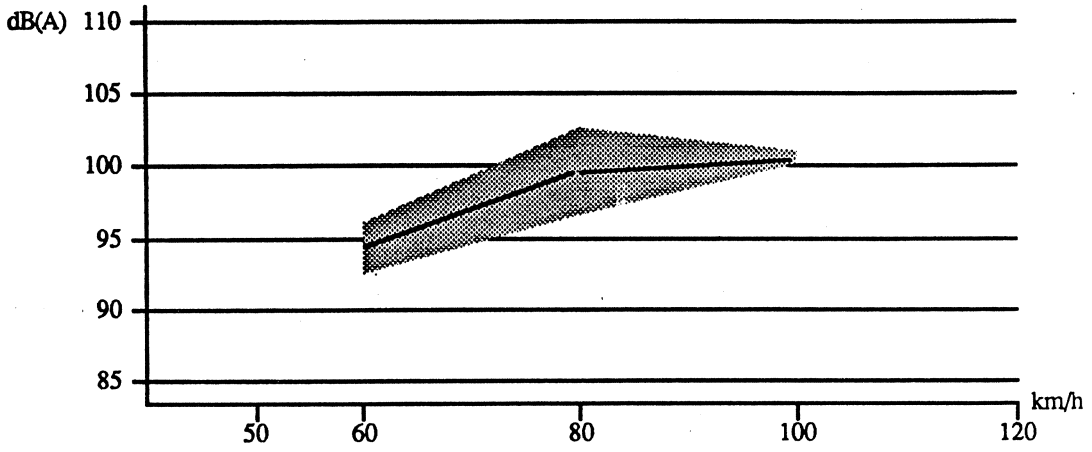
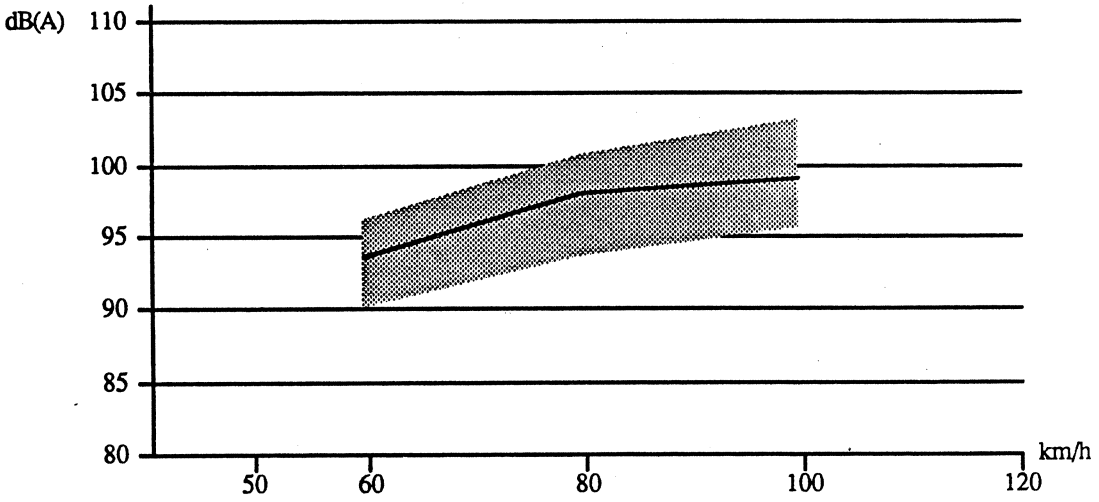


Abb. 7 : Wertebereich Gussasphalt mit Mittelwert

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel

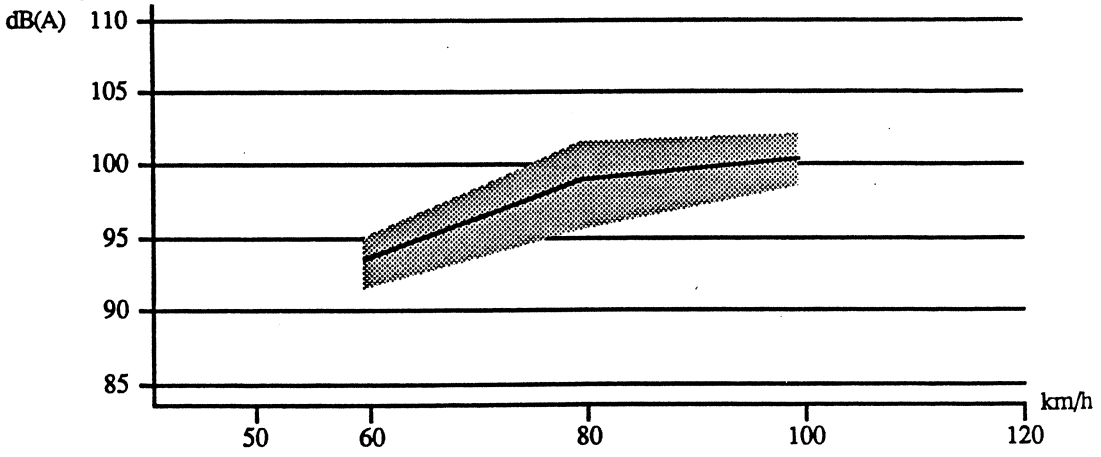
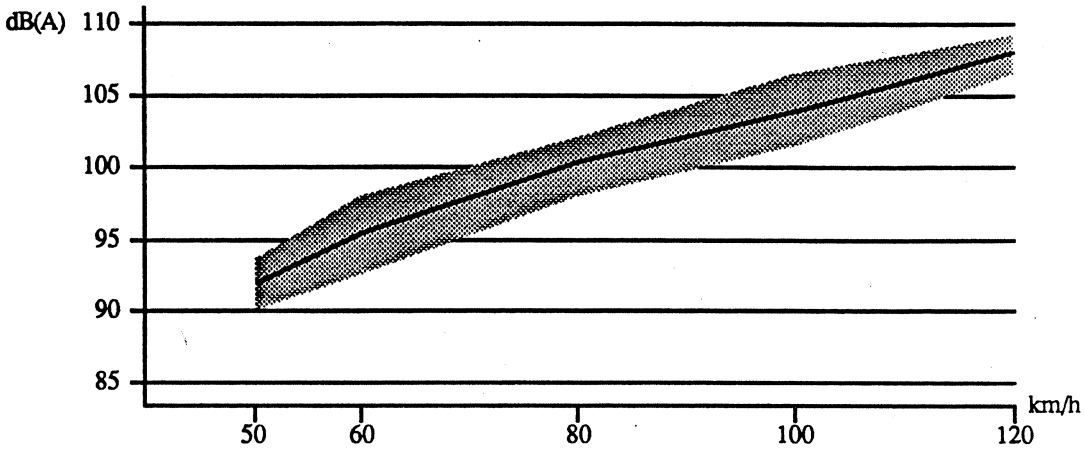
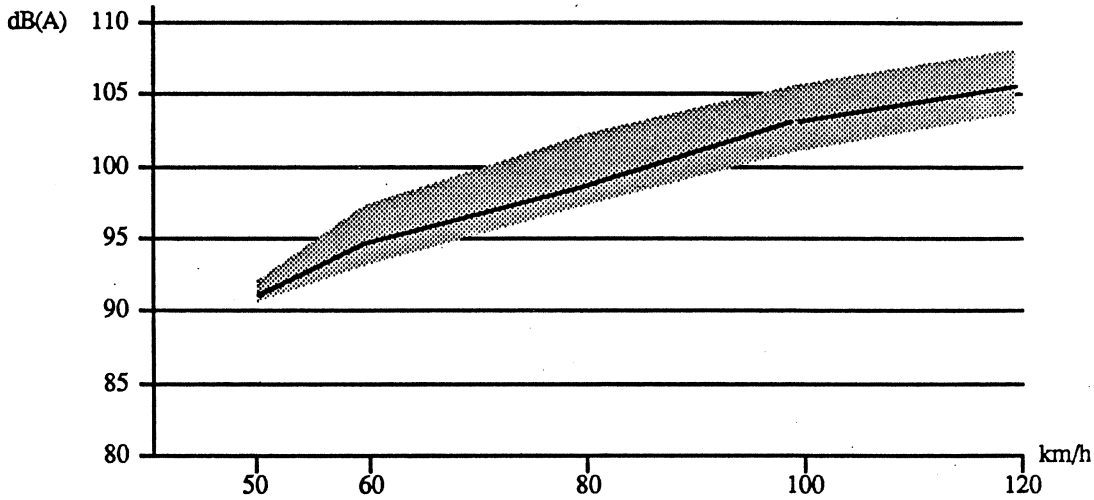


Abb. 8 : Wertebereich Hot Rolled Asphalt mit Mittelwert

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel

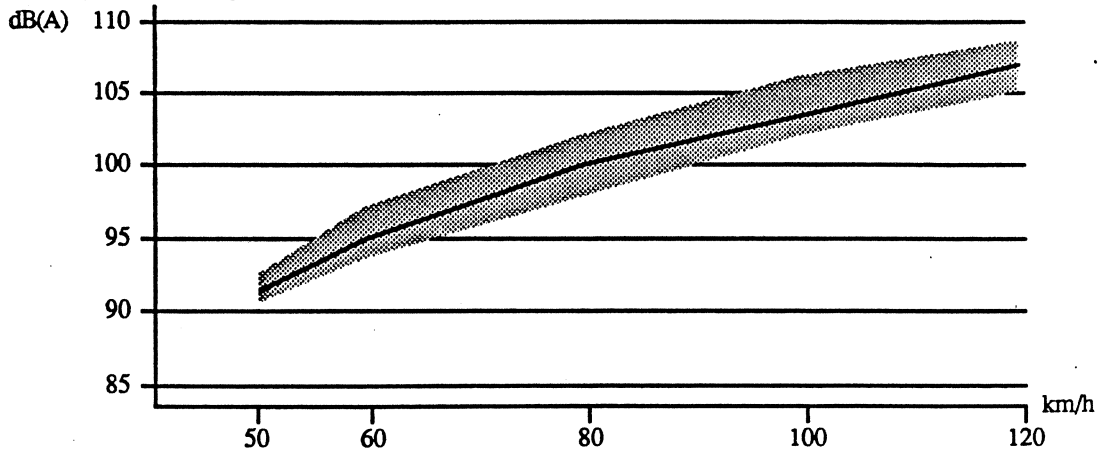
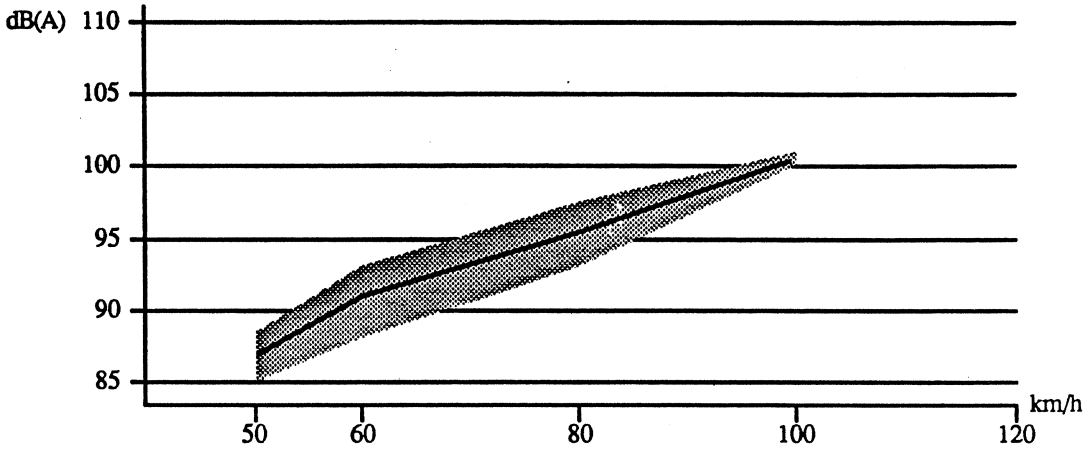
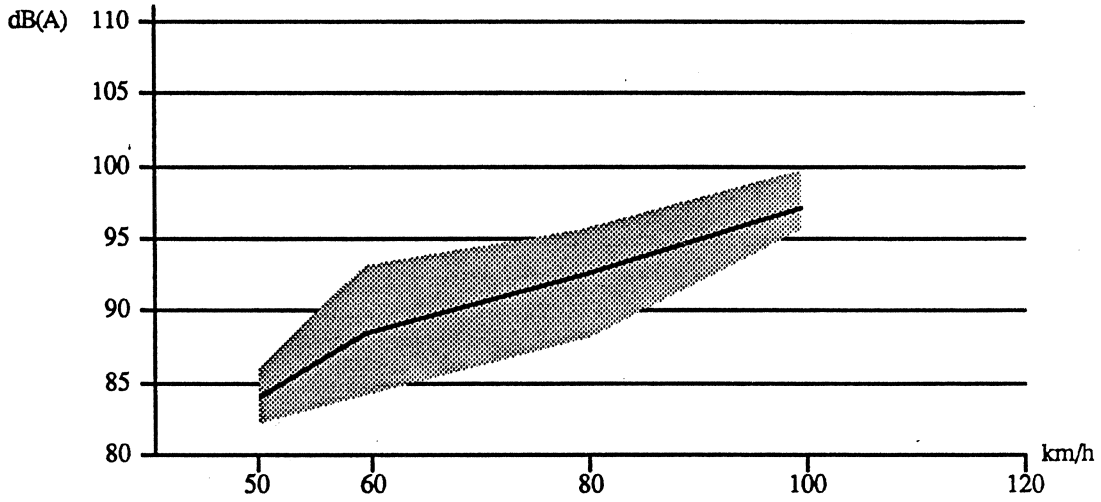


Abb. 9 : Wertebereich Mikrobeläge mit Mittelwert

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel

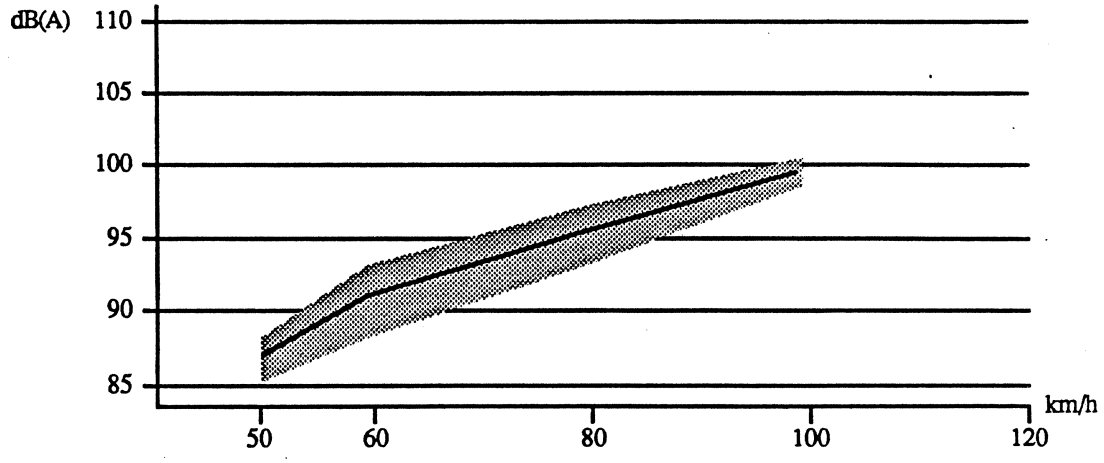
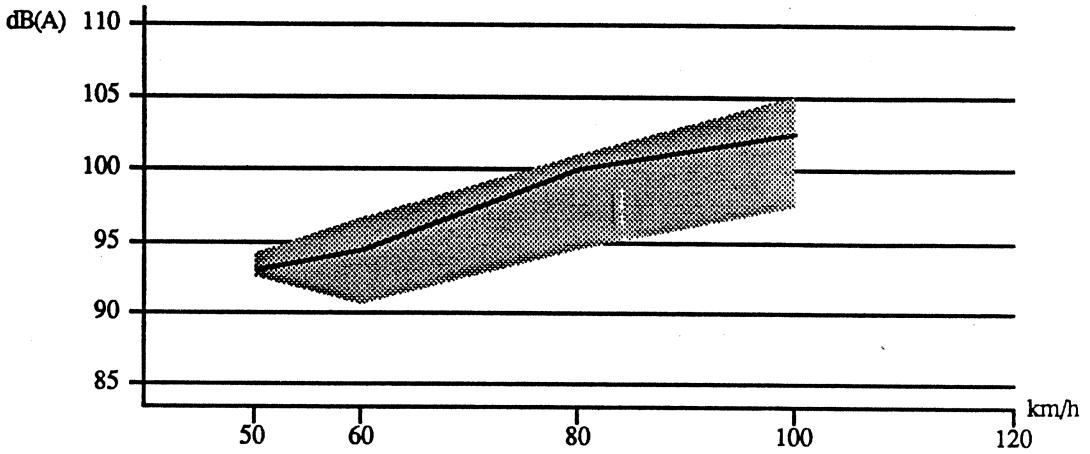
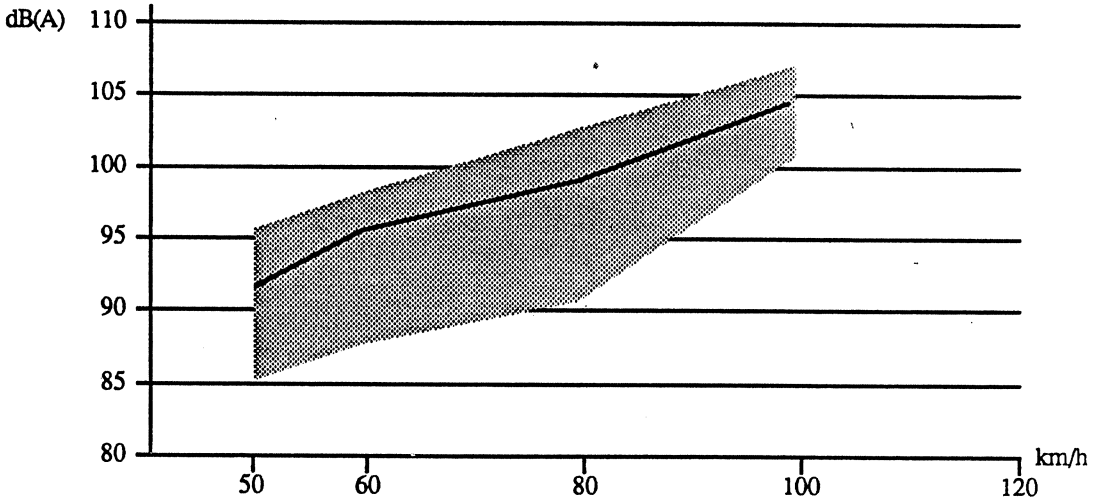


Abb. 10 : Wertebereich OB 10 mit Mittelwert

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel

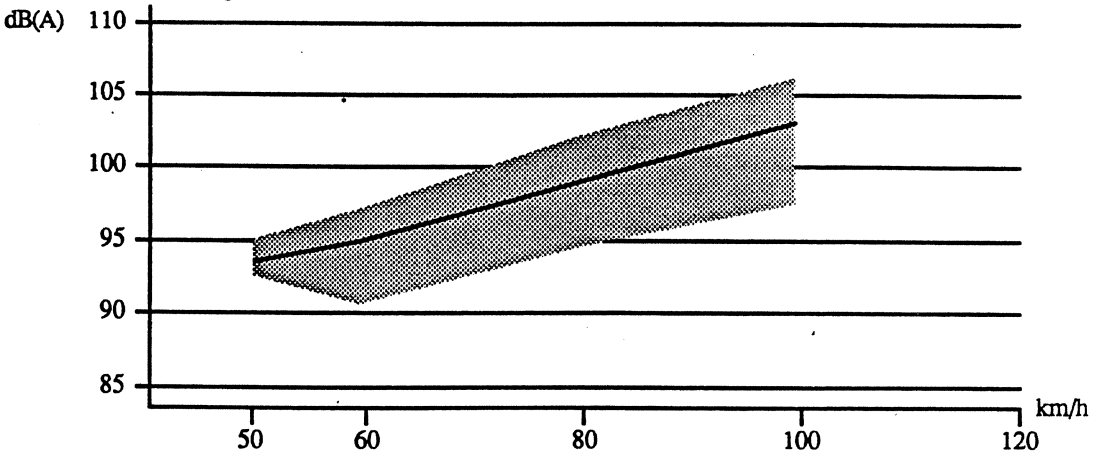
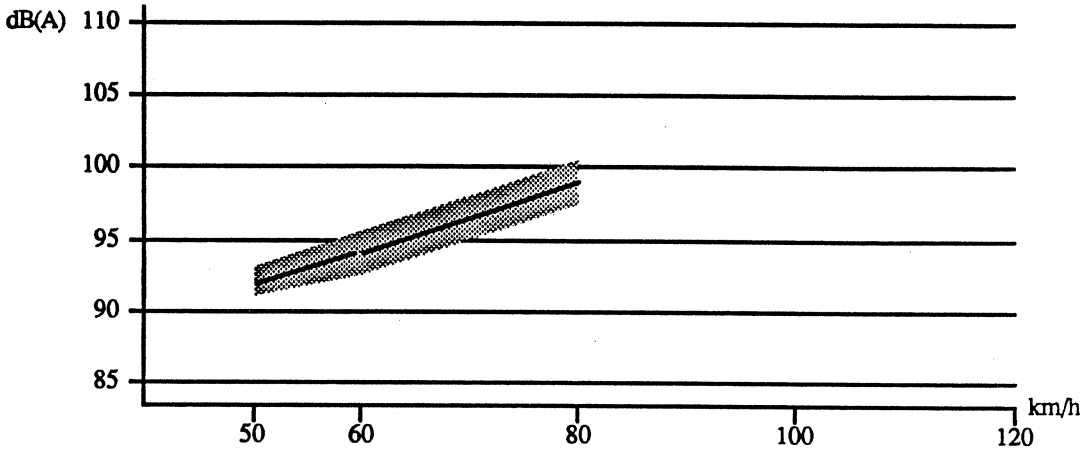
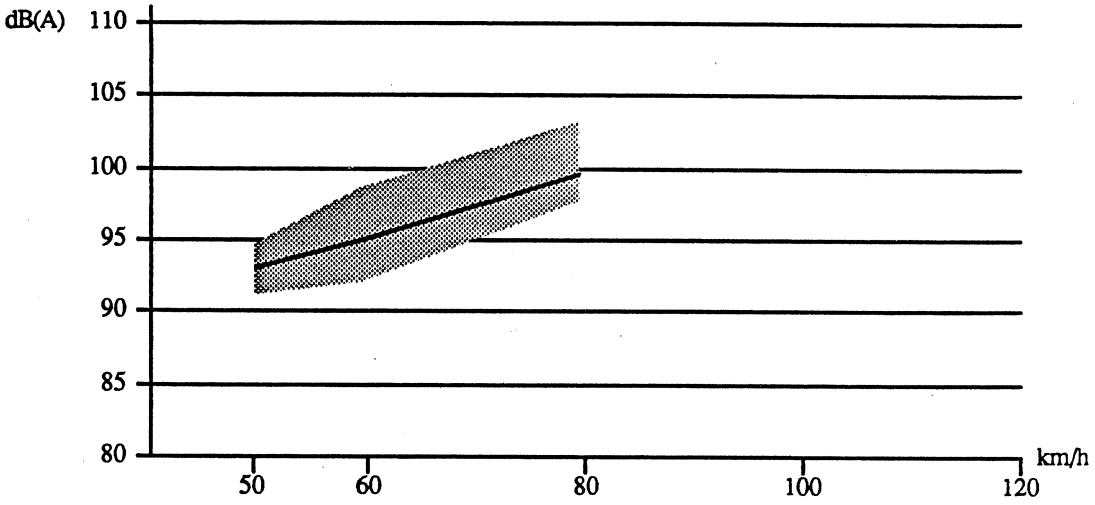
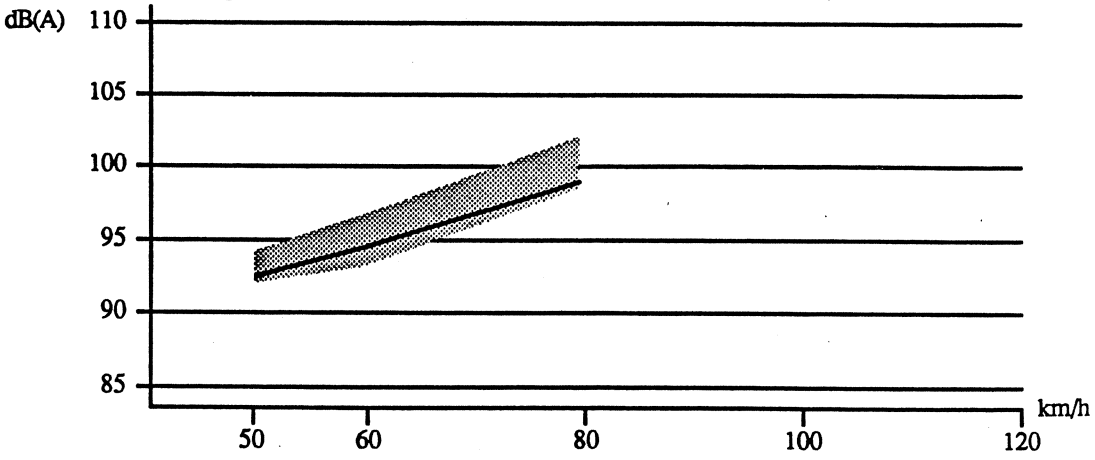


Abb. 11 : Wertebereich OB 16 mit Mittelwert

Hinteres Mikrophon



Seitliches Mikrophon



Massgebender Pegel