Drainasphalt

Beobachtungen des Verhaltens von hohlraumreichen Verschleißschichten unter Verkehr

Observation du comportement sous trafic des enrobés drainants

VSS-Forschungsauftrag Nr. 10/82

H. Köster, dipl. Ing. ETH

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1. AUFGABENSTELLUNG

1.1 Ausgangslage 2
1.2 Vorgehen 3
1.3 Ziel 4

2. BESCHREIBUNG DER VERSUCHSSTRECKEN

2.1 Angaben zu den Strassenabschnitten 5
2.2 Angaben zu den Belägen 5

3. GRIFFIGKEIT

3.1 Messverfahren und Grundlagen 14
3.2 Messergebnisse 15
3.3 Schlussfolgerungen 16

4. DURCHLÄSSIGKEIT

4.1 Messverfahren 27
4.2 Durchlässigkeit bei neuen Drainbelägen 31
4.3 Durchlässigkeitsentwicklung 31
4.4 Auswirkungen der Durchlässigkeit 36

5. VERKEHRSLÄRM

5.1 Ausgangslage 37
5.2 Akustische Grundlagen 37
5.3 Messverfahren 39
5.3.1 Problemstellung 39
5.3.2 Absorptionsmessung 41
5.3.3 Rollgeräuschmessung mit dem Lärmmessanhänger des IVT 43
5.3.4 Messungen mit dem Mikrophon am Strassenrand 46
5.3.5 Korrelation Anhängermessung-Vorbeifahrtmessung 46
5.4 Ergebnisse der Lärmmessungen auf Drainbelägen 53

6. WINTERVERHALTEN

6.1 Allgemeines 64
6.2 Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen im Winter 64
6.3 Schlussfolgerungen zum Winterverhalten 72

Drainasphalt

Beobachtungen des Verhaltens von hohlraumreichen Verschleißschichten unter Verkehr

1. Aufgabenstellung

1.1 Ausgangslage

Ende der 70er, anfangs der 80er Jahre wurden auch in der Schweiz zunehmend hohlraumreicheVerschleißschichten eingebaut. Diese Beläge werden als Drainasphalt oder auf englisch friction course bzw. porous asphalt bezeichnet. Mittlerweile haben einige Firmen für diese Beläge werbewirksame Phantasienamen wie Flüsterasphalt oder Anti-Lärmbelag eingeführt und zum Teil sogar schützen lassen.

Bei den Drainbelägen handelt es sich um Asphaltbeläge, bei denen infolge Ausfallkörnung ein Hohlraumgehalt von ca. 14% bis über 20% erreicht wird. Im Ausland werden derartige Verschleißschichten bereits seit längerer Zeit mit unterschiedlichem Erfolg eingesetzt. Unsprünglich wurden diese Beläge auf den Pisten von Militärflugplätzen eingebaut, um die Aquaplaninggefahr bei den hohen Landegeschwindigkeiten der Düsenjäger zu verringern. Etwa anfangs der 70er Jahre wurden diese Beläge auch auf Strassen eingesetzt, vorwiegend in Grossbritannien, den Niederlanden und den USA.

Da diese hohlraumreichen Verschleißschichten vom konventionellen Asphaltbeton, wie er in den VSS-Normen geregelt ist, erheblich abweichen, traten und treten immer noch technische Schwierigkeiten auf, die nur über eine seriöse Erfahrungssammlung gelöst werden können. Weil die Drainbeläge andererseits wesentliche Vorteile bieten, hier sind vor allem die gute Oberflächenentwässerung (Verringerung der Aquaplaninggefahr) und die Lärmreduktion zu nennen, besteht ein grosses Interesse an der Entwicklung dauerhafter, hohlraumreicher Verschleißschichten. Aus diesem Grund hat das damalige Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau (ISETH) der ETH Zürich 1981 ein Forschungsgesuch mit dem Titel "Beobachtung des Verhaltens von hohlraumreichen Verschleißschichten unter Verkehr" gestellt. Aufgrund dieses Kreditgesuches wurde dem Institut 1982 der Forschungsauftrag Nr. 10/82 mit gleichem Titel erteilt.

Nach der Auflösung des ISETH und der Integration der Sektion Strassenbau in das Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT) wurde dieser Forschungsauftrag im neuen Institut weitergeführt. Da es sich zeigte, dass neuartige Strassenbeläge innerhalb einer Frist von ca. 4 Jahren nicht abschliessend beurteilt werden können, wurde 1986 ein zweites, ergänzendes Kreditgesuch

gestellt. Dieses Gesuch wurde von der Strassenbauforschungskommission gutgeheissen und der Forschungsauftrag Nr. 3/87 mit dem Titel "Langzeitverhalten von bituminösen Drainbelägen" wurde dem IVT mit Schreiben vom 28.4.1987 erteilt.

Wegen des fliessenden Überganges zwischen den beiden Forschungsaufträgen ist eine strikte Trennung zwischen den beiden Untersuchungen nicht möglich und nicht sinnvoll. Dieser Bericht ist daher als Schlussbericht zum Forschungsauftrag Nr. 10/82 und gleichzeitig als Zwischenbericht zum Forschungsauftrag Nr. 3/87 zu verstehen.

1985 wurde ein Zwischenbericht abgeliefert und 1988 wurden die wichtigsten Erkenntnisse im Rahmen der VESTRA-Tagung mit Bewilligung vom ASB vorgestellt.

1.2 Vorgehen

Aus den im Sommer 1982 in der Schweiz vorhandenen Drainasphaltstrecken wurden geeignet erscheinende Versuchsstrecken ausgewählt. Auf diesen Versuchsstrecken werden periodisch, d.h. halbjährlich bzw. jährlich, Untersuchungen bezüglich
- Griffigkeit
- Durchlässigkeit
- Rollgeräusch
- Verformungsverhalten

durchgeführt. Ferner werden visuelle Beobachtungen über das allgemeine Verhalten dieser Beläge und Untersuchungen über das Winterverhalten der Drainbeläge durchgeführt.

Im Verlaufe der Zeit wurden neue Strecken in das Forschungsprogramm aufgenommen, um die Erfahrungsbasis breiter abzustützen und um neue Entwicklungen in diesem Sektor, z.B. neue Bindemittel, ebenfalls erfassen zu können. Da die Anzahl neuer Drainasphaltstrecken in der Schweiz rasant zunahm, konnten die neuen Versuchsstrecken aus Kostengründen vorwiegend in der Region Zürich ausgewählt werden. Einige ältere Versuchsstrecken, bei denen es sich zeigte, dass es sich nicht um eigentliche Drainbeläge im heutigen Sinn handelt, oder dass der Drainbelag seine Durchlässigkeit verloren hatte, wurden im Laufe der Jahre aus dem Untersuchungsprogramm gestrichen.

Während der erste Forschungsauftrag auf die Untersuchung der oben genannten Eigenschaften beschränkt war, wurde der zweite Auftrag weiter gefasst. Insbesondere kamen beim zweiten Auftrag auch belagstechnologische Aspekte wie Bindemittelalterung, Mischgutbeurteilungen etc. hinzu. Da die Forschungstätigkeit in diesem Bereich aber erst angelaufen ist, kann darauf in diesem Bericht nur kurz eingegangen werden.

Um die Drainbeläge umfassend untersuchen zu können, mussten auch neue Messverfahren entwickelt werden. Dies gilt insbesondere für die Durchlässigkeit und die Erfassung der akustischen Eigenschaften. Auf letzterem Gebiet besteht eine Zusammenarbeit mit der Akustikabteilung der EMPA Dübendorf und der Abteilung Lärmbekämpfung des Amtes für Luftverkehr vom Kanton Zürich. Im Rahmen des zweiten Forschungsauftrages sind ferner das Tiefbauamt des Kantons Zürich und die Firma Baulabor AG in Winterthur an der Forschungstätigkeit beteiligt.

1.3 Ziel

Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist eine möglichst breite Erfassung der Eigenschaften von Drainasphaltbelägen sowie von der zeitlichen Entwicklung dieser Eigenschaften als Grundlage für die Beurteilung dieser Spezialbeläge und als Basis für die künftige Anwendung der Drainbeläge. Die Arbeit beschränkt sich vorwiegend auf die Erkenntnisse, welche in der Schweiz auf diesem Gebiet gemacht wurden, und geht nur vereinzelt auf ausländische Untersuchungen ein, die meist auf nicht ganz vergleichbaren Voraussetzungen (z.B. Klima, Winterdienst, Bindemittel, Messverfahren etc.) basieren.

2. Beschreibung der Versuchsstrecken

2.1 Angaben zu den Strassenabschnitten

Im Rahmen dieses Forschungsauftrages werden zur Zeit 17 Drainasphaltstrecken in der Schweiz beobachtet. Die Drainasphaltbeläge liegen sowohl auf Autobahnen als auch auf Ueberlandstrassen und Innerortsstrecken. Die Streckenlänge variiert zwischen ca. 150 m und ca. 2,2 km. Die älteste Drainasphaltstrecke stammt aus dem Jahre 1979, die meisten Strecken wurden aber erst in den Jahren 1985/1986 gebaut. Zum Teil handelt es sich um reine Versuchsstrecken, zum Teil wurden die Drainbeläge zur Verbesserung der Verkehrssicherheit bei Entwässerungsproblemen (Aquaplaning- Unfälle) angeordnet und in einigen Fällen wurden die Drainbeläge primär aus akustischen Gründen gebaut.

Die Tabelle 1 gibt einen Ueberblick über die einzelnen Beobachtungsstrecken. Die Angaben zur Verkehrsbelastung basieren grösstenteils auf der Schweizerischen Strassenverkehrszählung 1985, zum Teil handelt es sich um Schätzwerte. Um die unterschiedlichen Einsatzbedingungen der Drainbeläge in der Schweiz zu verdeutlichen, werden neben den ungefähren Verkehrsmengen auch Bemerkungen zur Strecke aufgeführt.

Nähere Angaben zu den einzelnen Drainbelägen sind im nachfolgenden Kapitel 2.2 zusammengefasst.

2.2 Angaben zu den Belägen

Eigentliche belagstechnologische Untersuchungen sind erst im zweiten Forschungsauftrag Drainasphalt vorgesehen. Die Angaben in diesem Kapitel beschränken sich daher auf die wichtigsten Belagsdaten und einige bereits vorliegende Erkenntnisse oder Zwischenergebnisse.

Das nominelle Grösstkorn aller untersuchten Drainasphaltbeläge beträgt 10 oder 16 mm. Die Bereiche der entsprechenden **Kornverteilungen** sind in den Abbildungen 1 und 2 angegeben. Der Kornverteilungsbereich ist hier nicht als Sollbereich aufzufassen, sondern er setzt sich aus den Extremwerten der ermittelten Kornverteilungen zusammen. Innerhalb dieses Bereichs liegen also alle Kornverteilungskurven der Drainbeläge auf den Versuchsstrecken. Entspricht die Kornverteilung eines Belages der unteren Begrenzungslinie des jeweiligen Bereichs, so ist die Drainagefähigkeit des Belages aber sehr beschränkt. Bezüglich Rollgeräusch kann der entsprechende Belag aber durchaus günstig abschneiden.

Tabelle 1 **Überblick über die Drainasphalt-Beobachtungsstrecken**

Strecke Nr.	Baujahr des Drainbelages	Anzahl Fahrstreifen pro Querschn. / mit Drainbelag	Bemerkungen zur Lage der Strecke	Ungefähre Verkehrsmengen* Total	Anteil Schwerverkehr
					[%]
1	1979	3 / 3	ausserorts	10000	6
2	1980	4 / 4	innerorts	14000	7
3	1981	2 / 2	ausserorts (Landwirtschaft)	6500	13
4	1982	4 / 2	Autobahn	29000	5
5	1982	4 / 2	Autobahn	29000	5
6	1983	2 / 2	Autostrasse	10000	10
7	1983	2 / 2	Autostrasse	10000	10
8	1984	2 / 2	ausserorts	6500	13
9	1985	2 / 2	innerorts	?	?
10	1985	2 / 2	innerorts	10000	3
11	1985	4 / 2	Autobahn	33000	10
12	1985	4 / 2	Autobahn	29000	5
13	1985	4 / 2	Autobahn	29000	5
14	1986	4 / 2	Autobahn	33000	10
15	1986	4 / 4	Autostrasse	10000	5
16	1986	2 / 2	ausserorts (Landwirtschaft)	4000	10
17	1986	2 / 2	ausserorts (Kiesgruben)	4000	10

* Tagesverkehr 07.00-21.00 Uhr, Querschnittswerte 1985

Abb. 1 **Kornverteilungsbereich der Drainasphaltbeläge 0/10**

Prüfsieb mm	0.08	0.16	0,315	0,63	1,6	3,15	6,3	10,0	16,0	25,0
Durchgang	1,5	2,2	2,8	3,8	4,6	6,8	18,8	89,0	100,0	--
Masse - % bis	10,4	13,2	16,9	20,2	25,1	36,1	60,3	98,5	100,0	--

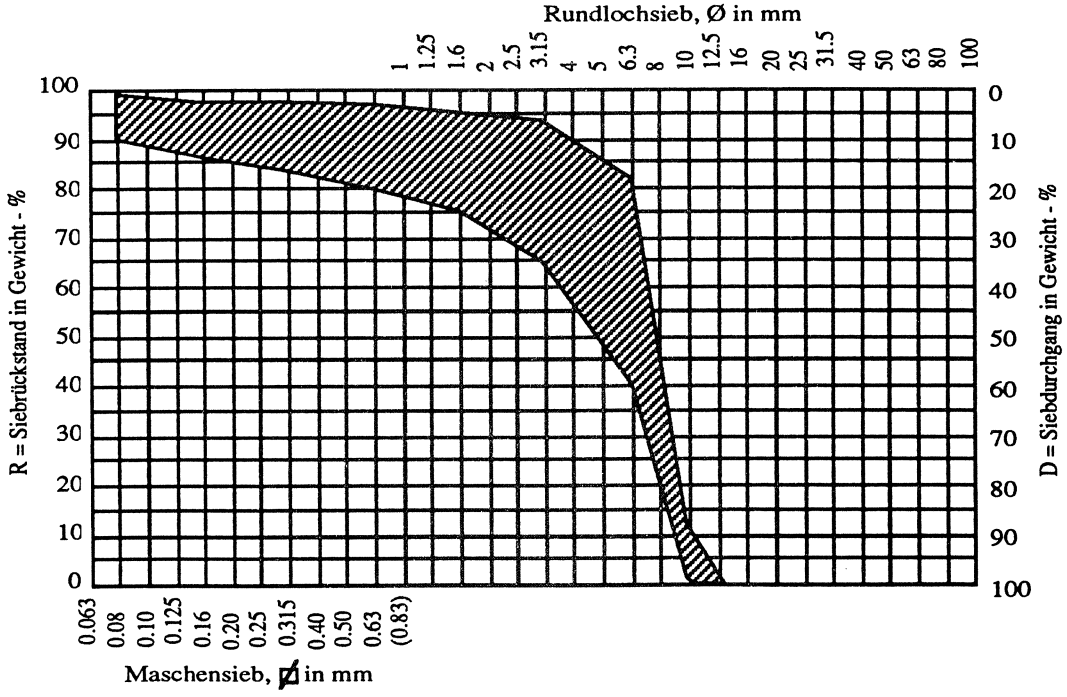
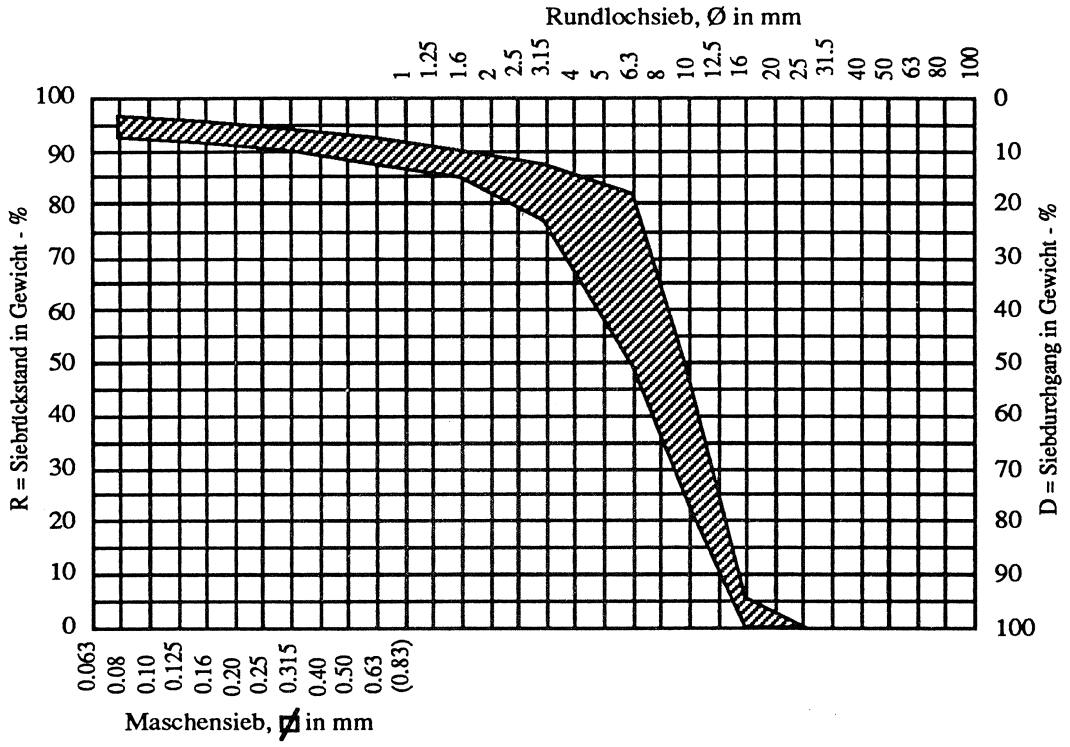


Abb. 2 **Kornverteilungsbereich der Drainasphaltbeläge 0/16**

Prüfsieb mm	0.08	0.16	0,315	0,63	1,6	3,15	6,3	10,0	16,0	25,0
Durchgang	4,5	6,1	7,3	8,5	10,5	14,1	18,9	51,6	95,8	100,0
Masse - % bis	7,6	9,6	11,1	13,0	16,0	23,7	51,1	79,1	99,9	100,0



Die **Schichtdicken** der untersuchten Drainbeläge betragen ca. 2 bis 5 cm. Bei allen Drainasphaltbelägen wurden kunststoffmodifizierte Bindemittel verwendet. Der bei den Mischgutuntersuchungen gemessene Bindemittelgehalt (löslich) liegt zwischen ca. 4,3 und 5,6 %. Die im Rahmen der Mischgutuntersuchungen mit Paraffinabdichtung an Mashallprobekörpern ermittelten Hohlraumgehalte liegen zwischen ca. 14 und 21 %. Diese Angaben wurden im Rahmen der Einbaukontrolle von den kantonalen oder beauftragten Labors ermittelt. In der nachstehenden Tabelle 2 sind die vorliegenden Angaben für die einzelnen Versuchsstrecken zusammengestellt.

Tabelle 2 **Uebersicht der untersuchten Drainasphaltbeläge**

Versuchs-strecke Nr.	Grösst-korn [mm]	Schicht-dicke [cm]	Bindemittel	Bindemittel-gehalt [Massen-%]	Hohlraum-gehalt [%] Marshall	Hohlraum-gehalt [%] Bohrkerne
1	10	2,8	Elastoren	4,77	16,7	16,8
2	10	--	Elastoren	4,76	14,3	--
3	16	4,3	Olexobit	4,37	15,0	16,1
4	16	4,8	Olexobit	4,42	16,0	15,1
5	16	4,8	Olexobit	4,42	16,0	14,6
6	10	3,4	Elastoren	4,65	10,9	14,6
7	10	2,7	Rubberized Asphalt	5,82	17,4	21,1
8	10	3,6	Rubberized Asphalt	~ 5,8	22,5	20,6
9	10	4,2	Rubberized Asphalt	5,52	18,5	16,7
10	10	2,8	Rubberized Asphalt	5,64	19,4	19,0
11	16	4,3	Elastoren	4,44	14,9	17,2
12	16	4,6	Betaplast	4,43	16,8	17,5
13	16	5,0	Betaplast	4,43	16,8	15,7
14	16	4,4	Betaplast	4,99	15,6	16,1
15	16	4,4	Elastoren	4,23	17,0	19,6
16	10	--	Rubberized Asphalt	--	--	--
17	16	--	Betaplast	--	--	--

Die **Hohlraumgehaltsbestimmung** bei Drainbelägen bietet gewisse Probleme. Insbesondere sind die auf verschiedene Arten bestimmten Hohlraumgehalte nicht direkt vergleichbar. Am einfachsten ist die geometrische Bestimmung des Hohlraumgehaltes durch Ausmessen des Probekörpers. Diese Methode ergibt im allgemeinen die grössten Hohlraumwerte, da die oberflächlichen Hohlräume bzw. Vertiefungen voll mitgerechnet werden. Realistischere Werte erhält man mit der Paraffinmethode, wobei der Probekörper im Gegensatz zum Vorgehen bei dichten Belägen aber nicht im Paraffin eingetaucht werden darf, da das Paraffin sonst in die Hohlräume des Drain- asphalts eindringt. Die Paraffinabdichtung soll beim Drainasphalt nur oberflächlich aufgetragen werden. Die Hohlraumgehaltswerte nach der Paraffinmethode liegen im Mittel um den Faktor 0,95 (± 0,04) tiefer als die geometrisch bestimmten Werte (Basis 96 Bohrkerne).

Eine dritte Methode der Holraumgehaltsbestimmung ist die Vakuummethode, welche es ermöglicht, näherungsweise den wirksamen, verbundenen Hohlraum zu bestimmen.

$$H_{wirksam}\,\% = \frac{V_{wirksam}}{V_{total}} \cdot 100\,; \quad V_{wirksam} = V_{total} - V_1 - V_2$$

$V_{wirksam}$ = Volumen der kommunizierenden, wirksamen Hohlräume
V_1 = Volumen der kommunizierenden, unwirksamen Hohlräume
V_2 = Volumen des Festkörpers und der eingeschlossenen Hohlräume

Die Untersuchung der 96 Bohrkerne aus 9 Versuchsstrecken hat einen mittleren Faktor von 0,70 (± 0,12) zwischen den nach der Vakuum-Methode und dem mit Paraffin bestimmten Hohlraumgehalt ergeben. Die Streuung ist aber so gross, dass diesem Mittelwert nur beschränkte Aussagekraft zukommt.

Die im Labor an Bohrkernen bestimmten Hohlraumgehalte erlauben höchstens im Neuzustand eine Aussage über die effektive Durchlässigkeit des Belages. Denn die Verschmutzung, welche die Durchlässigkeit (Drainagewirkung) des Belages in der Praxis stark beeinflusst, wird bei der Hohlraumgehaltsbestimmung im Labor nicht berücksichtigt.

Im Rahmen der Laboruntersuchungen wurde auch das **rückgewonnene Bindemittel** einiger Drainasphaltversuchsstrecken charakterisiert. Dabei wurde zum Teil eine extreme Verhärtung des Bindemittels im Drainbelag festgestellt. Das Bindemittel einer 6-jährigen Drainasphaltversuchsstrecke wies zum Beispiel eine mittlere Penetration von 9 [1/10 mm] auf und der Brechpunkt nach Fraass lag bei +3° C. Aussagen über das Alterungsverhalten einzelner Bindemittelsorten lassen sich hier nicht machen, da insbesondere die Ausgangswerte beim Einbau des Belages nicht bekannt sind. Die Abbildungen 3 und 4 lassen aber einen deutlichen Einfluss des Belagsalters auf die Bindemitteleigenschaften vermuten. Dieser Problemkreis wird im Rahmen des laufenden Forschungsauftrages weiter verfolgt. Trotz der teilweise extremen Bindemittelverhärtung sind aber bis jetzt keine nennenswerten Schäden an den Drainbelägen aufgetreten.

Abb. 3 **Zeitliche Entwicklung der Penetration des Bindemittels**

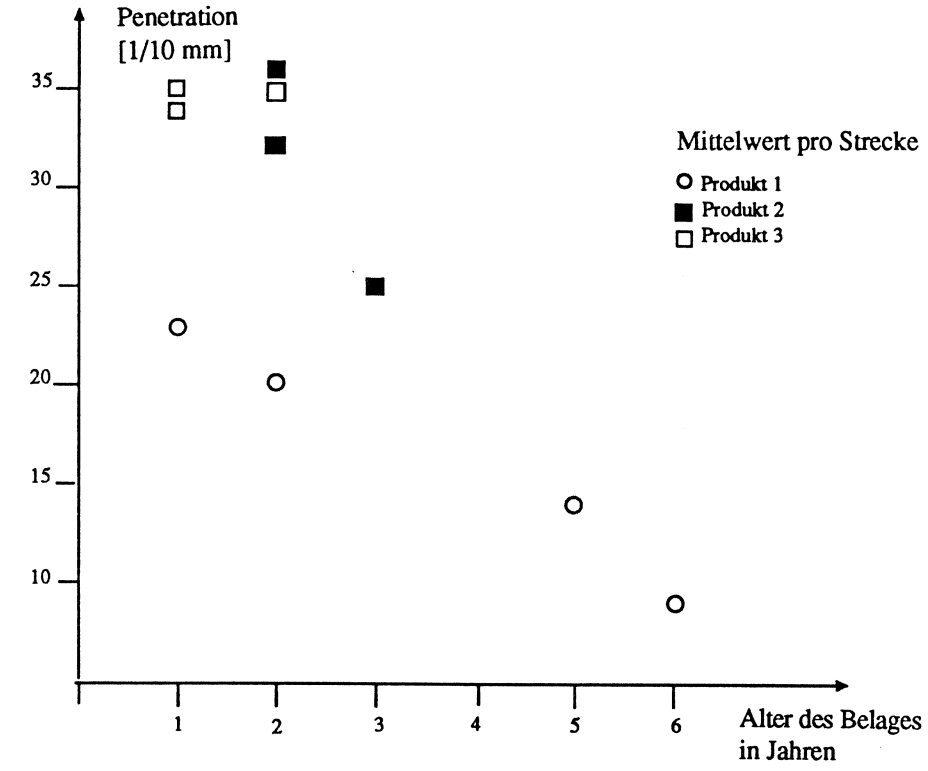
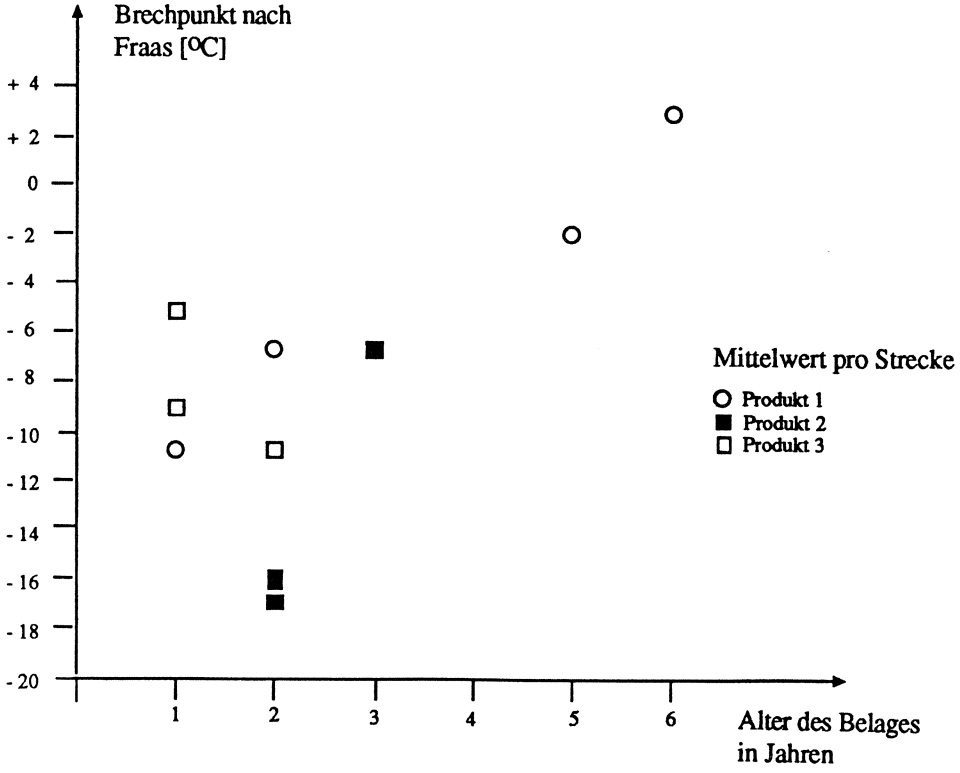


Abb. 4 **Zeitliche Entwicklung des Brechpunktes nach Fraass**



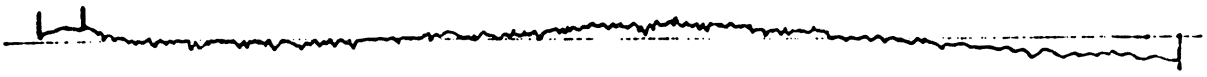
Ein weiteres Problem, das in Zukunft untersucht werden sollte, ist die Beschreibung der mechanischen Eigenschaften einer Drainasphaltmischung. Die Eignung der üblichen Versuche wie Marshall oder Spaltzug ist bei Drainasphalt-Mischgut stark eingeschränkt. Möglicherweise eignet sich das in Spanien und Belgien angewendete Verfahren der Bestimmung des Materialverlustes eines Probekörpers nach einer Anzahl Umdrehungen in der Los Angeles-Trommel besser zur Erfassung bzw. Optimierung der Mischguteigenschaften bei Drainbelägen. [C, Kraemer, International Workshop on Porous Asphalt, Breunisse NL, 1981, S.C.W. Record 6; Y. Decoene, Les enrobés drainants: Expériences et Perspectives, Vortrag Vestra-Tagung, Lausanne 1988].

Die Drainasphaltbeläge weisen im allgemeinen eine gute **Verformungsbeständigkeit** auf. Die aufgezeichneten Querprofile (Abb. 5) zeigen, dass die Ebenheit in Querrichtung normalerweise kein Problem darstellt. Dies gilt selbst dann, wenn der Drainbelag im Rahmen einer Spurrinnensanierung auf verformter Unterlage eingebaut wird.

Abb. 5 **Typische Querprofile** (mit dem Planumgerät gemessen)

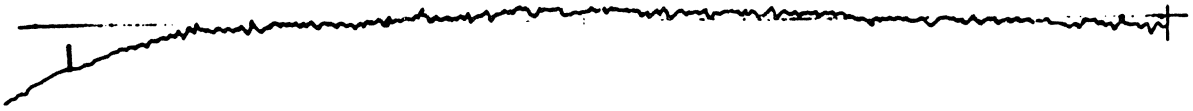
Strecke 3 nach 6 Jahren unter Verkehr

Fahrstreifenrand Mitte



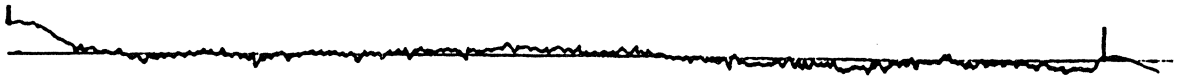
Strecke 4 nach 5 Jahren unter Verkehr

Fahrstreifenrand Mitte



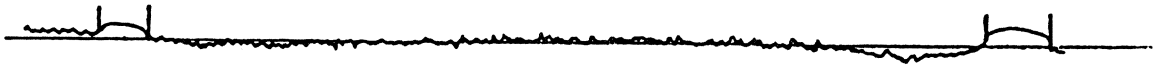
Strecke 7 (auf Beton) nach 4 Jahren unter Verkehr

Fahrstreifenrand Mitte



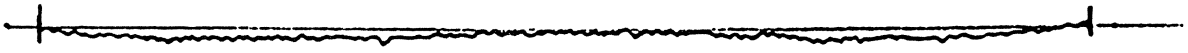
Strecke 10 nach 2 Jahren unter Verkehr

Fahrstreifenrand Mitte



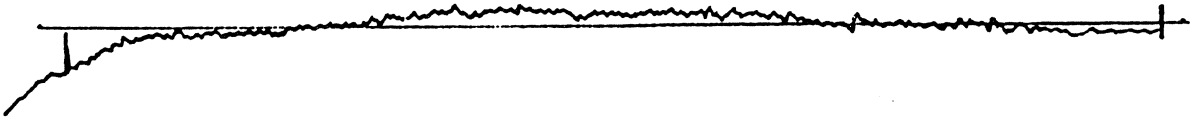
Strecke 11 nach 2 Jahren unter Verkehr

Fahrstreifenrand Mitte



Strecke 12 nach 2 Jahren unter Verkehr

Fahrstreifenrand Mitte



3. Griffigkeit

3.1 Messverfahren und Grundlagen

Die Griffigkeit als wichtige Oberflächeneigenschaft wurde auf den meisten Drainasphalt-Beobachtungsstrecken regelmässig halbjährlich oder jährlich erfasst. Die Messungen erfolgten mit dem Skiddometer BV8 des Instituts. Dabei wurde sowohl mit blockiertem Messrad gemäss Norm SN 640 510b als auch mit gebremstem Messrad gemessen. Die Messung mit gebremstem Messrad ergibt bei einem Schlupf von ca. 14% annährend den maximalen Reibungswert und dient speziell auch zur Erfassung der Mikrotextur des Belages, während der Messwert vom blokierten Messrad insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten stark von der Makrotextur beeinflusst wird.

Unter der **Mikrotextur** (Schärfe) werden die feinsten Spitzen (kleiner als ca. 0.1 mm) der Gesteinskörner verstanden, durch welche die hohen Drücke hervorgerufen werden, die notwendig sind, um den letzten dünnen Wasserfilm zu durchbrechen und Stellen quasi trockenen Kontakts herzustellen. Die Mikrotextur ist im gesamten Geschwindigkeitsbereich sowohl bei trockener als auch nasser Fahrbahn massgeblich am Aufbau der Reibungskraft beteiligt und ist ein Mass für das Griffigkeitsniveau des Belages.

Mit der **Makrotextur** wird die Oberflächenstruktur (offen, geschlossen) charakterisiert. Eine offene Oberflächenstruktur ist notwendig, um mit Hilfe der Drainageräume des Reifens das Wasser möglichst schnell aus der Reifenaufstandsfläche zu verdrängen. Die Abnahme der Reibungskraft mit zunehmender Geschwindigkeit hängt hauptsächlich von der Makrotextur ab; der Einfluss der Makrotextur vergrössert sich mit höheren Geschwindigkeiten.

Die Skiddometermessungen erfolgten unter den üblichen Messbedingungen. Als Messreifen wurde der AIPCR-Reifen 165 R15 mit 4 Längsrillen verwendet. Ab Frühjahr 1986 wurden AIPCR-Reifen der zweiten Produktion 1984 (Hersteller Maloya AG) eingesetzt. Der Reifeninnendruck betrug 1,5 bar und die Radlast 3,5 kN. Die Messungen erfolgten immer mit einer theoretischen Wasserfilmdicke von 0,5 mm.

Die Texturmessungen mit dem SRT-Pendel und der Sandfleck-Methode sind auf Drainasphaltbelägen nur bedingt anwendbar. Insbesonders auf rauhen Drainasphaltbelägen ist das Aufstellen des SRT-Pendelgerätes etwas problematisch und erfordert höchste Aufmerksamkeit. Auf den offenporigen Belägen liegen die Messwerte vom SRT-Pendel tendenziell tiefer als auf konventionellen Belägen, da die Reibfläche wegen des grossen Anteils oberflächlicher Hohlräume kleiner ist. Bei der Sandfleckmethode schlucken einzelne grosse oberflächliche Hohlräume einen erheblichen Teil des Sandes. Die Durchführung der Sandfleckmessung wird des öfteren durch im Belag aufgestaute Feuchtigkeit behindert. Ausserdem ist natürlich die Definition einer mittleren Texturtiefe bei Drainbelägen mit ihren vielen und untereinander verbundenen Hohlräumen schwierig und fragwürdig. Der Ausflussmesser gemäss Norm SN 640 510b ist zur Texturbeurteilung auf funktionstüchtigen Drainbelägen gänzlich unbrauchbar, denn das Wasser fliesst auch im Belagsinnern ab. Der Ausfluss erlaubt daher keine Rückschlüsse auf die Textur des Belages.

3.2 Messergebnisse

Die Messergebnisse sind in den nachfolgenden Abbildungen unter bestimmten Gesichtspunkten dargestellt:

- Abb. 6 Messergebnisse vom blockierten Messrad auf dem Hintergrund der Häufigkeitsverteilung
- Abb. 7 Messergebnisse vom gebremsten Messrad auf dem Hintergrund der Häufigkeitsverteilung
- Abb. 8 Darstellung der Anfangsgriffigkeit neuer Drainasphaltbeläge (Messwerte vom blockierten Rad) auf dem Hintergrund der Häufikeitsverteilung
- Abb. 9-22 Griffigkeitsentwicklung auf den Beobachtungsstrecken 1 bis 14.

Die Messung der Anfangsgriffigkeit erfolgte innerhalb der ersten zwei Monate nach Fertigstellung des Belages, auf jeden Fall aber vor dem ersten Winter. Die Darstellungen der Griffigkeitsentwicklung enthalten jeweils vier Kurven, welche auf vier Messfahrten basieren. Die vier Messfahrten wurden hintereinander jeweils in der Radspur durchgeführt.

Die auf den Drainasphaltbelägen gemessenen Griffigkeitswerte vom blockierten Messrad liegen im Rahmen der Werte konventioneller Beläge (Abb. 6). Auffällig ist die Tatsache, dass die Griffigkeitswerte der Drainbeläge kaum geschwindigkeitsabhängig sind. Die Messwertkurven in Abb. 6 verlaufen grösstenteils wesentlich flacher als die Kurven der Häufigkeitsverteilung. Das heisst, im Bereich höherer Geschwindigkeiten, wo die Makrotextur sehr wichtig ist, bieten die Drainbeläge überproportional gute Griffigkeitsverhältnisse. Demgegenüber sind die Griffigkeitsverhältnisse auf den Drainbelägen bei niedrigeren Geschwindigkeiten, wo die Mikrotextur massgebend ist, eher schlechter als auf konventionellen Belägen. Bei der Messgeschwindigkeit 40 km/h liegen zum Beispiel fast alle Drainbeläge unter der 50%-Kurve der Häufigkeitsverteilung. Die ungünstigere Mikrotextur zeigt sich auch im vergleichsweise niedrigen Niveau, das die Drainbeläge bei der Messung mit gebremstem Messrad (ca. 14% Schlupf) erreichen (Abb. 7). Alle Drainasphaltbeläge liegen unterhalb der 20%-Kurve der Häufigkeitsverteilung und bei niedrigeren Geschwindigkeiten liegt rund die Hälfte aller Drainasphaltstrecken unter der 80%-Kurve der Häufigkeitsverteilung. Die relativ ungünstige Mikrotextur der Drainbeläge erkennt man auch in den Kurven der Griffigkeitsentwicklung für die einzelnen Beobachtungsstrecken (Abb. 9 bis 22). Der relativ kleine Unterschied zwischen den Kurven vom gebremsten und vom blockierten Messrad ist auf die fehlende Oberflächenschärfe zurückzuführen. Insbesondere wenn das Griffigkeitsniveau auf einem Belag eher tiefer liegt, nähern sich die Block- und die Schlupfkurve einander sehr stark an, weil die Werte vom blokierten Messrad auf den rauhen Drainbelägen nicht so stark abfallen wie die Werte vom gebremsten Messrad.

Ansonsten zeigen die Abb. 9 bis 22, dass sich die Griffigkeitsentwicklung auf den Drainbelägen nicht wesentlich von denjenigen konventioneller Beläge unterscheidet. Das Griffigkeitsniveau bleibt, nachdem es sich eingependelt hat, relativ konstant und weist die üblichen Schwankungen infolge jahreszeitlichem Einfluss, Witterungseinfluss, Messgenauigkeit usw. auf.

Die Anfangsgriffigkeit eines neuen Drainbelages liegt häufig deutlich tiefer als die Griffigkeit desselben Belages im späteren Gebrauchszustand. Diese Tatsache zeigt sich speziell bei den Messungen mit blokiertem Messrad, wo meist eine eindeutige Griffigkeitszunahme im ersten Winter festgestellt wurde. Bei der Messung mit gebremstem Messrad kommt diese Tendenz häufig nicht klar zum Ausdruck. Hier ist vielfach bereits im ersten Winter eine Griffigkeitsabnahme zu beobachten. Auch beim Vergleich der Abb. 6 und 8 erkennt man das niedrigere Niveau der Anfangsgriffigkeit gegenüber der Griffigkeit im Gebrauchszustand bei der Messung mit blockiertem Messrad.

3.3 Schlussfolgerungen

Die Griffigkeit der Drainbeläge liegt grundsätzlich auf ähnlichem Niveau wie diejenige konventioneller Beläge. Die Drainbeläge bieten dank ihrer guten Makrotextur im allgemeinen vergleichsweise gute Griffigkeit bei höheren Geschwindigkeiten. Andererseits weisen sie häufig Mängel bezüglich der Oberflächenschärfe (Mikrotextur) auf. Verglichen mit der Häufigkeitsverteilung der Griffigkeit konventioneller Beläge liegt die Griffigkeit der Drainbeläge vor allem bei niedrigeren Geschwindigkeiten und bei der Messung mit gebremstem Messrad tiefer. Die Verwendung hochwertiger Splitte mit sehr guter Polierresistenz und Kantigkeit ist daher von grösster Wichtigkeit im Hinblick auf gute Griffigkeitsverhältnisse bei Drainbelägen. Aufgrund ihrer speziellen Oberflächenstruktur muss der Splitt bei Drainbelägen erheblich höheren Anforderungen genügen als bei konventionellen Belägen. Denn bei diesen Spezialbelägen erfolgt der gesamte Kontakt Fahrzeug-Fahrbahn über die Splittkörner, welche gleichzeitig auch fast allein für die Oberflächenschärfe verantwortlich sind. Angesichts der vielen zufriedenstellenden und guten Griffigkeitswerte auf den Beobachtungsstrecken kann man aber davon ausgehen, dass in der Schweiz geeignete Splitte verfügbar sind. Die prinzipbedingten Nachteile der Drainbeläge bezüglich der Griffigkeit bei niedrigen Geschwindigkeiten sollten aber bei der Anwendung von Drainbelägen innerorts oder in kritischen Kurven berücksichtigt werden.

Wie bei konventionellen Belägen gibt es auch bei Drainbelägen häufig Probleme mit der Anfangsgriffigkeit neuer Beläge. Bei den Drainbelägen wird das Problem dadurch verschärft, dass einerseits die Oberflächenschärfe vielfach sowieso nicht überragend ist und dass andererseits Abhilfemassnahmen (Abstreuen, etc.) nicht möglich sind. Eine Verbesserung der Griffigkeit tritt erst mit der Zeit infolge Verkehrsbeanspruchung und Witterungseinfluss ein.

Wenn man auch zwischen der Griffigkeit als Belagsoberflächeneigenschaft und der Gefahr von Aquaplaning als Entwässerungsmerkmal unterscheiden muss, sei hier doch auf den ganz wichtigen Vorteil, den die Drainbeläge bezüglich Aquaplaning bieten, hingewiesen. Ähnlich wie ihre Griffigkeitscharakteristik bewirkt auch die starke Verringerung der Aquaplaninggefahr durch funktionstüchtige Drainbeläge einen wesentlichen Sicherheitsgewinn auf Strassen mit schnellem Verkehr.

Abb. 6 **Messergebnisse vom blockierten Messrad auf dem Hintergrund der Häufigkeitsverteilung**

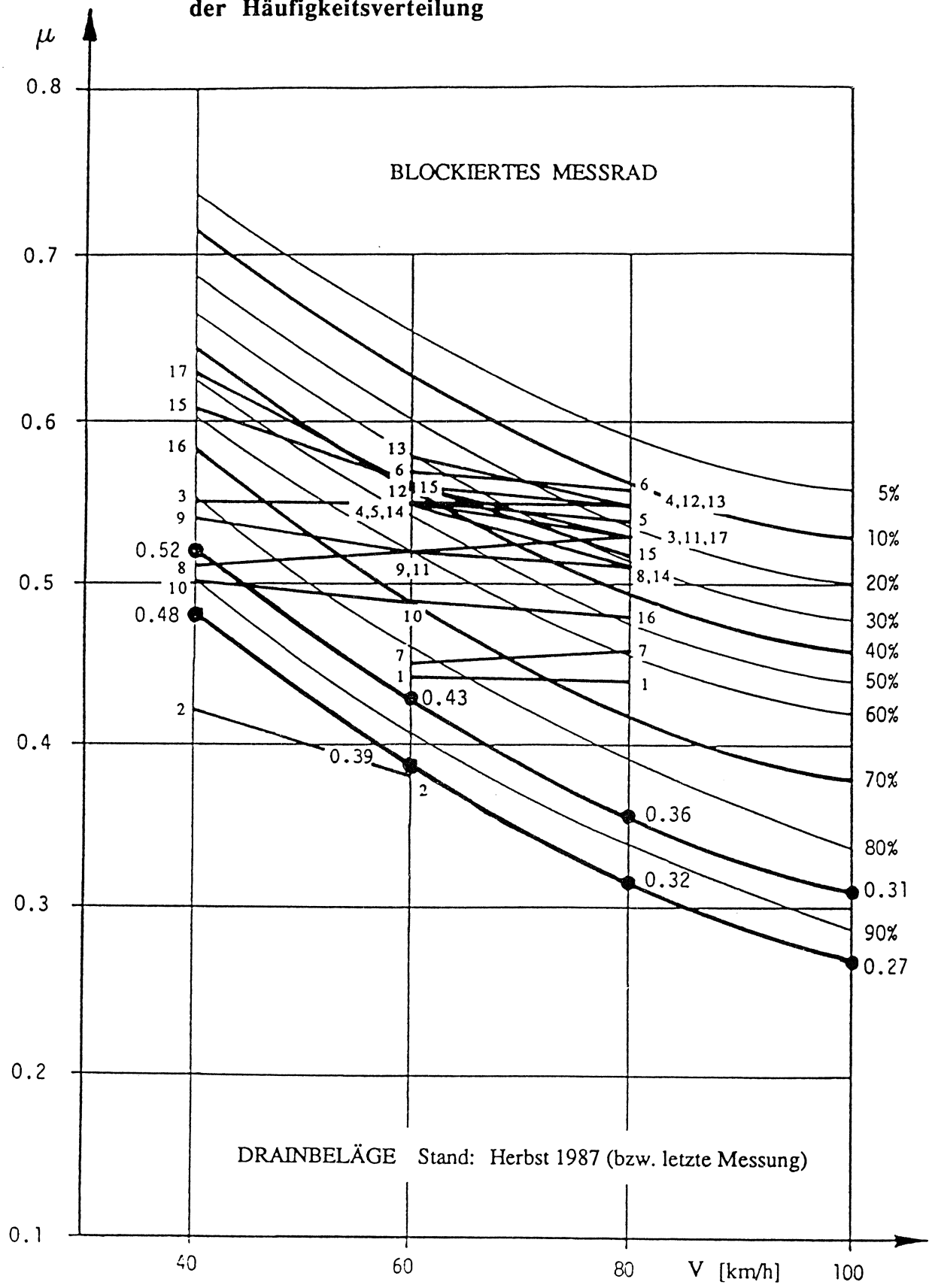


Abb. 7 **Messergebnisse vom gebremsten Messrad auf dem Hintergrund der Häufigkeitsverteilung**

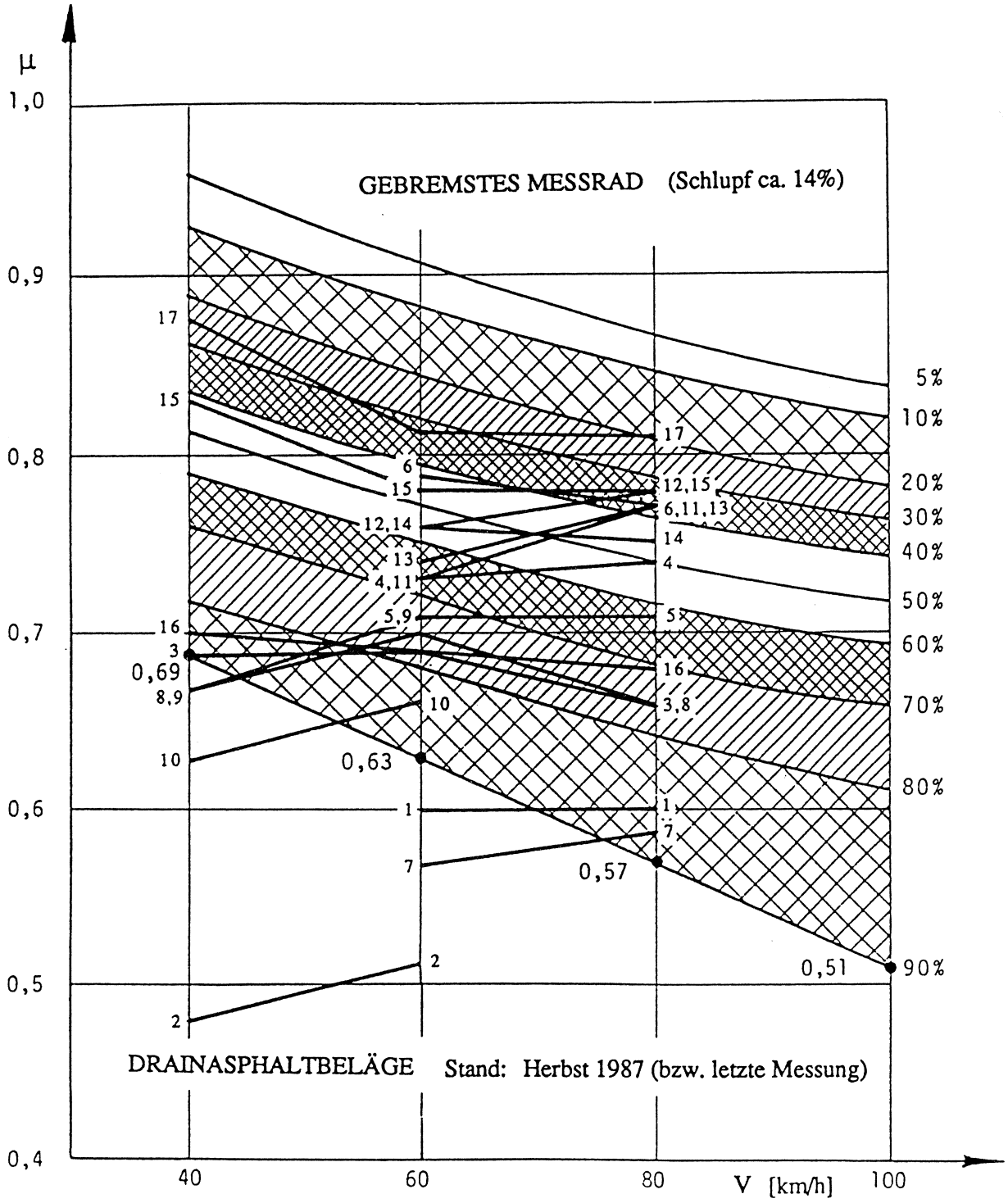


Abb. 8 **Darstellung der Anfangsgriffigkeit neuer Drainasphaltbeläge (Messwerte vom blockierten Rad) auf dem Hintergrund der Häufigkeitsverteilung**

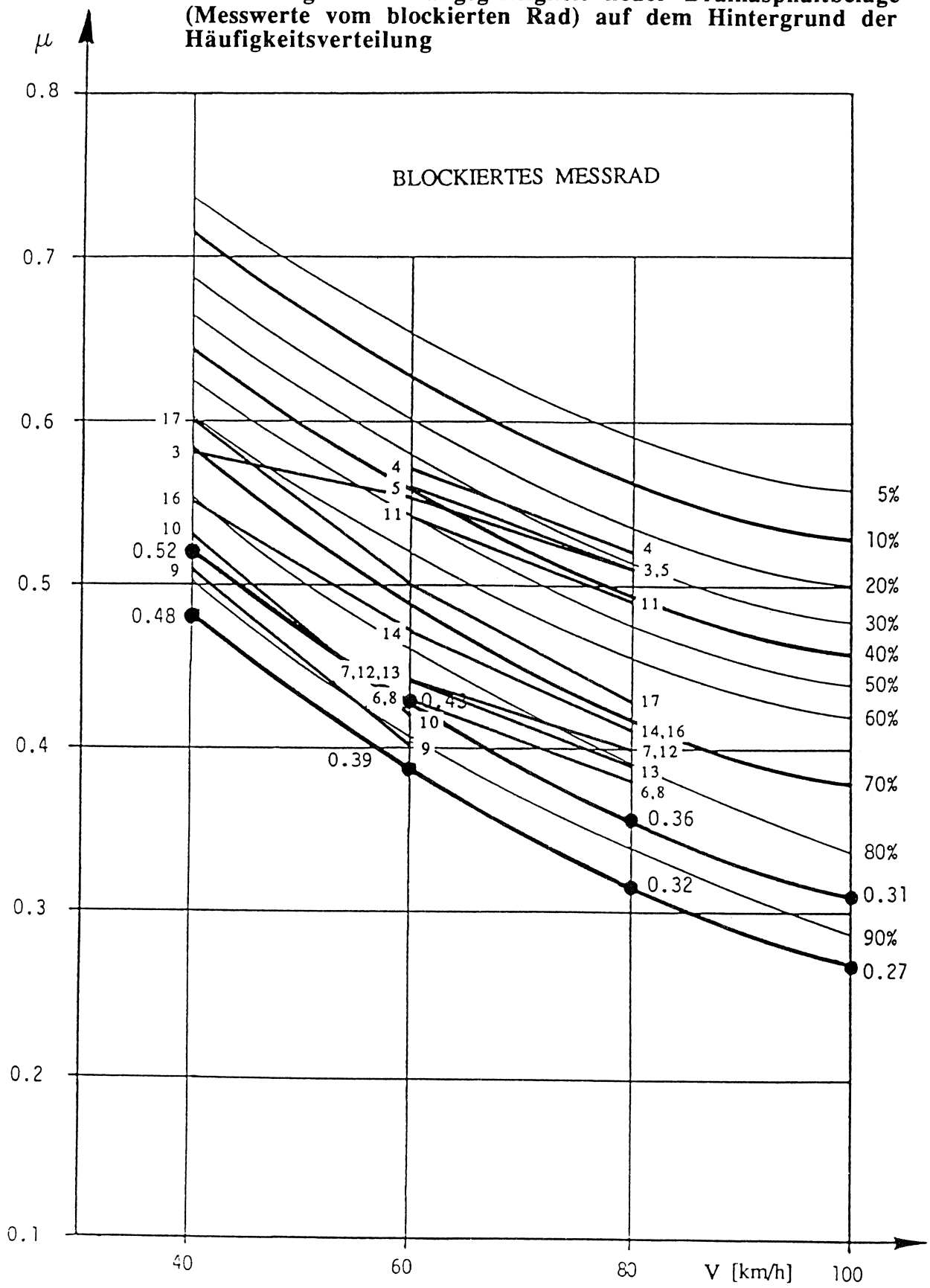


Abb. 9 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 1**

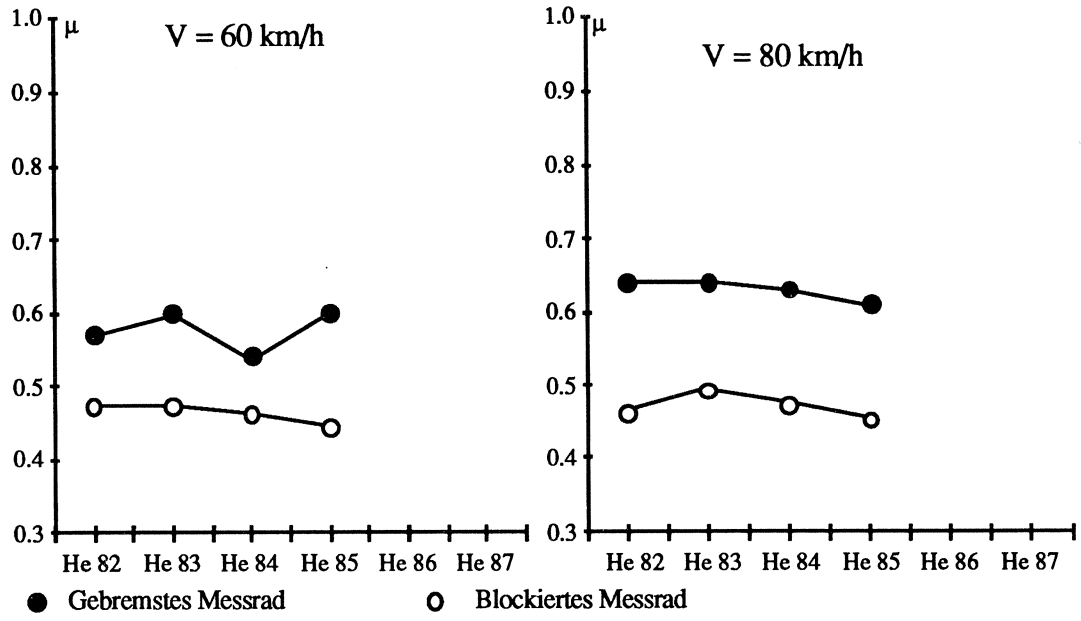
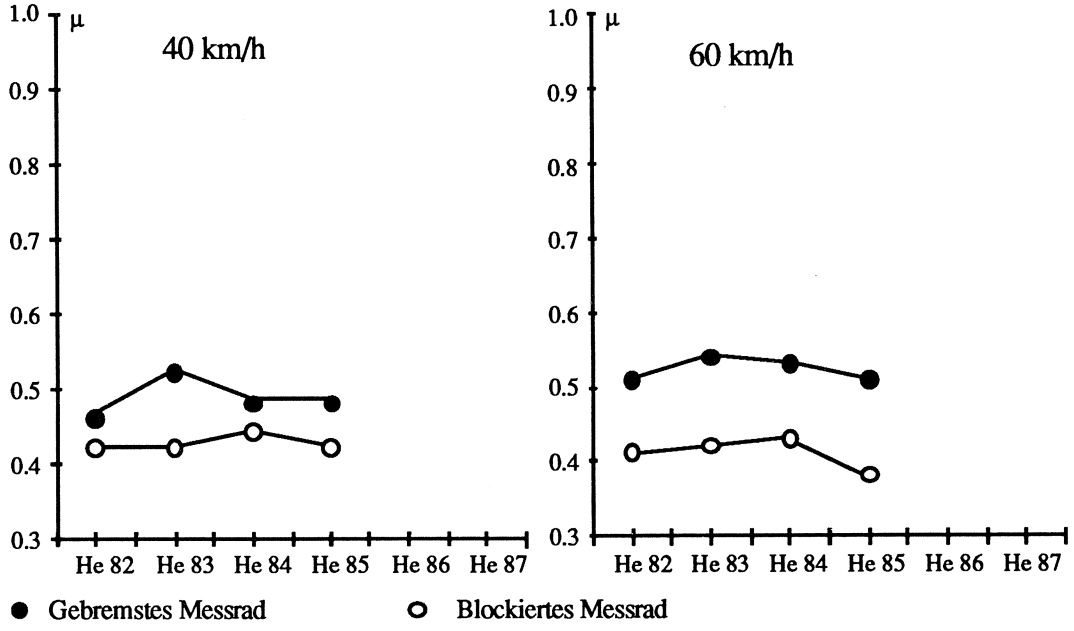


Abb. 10 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 2**



He = Herbst

Abb. 11 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 3**

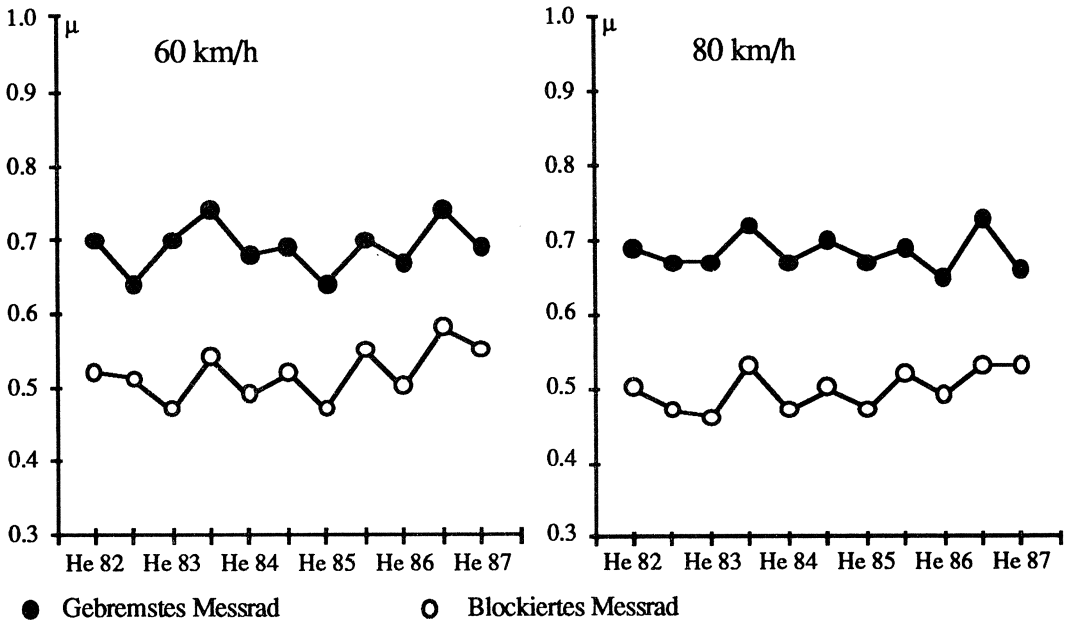
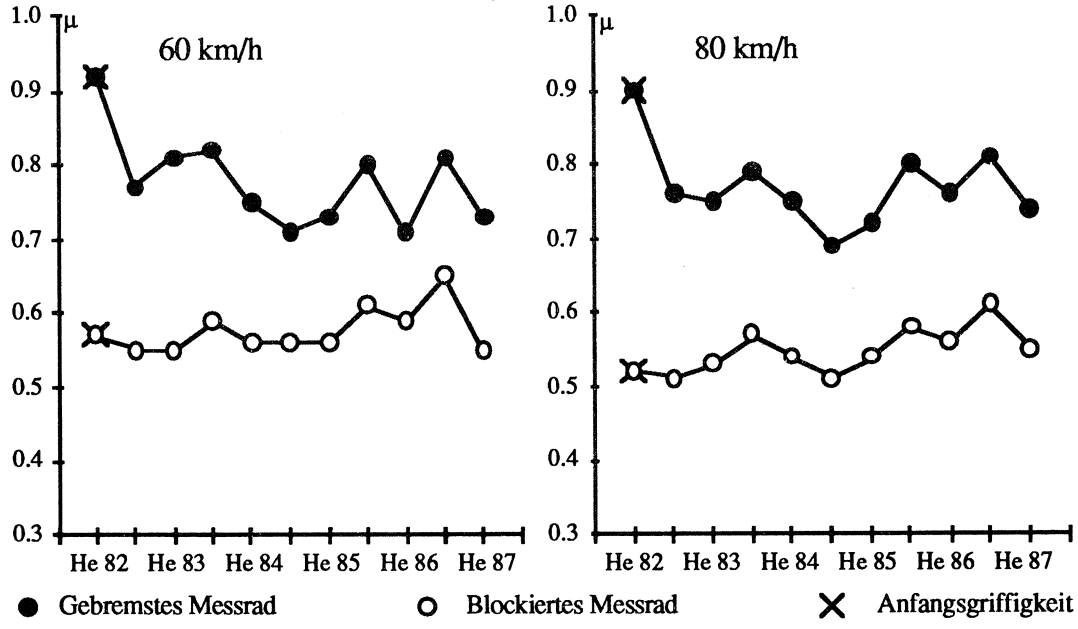


Abb. 12 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 4**



He = Herbst

Abb. 13 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 5**

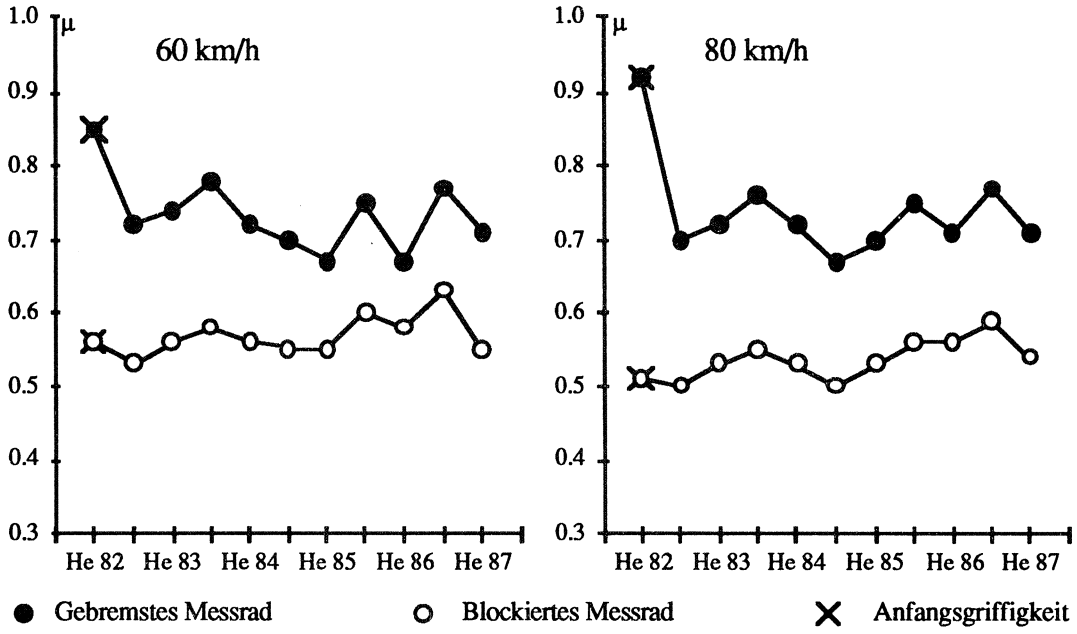
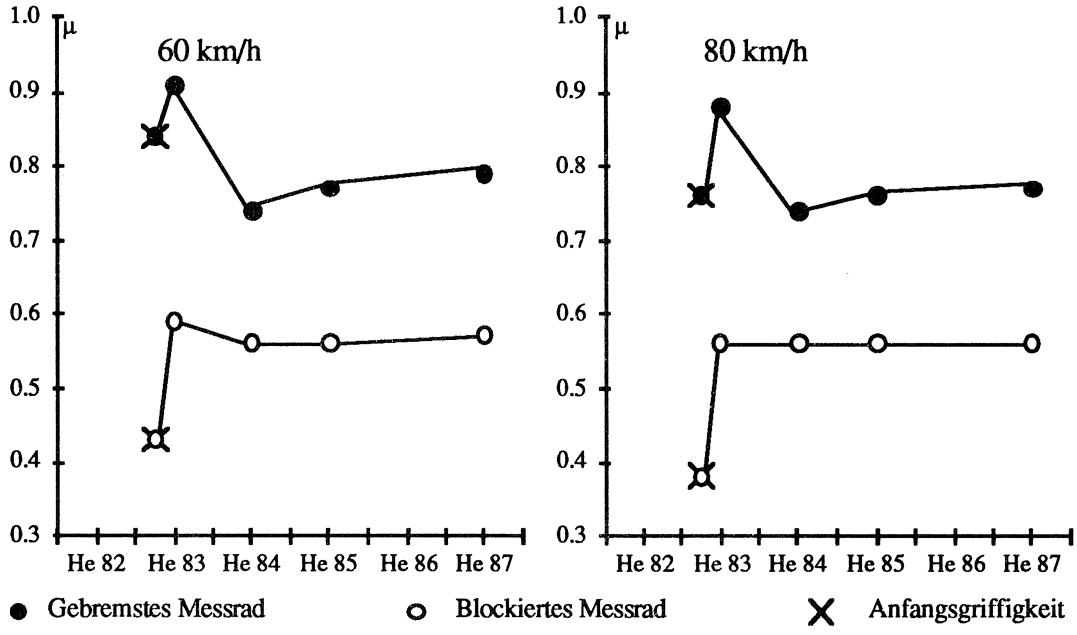


Abb. 14 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 6**



He = Herbst

Abb. 15 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 7**

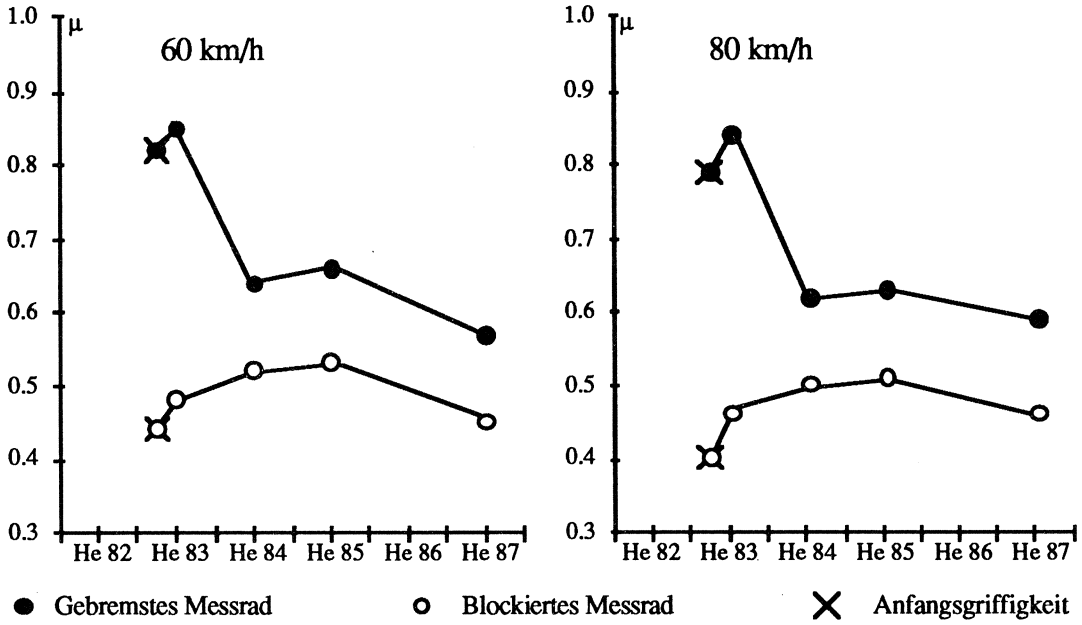
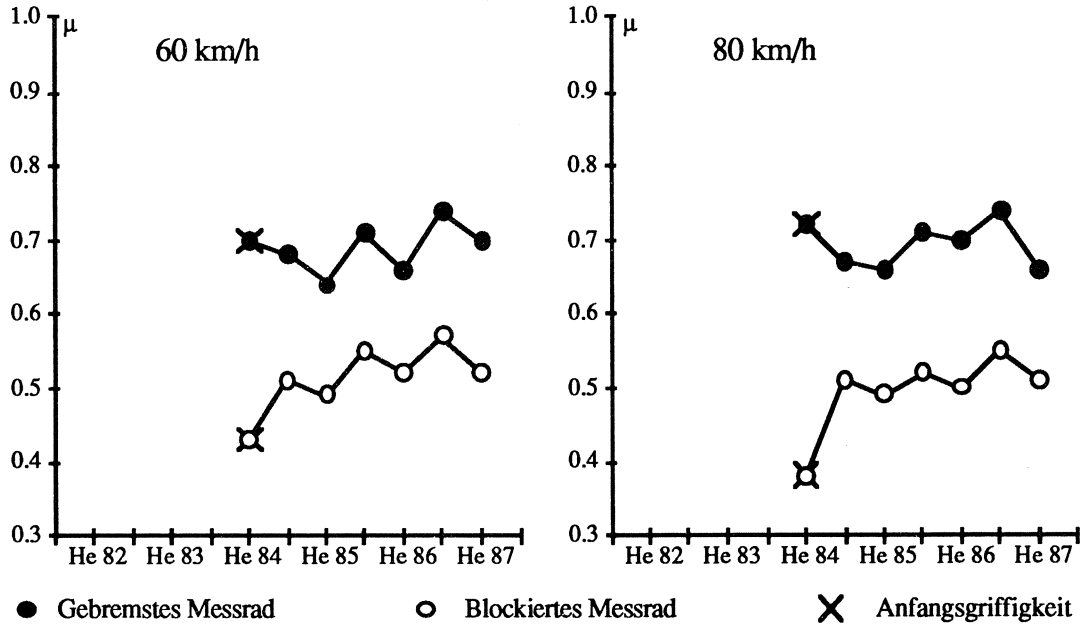


Abb. 16 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 8**



He = Herbst

Abb. 17 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 9**

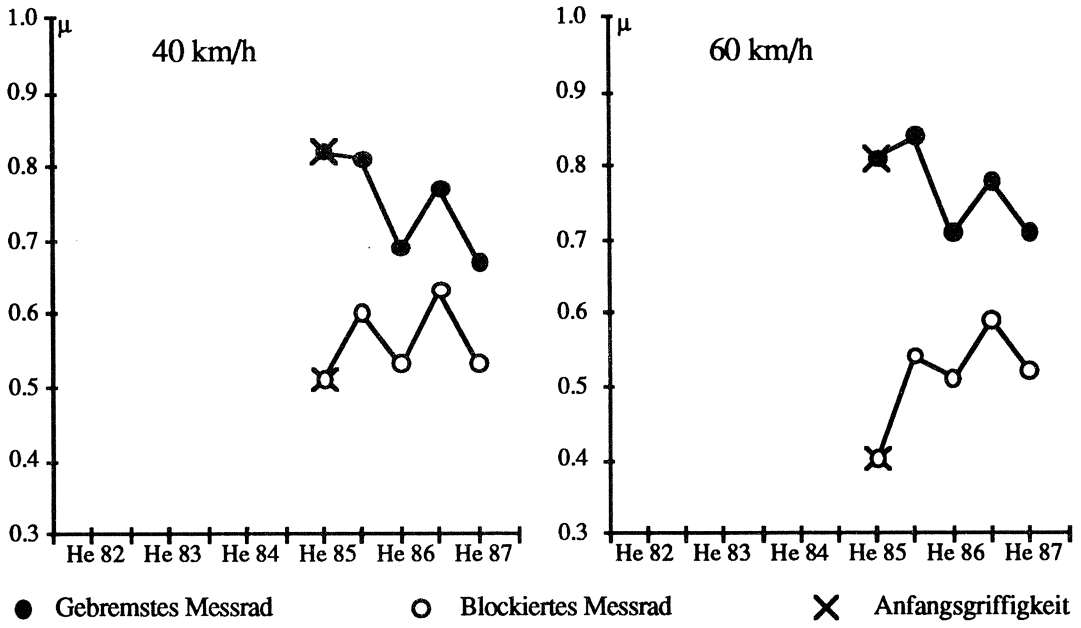
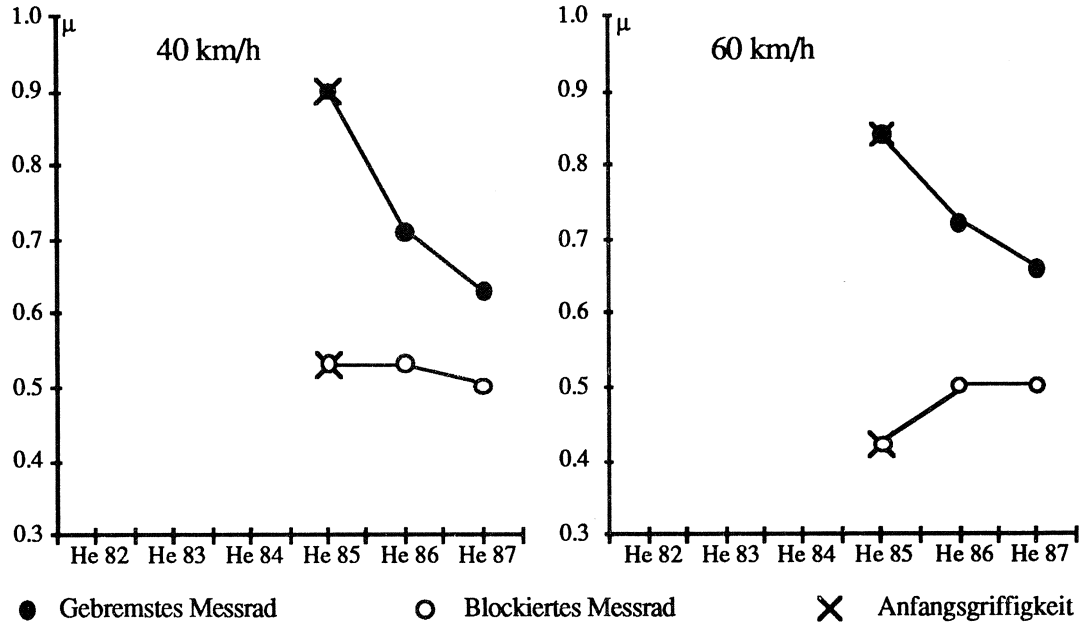


Abb. 18 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 10**



He = Herbst

Abb. 19 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 11**

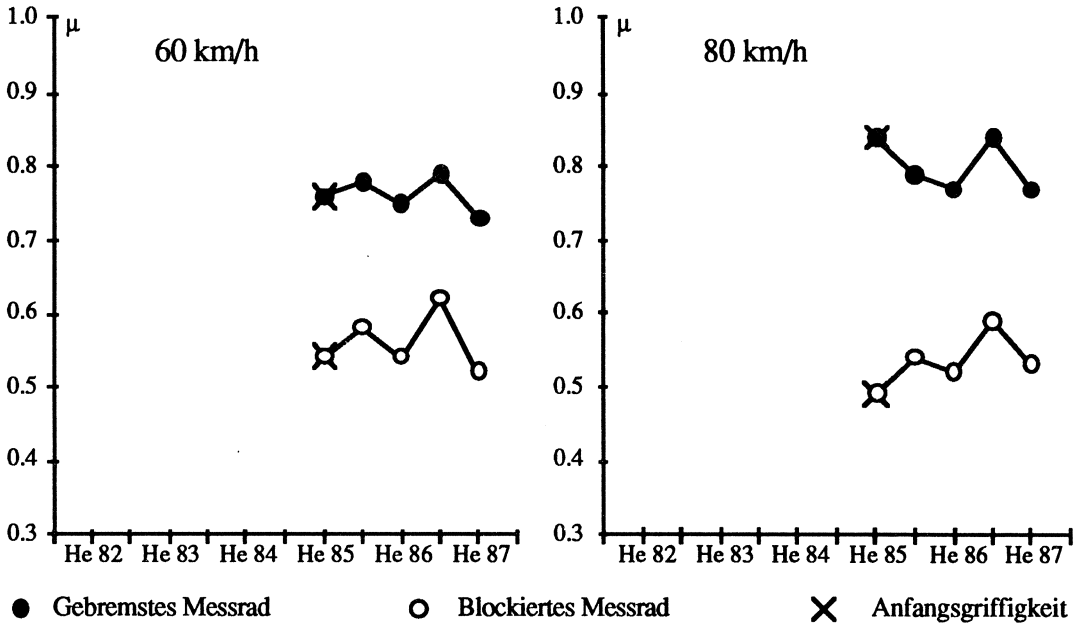
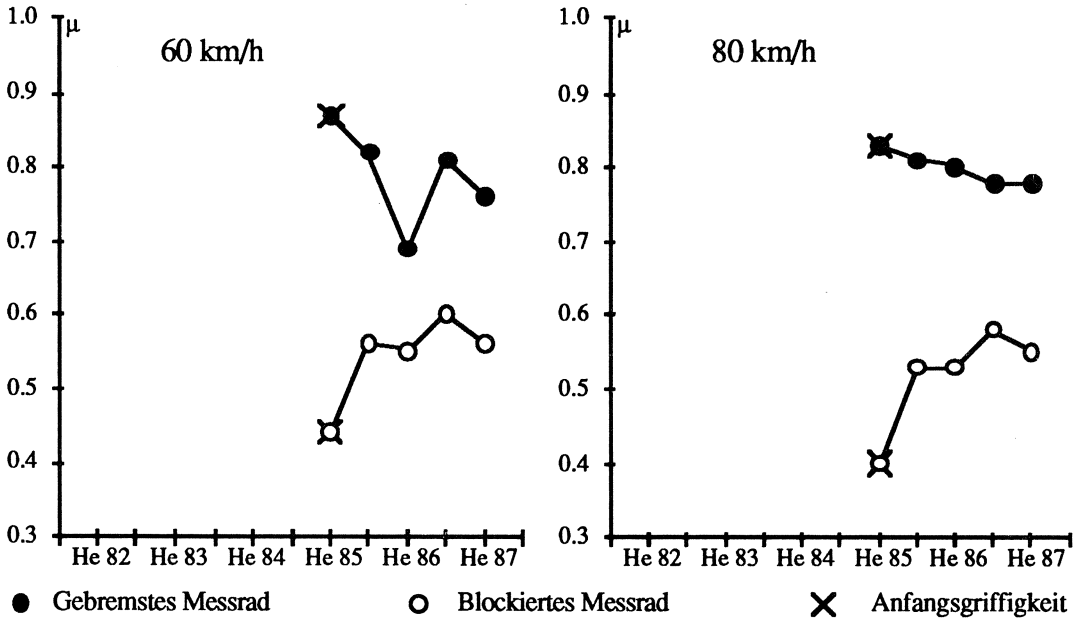


Abb. 20 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 12**



He = Herbst

Abb. 21 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 13**

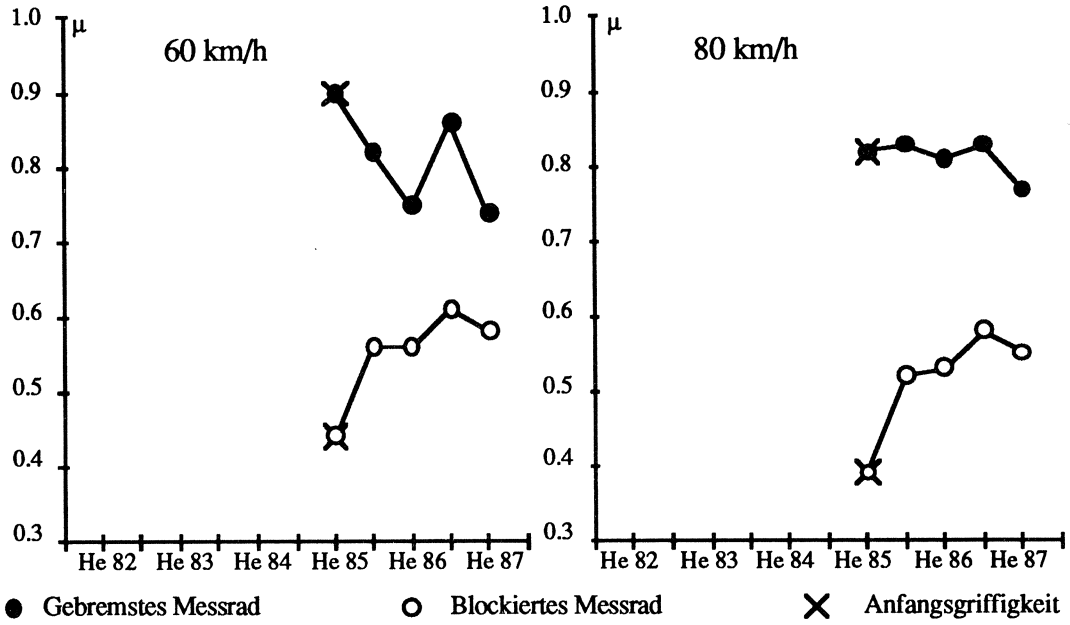
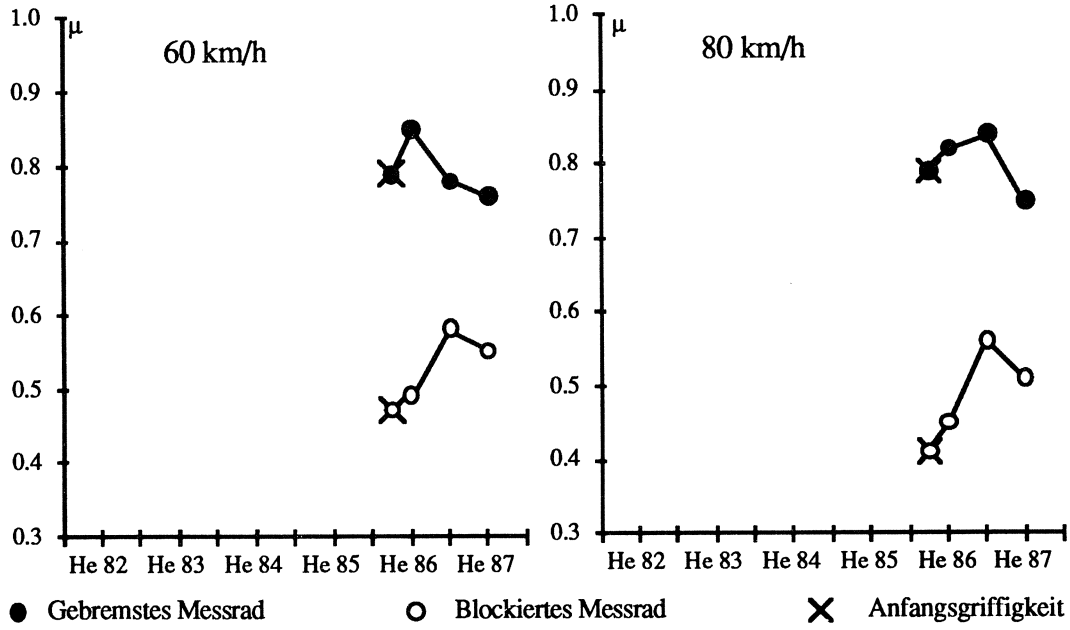


Abb. 22 **Griffigkeitsentwicklung Strecke Nr. 14**



He = Herbst

4. Durchlässigkeit

Die Wasserdurchlässigkeit ist die charakteristische Eigenschaft der Drainbeläge. Hierin unterscheiden sich diese Spezialbeläge von den konventionellen Strassenbelägen und darauf basieren ihre Vorteile, wie starke Verringerung der Aquaplaninggefahr und günstige akustische Wirkung, und ihre Nachteile, wie zum Beispiel erhöhte Anforderungen an das verwendete Material und andersartiges Winterverhalten. Das Drainagevermögen der Drainbeläge erfordert auch spezielle bauliche Vorkehrungen bei der Entwässerung der Fahrbahnoberfläche. Denn im Gegensatz zum dichten konventionellen Belag dient nicht die Fahrbahnoberfläche sondern die Unterlage des Drainbelags als Entwässerungsebene, weil der hohlraumreiche Belagsaufbau mit vielen durchgehenden und untereinander verbundenen Drainagekanälen es bis zu einer gewissen Grenze ermöglicht, die anfallenden Niederschläge zu schlucken und innerhalb der Belagsschicht abzuführen.

Auch bei der messtechnischen Erfassung des Drainagevermögens musste Neuland beschritten werden. Angesichts der Bedeutung der Durchlässigkeit für die Wirkungsweise der Drainbeläge ist eine objektive Erfassung dieser Eigenschaft von grösster Wichtigkeit für die Beurteilung dieser Spezialbeläge.

4.1 Messverfahren

Eine der ersten Tätigkeiten im Rahmen dieses Forschungsauftrages galt daher der Suche nach einem geeigneten Messverfahren für die Durchlässigkeit. Der bekannte und 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 wohl eine Beurteilung der Oberflächenrauhigkeit (Makrotextur) erlaubt, nicht aber eine Aussage über die Durchlässigkeit von Drainbelägen zulässt. Die aus der ausländischen Literatur bekannten Durchlässigkeitsmessgeräte konnten unseren Anforderungen ebenfalls nicht genügen, da sie entweder zu ungenau oder zu kompliziert in der Anwendung waren. Aus diesem Grund wurde vom Institut ein neues Messverfahren für die Durchlässigkeit von Drainbelägen entwickelt, das folgende Anforderungen zu erfüllen hatte:

- einfache und rasche Anwendbarkeit direkt auf der Strasse;
- zerstörungsfreie Messung ohne Beeinträchtigung der Belagsoberfläche, keine Rückstände hinterlassend;
- ausreichende (relativ hohe) Messgenauigkeit;
- gute Aussagekraft;
- relativ geringe Empfindlichkeit gegenüber Bedienungseinflüssen;
- geringe Kosten der Geräte und der Messung.

Ausgehend von diesem Anforderungsprofil wurde der nachfolgend beschriebene Durchflussmesser IVT sowie das dazugehörige Messverfahren entwickelt. Diese Art der Durchlässigkeitsmessung bei Drainbelägen wird in der Schweiz nun seit rund sieben Jahren erfolgreich angewendet.

Der Durchflussmesser IVT besteht aus einem Plexiglaszylinder mit 19 cm Innendurchmesser (aussen 20 cm) und einer Gesamthöhe von 25 cm. Es sind 5 Markie-

rungen im Abstand von 2 cm eingraviert, wobei sich die Nullmarke 12 cm über der Unterkante befindet (Abb. 23). Der untere Rand des Zylinders wird mit einer "Wurst" (Länge ca. 63 cm, Durchmesser (Dicke) ca. 3 cm, entspricht einem Gewicht von rund 600 g) aus Spezialkitt Teroson Terostat IX belegt, wobei diese Kittwurst eher an der Aussenkante des Zylinders aufgelegt wird (Abb.24). Der Kittkranz soll möglichst gleichmässig dick und gut geschlossen sein. Anschliessend wird der Zylinder mit kräftigem vertikalem Druck auf der Strassenoberfläche aufgestellt. Der aussen hervorquellende Kitt wird zusätzlich rundherum kräftig mit angefeuchteten Fingern angedrückt, so dass ein etwa 3 cm breiter Kittrand entsteht, welcher die hervorstehenden Splittkörner gut umhüllt und die oberflächlichen Hohlräume ausfüllt (Abb. 25).
Auf diese Weise wird der Übergang Zylinderwand - Strassenoberfläche abgedichtet, und das Wasser wird gezwungen, durch die Hohlräume innerhalb des Belages abzufliessen. (Ausserhalb der Abdichtung tritt das Wasser naturgemäss wieder an die Oberfläche). Auf der Innenseite wird der hervorquellende Kitt nicht behandelt.

Der Zylinder wird mit etwa 4 Liter Wasser (bei sehr durchlässigen Drainasphalten eher mehr) gefüllt, dann wird die Ausflusszeit gemessen. Zur besseren Ablesbarkeit des Wasserspiegelstandes und der Markierungen empfiehlt sich die Verwendung eines leicht geneigt aufgestellten Spiegels (Abb. 26).
Die Zeitmessung beginnt, wenn der Wasserspiegel die Nullmarke erreicht hat. Bei jeder Markierung, das heisst alle 2 cm, wird eine Zwischenzeit gestoppt. Die Erfassung der Zwischenzeiten dient zur Kontrolle und Vermeidung grober Fehler.

Massgebend ist die Zeit für die Wasserspiegelabsenkung um 8 cm, das heisst von der Nullmarke bis zur 8-cm-Marke. Diese Wasserspiegelabsenkung um 8 cm entspricht einer Ausflussmenge von 2,27 Liter. Falls die Wasserspiegelabsenkung bis zur 4-cm-Marke länger als 300 Sekunden dauert, kann die Messung abgebrochen werden. In diesem Fall ist die Durchlässigkeit und damit die Funktionstüchtigkeit des Drainbelages stark vermindert.

Die Messung der Durchlässigkeit ist eine punktuelle Messung. Wie bei allen punktuellen Messverfahren wirken sich auch bei dieser Durchlässigkeitsmessung die Inhomogenitäten des Belages nachteilig aus. Um einen Belag repräsentativ zu erfassen, müssen daher genügend Messpunkte angeordnet werden. Dies gilt ganz besonders für die bei vielen Drainbelägen stark streuenden Durchlässigkeitswerte.
Pro Messstrecke sollen mindestens 3 Meßstellen angeordnet werden. Bei längeren Strecken sollen die Meßstellen einen Abstand von höchstens 300 bis 400 m aufweisen.
Eine Meßstelle umfasst jeweils 4 (bei Strassen mit Pannenstreifen: 6) Messpunkte. Die Anordnung der Messpunkte pro Meßstelle erfolgt gemäss Abb. 27. Jede Messstelle hat zwei Messquerschnitte (A, B).
Für periodische Untersuchungen über einen längeren Zeitraum sind die einzelnen Messpunkte zu markieren oder so zu vermassen, dass eine spätere Identifikation wieder möglich ist. Wenn man die Durchlässigkeitsentwicklung erfassen will, ist es wichtig, die Messungen immer an den gleichen Stellen vorzunehmen.

Die gemessenen Durchflusszeiten für eine Wasserspiegelabsenkung um 8 cm liegen zwischen etwa 10 Sekunden bei einem sehr durchlässigen Drainasphalt und unendlich (= kein Durchfluss feststellbar) bei einem dichten Belag, sei es ein konventioneller Belag oder ein verstopfter Drainbelag.

Abb. 23 **Abmessungen des Durchflussmessers IVT**

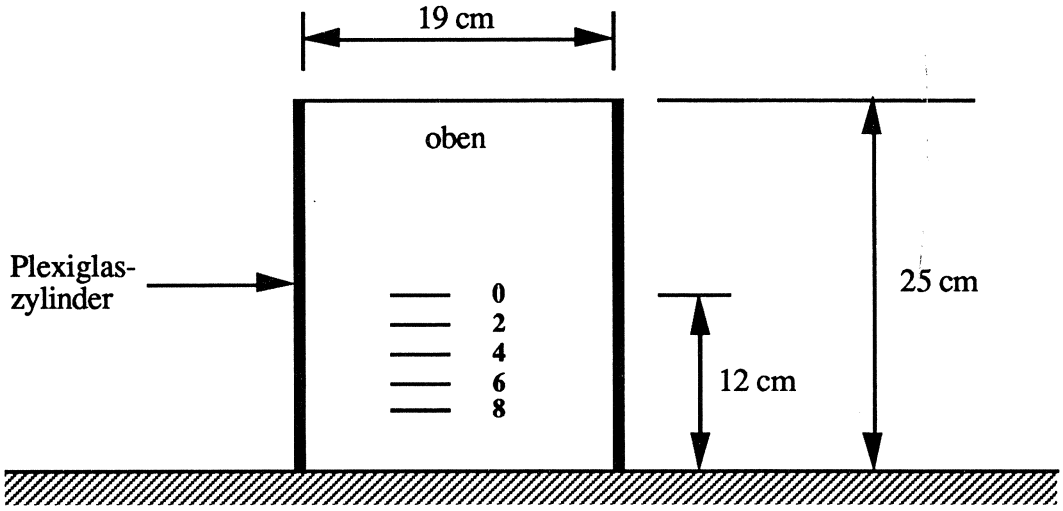


Abb. 24 **Auflegen des Spezialkitts**

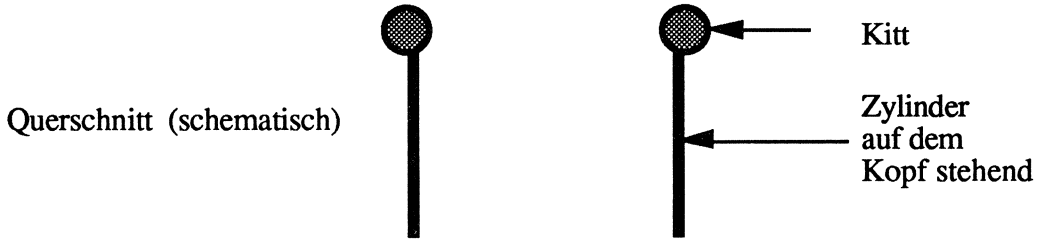


Abb. 25 **Aufstellung des Durchflussmessers IVT**

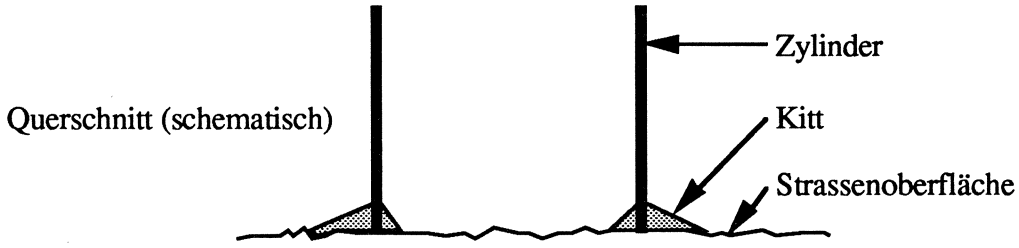


Abb. 26 **Durchflussmesser IVT auf einem Strassenbelag**

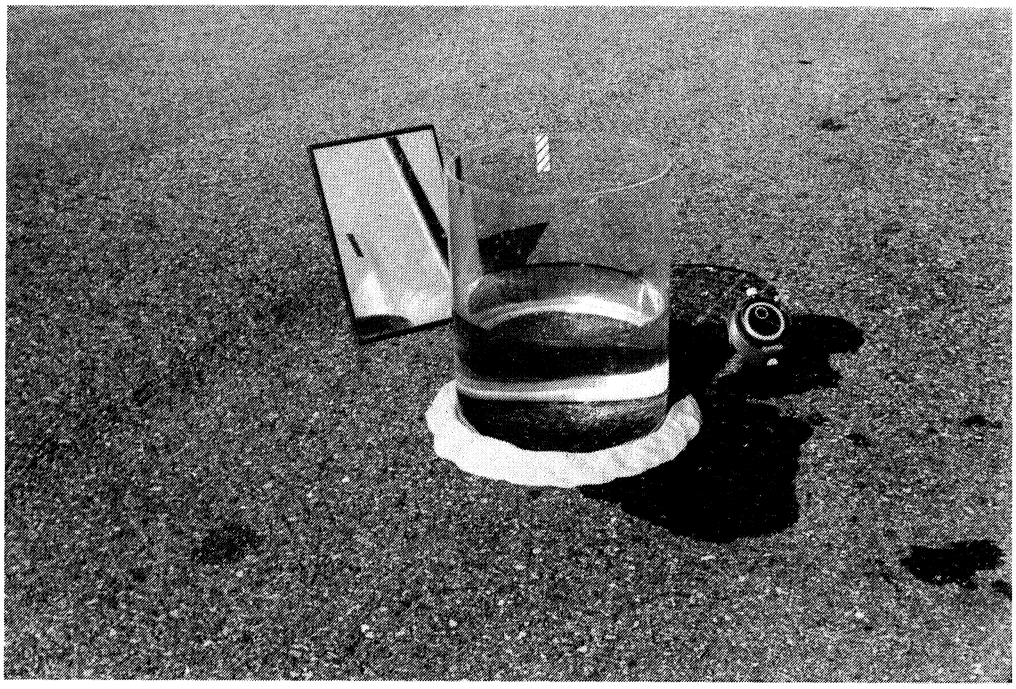
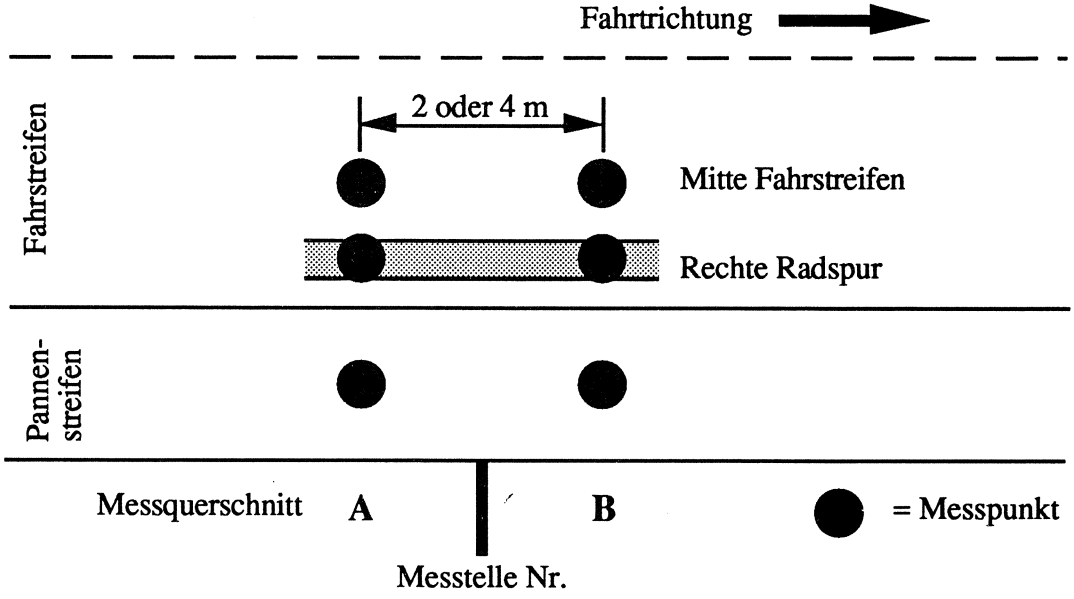


Abb. 27 **Anordnung der Messpunkte pro Meßstelle**
2 m Abstand der Messpunkte, falls nur die Durchlässigkeit bestimmt wird; 4 m Abstand falls auch Sandfleck und Planum (Querebenheit) gemessen werden.



4.2 Durchlässigkeit bei neuen Drainbelägen

Bei der Durchlässigkeit stehen zwei Gesichtspunkte im Vordergrund. Einerseits die Durchlässigkeit des neuen Belages und andererseits die Durchlässigkeitsentwicklung auf dem Belag mit zunehmendem Alter.

Die bisher auf neuen Drainasphaltbelägen gemessenen Anfangswerte für die Wasserspiegelabsenkung um 8 cm lagen zwischen 23 sec. und ca. 105 sec. Hierbei handelt es sich jeweils um einen über den gesamten Belag gemittelten Wert. Einzelne Messwerte können auch ausserhalb dieses Bereiches liegen. Der Mittelwert für die Anfangsdurchlässigkeit auf allen im Neuzustand gemessenen Drainbeläge liegt bei ca. 3,4 l/min., was einer massgebenden Ausflusszeit von ca. 40 sec. entspricht. Ein Einfluss des Grösstkorns (10 bzw. 16 mm) auf die Durchlässigkeit im Neuzustand des Belages ist nicht klar feststellbar.

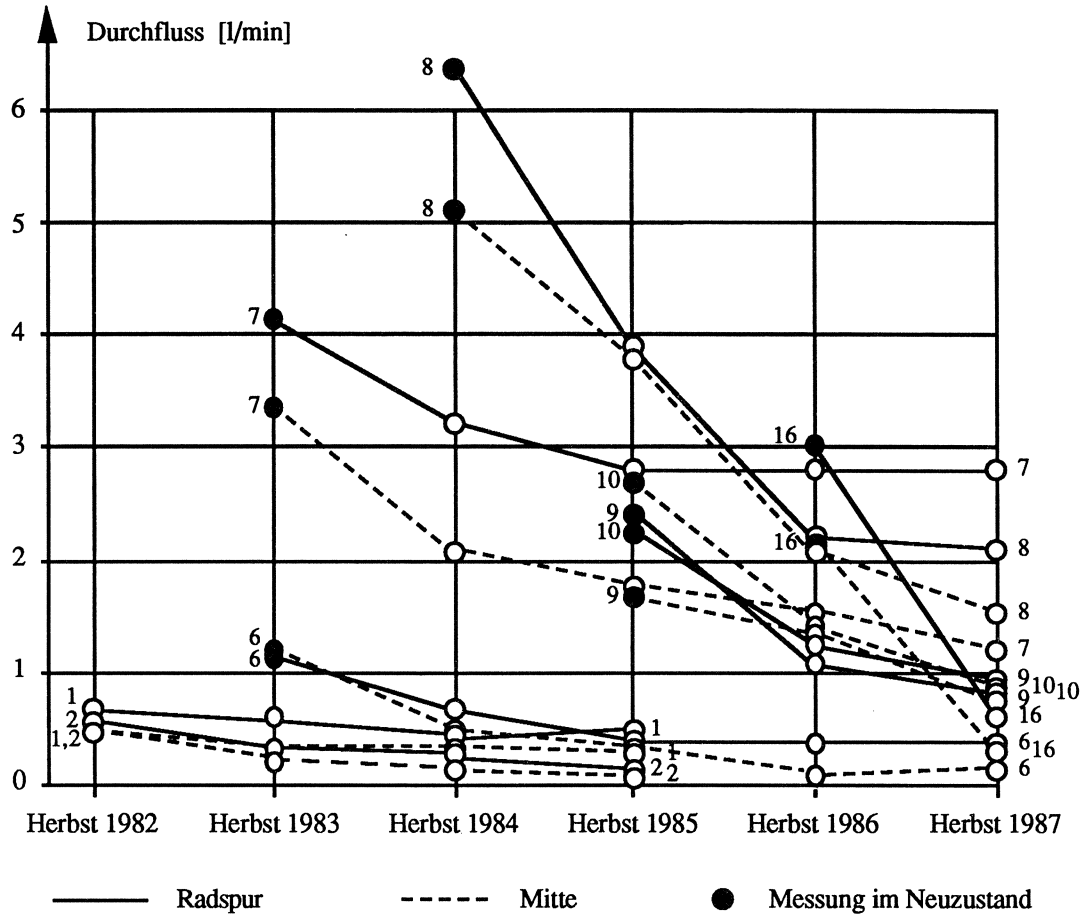
Erhebliche Durchlässigkeitsunterschiede treten aber nicht nur zwischen verschiedenen Drainasphaltbelägen auf. Selbst innerhalb eines Belages können die Durchlässigkeitswerte bereits im Neuzustand sehr stark streuen. Standardabweichungen der Messwerte in der Grössenordnung von 30 bis 50% des Mittelwertes sind keine Seltenheit. Dies deutet daraufhin, dass beim Einbau von Drainbelägen vielfach Probleme bezüglich der Homogenität entstehen. In die gleiche Richtung weisen auch die teilweise erheblichen Streuungen zwischen den Kennwerten der einzelnen Proben bei den Laboruntersuchungen. Unter der Annahme, dass ein Drainbelag als homogen gelten kann, wenn die Standardabweichung der Durchflusswerte kleiner als 30% des mittleren Durchflusswertes ist, weist rund die Hälfte der im neuwertigen Zustand gemessenen Drainbeläge eine homogene Durchlässigkeit auf. Die künftige Entwicklung und zunehmende Erfahrung sollten hier eine Verbesserung bringen.

4.3 Durchlässigkeitsentwicklung

Die Durchlässigkeitsentwicklung ist im Hinblick auf die Gebrauchsdauer der Drainbeläge von besonderem Interesse. Denn wenn es nicht gelingt, die Durchlässigkeit der Drainbeläge, d.h. deren grundlegende Eigenschaft, über einen ausreichenden Zeitraum zu erhalten, stellt sich die Frage nach dem Sinn dieser Spezialbeläge.

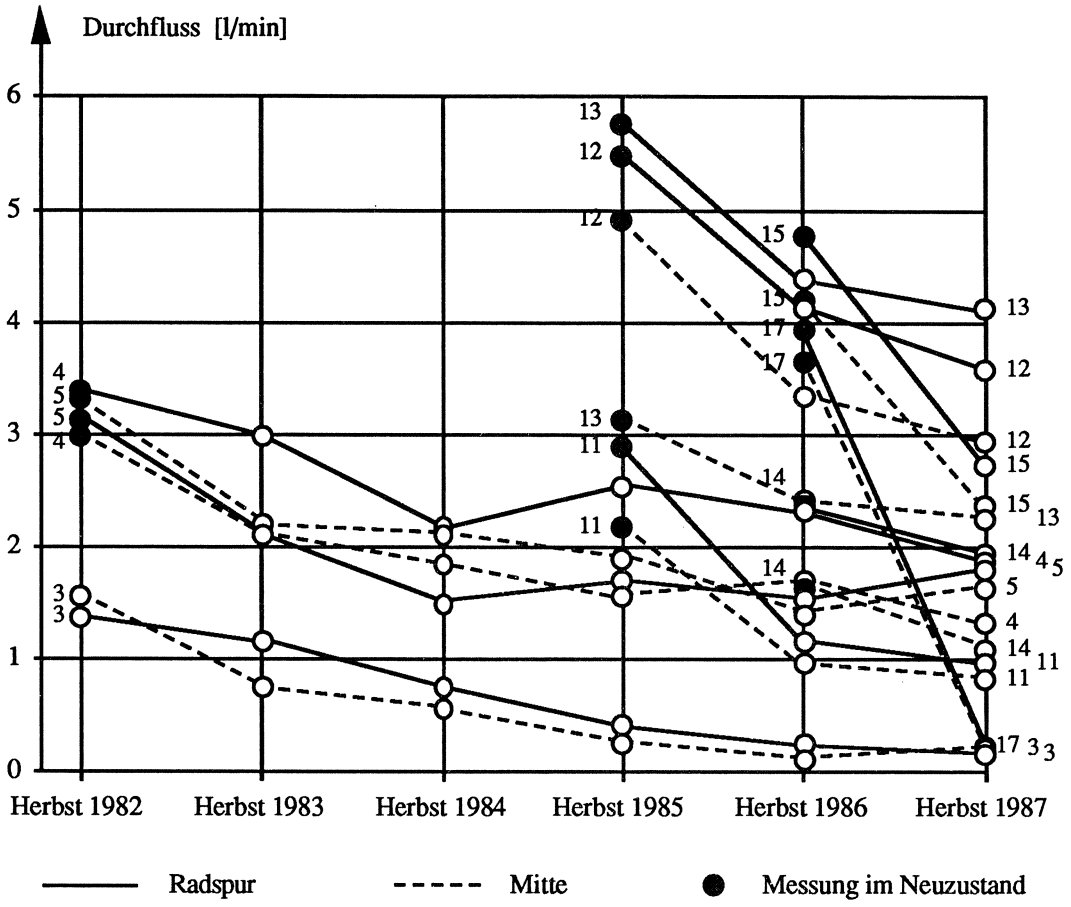
Mit zunehmendem Alter der Drainbeläge nimmt ihre Durchlässigkeit generell mehr oder weniger stark ab (Abb. 28 und 29). Die Ursache dafür liegt primär in der Verschmutzung der Fahrbahn und der dadurch bedingten Verstopfung der Belagshohlräume. Vereinzelt kann auch eine Nachverdichtung des Belages zur Reduktion der Durchlässigkeit führen. Im allgemeinen bieten aber die Beläge in den Radspuren etwas bessere Durchlässigkeitswerte als in der Fahrstreifenmitte oder auf dem Pannenstreifen. Diese Tatsache spricht gegen die Nachverdichtung als wichtigste Ursache für die Durchlässigkeitsabnahme und lässt sich mit der reinigenden Sogwirkung der abrollenden Reifen erklären.

Abb. 28 **Entwicklung der Durchlässigkeit von Drainasphaltbelägen 0/10**



Strecke Nr.	Belag	Baujahr
1	Drain 0/10	1979
2	"	1980
6	"	1983
7	"	1983
8	"	1984
9	"	1985
10	"	1985
16	"	1986

Abb. 29 **Entwicklung der Durchlässigkeit von Drainasphaltbelägen 0/16**



Strecke Nr.	Belag	Baujahr
3	Drain 0/16	1981
4	"	1982
5	"	1982
11	"	1985
12	"	1985
13	"	1985
14	"	1986
15	"	1986
17	"	1986

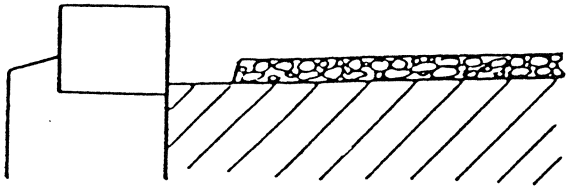
Die Abnahme der Durchlässigkeit kann in sehr unterschiedlichem Ausmass erfolgen, je nach Umgebung, Beanspruchung, Belagsart, Einbau usw. Einige Beläge weisen auch nach 5 Jahren unter Verkehr noch befriedigende Durchlässigkeitswerte auf, andere sind innerhalb eines Jahres praktisch dicht geworden (vgl. Abb. 28 und 29). Während bei der Messung im Neuzustand kein wesentlicher Durchlässigkeitsunterschied zwischen Belägen mit Grösstkorn 16 mm und 10 mm festgestellt werden konnte, schneiden die Drainbeläge 0/16 bei der letzten hier berücksichtigten Messkampagne vom Herbst 1987 im Mittel wesentlich besser ab als die Beläge mit Grösstkorn 10 mm. Diese Tatsache dürfte allerdings nicht nur auf das Grösstkorn zurückzuführen sein, sondern auch auf die günstigeren Einsatzbedingungen der 16er Beläge, welche im Gegensatz zu den 10er Belägen vorwiegend auf Autobahnen eingebaut sind.

Günstig für den Erhalt der Durchlässigkeit sind primär ein geringer Schmutzanfall, ferner eine gute Entwässerung, d.h. vor allem ein freier Wasseraustritt aus dem Belagsrand und ausreichendes Quergefälle der Unterlage, eine nicht zu feinporige und hohlraumarme Belagsstruktur sowie die reinigende Wirkung raschen und dichten Verkehrs. Demzufolge ist die Anwendung von Drainbelägen auf Autobahnen im Hinblick auf eine günstige Entwicklung der Durchlässigkeit positiv zu beurteilen. Hingegen wirkt sich die Anwendung dieses Spezialbelages auf Strassen in Landwirtschafts- oder Kiesgrubengebieten und im Innerortsbereich wegen des grösseren Schmutzanfalls und der geringen Reinigungswirkung des Verkehrs (bei niedrigerer Geschwindigkeit) eher ungünstig auf die Erhaltung der Durchlässigkeit aus. Im Innerortsbereich kommt noch der ungünstige Einfluss einer meist ungenügenden Entwässerung des Drainbelages hinzu. Denn ein Hocheinbau des Belages mit freiem Belagsrand und unbehindertem seitlichem Wasseraustritt kommt innerorts aus Sicherheitsgründen wegen der Zweiradfahrer und Fussgänger im allgemeinen nicht in Frage. Eine korrekte Entwässerung des Drainbelages im Innerortsbereich muss aber, wie der freie Belagsrand, auf der ganzen Länge durchgehend einen raschen und unbehinderten Wasserabfluss aus dem Belag ermöglichen. Sie sollte ferner kontrollierbar und spülbar sein. Abbildung 30 zeigt schematisch geeignet erscheinende Lösungen. Belagskeile bei Einfahrten stören bereits den seitlichen Abfluss des Wassers aus dem Drainbelag. Dies führt erwiesenermassen zu Schmutzablagerungen im Belag, die sich im Laufe der Zeit ausbreiten und dadurch die Durchlässigkeit des Belages wesentlich beeinträchtigen.

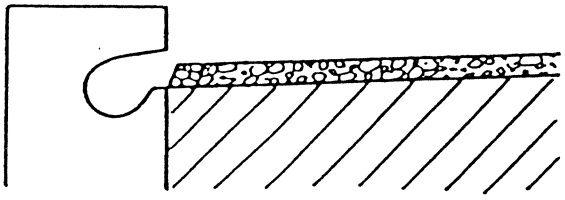
Die Reinigung verstopfter Drainbeläge dürfte äusserst schwierig sein. Erste Versuche mit Hochdruckspritzen und anschliessendem Absaugen des Schmutzes haben wohl eine deutliche Reinigung der Belagsoberfläche bewirkt, doch wurde die Durchlässigkeit des Belages dadurch nicht verbessert. Möglicherweise kann mit einer periodischen Reinigung noch durchlässiger Beläge die Durchlässigkeitsentwicklung positiv beeinflusst werden.

Abb. 30 **Vorschläge zur Randausbildung bei Drainbelägen innerorts**

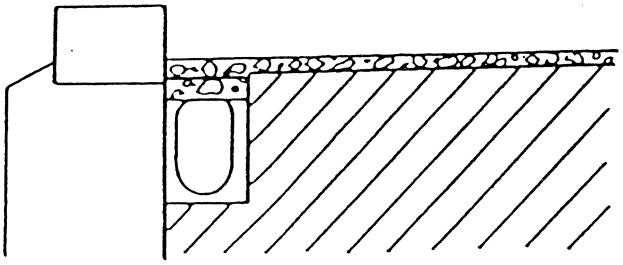
Bordrinne



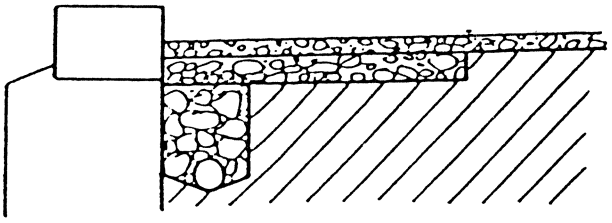
Hohlbordstein



Sickerrohr



Sickergraben



4.4 Auswirkungen der Durchlässigkeit

Die hohlraumreiche Belagsstruktur wirkt sich in der Praxis speziell auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrslärm aus. Positiv zu vermerken sind insbesondere die verbesserten Sichtbedingungen durch den Wegfall der Sprühfahnenbildungg und die weitgehende Vermeidung von Aquaplaning durch den Einsatz funktionstüchtiger Drainbeläge. Der Einbau von Drainbelägen auf Autobahnabschnitten mit einer Häufung von Aquaplaningunfällen bewirkte eine erhebliche Reduktion der Unfallzahlen. Dies, obwohl auch die Bedingungen für den Drainbelag auf diesen Strecken mit Entwässerungsmängeln nicht gerade optimal sind. Gerade schlecht entwässerte Drainbeläge speichern erhebliche Wassermengen im Belag. Nach dem Ende des Niederschlags bleiben Drainbeläge daher länger feucht als konventionelle Beläge. Denn während die Oberfläche konventioneller Beläge rasch abtrocknet, saugt der Verkehr das im Drainbelag gespeicherte Wasser heraus.

Neben der Verkehrssicherheit kann auch der Verkehrslärm von den Drainbelägen günstig beeinflusst werden. Gewisse Drainbeläge erzeugen ein vergleichsweise geringes Rollgeräusch und funktionstüchtige, durchlässige Drainbeläge absorbieren zudem einen Teil des Verkehrslärms. Dies gilt für den trockenen Belag. Bei Nässe entfällt die Absorptionswirkung. Ob Drainbeläge trotzdem auch bei Nässe bezüglich Lärm günstiger sind, müsste noch genauer untersucht werden. Dank der guten Oberflächenentwässerung bietet der Drainbelag bei Regen wahrscheinlich Lärmvorteile, weil die Reifen keinen geschlossenen Wasserfilm auf der Belagsoberfläche durchbrechen müssen. Andererseits wirkt sich die länger anhaltende Feuchtigkeit auf der Belagsoberfläche nach dem Regen ungünstig auf das Rollgeräusch aus.

Eine Abnahme der Durchlässigkeit wirkt sich im allgemeinen, ausser bei starkem Regen, weniger auf die Verkehrssicherheit als auf die akustischen Eigenschaften des Drainbelages aus. Denn dank seiner grossen Makrotextur ist auch ein verstopfter Drainbelag, sofern die Griffigkeit in Ordnung ist, bezüglich Verkehrssicherheit bei Nässe günstig zu beurteilen. Die akustischen Qualitäten dieses relativ groben aber undurchlässigen Belages sind hingegen häufig nicht mehr sonderlich positiv, da der Belag den Schall nicht mehr absorbieren kann. Nähere Ausführungen zum Thema Lärm finden sich im nächsten Kapitel.

5. Verkehrslärm

5.1 Ausgangslage

Ein grosser Teil der Bevölkerung hat heute unter dem Verkehrslärm zu leiden. Im Rahmen des Umweltschutzes erlangt der Lärm immer grössere Bedeutung, da die Luftverschmutzung dank des durch die Gesetzgebung erzwungenen technischen Fortschritts (Katalysatoren, neue Verbrennungsverfahren etc.) in Zukunft rückläufig sein wird und damit an Bedeutung verliert. Auf dem Sektor Verkehrslärm ist aber bis jetzt keine Verbesserung abzusehen, nicht zuletzt weil der Verkehr immer noch zunimmt und gesetzliche Vorschriften bezüglich Lärmimmissionen bisher fehlten. Die Lärmschutzverordnung (1986) legt Immissionsgrenzwerte fest, die zum Schutz der Bevölkerung eingehalten werden müssen. Die Einhaltung dieser Grenzwerte kann vielerorts nur mit passiven Schutzmassnahmen, wie z.B. Schallschutzfenstern, Lärmschutzwänden, oder mit drastischen Verkehrsbeschränkungen erreicht werden. Eine Verminderung des Verkehrslärms an der Quelle wäre selbstverständlich viel eleganter und ist dort, wo sich die anderen Massnahmen nicht verwirklichen lassen, die einzige Möglichkeit zur Einhaltung der Grenzwerte.

Vor diesem Hintergrund kommt den lärmmindernden Strassenbelägen grösste Bedeutung zu. Denn der Strassenverkehrslärm setzt sich einerseitsaus dem Motorengeräusch und andererseits dem vor allem bei konstanter Fahrt dominanten Rollgeräusch zusammen. Das Rollgeräusch entsteht durch das Abrollen des Reifens auf dem Strassenbelag. Mit lärmmindernden Belägen könnte also der entstehende Lärm an der Quelle und/oder die Lärmausbreitung verringert werden.

5.2 Akustische Grundlagen

Im Hinblick auf ein besseres Verständnis scheint es angebracht, zunächst einen Ueberblick der akustischen Grundlagen zu vermitteln.

Bei der Betrachtung des Geräuschentstehungs- und Ausbreitungsmechanismus werden häufig folgende Begriffe verwendet:

- Emission = Geräuschabstrahlung von der Schallquelle
- Immission = Beim Empfänger ankommendes Geräusch, z.B. am Strassenrand oder beim Anwohner
- Absorption = Verringerung der erzeugten Geräusche bei der Ausbreitung durch die Dämpfungswirkung (Verschlucken von Schallwellen) poröser Flächen
- Reflexion = Veränderung der Ausbreitungsrichtung der Schallwellen beim Auftreffen auf schallharte Flächen

Lärmmesswerte werden normalerweise als Schalldruckpegel in Dezibel (dB) angegeben. Dabei handelt es sich um einen logarithmischen Wert, welcher auf die menschliche Hörschwelle bei 1000 Hz bezogen wird.

$$L = 20 \log \frac{p}{p_o}$$

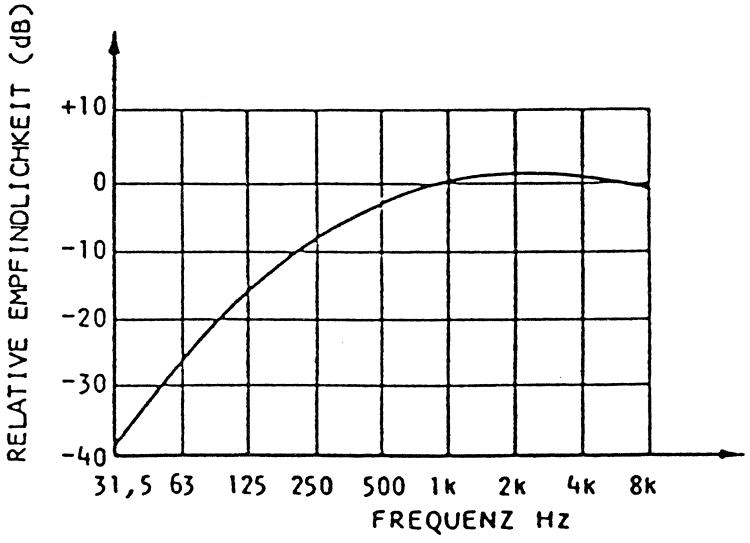
wobei L = Schalldruckpegel in [dB]
p = Schalldruck
p_o = normierter Bezugswert von 20 µ Pa. Entspricht der Hörschwelle.

Dementsprechend gelten folgende Aussagen:

- 0 dB = Hörschwelle
- 130 dB = Schmerzgrenze
- Pegelunterschiede über ca. 2 dB sind vom Menschen wahrnehmbar.
- Pegelunterschiede von 6 dB bedeuten physikalisch eine Halbierung bzw. Verdoppelung des Schalldrucks.
- Pegelunterschiede von ca. 9 ÷ 10 dB bedeuten für das menschliche Gehör subjektiv eine Halbierung bzw. Verdoppelung der Lautstärke.

Für die Lästigkeit eines Geräuschs ist aber nicht nur der objektiv messbare Wert des Schalldruckpegels sondern auch das Frequenzspektrum des Geräuschs massgebend. Daher ist es üblich, dass der Schalldruckpegel einer dem menschlichen Empfinden nachempfundenen Bewertung unterzogen wird. Die gebräuchlichste Frequenzbewertungskurve ist die A-Kurve. Die mit dem A-Filter bewerteten Schalldruckpegel werden als dB(A)-Werte bezeichnet.

Abb. 31 **A-Kurve zur Bewertung unterschiedlicher Frequenzen**



Eine Verdopelung der abgestrahlten Schalleistung (z.B. Verdoppelung oder Halbierung des Verkehrs) entspricht einer Aenderung des A-Schallpegels um 3 dB(A). [Schalldruck $p = \sqrt{c \cdot P}$, wobei P = Schalleistung, c = Faktor].

Eine Geschwindigkeitsreduktion um ca. 30% oder eine Verdoppelung des Abstandes zwischen Schallquelle und Empfänger bewirken ebenfalls eine Geräuschreduktion um ca. 3 dB(A) (bezogen auf einen Strassenzug).

Beim Strassenverkehrslärm kann grundsätzlich zwischen drei Geräuschbegriffen unterschieden werden:

- Rollgeräusch: Geräusch welches beim Abrollen eines Reifens auf dem Fahrbahnbelag vorwiegend durch Schwingungen und aerodynamische Effekte entsteht. Das Rollgeräusch hängt vom Reifen, vom Fahrbahnbelag, vom Strassenzustand (nass/trocken), vom Fahrzeug (Radaufhängung etc.) und von der Geschwindigkeit ab. Das Rollgeräusch (Reifengeräusch) überwiegt gegenüber dem Motoren- und anderen Fahrgeräuschen bei konstanter Fahrt im direkten Gang beim PW ab ca. 50 km/h und beim LW ab ca. 70 km/h.

- Fahrgeräusch: Gesamtgeräusch eines fahrenden Fahrzeugs. Das Fahrgeräusch setzt sich in erster Linie aus dem Rollgeräusch und dem Motorengeräusch zusammen. Aber auch Windgeräusche, Geräusche des Aufbaus etc. zählen hierzu. Je nach Fahrzustand überwiegt das eine oder das andere Teilgeräusch.

- Verkehrsgeräusch: Nach gewissen Kriterien (z.B. energieaequivalenter Dauerschallpegel L_{eq}) gemitteltes Gesamtgeräusch des Verkehrs auf einer Strasse. Das Verkehrsgeräusch setzt sich aus dem Fahrgeräusch der einzelnen Fahrzeuge zusammen. Dementsprechend hängt es von der Fahrzeugmenge und -zusammenset zung (PW und LW), dem Fahrzustand (Beschleunigung, Konstantfahrt etc.), der Geschwindigkeit und dem Rollgeräusch ab. Beispielsweise erhöht ein LW-Anteil von 10% bei gleicher Geschwindigkeit von PW und LW die Immissionen um ca. 3dB(A) und entspricht damit akustisch ungefähr einer Verdoppelung der PW-Anzahl.

5.3 Messverfahren

5.3.1 Problemstellung

Die Erfassung von Geräuschen im Strassenverkehr kann unter anderem folgenden Zwecken dienen:

- Untersuchung des Rollgeräuschs im Hinblick auf eine Beurteilung des Reifens oder des Strassenbelags.

- Untersuchung des Lärms eines Fahrzeugs, z.B. Typenprüfung oder Festlegung von Prioritäten bei Lärmverminderungsmassnahmen an der Quelle.

- Beurteilung der Lärmerzeugung einer Strasse, z.B. als Grundlage für Lärmkataster.

- Beurteilung von Schallschutzmassnahmen.

- Beurteilung der Lärmbelastung an einem bestimmten Immissionsort, z.B. zur Prüfung der Lärmbelästigung von Anwohnern oder zur Abklärung der Notwendigkeit von Schallschutzmassnahmen.

Entsprechend den vielen Untersuchungszielen gibt es auch viele verschiedene Messverfahren zur Lärmerfassung. Zudem muss bei der Auswahl eines geeigneten Lärmmessverfahrens darauf geachtet werden, dass der interessierende Messwert nicht durch andere Einflüsse, z.B. Fremdlärm, akustisches Umfeld etc. verfälscht wird. So können z.B. die Umgebung, also Terrainverlauf und -beschaffenheit, Bebauung, Bepflanzung, parkierte Autos, usw. und die klimatischen Bedingungen unter Umständen einen grossen Einfluss auf Lärmmesswerte haben. Auch aus diesen Gründen ist die Wahl geeigneter Messverfahren für den jeweiligen Anwendungszweck und eine absolut korrekte Durchführung der Messung von entscheidender Bedeutung.

Im Hinblick auf die Beurteilung von Strassenbelägen kommen grundsätzlich drei Messverfahren in Betracht:

- Rollgeräuschmessung mit dem Lärmmessanhänger (~ Erfassung der Emission)
- Messung mit Mikrophon am Strassenrand → Vorbeirollpegel, Vorbeifahrtpegel oder Mittelungspegel L_{eq} (~ Erfassung der Immission)
- Messung der Absorptionseigenschaften des Belages.

Prüfstandsmessungen, welche vor allem bei Reifenuntersuchungen und in der akustischen Grundlagenforschung benutzt werden, kommen hier weniger in Frage, da sie zur Untersuchung wirklichkeitsgetreuer Strassenbeläge unter realistischen Bedingungen kaum geeignet sind.

Der grosse Vorteil der Rollgeräuschmessung mit dem Lärmmessanhänger ist die einfache Handhabung der Messung unter Verkehr und vor allem die Unabhängigkeit vom akustischen Umfeld neben der Strasse. Dadurch ist die Messung besonders für die vergleichende Untersuchung verschiedener Strassenbeläge geeignet. Nachteilig ist, dass die Messwerte der Rollgeräuschmessung mit dem Anhänger nicht direkt für Aussagen über die Immissionen neben der Strasse verwendet werden können. Letzteres wiederum ist der Vorteil der Messverfahren mit Mikrophonen am Strassenrand. Diese Messverfahren eignen sich hingegen nicht so gut für den Vergleich verschiedener Strassenbeläge, da sie sehr stark vom akustischen Umfeld und den jeweiligen zeitlichen und örtlichen Einflüssen abhängen und ihre Ergebnisse somit kaum von einem Ort oder Zeitpunkt auf einen anderen übertragbar sind. Ein direkter Vergleich von Belägen nach den Immissionsmessverfahren ist nur möglich, wenn zwei aneinander angrenzende Beläge gleichzeitig gemessen werden und das akustische Umfeld bei beiden Meßstellen gleich ist, oder allenfalls mittels Vorher/Nachher-Messung an einem Ort, wenn zwischenzeitlich der Belag geändert wurde, ansonsten aber alle Einflussfaktoren (Verkehrsmenge, -zusammensetzung, Windverhältnisse etc.) konstant gehalten werden können.

Um der komplexen Lärmproblematik gerecht zu werden, hat das IVT im Rahmen des

Um der komplexen Lärmproblematik gerecht zu werden, hat das IVT im Rahmen des Forschungsauftrages Drainasphalt mit der Absorptionsmessung, der Rollgeräuschmessung mit dem Lärmmessanhänger und der Messung des Vorbeifahrtpegels bzw. Mittelungspegels alle drei geeigneten Messverfahren eingesetzt.

Zur Erfassung der Lärmverhältnisse wurden folgende fünf Messgrössen benutzt:

- Reflexionsgrad: Der Reflexionsgrad gibt an, wieviel des auf die Belagsoberfläche auftreffenden Schalls reflektiert bzw. umgekehrt wieviel Schall absorbiert wird.
- LMA-Wert: Der LMA-Wert ist der massgebende Rollgeräuschmesswert vom Lärmmessanhänger.
- Vorbeirollpegel: Der Vorbeirollpegel ist der maximale Schalldruckpegel eines mit abgeschaltetem Motor vorbeirollenden Personenwagens.
- Vorbeifahrtpegel: Der Vorbeifahrtpegel ist analog dem Vorbeirollpegel der maximale Schalldruckpegel eines mit konstanter Geschwindigkeit vorbeifahrenden Personenwagens.
- Mittelungspegel L_{eq}: Der Mittelungspegel ist der energieäquivalente Dauerschallpegel des gesamten "normalen" Verkehrs (inkl. Lastwagen).

5.3.2 Absorptionsmessung

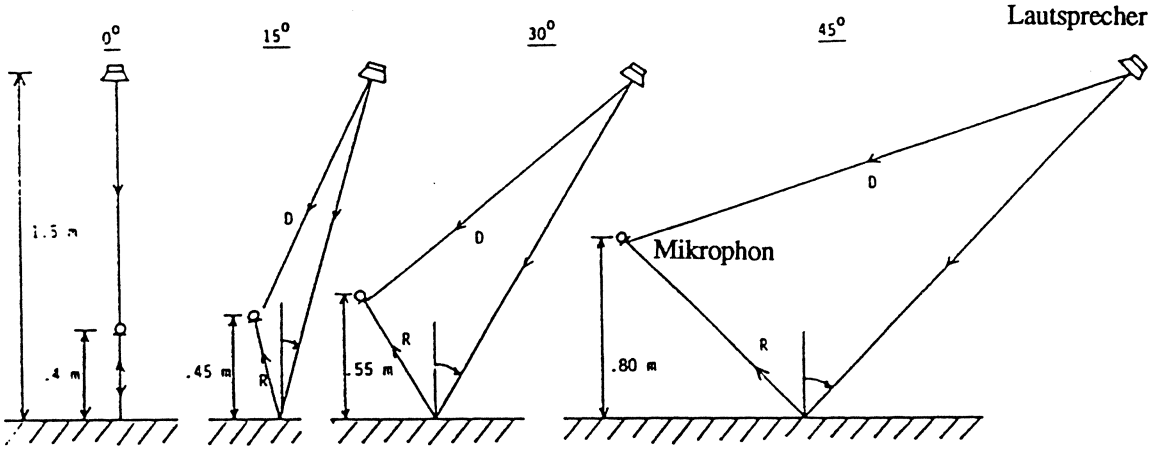
Die Messung der Schallabsorption bzw. -reflexion wurde durch die Akustikabteilung der EMPA Dübendorf ausgeführt. Eine Messung kann entweder anhand von Bohrkernen mit dem Impedanzrohr im Labor erfolgen, oder mit einer geeigneten Messapparatur (siehe Abb. 32 und 33) direkt auf der Strasse durchgeführt werden. Die Messung erfolgt grundsätzlich so, dass ein bekanntes Signal ausgestrahlt wird. Gemessen wird dann das vom Belag reflektierte Signal. Durch einen Vergleich der beiden Signale lässt sich der Schallreflexionsgrad bestimmen. Damit kann die Schallabsorption (1-Reflexionsgrad) berechnet werden.

Während konventionelle Asphaltbeläge als schallhart gelten können, d.h. sie reflektieren den auftretenden Schall nahezu vollständig, können die hohlraumreichen Drainbeläge einen Teil des auftretenden Schalls absorbieren. Funktionstüchtige Drainbeläge können auf diese Weise die Lärmbelastung etwas verringern.

Da anzunehmen war, dass die Schallabsorptionsfähigkeit eines Drainbelags auch von seiner Durchlässigkeit abhängt, wurde am gleichen Ort wie die Schallreflexion auch die Durchlässigkeit des Belages mit dem Durchflussmesser IVT gemessen. Da es bei diesen Messungen darum ging, generelle Zusammenhänge zu untersuchen und nicht belagsspezifische Aussagen zu machen, wurden sie nur auf einigen ausgewählten Strecken durchgeführt.

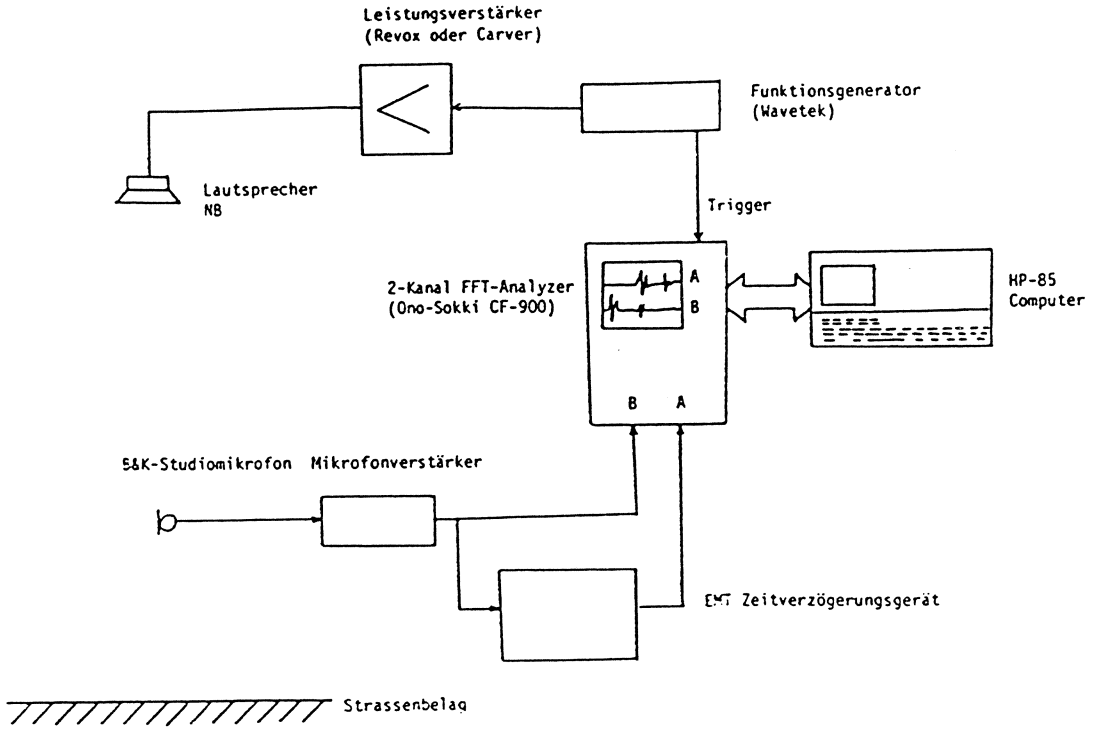
Abb. 32 **Geometrische Anordnung von Mikrophon und Lautsprecher**

(Schnitt)



Aufgrund von Vorversuchen wurde die Variante mit 0° Schalleinfallswinkel für diese Untersuchung ausgewählt

Abb. 33 **Schema der Messeinrichtung**



5.3.3 Rollgeräuschmessung mit dem Lärmmessanhänger des IVT

Der Lärmmessanhänger (LMA) wurde 1982 in Anlehnung an das Gerät der TU Stuttgart vom Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT) der ETH Zürich entwickelt und gebaut. Es handelt sich um einen einrädrigen Messanhänger, der zur Erfassung der Abrollgeräusche von Reifen auf verschiedenen Strassenbelägen bei verschiedenen Geschwindigkeiten dient. Die Schallabstrahlung des Messreifens beim Abrollen auf den Strassenbelägen wird im Nahfeld mittels zweier Mikrophone erfasst. Die Messeinheit wird durch den schallisolierten Aufbau des Anhängers weitgehend gegen Fremdeinflüsse abgekapselt (vgl. Abb. 34, 35, 36 und 37). Dadurch kann eine gute Messgenauigkeit erreicht werden. Die Wiederholbarkeit der Messwerte ist normalerweise bei eher homogenen Belägen und ohne starke Störeinflüsse von aussen besser als ± 1 dB.

Das Reifengeräusch wird mit zwei Mikrophonen gemessen, die unterschiedlich auf die Geräuschentstehungs- und - ausbreitungsmechanismen reagieren. Während das seitliche Mikrophon die Schallabstrahlung der Reifenflanke infolge der Schwingungen des rollenden Rades misst, erfasst das hintere Mikrophon im Auslauf des Reifens speziell auch die schallverstärkende Trichterwirkung zwischen Reifenlauffläche und schallhartem Belag, bzw. das Fehlen dieser Trichterwirkung auf schallabsorbierenden Belägen. Die verwendeten Mikrophone sind vom Typ Brüel und Kjaer Nr. 4165. Die Befestigung der Mikrophone ist so konstruiert, dass einerseits die Mikrophonposition immer genau eingehalten wird, andererseits aber möglichst wenig Schwingungen vom Anhängeraufbau auf die Mikrophone übertragen werden. Die Schallisolation des Anhängeraufbaus soll Schallreflexionen im Bereich der Messeinheit und Störeinflüsse von aussen weitgehend unterbinden. Das Geräuschniveau im Anhänger ohne Messrad liegt während der Fahrt weit unter den Rollgeräuschwerten. Fahrtwind und andere Störgeräusche vom Messgerät wirken sich somit nicht auf die Messwerte aus.

Die Meßsignale werden über zwischengeschaltete Verstärker zu den Aufzeichnungsgeräten im Zugfahrzeug geleitet. Die ganze Messeinrichtung wird vor und nach den Messungen mittels Eichton wiederholt kalibriert. Die Meßsignale werden mit Hilfe eines PCM-Prozessors digitalisiert und auf Videoband aufgezeichnet. Parallel erfolgt die direkte Aufzeichnung des A-bewerteten Pegels als Messprotokoll auf einem Zweikanalpegelschreiber. Der Kommentar wird auf der Audiospur des Videobandes und im Messprotokoll festgehalten.

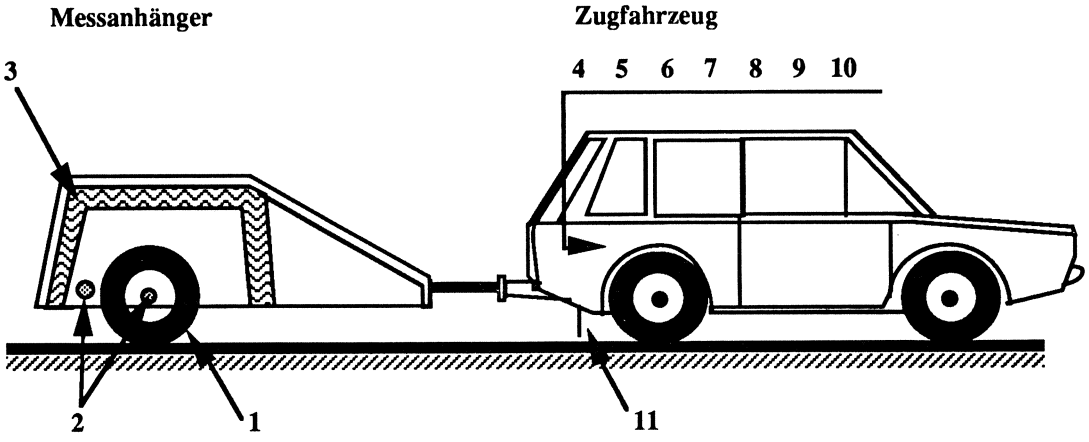
Bei der Auswertung werden die gespeicherten Signale demoduliert und über einen A-Filter bewertet mit dem Pegelschreiber aufgezeichnet. Die Mittelwertbildung auf dem Meßstreifen erfolgt von Hand separat für jedes Mikrophon. Anschliessend wird daraus der massgebende Messwert errechnet. Der massgebende Messwert ist der Mittelwert beider Mikrophone. Die Mittelwertbildung erfolgt arithmetisch unter Anwendung eines speziellen Rundungsschemas, welches den energetischen Wert mit einer Genauigkeit von ± 0,25 dB erreichen lässt. Die Frequenzspektren werden mit Hilfe eines Computers durch die Akustikabteilung der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) erstellt.

Als standardisierter Messreifen wird der europäische AIPCR-Reifen 165R15 mit vier Längsrillen benützt. Die Radlast beträgt 450 kg und der Reifeninnendruck 2.3 bar. Frühere Reifenvergleichsmessungen haben gezeigt, dass der AIPCR-Reifen bezüglich

Rollgeräusch im Bereich moderner Serienreifen liegt, aber den Vorteil bietet, die Strassenbeläge relativ stark zu differenzieren. Mit dem LMA können aber auch beliebige andere Reifen mit 14" oder 15" Felgen gefahren werden.

Die Messgeschwindigkeiten liegen im Bereich 30 bis 120 km/h. Die Messgeschwindigkeit wird während der Messung konstant gehalten. Es ist immer anzustreben, jeden Belag mit mehreren Messgeschwindigkeiten zu messen. Die einzelnen Streckenabschnitte sollten mindestens 300 m oder länger sein, damit die Mittelwertbildung genügend abgesicherte Resultate ergibt und allfällige Störeinflüsse vernachlässigbar werden.

Abb. 34 **Rollgeräuschmessanhänger des IVT, Blockschema**



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 (auf Audiospur des Video Recorders)
10 Speisegerät und Mikrophonvorverstärker
11 Schalldämmende Schürze

Abb. 35 **Längsschnitt durch LMA, hinteres Mikrophon**

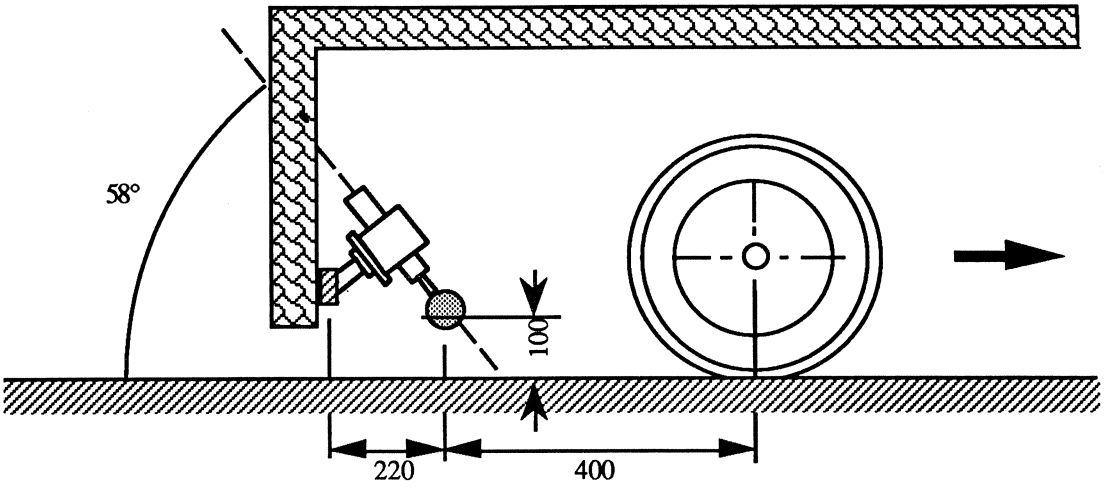


Abb. 36 **Querschnitt durch LMA, seitliches Mikrophon**

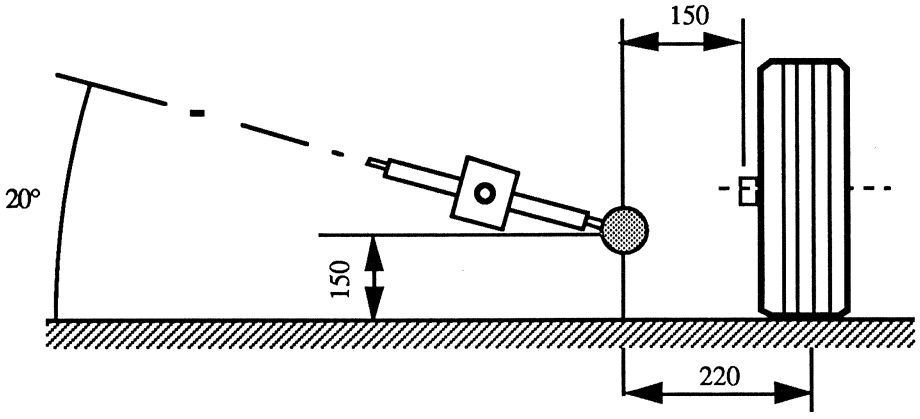
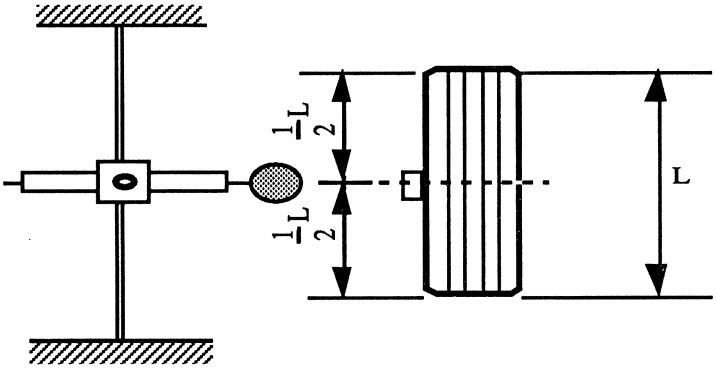


Abb. 37 **Grundriss LMA, seitliches Mikrophon**



5.3.4 Messungen mit dem Mikrophon am Strassenrand

Diese Messungen wurden grösstenteils von der Abteilung Lärmbekämpfung des Amtes für Luftverkehr des Kantons Zürich durchgeführt. Bei den Messungen mit Mikrophon am Strassenrand wurden grundsätzlich zwei Ziele verfolgt:

- Erfassung der Auswirkungen auf die Lärmbelastung neben der Strasse durch den Einbau eines Drainbelages.
- Untersuchungen über mögliche Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Messungen mit Mikrophon am Strassenrand und denjenigen der Rollgeräuschmessungen mit dem Lärmmessanhänger. Dies mit dem Ziel, die Aussagekraft der Anhängermessung zu erweitern und allenfalls die aufwendigen Messungen mit Mikrophon am Strassenrand durch einfachere Anhängermessungen zu ersetzen.

Da die Messungen mit Mikrophon am Strassenrand relativ aufwendig sind und nur bei geeigneter akustischer Umgebung und ebensolchen Verkehrsverhältnissen sinnvoll sind, wurden sie nur auf ausgewählten Strecken durchgeführt. Gemäss dem zweiten Ziel wurden aber nicht nur Drainasphaltstrecken ausgewählt.

Die Messungen erfolgten normalerweise im Bereich geeigneter Belagswechsel. In einer Distanz von ca. 30 m beidseits des Belagswechsels wurde je ein Mikrophon aufgestellt. Die Mikrophone hatten meist einen Abstand von 6 m zur Strassenachse und eine Höhe über Boden von 1,7 m. Im Allgemeinen wurden zwei Messgrössen ermittelt. Einerseits der Vorbeifahrtpegel einzeln mit konstanter Geschwindigkeit vorbeifahrender Personenwagen und andererseits der Mittelungspegel L_{eq}. Dabei wurde das gleiche Fahrzeug bzw. der gleiche Verkehrsstrom nahezu gleichzeitig mit je einem Mikrophon auf beiden angrenzenden Belägen gemessen. Der Belagswechsel war somit die einzige sich ändernde Einflussgrösse des Lärms. Für den mittleren Vorbeifahrtpegel wurde im allgemeinen der Mittelwert aus 60 bis 80 Vorbeifahrtpegeln einzeln und mit konstanter Geschwindigkeit fahrender Personenwagen ausgewertet. Der Mittelungspegel L_{eq} wurde aus mehreren Kurzzeitmessungen des gesamten wirklichen Verkehrs (inkl. LW) ermittelt.

Bei Geschwindigkeiten ab ca. 50 km/h entspricht der Vorbeifahrtpegel bei konstanter Geschwindigkeit für Personenwagen annähernd dem Vorbeirollpegel, da bei dieser Geschwindigkeit das Rollgeräusch gegenüber dem Motorengeräusch meist bereits dominierend ist.

5.3.5 Korrelation Anhängermessung - Vorbeifahrtmessung

Wie bereits kurz erwähnt, bietet die Anhängermessung speziell im Hinblick auf die akustische Beurteilung von Strassenbelägen einige Vorteile gegenüber der Messung des Vorbeiroll- oder Vorbeifahrtpegels, so zum Beispiel:

- Die Messung mit dem Lärmmessanhänger kommt ohne Absperrung aus, da unter Verkehr gemessen werden kann. Das Messverfahren ist leistungsfähig und kostengünstig.
- Bei der Anhängermessung wird das Rollgeräusch 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.

- Die akustischen Eigenschaften des Belages werden auf grösserer Länge erfasst, wodurch sich ein repräsentativeres Bild ergibt und sich einzelne Inhomogenitäten weniger auswirken als bei lokalen Vorbeifahrtmessungen.

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

Die Vorteile der Anhängermessung beziehen sich also sowohl auf die Praktikabilität der Messung als auch auf die Aussage über die akustischen Eigenschaften der Strassenbeläge. Andererseits hat die Rollgeräuschmessung mit dem Lärmmessanhänger gegenüber der Vorbeifahrtmessung den Nachteil, dass die im Nahfeld gemessenen Emmissionswerte nicht direkt zur Berechnung der Schallimmissionen in der Umgebung der Strassen gebraucht werden können.

Im Rahmen dieses Forschungsauftrages wurde deswegen untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen den Anhängermessungen einerseits und den Messungen mit Mikrophon am Strassenrand andererseits besteht, und wenn ja, ob es möglich sei diesen zu quantifizieren. Insgesamt umfasst die Untersuchung bisher 32 Wertepaare LMA-Wert - Vorbeifahrtpegel und 24 Messwertpaare LMA-Wert - Mittelungspegel L_{eq}.

Die Vorbeifahrtpegel wurden auf eine einheitliche Mikrophonposition (Entfernung 7,5 m, Höhe 1,2 m) umgerechnet. Die Vorbeirollpegel wurden näherungsweise den Vorbeifahrtpegeln (konstante Fahrt) gleichgesetzt.

Im Verlaufe der Untersuchung stellte sich die Frage nach dem massgebenden LMA-Wert, der mit dem Schallpegel des ortsfesten Mikophons am besten korreliert. Die folgende Definition des massgebenden LMA-Wertes führt aufgrund der vorliegenden Messwerte zur besten Übereinstimmung:

> Der massgebende LMA-Wert ist der energetische Mittelwert aus den Messwerten des seitlichen und des hinteren Mikrophons. Aufgrund der Abstrahlcharakteristik des verwendeten AIPCR-Reifens und des Schallreflexionsverhaltens der Belagsoberfläche gilt dies nicht, wenn der Messwert des seitlichen Mikrophons bei dichten Belägen unterhalb der folgenden Werte liegt (86,5 dB (A) bei 50 km/h, 89,0 bei 60 km/h, 92,0 bei 80 km/h, 94,0 bei 100 km/h). In diesem Fall ist allein der Messwert des hinteren Mikrophons massgebend. [Anmerkung: Die genannten Werte bilden die obere Grenze des in Abbildung 39 gekennzeichneten Bereiches der "leisen" dichten Asphaltbeläge].

Einschränkend sei noch vermerkt, dass die Anhängermessungen und die Messungen mit Mikrophon am Strassenrand nicht zur gleichen Zeit stattfanden und dass letztere von verschiedenen Instituten ausgeführt wurden.
Die Tabelle 3 zeigt für 32 Strassenbeläge die Gegenüberstellung des Vorbeifahrtpegels und des Lärmmessanhängerwertes. Die Differenz zwischen dem LMA- Wert und dem Vorbeifahrtpegel beträgt im Mittel 18,8 dB/A) mit einer Standardabweichung von

1,78. Betrachtet man nur die besser abgesicherten und repräsentativeren Werte der Vorbeifahrtmessungen (Messart A), so ist die Streuung noch kleiner. Die Messwerte aus Tabelle 3 sind in Abbildung 40 graphisch dargestellt. Die Korrelation zwischen dem Vorbeifahrtpegel und dem LMA-Wert darf als gut bezeichnet werden.

In der Praxis stellt sich oft die Frage, ob sich die Immissionssituation an einem bestimmten Ort mit einer Belagserneuerung verbessern lässt. Ausgehend von einer Anhängermessung lässt sich der bestehende Belag akustisch beurteilen und ebenso das allfällige Verbesserungspotential bei alternativen Belägen abschätzen. Es wäre nun interessant zu wissen, wie sich Verbesserungen beim Reifengeräusch auf den Mittelungspegel L_{eq} auswirken. Da der Mittelungspegel unter anderem stark vom Lastwagenanteil und der Umgebung, also Einflüssen die mit der Anhängermessung nicht reproduzierbar sind, abhängt, ist ein absoluter Vergleich Mittelungspegel - LMA-Wert sicher nicht sinnvoll. Ausgehend von der erwähnten Fragestellung wird hingegen die Differenz zwischen dem Mittelungspegel auf dem einen und dem Mittelungspegel auf dem anderen Belag, beide mit dem gleichen Verkehrsstrom gemessen, ermittelt und der Differenz zwischen den entsprechenden LMA-Werten gegenübergestellt. Die Abbildung 41 zeigt die Zusammenhänge zwischen diesen Mittelungspegeldifferenzen und den entsprechenden LMA-Wert-Differenzen, die bisher bei 24 Belagswechseln gemessen werden konnten. Auch bei diesem Vergleich der Schalldruckpegeldifferenzen kann man von einer guten Korrelation zwischen den Messungen mit Mikrophon am Strassenrand und den Anhängermessungen sprechen.

Aufgrund des derzeitigen Erkenntnisstandes lassen sich bezüglich des Vergleichs Vorbeifahrtmessung - Anhängermessung folgende vorläufige Schlussfolgerungen ziehen:

1. Der Lärmmessanhänger in der beschriebenen Ausführung (AIPCR-Reifen, Mikrophonposition) scheint geeignet zu sein, den Einfluss des Strassenbelages auf den Verkehrslärm mit genügender Genauigkeit zu beschreiben.

2. Ausgehend von den Messwerten des Lärmmessanhängers lässt sich der Vorbeifahrtpegel gemäss Tabelle 3 bzw. Abbildung 40 mit ausreichender Genauigkeit abschätzen. Die LMA-Werte können somit auch als Grundlage für Immissionsbeurteilungen herangezogen werden.

3. Aufgrund von LMA-Messungen lassen sich ziemlich gute Prognosen über die allfälligen Auswirkungen einer Belagssanierung auf den Mittelungspegel L_{eq} machen.

Abb. 38 **Wertbereich des hinteren Mikrophons des LMA**

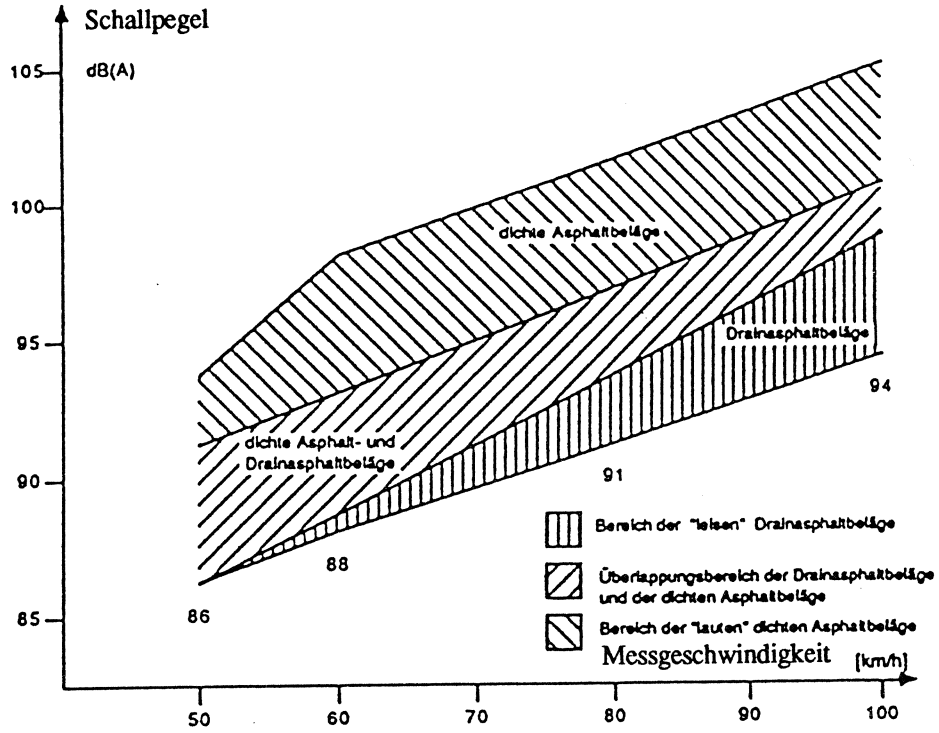


Abb. 39 **Wertbereich des seitlichen Mikrophons des LMA**

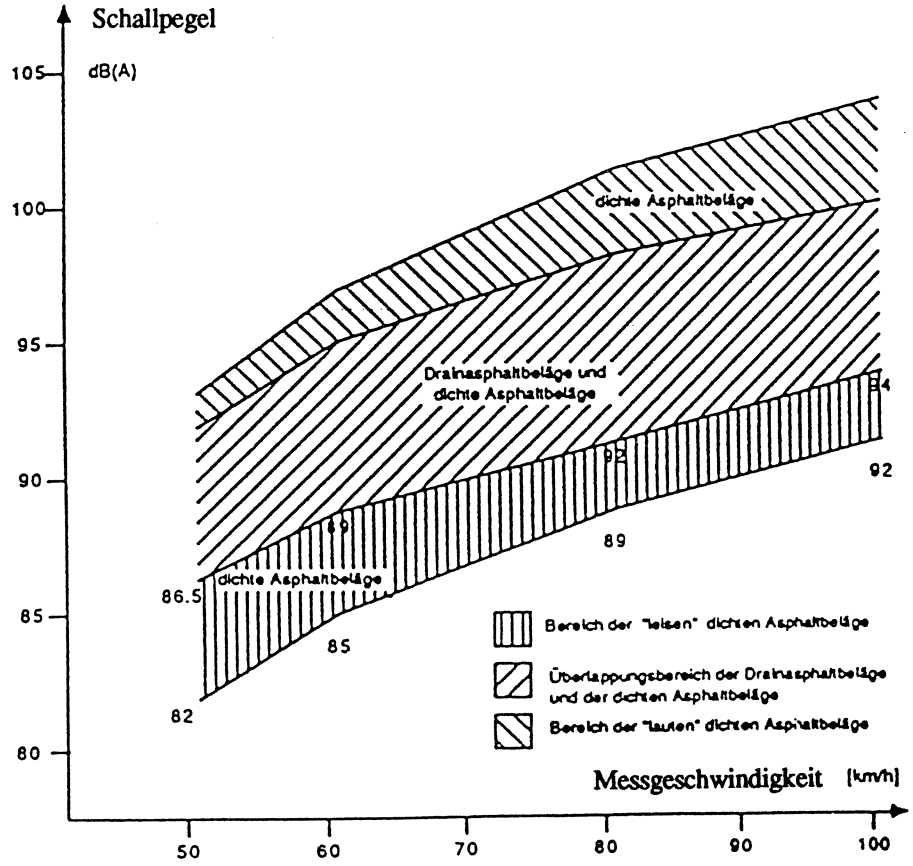


Tabelle 3 **Vergleich Vorbeifahrtpegel und LMA-Wert**

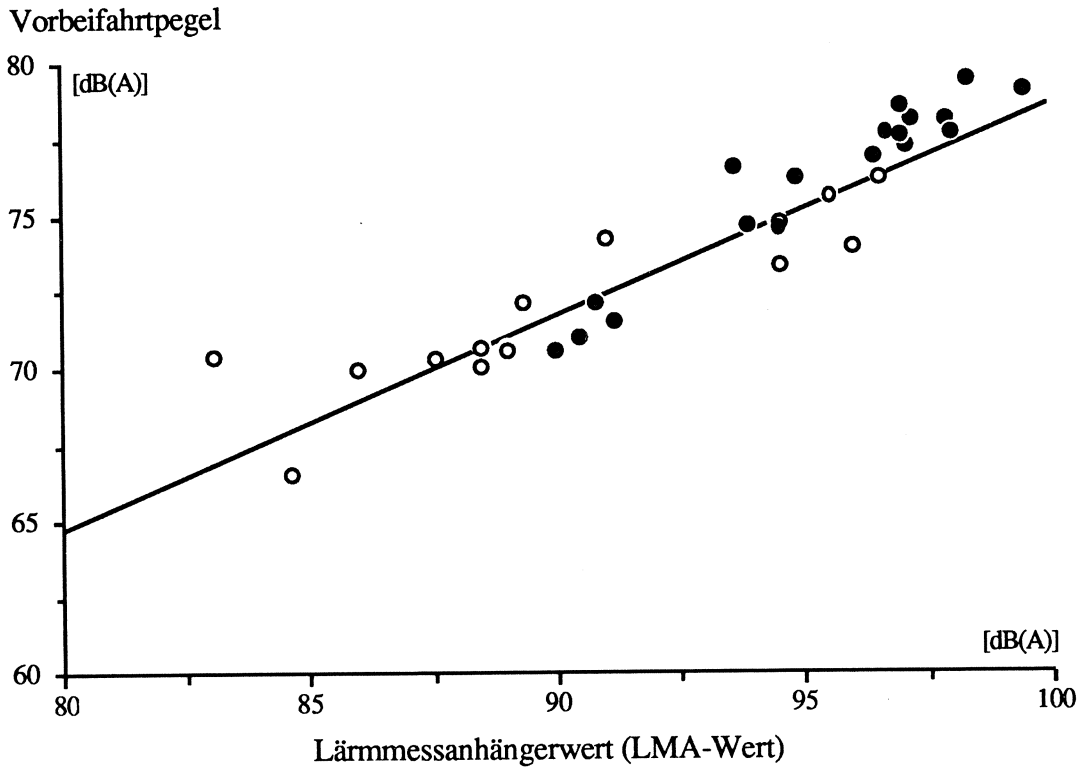
Belag	*Messung mit Mikrophon neben der Strasse -> Vorbeifahrtpegel*						*Reifengeräusch-Meßanhänger (mit AIPCR/PIARC-Reifen)*			
							Messwerte			Differenz
	Mess-art	Mikro-position	Anzahl PW	mittlere Geschwin-digkeit [km/h]	K1	korrig. mittlerer Vorbeif.-pegel [dB(A)]	hinteres Mikrophon [dB(A)]	seitliches Mikrophon [dB(A)]	massgebender LMA-Wert [dB(A)]	LMA-Wert-- Vorbeifahrt-pegel Δ L [dB(A)]
OB 16	A	6m / 1.7m	68	76	-1.6	78.1	96.5	99.1	98.0	19.9
Mikro 0/10	A	6m / 1.7m	68	76	-1.6	76.5	93.6	88.4	93.6	17.1
Hot Rolled A.	A	6m / 1.7m	63	76	-1.6	77.2	98.2	95.8	97.2	20.0
Drain 0/16 alt	A	6m / 1.7m	63	76	-1.6	78.1	96.5	97.8	97.2	19.1
Drain 0/16 alt	A	6m / 1.7m	55	75	-1.6	78.5	96.3	97.6	97.0	18.5
AB 16	A	6m / 1.7m	55	75	-1.6	76.9	98.2	94.0	96.6	19.7
AB 10	A	7.5m/1.7m	63	79	+0.2	77.7	98.3	94.8	96.9	19.2
OB 16	A	7.5m/1.7m	63	79	+0.2	79.4	98.8	97.8	98.3	18.9
Drain 0/10	A	6m/1.7m	70	61	-1.6	72.1	90.0	91.5	90.8	18.7
AB 10	A	6m/1.7m	70	61	-1.6	76.2	95.4	94.4	94.9	18.7
Hot Rolled A.	A	3.5m/1.7m	55	80	-5.7	77.7	98.0	98.0	98.0	20.3
Splittmastix	A	3.5m/1.7m	55	80	-5.7	77.6	97.0	97.0	97.0	19.4
AB 16	A	6m / 1.7m	57	60	-1.6	71.5	93.0	89.0	91.4	19.9
Drain 0/10	A	6m / 1.7m	57	60	-1.6	70.5	89.0	91.0	90.1	19.6
Drain 0/10	A	6m / 1.7m	53	60	-1.6	70.9	90.0	91.0	90.5	19.6
AB 10	A	6m / 1.7m	53	60	-1.6	74.5	95.0	94.0	94.5	20.0
Drain 0/16	A	10m/1.7m	58	86	+2.6	74.6	93.9	93.9	93.9	19.3
AB 16	A	10m/1.7m	58	86	+2.6	79.1	102.2	95.6	100.0	20.9
OB 8/11	B	7.5m/1.2m		50		70.1	88.5	85.0	88.5	18.4
OB 8/11	B	7.5m/1.2m		80		75.7	95.5	90.5	95.5	19.8
AB 0/11	B	7.5m/1.2m		50		70.7	88.5	84.0	88.5	17.8
AB 0/11	B	7.5m/1.2m		80		74.0	96.0	90.5	96.0	22.0
Kaltschlämme	B	7.5m/1.2m		50		70.6	89.0	86.0	89.0	18.4
Kaltschlämme	B	7.5m/1.2m		80		76.3	96.5	91.5	96.5	20.2
Drain 0/8	B	7.5m/1.2m		50		66.6	83.5	85.5	84.6	18.0
Drain 0/8	B	7.5m/1.2m		80		72.2	88.5	90.0	89.3	17.1
AB 0/11	B	7.5m/1.2m		50		70.3	87.5	84.5	87.5	17.2
AB 0/11	B	7.5m/1.2m		80		74.8	94.5	89.5	94.5	19.7
AB 0/8 alt	B	7.5m/1.2m		50		70.0	86.0	83.0	86.0	16.0
AB 0/8 alt	B	7.5m/1.2m		80		73.4	94.5	89.0	94.5	21.1
AB 0/8 neu	B	7.5m/1.2m		50		70.4	83.0	81.0	83.0	12.6
AB 0/8 neu	B	7.5m/1.2m		80		74.3	91.0	87.0	91.0	16.7

	Anzahl Werte	Standardabweichung	Mittelwert
nur Vorbeifahrtmessungen :	n = 18	s = 0.84	ΔL = 19.38
nur Vorbeirollmessungen :	n = 14	s = 2.36	ΔL = 18.21
Total :	n = 32	s = 1.75	ΔL = 18.87

Messart A = Vorbeifahrt mit konstanter Geschwindigkeit, Mittelwert
B = Vorbeirollmessung

K1 = Korr. Mikrophonentfernung auf 7.5 m / 1.2 m
AB = Asphaltbeton
OB = Oberflächenbehandlung

Abb. 40 **Korrelation Lärmmessanhängerwert - Vorbeifahrtpegel**

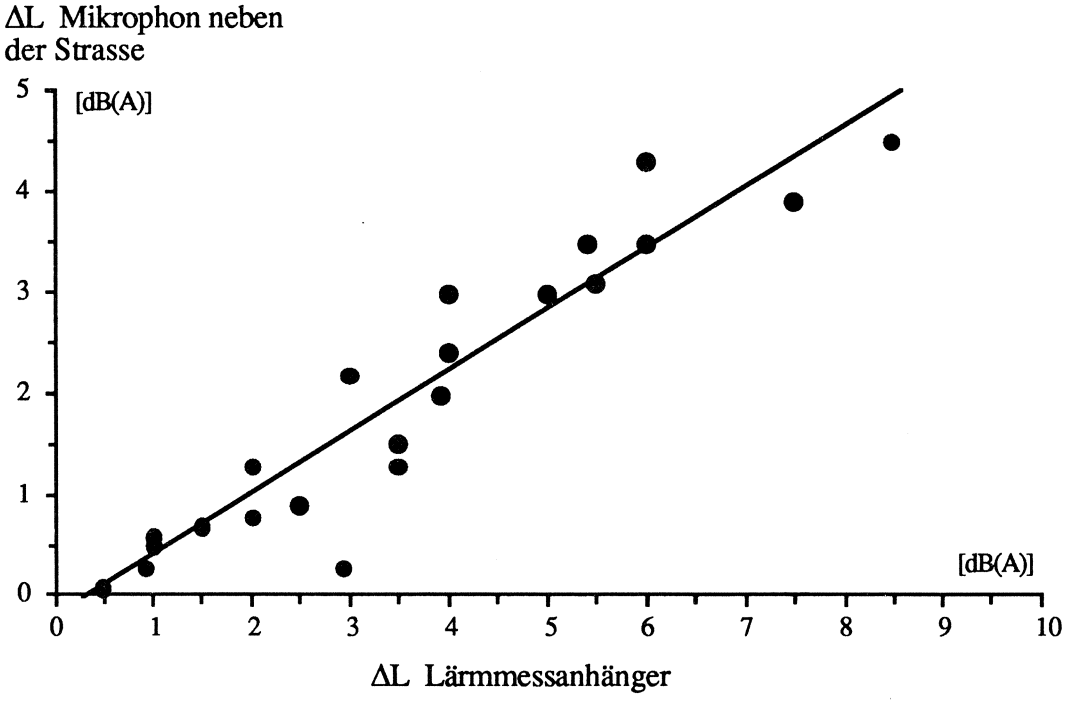


o Messung des mittleren Vorbeifahrtpegels (= Messwert bei der Vorbeifahrt mit konstanter Geschwindigkeit, Mikrophonabstand 7.5 m, Höhe 1.2 m)

● Messung des Vorbeirollpegels

Anzahl Werte n = 32
Korrelationskoeffizient r = 0.933
$L_V = 7.631 + 0.715 \; L_{LMA}$

Abb. 41 **Vergleich der durch Belagswechsel verursachten Schalldruckpegeldifferenzen des LMA und des ortsfesten Mikrophons**



Anzahl Werte n = 24
Korrelationskoeffizient r = 0.95
$\Delta L_{eq} = -0.22 + 0.61\,\Delta L_{LMA}$

Belagswechsel	ΔLMA	ΔLeq	Belagswechsel	ΔLMA	ΔLeq
Drain 8/Drain 11	3.5	1.3	Drain 16/AB 16	5.4	3.5
Drain 8/Splittmastix	6.0	3.5	Drain 16/AB 16	1.0	0.6
Drain 10/Drain 16	4.0	2.4	Drain 16 alt/AB 16	0.9	0.3
Drain 10/AB 10	4.0	3.0	Drain 16/Beton	6.0	4.3
Drain 10/AB 10	3.9	2.0	Drain 16/HRA	1.5	0.7
Drain 10/AB 16	1.0	0.5	Drain 16/OB 16	3.5	1.5
Drain 10/AB 16	5.0	3.0	AB 10/OB 16	1.5	0.7
Drain 10/Beton	8.5	4.5	HRA/AB 16	0.5	0.1
Drain 10/10/HRA	5.5	3.1	OB 16/AB 16	2.5	0.9
Drain 10/OB 16	7.5	3.9	OB 16/HRA	2.0	0.8
Drain 11/Darin 16	2.0	1.3	Mikro 10/Beton	6.0	3.5
Drain 11/Splittmastix	3.0	2.2	OB 16/Mikro 10	2.9	0.3

- LW- Anteil zwischen 1% und 30%
- diverse Mikrophonabstände von der Fahrbahn

Die Abbildung 41 zeigt den entsprechenden Zusammenhang auf der Basis der Gegenüberstellung von Schalldruckpegeldifferenzen.

Mit der Definition des massgebenden LMA-Wertes wird offenbar eine brauchbare Korrelation zwischen den Messwerten der Lämmessanhängers und denjenigen des Mikrophons neben der Strasse erreicht. Diese Untersuchung sollte weitergeführt werden, um die vorläufigen Aussagen besser abzusichern.

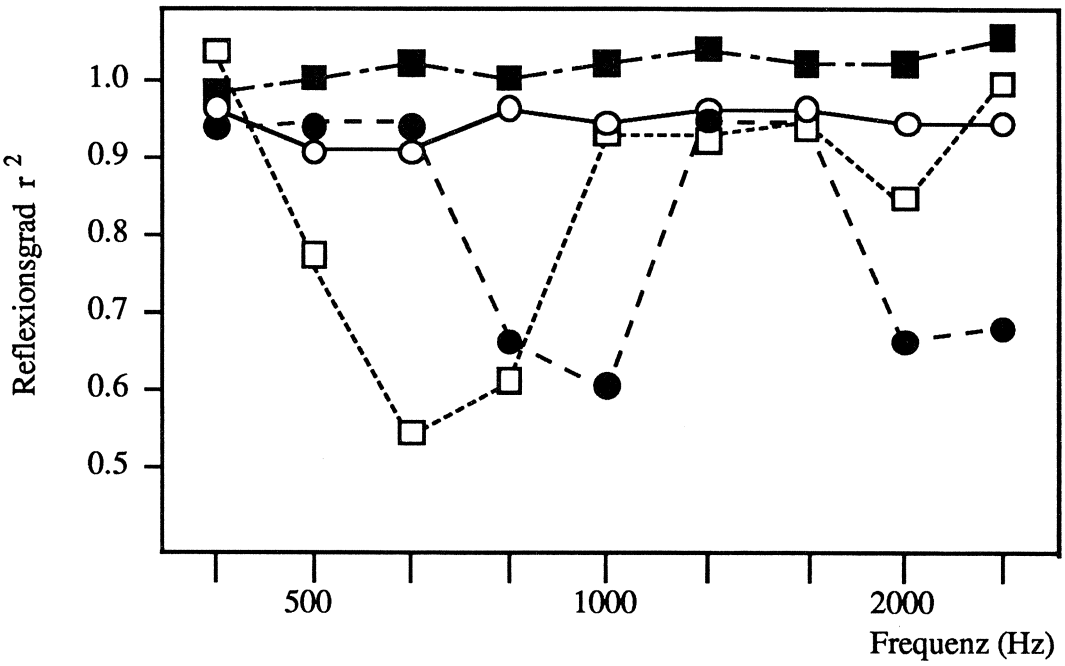
5.4 Ergebnisse der Lärmmessungen auf Drainbelägen

Die Untersuchung des **Absorptionsvermögens** hat gezeigt, dass funktionstüchtige Drainbeläge Schall absorbieren können. Die Abbildung 42 zeigt typische Kurvenverläufe für verschiedene Beläge. Grundsätzlich darf man bei den heute vorhandenen Drainasphaltschichtdicken von 3 bis 5 cm aufgrund der akustischen Grundlagen (Absorbertheorie) aber keine überragende schallabsorbierende Wirkung der Drainbeläge erwarten. Der kleinste mittlere Reflexionsfaktor, der im Rahmen dieser Untersuchung bisher gemessen werden konnte, lag bei 0,79 (= Absorptionsfaktor 0,21). Dies bedeutet, dass maximal rund 20% des auftretenden Schalls absorbiert werden konnte. Betrachtet man hingegen nur gewisse Teilbereiche des Frequenzspektrums, so kann der Absorptionsfaktor deutlich grösser sein (bis ca. 40%).

Es konnte festgestellt werden, dass die Schallabsorptions- bzw. -reflexionswerte mit den an der selben Stelle gemessenen Durchlässigkeitswerten des Drainbelages korrelieren. Die Abbildungen 43 bis 45 zeigen typische Reflexionskurven mit den zugehörigen Messwerten der Durchlässigkeitsmessung. In Abbildung 46 ist der aus den Messungen abgeleitete Zusammenhang zwischen der Durchlässigkeit und der Schallreflexion graphisch dargestellt.

Wenn eine nennenswerte Schallabsorption von wenigstens 10% erwartet wird, dürfen die Durchlässigkeitswerte nicht über ca. 130-140 sec liegen. Dies ergibt umgerechnet einen Durchflusswert von ca. 1 l/min als Grenzwert, wo man von einer merkbar schallabsorbierenden Wirkung des Drainbelages sprechen kann. Ein Blick in die Abbildungen 28 und 29 zeigt, dass der mittlere Durchflusswert bei einem erheblichen Teil der beobachteten Drainasphaltstrecken unter diesem Grenzwert liegt.

Abb. 42 **Reflexionsfaktor von verschiedenen Belägen**
(Alle Kurven: 0° - Schalleinfallswinkel)



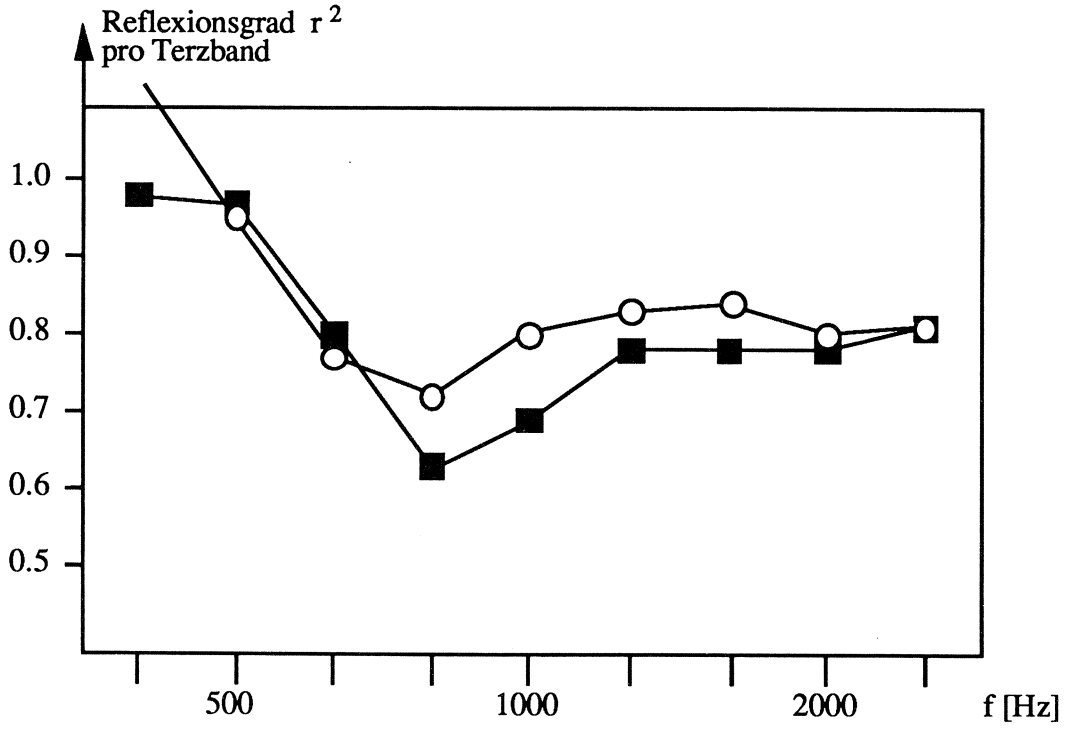
■ Normaler Asphaltbelag

○ Drainasphalt Typ A, Pannenstreifen Autobahn (verstopft)

□ Drainasphalt Typ A, Fahrspur Autobahn (nicht verstopft)

● Drainasphalt Typ B, Kantonsstrasse (nicht verstopft)

Abb. 43 **Graphische Darstellung des Relexionsgrades pro Terzband**



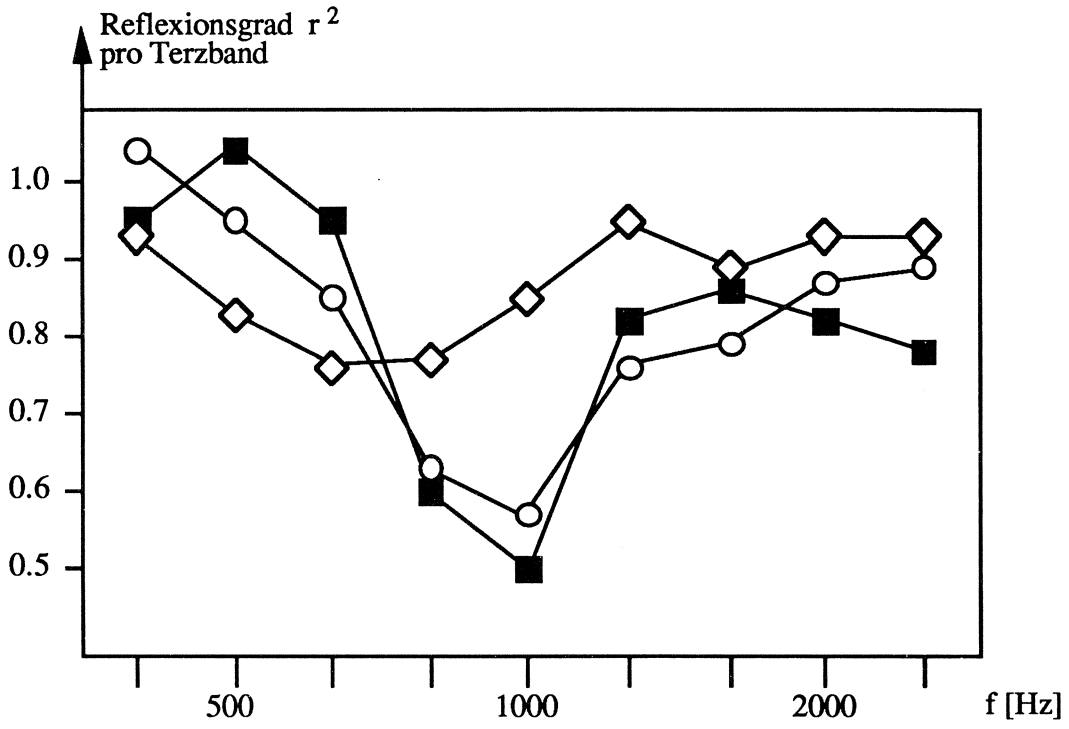
Werte in Oktavbändern

	Mittlerer Reflexionsgrad	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
■	0.80	0.92	0.70	0.79
○	0.84	0.93	0.78	0.80

■ Durchlässigkeitswert : 36 sec = 3.78 l/min

○ Durchlässigkeitswert : 56 sec = 2.43 l/min

Abb. 44 **Graphische Darstellung des Reflexionsgrades pro Terzband**

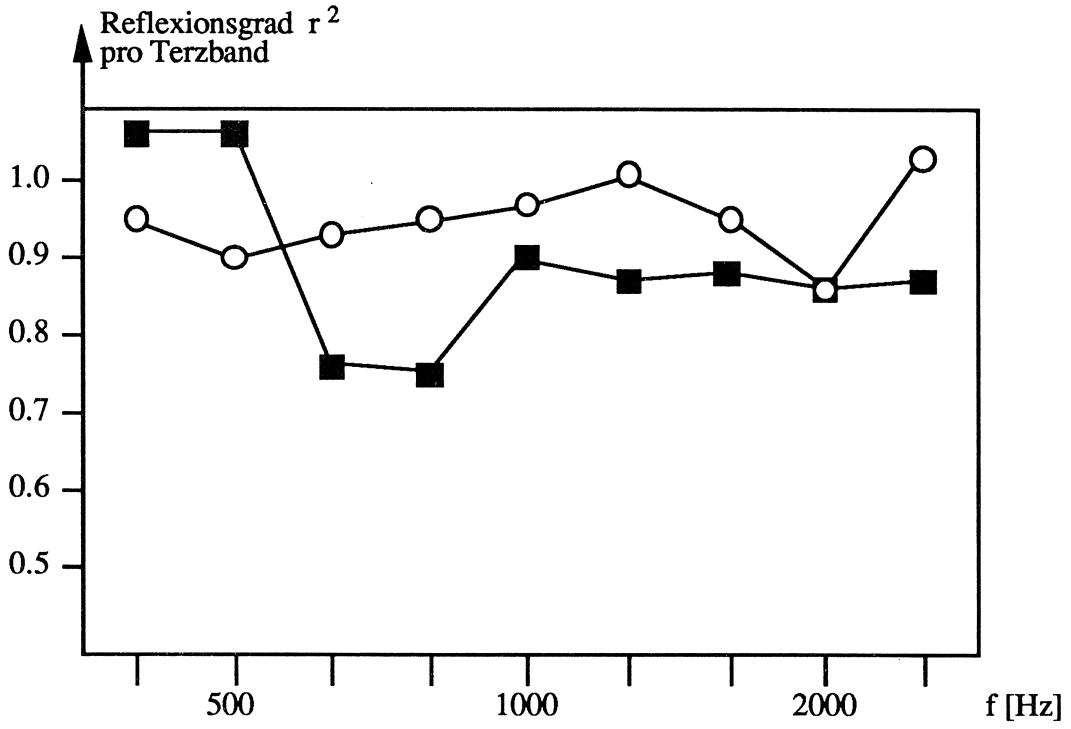


Werte in Oktavbändern

	Mittlerer Reflexionsgrad	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
■ Radspur	0.82	0.98	0.64	0.82
○ Radspur		0.96	0.65	0.85
◇ zwischen den Radspuren	0.87	0.84	0.86	0.92

Durchlässigkeit Radspur : 57 sec = 2.39 l/min
Durchlässigkeit Mitte : 71 sec = 1.92 l/min

Abb. 45 **Graphische Darstellung des Reflexionsgrades pro Terzband**



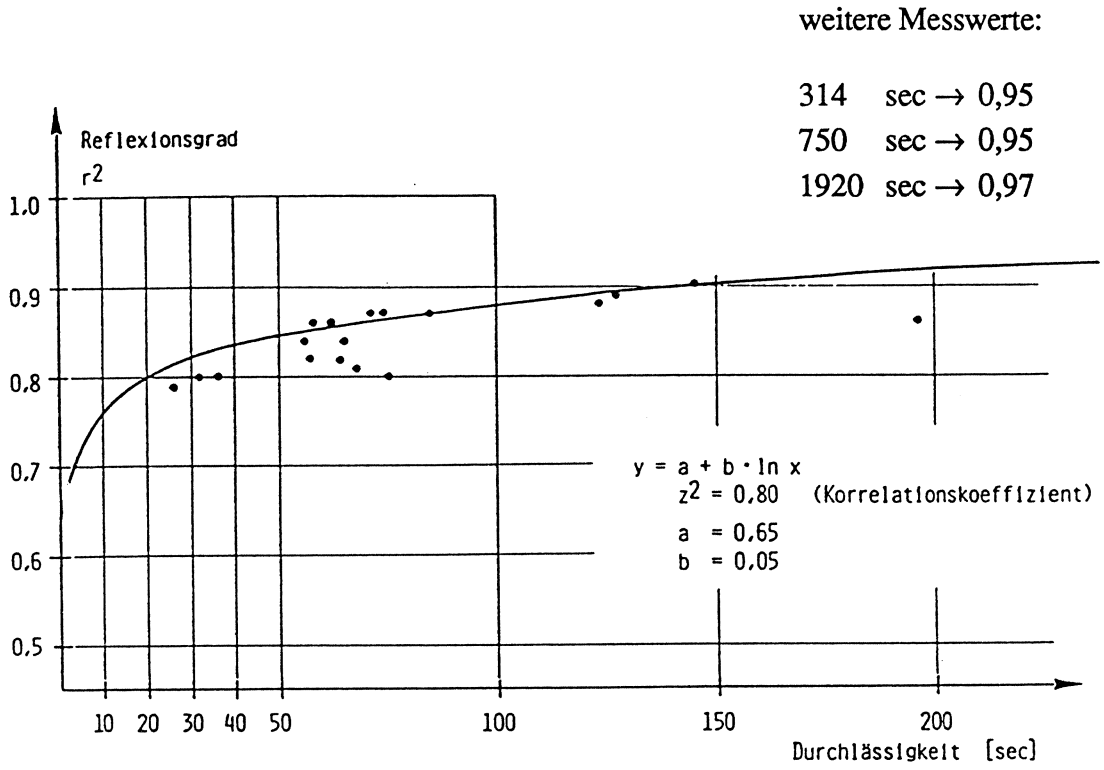
Werte in Oktavbändern

	Mittlerer Reflexionsgrad	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
■	0.89	0.94	0.85	0.88
○	0.95	0.93	0.98	0.94

■ Durchlässigkeitswert : 127 sec = 1.07 l/min

○ Durchlässigkeitswert : 314 sec = 0.43 l/min

Abb. 46 **Zusammenhang Durchlässigkeit - Schallreflexion**



Basis: 21 Wertepaare von 4 Drainasphaltstrecken
Messung der Durchlässigkeit mit dem Durchflussmesser IVT
Messung des Reflexionsgrades auf der Strasse, Verwendung des Mittelwertes aus den Reflexionswerten in den 3 Oktavbändern 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz

Schallabsorption $\alpha = 1 - r^2$

Die Rollgeräuscherzeugung hängt primär vom Reifen und von der Belagsoberfläche, ihrer Textur und Ebenheit ab. Leider kennt man aber die Mechanismen der Rollgeräuscherzeugung noch nicht im Detail und weiss daher nicht genau, wie die akustisch beste Belagsoberfläche auszusehen hat (vermutlich feinkörnig, homogen, nagelbrettartig). Auch fehlen heute noch geeignete Messverfahren für die Erfassung der akustisch relevanten Merkmale der Belagsoberfläche. Die bekannten Texturmessverfahren kommen von der Griffigkeit her und sind für Aussagen über das **Rollgeräusch** weniger geeignet.

Die Rollgeräuschmessung mit dem Lärmmessanhänger ermöglicht dank der beiden Mikrophone Aussagen über die Abstrahlcharakteristik. Diese kann sehr verschieden sein und hängt sowohl vom Reifen als auch von der Textur der Fahrbahnoberfläche ab. Auf konventionellen dichten Belägen ist der Messwert des hinteren Mikrophons wegen des schallverstärkenden Trichtereffekts zwischen Reifenlauffläche und Belag normalerweise grösser als der Messwert des seitlichen Mikrophons. Insbesondere bei feinkörnigen Oberflächen wird dieser Unterschied relativ gross. Bei Drainbelägen liegen die Pegelwerte der beiden Mikrophone dagegen oft auf gleichem Niveau oder der Wert vom seitlichen Mikrophon ist sogar etwas grösser als derjenige des hinteren Mikrophons. Dies ist durch die erhöhte Absorption im Schalltrichter des Reifenauslaufs bedingt. Im Gegensatz dazu wird einerseits der Messwert des seitlichen Mikrophons bei der Mikrophonanordnung im Lärmmessanhänger des IVT von der Absorptionseigenschaft der Fahrbahnoberfläche wenig beeinflusst, andererseits erhöht aber die meist rauhe Oberfläche der Drainbeläge die seitliche Schallabstrahlung. Die bisherigen Erfahrungen betreffend der Schallabstrahlung des Messrades beim LMA des IVT sind in den Abbildungen 38 und 39 dargestellt.

Wie man erkennt, werden auf funktionstüchtigen, d.h. durchlässigen Drainbelägen bei Geschwindigkeiten über 50 bis 60 km/h beim hinteren Mikrophon niedrigere Schallpegel gemessen als auf konventiollen, dichten Belägen. Je grösser die Geschwindigkeit, desto grösser wird der Unterschied zwischen den Drainbelägen und den konventionellen Belägen bezüglich des nach hinten abgestrahlten Reifengeräuschs. Demgegenüber lässt sich bei Geschwindigkeiten unter ca. 60 km/h mit akustisch günstigen konventionellen Belägen beim hinteren Mikrophon das gleiche Rollgeräuschniveau erreichen wie mit Drainbelägen.

Beim seitlichen Mikrophon des LMA, wo wie gesagt die Reifenschwingungen direkter eingehen und das Absorptionsverhalten der Belagsoberfläche weniger berücksichtigt wird, liegen die Drainbeläge ungefähr in der Mitte der konventionellen Beläge. Dies dürfte primär auf die meist ziemlich grobe Textur der Schweizer Drainbeläge zurückzuführen sein. Hieraus lässt sich ableiten, dass ein akustisch optimierter Drainasphalt eine relativ feine Oberflächenstruktur haben müsste. Auf diese Weise könnte der Pegel vom seitlichen Mikrophon reduziert werden.

Der massgebende LMA-Wert gemäss Definition in Kapitel 5.3.5 spiegelt die akustischen Vehältnisse gesamthaft wieder und weist offensichtlich eine brauchbare Übereinstimmung mit den Immissionsmessungen am Strassenrand auf. Die Tabelle 4 zeigt eine Gegenüberstellung der Rollgeräuschmesswerte von Drainbelägen und von "leisen" konventionellen Belägen. Die Tabelle basiert auf den vorliegenden Messwerten vom LMA des IVT mit den in Kap. 5.3.3 beschriebenen Messbedingungen (Reifen, Mikrophonposition). Sie erhebt keinen Anspruch auf Repräsentativität oder Vollständigkeit.

Tabelle 4 **Rollgeräusch, massgebender LMA-Wert**
Uebersicht Drainbeläge und "leise" konventionelle Beläge

Stand 1987

Versuchsstrecke Nr.	Belag	massgebender LMA-Wert [dB(A)] 50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	
1	Drainasphalt 0/10	87,5	90,0	93,5	--	*
2	Drainasphalt 0/10	91,5	93,5	--	--	*
3	Drainasphalt 0/16	91,5	94,5	98,0	--	
4	Drainasphalt 0/16	--	93,5	96,5	99,0	
5	Drainasphalt 0/16	--	93,5	96,5	99,0	
6	Drainasphalt 0/10	--	90,5	92,5	95,5	
7	Drainasphalt 0/10	--	91,5	94,5	97,0	
8	Drainasphalt 0/10	88,5	91,0	93,5	--	
9	Drainasphalt 0/10	88,5	91,0	--	--	
10	Drainasphalt 0/10	88,0	90,5	--	--	
11	Drainasphalt 0/16	--	91,5	94,0	96,5	
12	Drainasphalt 0/16	--	91,5	94,5	97,0	
13	Drainasphalt 0/16	--	91,5	94,5	97,0	
14	Drainasphalt 0/16	--	92,5	95,5	97,5	
15	Drainasphalt 0/16	89,0	91,0	94,5	96,5	
16	Drainasphalt 0/10	85,5	87,5	91,5	--	
17	Drainasphalt 0/16	89,5	92,0	96,5	--	
weitere Drainbeläge:						
	Drainasphalt 0/8	84,5	--	89,5	--	
	Drainasphalt 0/11	87,0	--	92,5	--	
	Drainasphalt 0/10	--	88,0	92,0	--	**
"leise" konventionelle Beläge:						
	AB 0/8	86,0	--	94,5	--	
	AB 0/11	87,5	--	94,5	--	
	AB 16	88,5	91,0	--	--	
	Mikrobelag 0/10	--	91,5	97,0	--	
	Gussasphalt 16	--	92,0	95,5	98,0	
	Beton	--	92,0	96,0	99,0	
	Mikrobelag 0/10	--	91,0	95,0	--	
	OB 8/11	88,5	--	95,5	--	
konventionelle Beläge im Neuzustand:						***
	Mikrobelag 0/10	85,0	88,0	93,0	--	
	AB 16	85,0	88,0	91,5	--	
	OB 10	87,5	90,0	93,0	--	
	AB 0/8	83,0	--	91,0	--	
	Beton	88,5	--	96,5	--	
	Splittmastix 16	89,5	92,0	96,0	99,0	

* Messung 1985
** Messung 1988
*** Messungen auf Belägen im Neuzustand ergeben im allgemeinen günstigere Werte. Die entsprechenden Messwerte werden daher separat aufgeführt. Alle anderen Beläge hatten zum Zeitpunkt der Messung mindestens einen Winter hinter sich.

Der Pegelunterschied zwischen dem Drainbelag mit dem niedrigsten Rollgeräuschmesswert und dem entsprechenden konventionellen Belag ist geschwindigkeitsabhängig und beträgt auf der Basis der vorliegenden Messwerte bei

50 km/h : 1,5 dB(A)
60 km/h : 3,5 dB(A)
80 km/h : 5,0 dB(A).

Man erkennt, dass **eine Reduktion des Rollgeräuschs mittels Drainbelägen vorwiegend im höheren Geschwindigkeitsbereich erzielbar ist**. Der Vergleich Drainbelag - dichter Belag dürfte ähnlich aussehen, wenn man nicht auf die jeweils niedrigsten Pegel abstellt, sondern auf mittlere Rollgeräuschwerte pro Belastungsart.

Tabelle 4 zeigt ferner, dass nicht alle Drainbeläge ein niedriges Rollgeräusch aufweisen. Die Pegeldifferenz innerhalb der Drainbeläge beträgt immerhin 7 bis 9 dB(A) und liegt damit in ähnlicher Grössenordnung wie diejenige zwischen konventionellen Belägen und Drainbelägen. Seitens der Unterlagen (Beton oder Asphalt) und seitens der Bindemittelsorte konnte kein Einfluss auf die Rollgeräuschmesswerte der Drainbeläge festgestellt werden. Allerdings scheinen oberflächliche Bindemittelanreicherungen den Rollgeräuschmesswert zu reduzieren. Dieses Phänomen wurde auch bei dichten Belägen beobachtet, indem Messungen auf Belägen im Neuzustand im allgemeinen günstigere Rollgeräuschwerte ergaben, als solche auf dem selben Belag zu einem späteren Zeitpunkt. Ob es sich hierbei um eine geräte- bzw. reifenspezifische Eigenschaft des LMA handelt oder ob dies der Realität entspricht, muss vorläufig offen bleiben.

Der Rollgeräuschpegel auf den Drainbelägen wird aber offensichtlich durch die Korngrösse, die Kornverteilung, die Durchlässigkeit und den Belagszustand beeinflusst. Drainbeläge mit kleinerem Grösstkorn oder feinerer Kornverteilung weisen ein günstigeres Rollgeräusch auf als grobe Drainbeläge. Auch die Durchlässigeit hat einen positiven Einfluss auf den Rollgeräuschpegel. Allerdings scheint der Textureinfluss wesentlich grösser zu sein, denn es gibt Drainbeläge, die auch in verstopftem Zustand bzw. mit stark reduzierter Durchlässigkeit niedrigere Rollgeräuschpegel erreichen. Dies gilt wiederum in erster Linie für die feinkörnigen Beläge, während die verstopften groben Drainbeläge im allgemeinen laut sind.

Die Tatsache, dass bei einigen Drainbelägen auch im verstopften Zustand relativ niedrige Rollgeräusche gemessen wurden, lässt den Schluss zu, dass das vergleichsweise niedrige Rollgeräusch auf gewissen, vor allem feineren Drainbelägen hauptsächlich auf einer geringeren Rollgeräuscherzeugung und weniger auf der Absorptionswirkung des Belages basiert. Dementsprechend müsste es mit der akustischen Optimierung der Oberfläche dichter Beläge gelingen, gleiche oder sogar bessere Rollgeräuschwerte zu erzielen als mit Drainbelägen, insbesondere wenn deren Durchlässigkeit beeinträchtigt ist. Ein dichter Belag mit der Oberflächenstruktur eines feinkörnigen Drainbelages dürfte demzufolge bezüglich Rollgeräusch sehr gut abschneiden.

Die **Lärmimmissionen neben der Strasse** werden belagsseitig einerseits durch das erzeugte Rollgeräusch (in Verbindung mit den Reifen) und andererseits durch eine allfällige schallabsorbierende Wirkung der Fahrbahnoberfläche beeinflusst. Um die Lärmimmission zu erfassen, wurden Messungen mit Mikrophonen neben der Strasse durchgeführt. Das angewendete Messprinzip ist in Kapitel 5.3.4 beschrieben.

Beim Vorbeifahrtpegel (Maximalwert) einzeln fahrender Personenwagen wurde bei funktionstüchtigen Drainbelägen eine Pegelreduktion von 1 bis 5 dB(A) gegenüber dichten Asphaltbelägen gemessen. Die erreichbare Pegelminderung hängt von den akustischen Eigenschaften des Drainbelages und denjenigen des Vergleichsbelags ab. Der Mittelungspegel L_{eq} konnte mit funktionstüchtigen Drainbelägen, je nach Drainbelag, Vergleichsbelag und Verkehr, um 0 bis 3,5 dB(A) gegenüber dichten Asphaltbelägen reduziert werden. Bei zwei Vorher/Nachher-Untersuchungen mit Mikrophonen in grösserem Abstand von der Strasse (25 m, 75 m, 140 m) wurden beim Mittelungspegel L_{eq} Unterschiede von 3 bis 5 dB(A) gegenüber Betonbelägen gemessen. Auf älteren, grobkörnigen, verstopften Drainbelägen wurden aber auch schon höhere Lärmpegel als auf den angrenzenden dichten Asphaltbelägen gemessen.

Mit Hilfe der in Kapitel 5.3.5 aufgeführten Zusammenhänge zwischen Anhängermessung und Messung mit ortsfesten Mikrophonen neben der Strasse können die mit einer Belagserneuerung erreichbaren Lärmpegelreduktionen ausgehend von einer Anhängermessung abgeschätzt werden.

Neben der Lärmreduktion bewirken die Drainbeläge häufig eine Frequenzveränderung beim Lärm. Die eher störenden höheren Frequenzen werden durch die Drainbeläge im allgemeinen stark reduziert. Deswegen wirkt der verbleibende Lärm für das menschliche Empfinden relativ angenehm. Aus diesem Grunde wurden verschiedentlich positive Anwohnerreaktionen registriert, obwohl die messbare Schalldruckpegeldifferenz dies kaum rechtfertigte. Hier stösst man auf eine Diskrepanz zwischen objektiv messbarer Schalldruckpegelveränderung und subjektivem Anwohnerempfinden. Es muss somit nicht der objektiv leiseste Belag auch der angenehmste sein. Deswegen sollte der Verkehrslärm künftig mit Messgrössen beschrieben werden, die dem menschlichen Empfinden besser als der A-bewertete Schalldruckpegel angepasst sind. Übrigens lässt sich das Frequenzspektrum auch mit konventionellen Belägen beeinflussen.

Kurz zusammengefasst basiert die lärmreduzierende Wirkung der Drainbeläge auf folgenden Faktoren:

1. Geringere Rollgeräuscherzeugung. Dies gilt insbesondere für feinere Drainbeläge und für den Bereich höherer Geschwindigkeiten.

2. Schallabsorbierende Wirkung der Fahrbahnoberfläche. Die Absorptionswirkung ist bei den heutigen dünnen Drainbelägen aber relativ beschränkt. Diese Eigenschaft ist zudem vergänglich, indem verschmutzte oder auch mit Wasser gefüllte Drainbeläge (schlechte Entwässerung) keine oder nur geringe Absorptionswirkung aufweisen.

3. Ferner wird der Lärm durch eine Frequenzänderung angenehmer gemacht. Hierzu trägt sowohl das niederfrequentere Rollgeräusch als auch die vor allem im höherfrequenten Bereich wirksame Absorption bei.

Grössenordnungsmässig können mit funktionstüchtigen Drainbelägen folgende Verbesserungen beim Mittelungspegel L_{eq} erreicht werden:

0 - 4 dB(A) gegenüber dichten Asphaltbelägen
3 - 7 dB(A) gegenüber alten Betonbelägen

Feinkörnigere Drainbeläge sind im allgemeinen akustisch günstiger als grobkörnige.

Aufgrund der relativ geringen Rollgeräuschreduktion gegenüber leisen dichten Belägen und der Tatsache, dass die lärmabsorbierende Wirkung häufig nicht von grosser Dauerhaftigkeit ist, können Drainbeläge wohl nur in wenigen Fällen wirklich Alternativen zu anderen Lärmschutzmassnahmen, wie z.B. Lärmschutzwände, Schallschutzfenster etc. sein. Dies gilt insbesondere im Innerortsbereich, wo die Verschmutzung und Entwässerung der Drainbeläge meist besonders problematisch ist und wo das Motorengeräusch im allgemeinen ein wesentlicher Faktor im Vergleich zum Rollgeräusch ist. Im übrigen sollte nicht vergessen werden, dass man auch mit optimierten konventionellen Belägen in einigen Fällen Lärmverbesserungen erreichen kann, insbesondere, indem bekanntermassen laute Beläge saniert und vor allem bei Neubauten in lärmempfindlichen Gebieten vermieden werden.

6. Winterverhalten

6.1 Allgemeines

Den vielen Vorteilen der Drainasphaltbeläge wird als schwerwiegender Nachteil häufig ein ungünstiges Verhalten bei winterlichen Strassenzuständen gegenübergestellt. Um diesen Problemkreis zu untersuchen, wurden neben der visuellen Beobachtung und dem Kontakt mit den zuständigen Unterhaltsdiensten in mehreren Wintern auch Griffigkeitsmessungen bei winterlichen Strassenzuständen auf einigen Versuchsstrecken durchgeführt. Die Messungen erfolgten mit dem Skiddometer aber ohne Selbstbewässerungsanlage. Die Griffigkeitsverhältnisse des angetroffenen Strassenzustandes wurden mit einer den winterlichen Verhältnissen angepassten Geschwindigkeit von 40 km/h auf Gemischtverkehrsstrassen bzw. 60 km/h auf Autobahnen gemessen. Die Messungen erfolgten mit gebremstem Messrad (ca. 14% Schlupf), da sich einerseits die inhomogenen Strassenverhältnisse im Winter nur schlecht mit einer punktuellen Messmethode erfassen lassen und sich andererseits vor dem blockierten Messrad oftmals ein Schnee- oder Matschkeil bildet, welcher irreguläre Griffigkeitswerte bewirken kann. Bei diesen Messungen ging es im übrigen nur darum, relative Werte als Grundlage für den Vergleich zwischen Drainasphalt und anderen Belägen zu ermitteln. Die Werte sollen hingegen nicht absolut betrachtet werden.

In den Wintern 1981/82, 1983/84, 1984/85 und 1985/86 wurden insgesamt über 160 Messfahrten bei winterlichen Bedingungen durchgeführt. Im Winter 1982/83 wurden im Rahmen möglicher Einsatzzeiten keine winterlichen Verhältnisse angetroffen.

6.2 Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen im Winter

Wegen der inhomogenen Strassenverhältnisse bei winterlichem Wetter streuen die Messergebnisse in Abhängigkeit des jeweils angetroffenen momentanen Zustandes stark. Einen ersten Ueberblick ermöglicht die Verteilung des Messwerte für die einzelnenen Teilstrecken mit unterschiedlichen Belägen (Abbildungen 47 bis 50). Daraus lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Der Drainasphalt liegt gesamthaft betrachtet innerhalb dem Streubereichs der anderen Beläge.
- Der Drainasphalt hat in den Wintern 1981/82 und 1984/85 vergleichsweise besser abgeschnitten als in den Wintern 1983/84 und 1985/86. Dies ist auf die jeweils angetroffenen Witterungsbedingungen zurückzuführen.
- Die rauhe Oberflächenbehandlung OB 16 hat allgemein sehr gut abgeschnitten.

Ferner wurde festgestellt, dass der Einfluss anderer Faktoren im allgemeinen grösser ist als derjenige des Belages. Hier sind insbesondere das Mikroklima, die Randbepflanzung, die Lage der Strecke zur Windrichtung, die Fahrbahnbreite etc. zu nennen. Beim Vergleich des Winterverhaltens der Beläge in Abb. 47 bis 50 ist zu beachten, dass diese Randbedingungen nicht auf allen Teilstrecken gleich sind. Des weiteren wurde beobachtet, dass sich verstopfte Drainbeläge mit Durchlässigkeitswerten kleiner als ca. 1 l/min im Winter annährend gleich verhalten wie dichte Beläge mit entsprechender Oberflächentextur. Das andersartige Verhalten der Drainbeläge zeigt sich bei stärkerem Verkehr vorwiegend im unbefahrenen Bereich ausserhalb der Radspuren (Fahrstreifenmitte, Fahrstreifenrand, Fahrbahnmitte).

Abb. 47 **Verteilung der Griffigkeitswerte bei winterlichen Strassenzuständen 1981/82**

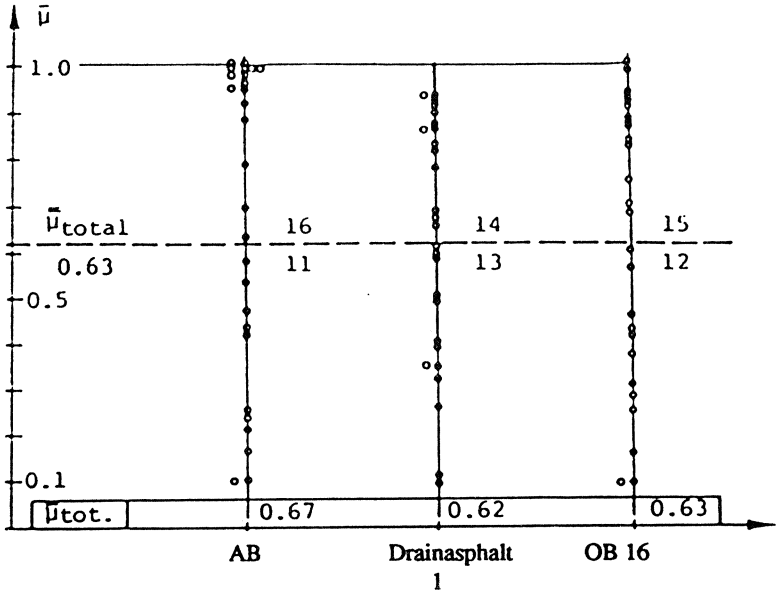
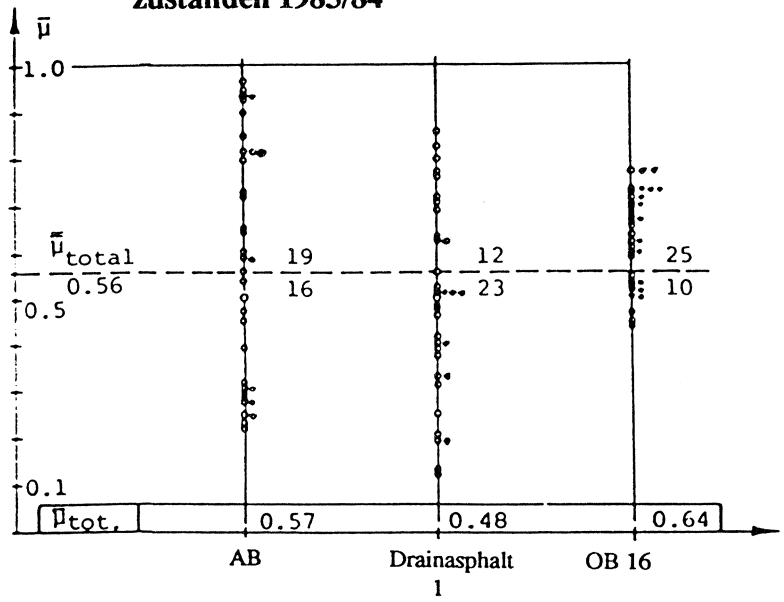


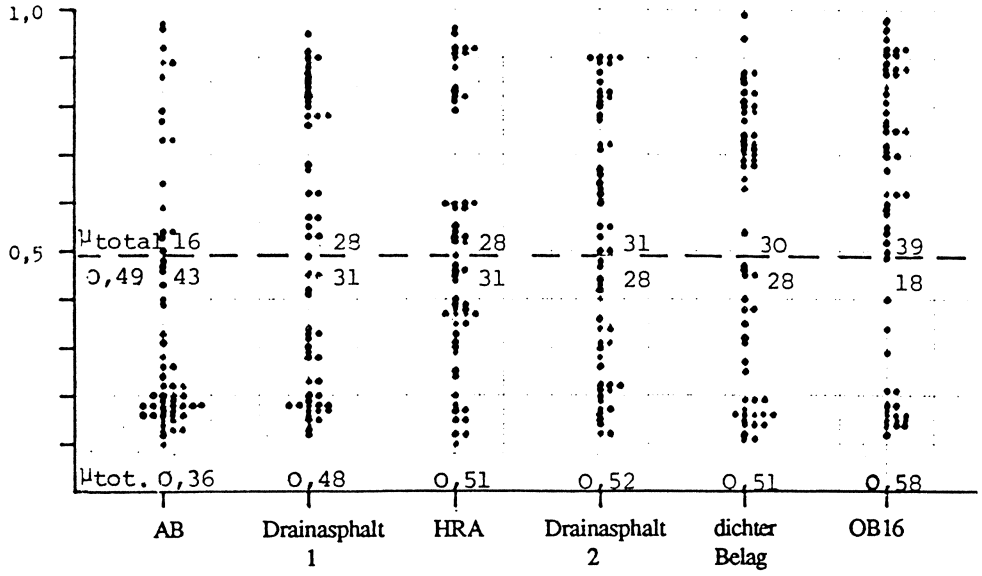
Abb. 48 **Verteilung der Griffigkeitswerte bei winterlichen Strassenzuständen 1983/84**



Messungen mit gebremstem Messrad (14% Schlupf), V = 40 km/h.
Dargestellt sind die Mittelwerte pro Fahrt und Belag.

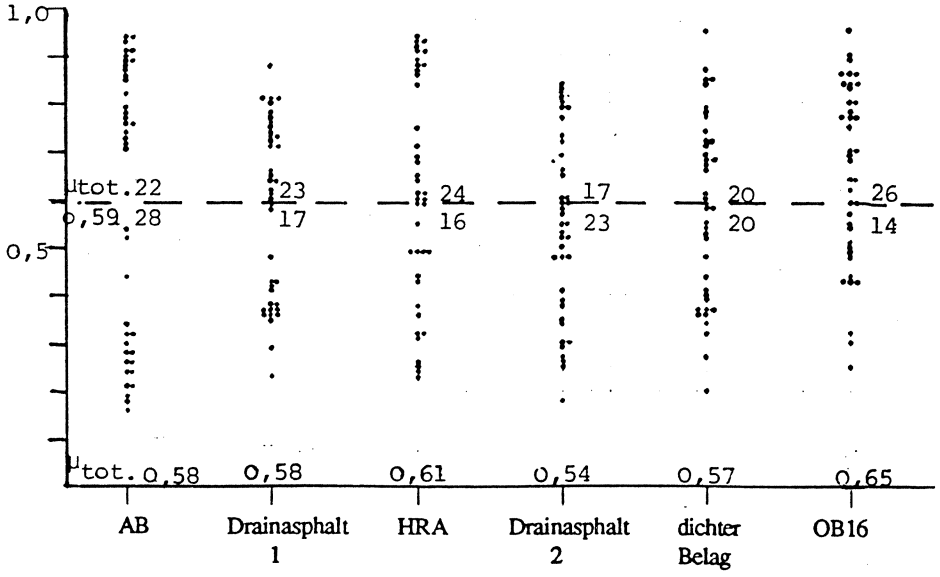
Der Mittelwert aller Mittelwerte beträgt μ total = 0.63 bzw. 0.56.
Er entspricht der gestrichelten Linie. Von den total 27 Messwerten liegen beim Drainasphalt 14 über dem Mittelwert μ total und 13 darunter. Analog ist die Verteilung bei den anderen Belägen gegeben.

Abb. 49 **Verteilung der Griffigkeitswerte bei winterlichen Strassenzuständen 1984/85**



HRA = Hot rolled asphalt

Abb. 50 **Verteilung der Griffigkeitswerte bei winterlichen Strassenzuständen 1985/86**



HRA = Hot rolled asphalt

Genauere Vergleiche zwischen den Belägen ermöglichen die nachfolgenden Darstellungen der Ergebnisse einzelner Messfahrten (Abb. 51 bis 53). Aufgetragen ist jeweils der mittlere μ-Wert pro Belag. Die Mittelwerte der einzelnen Fahrten sind auf einer vertikalen Achse aufgetragen. Dargestellt sind jeweils einige Messfahrten bei denen der Drainasphalt ein anderes Verhalten zeigte als die dichten Beläge. In der Mehrzahl der ca. 160 Messfahrten wurden keine wesentlichen Griffigkeitsunterschiede zwischen dem Drainasphalt und den dichten Belägen festgestellt oder aber die festgestellten Unterschiede sind nicht auf den Belag sondern auf andere Einflussfaktoren zurückzuführen. Überhaupt ist der Einfluss der Umgebung (Windrichtung, Bepflanzung, Höhenlage etc.) und des Verkehrs eher grösser einzustufen als derjenige des Belages. Die dargestellten Ergebnisse einzelner Messfahrten dienen zur Veranschaulichung des andersartigen Winterverhaltens der Drainbeläge. Die Fälle, in denen der Drainasphalt besser oder schlechter abschnitt als die dichten Beläge, werden im Folgenden kurz beschrieben:

1. Der Drainasphalt weist **bessere** Griffigkeitswerte auf als die dichten Beläge:

   - 21.12.81: Trocken, Lufttemperatur ca. -2.5° C. Schneedecke mit ausgeprägten Radspuren. Auf den dichten Belägen sind die Radspuren stark vereist, auf dem Drainasphalt hingegen nicht. Offensichtlich ist der Schnee vor allem auf den feineren dichten Belägen in den Radspuren infolge der Auftauwirkung des Verkehrs und allfällig vorhandenem Restsalz geschmolzen und anschliessend wieder gefroren.
     Auch am 23. und 24.2.82 waren die Radspuren auf dem Drainasphalt weniger vereist als auf den dichten Belägen. Ebenfalls tendenziell besser war die Griffigkeit auf dem Drainbelag am 10.2.86 bei sehr kaltem (ca. -14° C) trockenem Wetter und einer Schneedecke ausserhalb der Radspuren.

   - In anderen Fällen wirkte sich die grobe Makrostruktur des Drainasphalts bei mit Schneematsch bedeckter Fahrbahn günstig aus. Dies war am 24.1.84 der Fall ebenso wie am 13.2.85 und am 21.11.85, als leichter Schneefall bei -2° C auftrat und die Fahrbahn dementsprechend mit Schneematsch bedeckt war. Am 17.1.86 waren die Radspuren nass (ca. 0° C) während ausserhalb der Radspuren ziemlich viel Schneematsch lag.

2. Der Drainasphalt weist **schlechtere** Griffigkeitswerte auf als die dichten Beläge:

   - 12.1.84: 08.15 und 09.20, Lufttemperatur ca. + 1° C. Es herrscht leichter Nebelregen, der auf dem Boden gefriert. Auf den dichten Belägen ist die Strasse salznass und nur stellenweise leicht vereist, auf dem Drainasphalt besteht hingegen eine ziemlich kompakte Eisschicht, da keine Salzlösung auf der Belagsoberfläche die Eisbildung verhindert.

   - 13.11.85, 13.1.86 und 3.3.86: Schneefall bzw. Schneeregen, Lufttemperatur um 0° C. Auf den dichten Belägen ist die Fahrbahn vorwiegend nass und weist vereinzelt etwas Schneematsch auf. Auf dem Drainasphalt hat der Schnee bereits wesentlich stärker angesetzt, so dass die Griffigkeit reduziert ist. Auch am 29.11.85 hatte der Schnee auf dem Drainasphalt bereits angesetzt, während auf den dichten Belägen wahrscheinlich auch dank vorhandenem Restsalz Nässe bis Schneebrei anzutreffen waren.

- 9.12.81: Lufttemperatur ca. + 1° C. Nach starken Schneefällen am Morgen sind die dichten Beläge zum Zeitpunkt der Messung (ca. 11.20 Uhr) bereits wieder fast frei von Schneematsch. Auf dem Drainasphalt ist hingegen noch viel, zum Teil vereister Schneematsch vorhanden. Hier zeigt sich deutlich die geringere Auftauwirkung des Salzes und die Verunreinigung der Belagsoberfäche durch vom geringen Verkehr aus den Hohlräumen des Belages herausgewirbelten Schneematsch. Die Übergangszonen von Asphaltbeton zum Drainasphalt sind deutlich erkennbar (vgl. Abb. 56). Ähnlich, nur weniger ausgeprägt sind die Verhältnisse am 17.12.81 und 31.1.84.

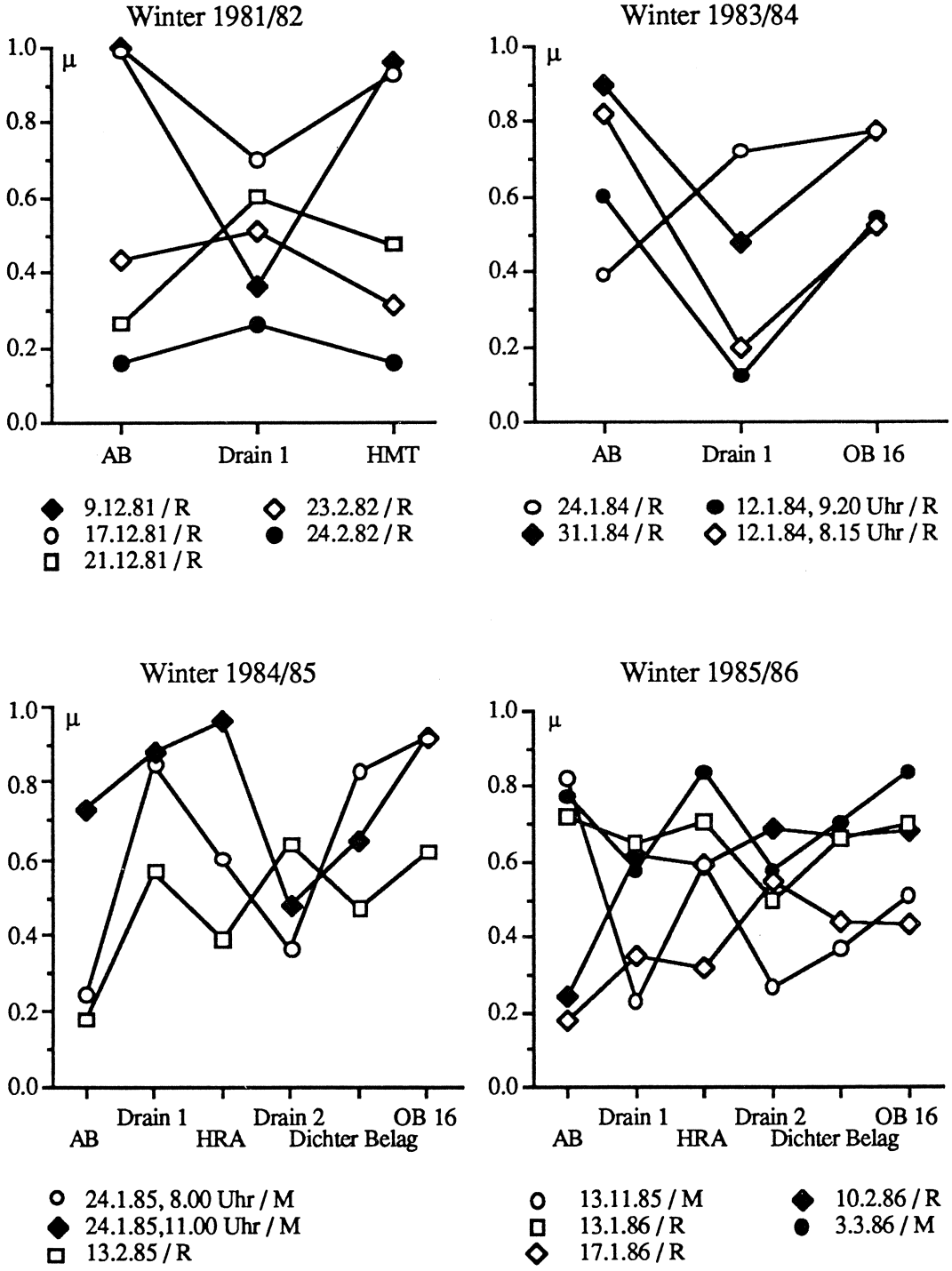
  Auch am 24.1.85 zeigt der Drainaphalt Probleme während der Auftauphase, doch beschränken sie sich diesmal auf den Bereich ausserhalb der Radspuren. Immerhin herrscht bei der zweiten Messfahrt an diesem Tag (11.00 Uhr) schönes Wetter und die übrige Strecke ist frei von winterlichen Behinderungen, während auf dem Drainasphalt in Fahrstreifen - und Fahrbahnmitte immer noch teils vereiste Schneereste vorhanden sind.

- Die geringere Wirkung des Streusalzes auf dem Drainasphalt erkennt man, wenn man die beiden Messfahrten vom 29.11.85 miteinander vergleicht. Die Griffigkeitswerte der Drainbeläge liegen auf tieferem Niveau. Die Griffigkeitsverbesserung von der ersten zur zweiten Messfahrt fällt auf dem Drainbelag geringer aus, als auf dem dichten Belag, abgesehen dort, wo letzterer bereits ein relativ hohes Griffigkeitsniveau aufweist. Ein ähnliches Bild ergab sich am 19.2.86 (trocken nach Schneefall in der Nacht, Lufttemperatur ca. -2° C, Schneematsch mit Radspuren). Auf zwei der drei dichten Beläge konnte eine deutliche Erhöhung der Griffigkeit durch den Winterdiensteinsatz festgestellt werden. Auf beiden Drainasphalten und dem dritten dichten Belag ist hingegen keine Griffigkeitsverbesserung eingetreten.

- Des weiteren wurde festgestellt, dass der Drainbelag den Salztransport des Verkehrs stört. Weil vom Drainbelag kein Salz herangeschleppt wird, kann auf dem ersten Teilstück des anschliessenden dichten Belages Salzmangel mit entsprechend schlechten Griffigkeitsverhältnissen auftreten (vgl. Abb.53).

Wie man sieht, können die Drainbeläge im Winter gewisse Vorteile und gewisse Nachteile aufweisen. Dieses andersartige Verhalten als dasjenige konventioneller Beläge hat vereinzelt auch zur Entstehung von Unfällen beigetragen. Die Drainasphaltversuchsstrecken stellen aber keine Unfallschwerpunkte im Winter dar.

Abb. 51 **Uebersicht über einzelne Messfahrten mit abweichendem Verhalten des Drainbelages auf der Kantonsstrasse**
(Messung mit gebremstem Rad, 40 km/h)



R = Radspur / M = Fahrbahnmitte

Abb. 52 **Uebersicht über einzelne Messfahrten mit abweichendem Verhalten des Drainbelages auf der Autobahn**
(Messung mit gebremstem Rad, 60 km/h)

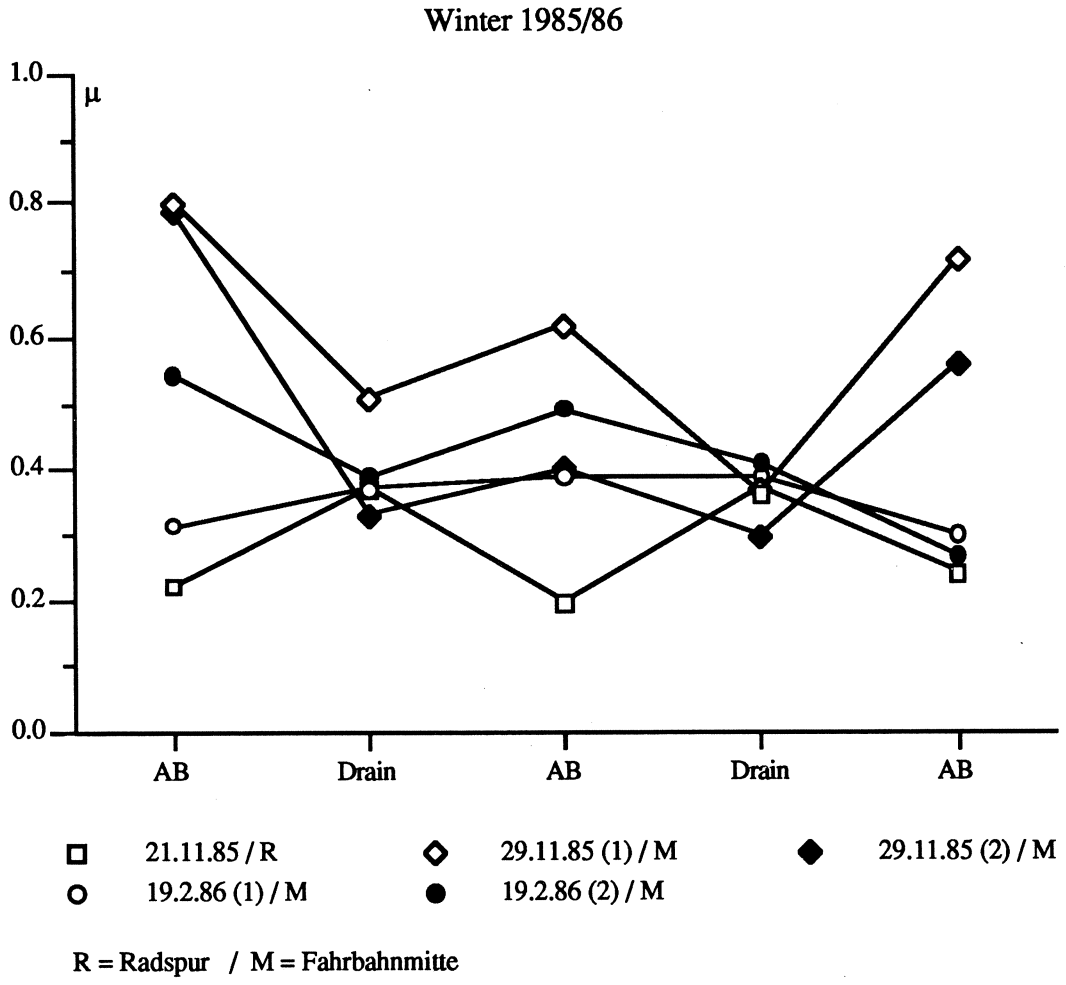
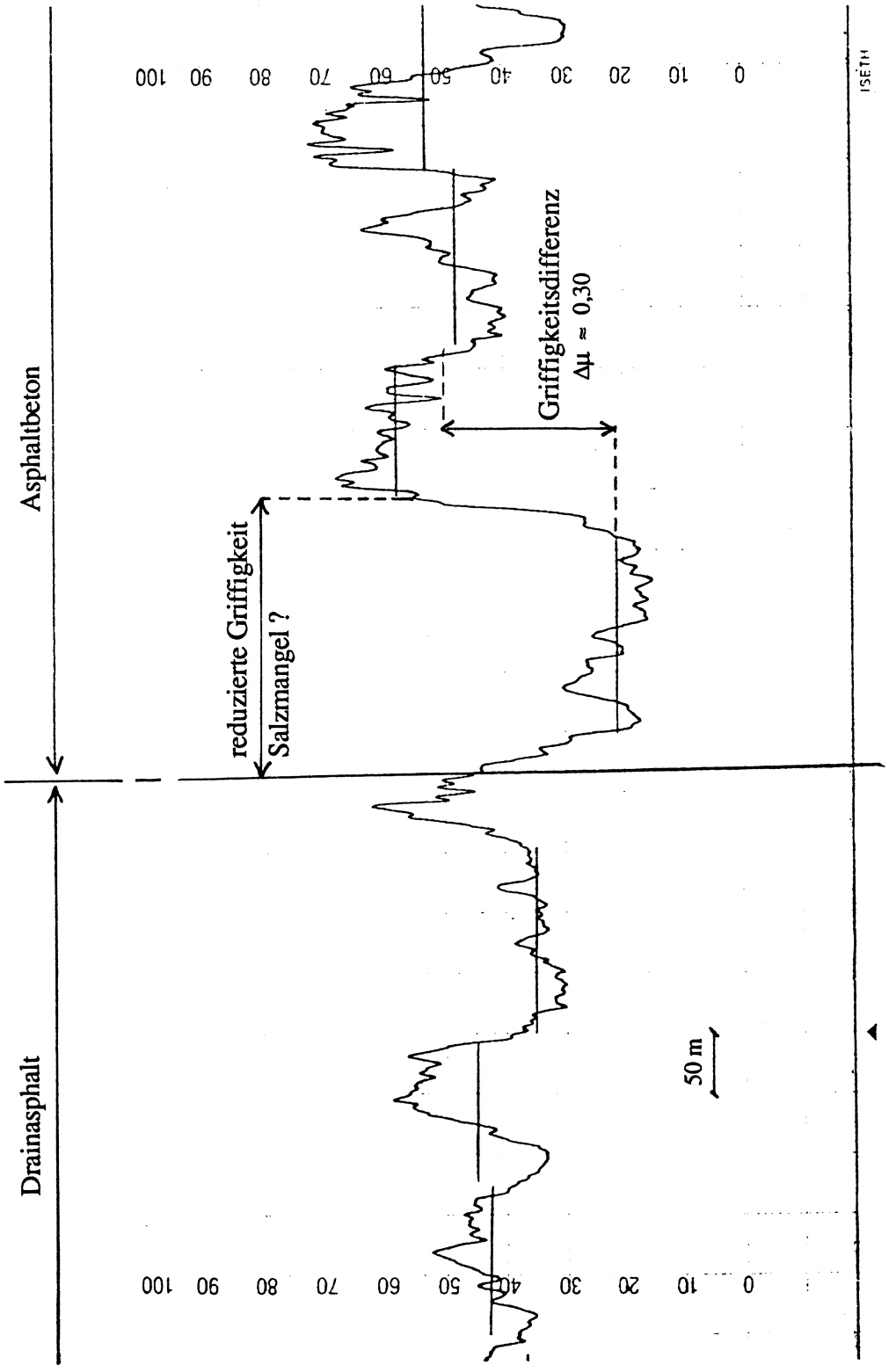


Abb. 53 **Auswirkung der Störung des Salztransports durch den Drainasphalt auf die Griffigkeit**

Messbeschrieb des Skiddometers



6.3 Schlussfolgerungen zum Winterverhalten

Grundsätzlich ist das Winterverhalten der Drainbeläge nicht unbedingt schlechter aber zum Teil etwas anders als dasjenige der konventionellen dichten Beläge. Aus diesem unterschiedlichen Verhalten aneinander angrenzender Beläge können sich natürlich gefahrenerhöhende Inhomogenitäten ergeben. Man darf aber nicht vergessen, dass die Strassenverhältnisse bei winterlichem Wetter sowieso sehr inhomogen sind und in Abhängigkeit des momentanen Ortes und Zeitpunktes stark streuen (Schattenlagen, Höhenlagen, Wind, Winterdienst etc.). Gesamthaft betrachtet liegt der Drainasphalt innerhalb dieses Streubereichs, den man auch bei konventionellen Belägen antrifft.

Die wesentlichen Unterschiede im Winterverhalten zwischen Drainasphalt und dichtem Belag lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Vorteile des Drainbelages

- Glatteis infolge gefrierender Nässe kommt dank der guten Oberflächenentwässerung und der groben Makrotextur selten vor. (Bei gefrierenden Niederschlägen, Eisregen etc., ist der Drainbelag hingegen ungünstiger, sofern eine Präventivsalzung durchgeführt wurde oder auf den dichten Belägen genügend Restsalz vorhanden ist, da auf der Oberfläche des Drainasphalts fast kein Salzvorrat liegen bleibt ; vergleiche Nachteile).

- Bei Schnee und Schmeematsch kann der Drainasphalt gegenüber einem Asphaltbeton dank der sehr guten Makrotextur Vorteile bezüglich der Griffigkeit bieten.

- Die Tendenz zur Vereisung der Radspuren bei ansonsten schneebedeckter Fahrbahn ist dank guter Makrotextur, Wasseraufnahme im Belag und geringerer Auftauwirkung kleiner.

Nachteile des Drainbelages

- Der Drainasphalt erfordert Winterdienst mit Streusalz bzw. anderen auftauenden Streumitteln. Abstumpfende Streumittel dürfen nicht verwendet werden, da sie den Belag verstopfen würden.

- Die Belagsoberfläche der Drainbeläge ist oft ca. 0,5° C kälter als diejenige der dichten Asphaltbeläge, weil die Wärmeleitfähigkeit der Drainbeläge wegen des grossen Hohlraumgehaltes schlechter ist. Deswegen setzen winterliche Niederschläge auf den Drainbelägen häufig früher an.

- Ebenfalls weil kein Restsalz auf der Belagsoberfläche der Drainbeläge liegen bleibt, können Schnee und Eisregen früher ansetzen als auf dichten Belägen. Der Beginn winterlicher Niederschläge kann somit kritisch sein.

- Präventivsalzen zur oberflächlichen Wirkung ist nicht sinnvoll, da das Salz in den Hohlräumen verschwindet oder weggeweht wird.

- Insbesondere bei schlechter Entwässerung kann sich im Belagsinnern Eis bilden, welches in Form von Eislinsen aus dem Belag herauswachsen kann. Um diese

Eisbildung im Belagsinnern zu verhindern, kann Präventivsalzen in gewissen Fällen angezeigt sein.

- Ausserhalb der Radspuren bleibt der Schnee oft länger liegen, da sich auf der Belagsoberfläche keine Salzlösung bildet und die Salzwirkung deswegen schlechter ist. Das Salz wirkt primär auf dem direkten Weg in die Hohlräume. Bei schwächerem Verkehr und weniger intensivem Winterdienst können diese Probleme mit der Schwarzräumung auch in den Radspuren auftreten.

- Der Drainasphalt stört den normalen Salztransport infolge des Verkehrs. Dadurch kann unter Umständen auf dem ersten Stück des anschliessenden Belags, Glätte infolge von Salzmangel auftreten.

Die Nachteile des Drainbelags im Winter lassen sich mit einem intensiven und schlagkräftigen Winterdienst unter Kontrolle halten. Vereinzelt muss die schlechtere Salzwirkung auf dem Drainbelag durch vermehrte Salzstreuung ausgeglichen werden. Kritisch ist insbesondere der Beginn winterlicher Niederschläge. Aber auch während der Auftauphase kann der Drainbelag gewisse Probleme bereiten (Abb. 61).

Abb. 54

Auf dem Drainbelag (hinten) hat der Neuschnee bereits angesetzt, während der Belag im Vordergrund nass ist.

Abb. 55

Auf dem Drainbelag im Vordergrund hat der Schnee angesetzt. Der dichte Belag im Hintergrund ist nass.

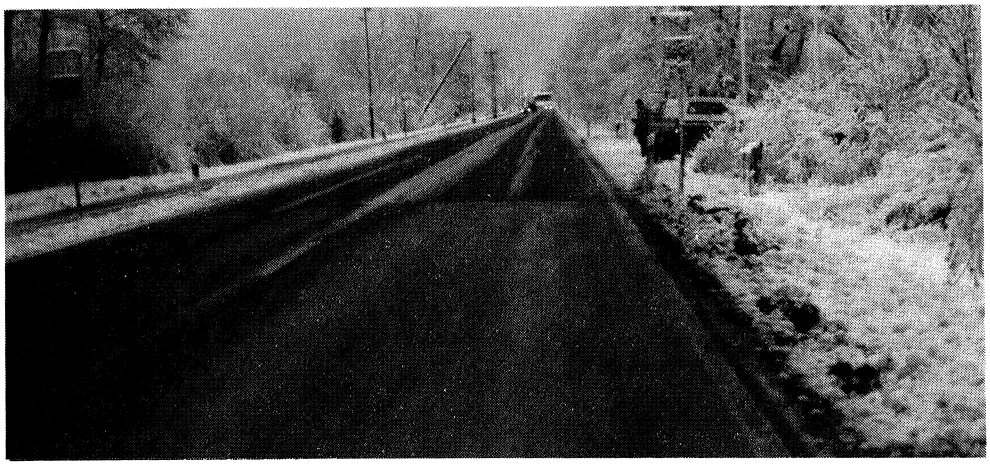
Abb. 56

Der konventionelle Belag im Vordergrund ist nass, während auf dem Drainbelag im Hintergrund noch Schneematsch liegt.

Abb. 57

Gleiche Situation zur gleichen Zeit wie Abbildung 56 aber aus umgekehrter Blickrichtung. Durch das in Fahrtrichtung mitgeschleppte Salz liegt auf dem linken Fahrstreifen deutlich weniger Schneematsch als auf dem rechten.

Abb. 58



Schnee auf dem Drainbelag ausserhalb der Radspuren. Der dichte Belag im Vordergrund ist nass.

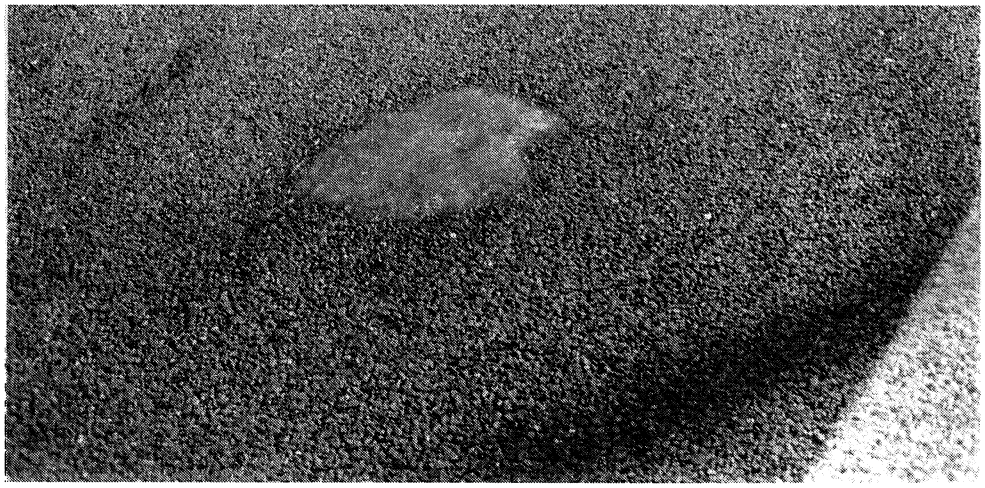
Abb. 59

Auf dem Drainbelag (hinten) ist der Pannenstreifen schneebedeckt.

Abb. 60

Eislinsen infolge des Gefrierens von im Innern des Drainbelages aufgestauter Nässe.

Abb. 61



Aus dem Belag herausgewachsene Eislinse im Detail.

7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der Drainbelag ist ein Spezialbelag mit gewissen Vor- und Nachteilen (Tab. 5). Da es sich um einen relativ neuen Belagstyp handelt, sind die Kenntnisse darüber noch nicht vollständig. Insbesondere bezüglich der Lebensdauer des Belages und der Dauerhaftigkeit der positiven Eigenschaften bestehen noch Ungewissheiten.

Aus heutiger Sicht haben sich die Drainbeläge auf den **Autobahnen und ähnlichen Strassen** bisher gut bewährt. Dank ihrer guten Oberflächenentwässerung verringern sie die Aquaplaninggefahr und die Sprühfahnenbildung ganz erheblich. Drainbeläge eignen sich auch zur Lösung von Entwässerungsmängeln in Verwindungsstrecken, obwohl man festhalten muss, dass dieser Anwendungsfall des Drainbelages wegen der zwangsläufigen Wasserspeicherung im Belag und den dadurch bedingten Auswirkungen auf die Belagseigenschaften nicht gerade optimal ist. Die Griffigkeitscharakteristik der Drainbeläge kommt den Anforderungen auf Autobahnen entgegen. Auf Autobahnen darf im allgemeinen auch eine ausreichende Dauerhaftigkeit der Durchlässigkeit erwartet werden. Die Randentwässerung ist normalerweise problemlos und das Winterverhalten beherrschbar. Bei höheren Geschwindigkeiten tritt zudem eine spürbare Lärmreduktion auf und der verbleibende Lärm wird angenehmer.

Tabelle 5 **Vor- und Nachteile des Drainbelages**

VORTEILE	**hauptsächlich betroffener ANWENDUNGSBEREICH**
- Verringerung der Aquaplaninggefahr	Autobahnen
- Verringerung der Sprühfahnen	generell v.a. Autobahnen
- gute Griffigkeit bei hohen Geschwindigkeiten	Autobahnen
- Reduktion des Lärms	generell v.a. Autobahnen
- Verringerung des Spiegeleffektes bei Dunkelheit und Nässe	generell
- gute Verformungsbeständigkeit (keine Spurrinnen)	generell v.a. Autobahnen
NACHTEILE	
- Vergänglichkeit der guten Eigenschaften infolge Durchlässigkeitsabnahme	generell v.a. innerorts
- unbekannte Dauerhaftigkeit (Anm.: die ältesten Drainbeläge der neueren Generation mit höheren Hohlraumgehalten sind erst 5 bis 6 Jahre alt)	generell v.a. Autobahnen
- spezielle Anforderungen an die Entwässerung, Probleme v.a. innerorts	innerorts
- eher ungünstige Griffigkeit bei niedrigen Geschwindigkeiten	innerorts
- etwas andersartiges Winterverhalten, Winterdienst mit Streusalz	generell v.a. innerorts
- Einbauten, Belagsaufbrüche (z.B. Leitungsbau) stören die Wirkungsweise	innerorts
- Kosten, insbesondere innerorts wegen Entwässerung	generell v.a. innerorts

Anmerkung: Stadtautobahnen und ausgesprochene Hauptachsen mit dichtem, raschem Verkehr sind eher dem Bereich Autobahnen zuzuordnen als dem Innerortsbereich Kantonsstrassen ausserorts oder in locker bebautem Gebiet sind je nach den Verhältnissen einem dieser beiden extremen Anwendungsbereiche zuzuordnen.

Im **Innerortsbereich** sieht die Bilanz nicht so positiv aus. Hier bereiten die Randentwässerung und zum Teil damit zusammenhängend die vielfach rasche Durchlässigkeitsabnahme Probleme. Auch das Griffigkeitsangebot der Drainbeläge entspricht meist nicht den Anforderungen des Innerortsverkehrs, welcher eine optimale Mikrotextur des Belages erfordert. Im Winterdienst muss auf Drainbelägen mit auftauenden Streumitteln gearbeitet werden, was dem heutigen Trend im Innerortsbereich entgegensteht. (Was allerdings auf den Durchgangsachsen, und nur dort liessen sich Drainbeläge innerorts - wenn überhaupt - sinnvoll anwenden, kaum relevant sein sollte). Probleme gibt es auch mit Belagsflicken, zum Beispiel infolge Leitungsbaus, welche die Wirkungsweise eines Drainbelages stören. Bezüglich Lärmreduktion besteht bei niedrigen Geschwindigkeiten eine grosse Lücke zwischen dem messtechnisch erfassbaren Effekt und der allgemeinen Erwartung. Viele Drainbeläge bieten infolge ungenügender Durchlässigkeit bereits nach kurzer Zeit keine nennenswerte Lärmabsorption mehr und sind gerade im Bereich niedriger Geschwindigkeiten bezüglich Rollgeräusch nicht besser als konventionelle Beläge. Die Lärmprobleme im eigentlichen Innerortsbereich können daher mit den heutigen Drainbelägen im allgemeinen kaum gelöst werden. Allerdings sei nicht verschwiegen, dass mit geeigneten Strassenbelägen, dies müssen aber nicht unbedingt Drainbeläge sein, auch im Innerortsbereich eine gewisse Lärmpegelreduktion möglich ist. Erfolgversprechender scheinen hier aber Massnahmen am Fahrzeug, der Verkehrsführung, gestalterische und passive Lärmschutzmassnahmen sowie vielleicht die Entwicklung neuartiger lärmmindernder Beläge oder Strassenoberbauten.

Bevor die Drainbeläge in grossem Stil eingebaut werden, sollten aber noch einige offene Fragen geklärt werden. Neben dem zentralen Problem der Gebrauchsdauer sind hier insbesonders die Punkte Qualitätsanforderungen und Qualitätssicherung, Möglichkeiten zur günstigen Beeinflussung der Durchlässigkeitsentwicklung sowie generell mehr Erfahrung zu nennen. Ferner sollte die Erforschung der akustischen Eigenschaften von Strassenbelägen vorangetrieben werden. Künftig empfiehlt sich eine Abgrenzung zwischen den Drainbelägen als Verkehrssicherheitsbelag mit guter Oberflächenentwässerung einerseits und den akustisch günstigen Belägen andererseits. Letztere können wieder in rollgeräuscharme Beläge, welche nicht unbedingt durchlässig sein müssen, aber über eine akustisch optimierte Oberflächenstruktur verfügen müssen, und in eigentlich lärmmindernde Beläge eingeteilt werden. Diese sollten sowohl ein niedriges Rollgeräusch erzeugen, wozu eine geeignete Belagsoberfläche erforderlich ist, als auch dank eines hohlraumreichen Aufbaus über nennenswerte Lärmabsorptionseigenschaften verfügen. Ob derartige Beläge praxistauglich sein werden, muss offen bleiben. Die heutigen Drainbeläge können diese Anforderungen zumindest im Innerortsbereich nicht befriedigend erfüllen. Sie sind eigentlich zu aufwendig, um als lärmmindernde Beläge gelten zu können.

Auf Autobahnen und ähnlichen Strassen mit konstantem, eher raschem Verkehr und geringem Schmutzanfall sowie der Möglichkeit zur freien Randentwässerung sieht die Sachlage allerdings anders aus. Hier scheint der Drainbelag sehr interessant zu sein, denn er kann gleichzeitig zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und zur Verringerung des Verkehrslärms beitragen. Wenn auch seine Lebensdauer den Ansprüchen genügen kann, dann sollte einer vermehrten Anwendung des Drainasphalts nichts im Wege stehen. Wie bei jedem Spezialbelag ist natürlich der sinnvolle Einsatz unter Berücksichtigung der Vor- und Nachteile in jedem Einzelfall abzuklären.

Zürich, 10. Januar 1990